

Festschrift Hans-Paul Schwefel 2006

Festschrift Hans-Paul Schwefel 2006

Herausgeber:

Thomas Bartz-Beielstein
Gundel Jankord
Boris Naujoks
Günter Rudolph
Karlheinz Schmitt

Impressum

ISBN 3-921823-34-X

© Universität Dortmund – Lehrstuhl für Systemanalyse

Herausgeber: Thomas Bartz-Beielstein, Gundel Jankord, Boris Naujoks,
Günter Rudolph und Karlheinz Schmitt
Redaktion: Thomas Bartz-Beielstein, Nicola Beume, Gundel Jankord,
Christian Lasarczyk, Boris Naujoks, Mike Preuß,
Günter Rudolph und Karlheinz Schmitt
Gestaltung: Gundel Jankord, Ulrich Hermes (Technische Assistenz)
Fotos: Das Foto auf der hinteren Umschlagseite wurde freundlicher-
weise von Herrn Hans Blossey (<http://www.luftbild-blossey.de>)
zur Verfügung gestellt.
Druck: Zentrale Vervielfältigung der FernUniversität-Gesamthochschule
in Hagen. Wir bedanken uns stellvertretend bei Herrn Wilhelm
Graf für die freundliche Unterstützung.

Die Veröffentlichung dieser Festschrift wurde teilweise durch die
Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des
Sonderforschungsbereichs 531 „Computational Intelligence“
unterstützt.

Inhalt

<i>Thomas Bartz-Beielstein</i> Vorwort	7
<i>Thomas Bäck</i> Hans-Paul, or – thanks to a great doctor-father	9
<i>Wolfgang Banzhaf</i> Evolution on the fast track	15
<i>Thomas Bartz-Beielstein</i> SPOT – A Toolbox for Visionary Ideas	21
<i>Volker Claus</i> Wie lautet die geheimnisvolle Schwefel'sche Zahl	27
<i>Kalyanmoy Deb und Udaya Bhaskara Rao N</i> Investigating Predator-Prey Algorithms for Multi-Objective Optimization	33
<i>Pierre Frankhauser</i> Begegnungen mit Hans-Paul Schwefel	45
<i>Harro Kiendl, Martin Sternke und Peter Krause</i> Hans-Paul Schwefel: Eine Reverenz von Seiten der Regelungstechnik	49
<i>Roland Kischkel</i> Über Schwierigkeiten bei der Etablierung von <i>unorthodoxen</i> <i>Forschungsvorhaben</i> im System der Deutschen Forschungsgemeinschaft	55
<i>Sandor Markon</i> Random Impressions of a Gentle Scientist	59
<i>Jörn Mehnen</i> Streiflichter	63
<i>Zbyszek und Ewa Michalewicz</i> Wishes	65

<i>Katharina Morik und Ingo Mierswa</i> Evolutionäre Aufzucht von Methodenbäumen	67
<i>Petra Mutzel</i> Meine ersten Eindrücke am Lehrstuhl 11	77
<i>Boris Naujoks</i> Was ist ein System?	79
<i>Ben Paechter, Jennifer Willies und Mike Preuß</i> Prologue	83
<i>Günter Rudolph</i> A Time Travel to the Early Theory of Evolution Strategies	85
<i>Karlheinz Schmitt</i> Hört nicht auf die Altvorderen!	91
<i>Marc Schoenauer</i> Chairs, Evolution, and Hans-Paul Schwefel	95
<i>Gabriele Schönfelder</i> Spurensuche	99
<i>Ingo Wegener</i> Hans-Paul Schwefel as colleague	105
<i>Klaus Weinert</i> Die Evolutionsstrategie verbindet Forschung und Praxis, Maschinenbau und Informatik und – vor allem – Menschen	107
<i>Karlheinz Schmitt</i> Stages	108
<i>Gundel Jankord</i> Statistik	113
Autorenverzeichnis	117

Lieber Herr Schwefel,

mit dieser Festschrift verabschiedet sich Ihr Lehrstuhl XI von Ihnen. Wir wissen, dass Sie nicht viel von der in manchen Festschriften anzutreffenden „Lobhudelei“ halten – daher haben wir an einigen Stellen einen unsichtbaren Smiley (sichtbar in Abb. 1) eingefügt.

Dass Sie die Leitung des 1985 eingerichteten Lehrstuhls für Systemanalyse am Fachbereich Informatik der Universität Dortmund von Beginn an bis zu Ihrer Pensionierung innehatten und federführend bei der Einrichtung und als Sprecher des Sonderforschungsbereichs Computational Intelligence tätig waren, mag für Sie persönlich nicht besonders erwähnenswert sein. Dennoch können wir uns des Eindrucks nicht erwehren, dass Sie maßgeblich an der Gestaltung des Fachbereichs und auch der Universität beteiligt waren. So betätigten Sie sich als Prodekan, Dekan, Prorektor für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs und als Sprecher eines Transferbereichs in der Universität.

„[HPS] has made a major impact in my research career“

Doch ist Ihr Wirkungskreis nicht lokal beschränkt. Ihr Einfluss auf andere Forscher zeigt sich auch durch die Vielzahl der Beiträge, die von unterschiedlichen Autoren für diese Festschrift verfasst wurden.

Es blieb nicht aus, dass Ihnen im Laufe Ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit einige Auszeichnungen verliehen wurden: Ehrungen wie den „VDI-Preis für das Diplom“, den „Lifetime Achievement Award der Evolutionary Programming Society“, den „Evolutionary Computation Pioneer Award der IEEE Neural Networks Society“, die Auszeichnung als „Senior Fellow der International Society for Genetic and Evolutionary Com-

putation“ und als „Senior Member des Institute of Electrical and Electronics Engineers“ geben Zeugnis davon, dass es Ihnen nicht zu 100% gelungen ist, Ihre Talente vor dem Fachpublikum zu verbergen.

„Macht richtig Spaß“

Nicht nur etablierte Wissenschaftler, sondern auch der wissenschaftliche Nachwuchs war von Ihren Arbeiten beeindruckt. Sie, Herr Schwefel, konnten durch Ihre Vorlesungen begeistern und Studenten anziehen. Ich erinnere mich noch an einen Kommentar eines Kommilitonen: „Ich habe die Vorlesung bei Professor Schwefel gehört. Er freut sich über interessierte Studenten, die seine Sprechstunde besuchen“. Dieser Student bewarb sich dann auch als studentische Hilfskraft am Lehrstuhl, ich folgte ihm kurze Zeit später.

Die Kommentare, die während der Erstellung dieser Festschrift entstanden, spiegeln diese Begeisterung wider. Die Zwischenbemerkungen stellen Zitate aus den Mails dar, die während der Erstellung dieser Festschrift ausgetauscht wurden.

Begeisterungsfähigkeit ging dabei nicht nur von Ihnen aus, Sie wurden bei Ihren Vorhaben von Ihrer Frau symbiotisch ergänzt. Für viele Projekte, die die Zusammenarbeit, die Darstellung des Lehrstuhls nach außen und somit auch den Zusammenhalt des Lehrstuhls förderten, war sie verantwortlich.

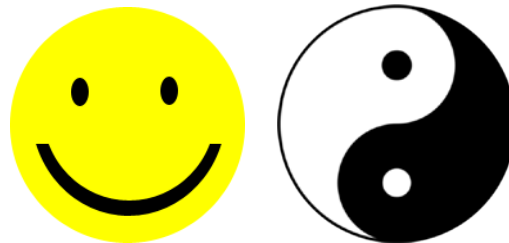


Abb. 1 Links: Ein Smiley, die grafische Darstellung eines Lächelns, ist oft am LS XI anzutreffen. Rechts: Das heimliche LS XI Logo.

Dass das rechts in Abbildung 1 dargestellte Symbol das heimliche LS XI Logo ist, blieb allen Neuen am Lehrstuhl nicht lange verborgen. Die von Ihrer Frau mit einem Schuss fernöstlicher Weisheit betreuten Projekte wie „[blaues Heft](#)“, Lehrstuhlausflüge und Konferenzreisen werden auch in weiteren Beiträgen dieser Schrift erwähnt.

„I will probably not be able to find enough time before the end of the week. Would that be still OK?“

Natürlich war dies OK. Das Prinzip der Selbstorganisation wurde von Ihnen am Lehrstuhl im Umgang mit Ihren Mitarbeitern praktiziert. „Ich mache Ihnen keine Vorschriften – unterbreiten Sie mir einen Vorschlag, ich gebe Ihnen gerne einen Kommentar.“ Das große Chaos blieb dabei aus, es entstand eine Atmosphäre kreativer Kommunikation: gute Ideen wurden geboren, parallel variiert und weitergedacht – ganz natürlich.

„Here is my contribution – pffffff!“

Dass Sie an der Erstellung diverser Publikationen beteiligt waren, lässt sich nicht leugnen: Ihre vielfältigen Tätigkeiten als Herausgeber oder Mitherausgeber führender Zeitschriften wie „Evolutionary Computation“, „IEEE Transactions on Evolutionary Computation“, „Natural Computing“ oder den Buchreihen „Advances in Natural Computation“ und „Natural Computing“ wurden weltweit wahrgenommen. Interessanterweise waren Sie stets Mitautor der jeweils ersten Artikel in diesen hoch angesehenen Zeitschriften. Auch haben Sie einige Bücher wie „Evolution and Optimum Seeking“ und Fachartikel verfasst, die zu den am häufigsten zitierten Werken in ihrer

Disziplin gehören. Insgesamt wurden 166 Dokumente gezählt.

Wir haben uns gefragt, welche Dinge es ohne Ihre Aktivitäten nicht geben würde: PPSN, SFB 531, LS XI, $(\mu+\lambda)$, (μ,λ) , ICD, BBAW, ... – auch wenn man sich auf Abkürzungen beschränkt, die Liste wird sehr lang.

Wir alle danken Ihnen für die gemeinsamen Jahre, in denen wir mit Ihnen zusammenarbeiten durften und hoffen, dass Sie unsere Begeisterung bei der Erstellung dieser Schrift nachempfinden können.

Dortmund, im Februar 2006

Im Namen des Herausgeberteams



Thomas Bartz-Beielstein

Hans-Paul, or – thanks to a great doctor-father

Thomas Bäck

Just to warn the reader right away—this is not going to be a scientific article. Do not expect anything like that. I will also avoid any biographic references—the danger for messing up the reference list is too big (see below for an explanation).

Rather, I will be going a little bit into the history of the chair of systems analysis (or chair XI, by the numbering system of the department of computer science at Dortmund University) and give you a little insight into my personal view of more than ten years of close cooperation with Hans-Paul. Within this personal historic view, many aspects play a role—among others the science of evolutionary computation, but far more important the personal emotions that I associate with this time of my life.

As for evolutionary computation, let me just tell you briefly that the terminology “evolutionary algorithms” as well as “evolutionary computation” indeed has been created in the rooms of chair XI, back in the early 90s. It just went by itself, because it was so natural and straightforward for us to think across the borders of the classical categories of genetic algorithms and evolution strategies—not even to mention evolutionary programming and genetic programming. These borders did not even exist in our minds, such that we decided to just concentrate on the underlying concept and to propose the exchangeability of operators and representations among the various instances of evolutionary algorithms. Taking the freedom to do that was a pretty new and surprising thought at that time!

We just did it, however—much to the surprise of some of the established leaders of the field—at that point in time. As a young researcher, this is only possible with the backup of somebody like Hans-Paul, who just gave all of his energy, creativity, and straightforwardness to support his team members. Based on these properties, it was possible to broaden the scope of the relatively narrow research field of genetic algorithms in the USA, to enter that community, and to generalize the field towards the modern understanding of evolutionary computation.

At that point in time, in the early 90s, the team of Hans-Paul consisted of his few scientific staff members: Ulrich Hammel, Ernst Peters, Frank Hoffmeister, and myself. In addition, one always has to add Antje Schwefel (the only difference to a full-time university employee being that she did not have a contract with the university), and Ulrich Hermes, who made sure we had the hardware and software equipment up and running that we needed to push science forward.

During this time together, we faced a number of big challenges and mastered them successfully. Let me mention some of the most important ones:

- To make the evolution strategy known and accepted throughout the scientific community.
- To start the PPSN conference series (for the outsider: Parallel Problem Solving from Nature).
- To introduce the “Blaues Heft” (“Blue Booklet”) as the up-to-date summary of our achievements.
- And, since the chair always struggled for money, to keep us funded by coming up with new and hopefully successful research proposals all the time.
- Last, but not least, finishing a PhD thesis.

In the following, I would like to discuss these topics in some more detail, thus also giving you some insight into the history of chair XI.

The evolution strategy

While I personally started with research on classifier systems and then genetic algorithms (as classifier systems turned out to be too complex to start with ...), of course the evolution strategy has always been a main topic of interest at Hans-Paul's chair. So, we started by giving tutorials on this algorithm, and one of the first was given at the ICGA (International Conference on Genetic Algorithms and their Applications) in San Diego in 1991. That was a real challenge—my English language skills still had to grow a bit—and we were really happy to see that a strong interest existed in the genetic algorithm community to learn about the evolution strategy. This was the start of numerous tutorials at almost all major conferences in the field, and of course we refined the presentation, tried to make as clear as possible what the concept of self-adaptation really means, faced many challenging discussions regarding the relative importance of mutation vs. crossover, and so on.

It was real fun to see how the global scientific community now started to accept an invention which had a really tough time to survive in Germany from the mid-sixties until the early nineties, and Hans-Paul never stopped to believe in this success. In 1990, the time was there to tell the world about this, and since then we have seen a growing community working on the evolution strategy and its many algorithmic extensions.

Indeed, today the evolution strategy is solving many tough problems significantly better than other global optimization algorithms. While this statement is impossible to

prove from a theoretical perspective, we have empirical evidence which for me is worth more than a theoretical statement. The practical problems we are facing today pose challenges far beyond what is normally done in a research environment. Just to give an example, the task of multidisciplinary optimization in automotive engineering involves, among others, computer simulations of car crash experiments which—for a single experiment—require run times of many hours for the simulator. Typically, the task involves more than one hundred design parameters, and something like ten to forty nonlinear constraints such as e.g. maximum allowable intrusions during a crash. Overall, it means finding a feasible, minimum-weight solution of a hundred-plus dimensional nonlinear optimization problem with as few as hundred to two-hundred function evaluations!

Innovative car manufacturers such as BMW deal with those problems today, and are in urgent need to find the best possible algorithm for this kind of task. The evolution strategy (with some bells and whistles we added) turns out to be this algorithm, as was confirmed in a statistically evaluated test which BMW conducted to identify the best available method for this task.

This is not the only real-world problem where we have experienced the evolution strategy to be the best choice among a huge number of available algorithms. At NuTech Solutions, we are dealing with a wide diversity of challenging optimization tasks from industries including oil & gas, consumer goods, and automotive, and whenever we need the most powerful nonlinear optimizer available, we know what to do. Of course, many extensions were developed over time to make the algorithm more powerful, such that industrial requirements are today still driving our own internal research on evolution strategies.

In summary, I am more than convinced today that the evolution strategy is the most powerful method available for nonlinear global optimization—even if your resources (in terms of number of function evaluations) are very very limited. Many people would not believe so from what they have heard or know about evolutionary algorithms, such that we always have to convince the practitioner. But we also see today that there is an increasing acceptance in industry of the evolution strategy as being the method of choice for the tough problems they want to solve. I am very happy to see this, as I know that Hans-Paul was disappointed by industry's tendency to reject his inventions for a long time—and the same was true for a long time for public research funding agencies. Today, the evolution strategy is well accepted by both.

The PPSN conference

Right when I started my PhD studies with Hans-Paul, he already was working on the idea of having a little workshop organized in Dortmund—of course with a focus on evolutionary computation, but since he also considered nature's processes as obviously being parallel by themselves, the title of the workshop should express parallelism as well. The final result was “Parallel Problem Solving from Nature”, which makes very clear that computing paradigms from nature are considered, that the focus is on problem solving, and that parallelism is an important aspect. The PPSN 1990 idea turned into a biannual conference series which since then has always been a big success and quickly became an established and important conference in the field.

Going right into it as a young PhD student, however, was a challenge by itself. You can acknowledge what it means to be part of the “local organization committee” if and only if you have once done it yourself. And, the “workshop” turned out to become much

bigger than we expected, such that we basically organized a full conference without really realizing it (good that Hans-Paul did not tell us—he pretended all the time it was just a workshop).

It was exciting to start right into it with a conference organization and own contributions to the conference. We did our research, we wrote the papers, we organized the program of the conference, we did the local arrangements, we tried to be as supportive as we could, and we made friends at this conference with many researchers from all over the world. In fact, some of my most intense friendships in life resulted from that first PPSN conference, and whenever I meet again with these people, we remember PPSN 1990 with very good feelings.

Needless to say—it was a huge amount of work. We were all ready for vacation when it was over. But we enjoyed it, and I am very grateful to Hans-Paul that he made us part of it and got us a chance to acquire organizational skills we would not have without this. And, it made us quickly become part of the international research community.

The Blue Book

Every research group in the world nowadays needs to find a way to present its credentials to the world, and to the evaluation committees. Hans-Paul knew that very early, and he is well known for keeping track of information in a very precise way. The famous “Blue Book” is his instrument to present the chair and the achievements of its members, and of course the Blue Book grew over time into a really impressive collection of project summaries, lectures, tutorials, teaching activities, conference organization activities, and of course bibliographic references to publications of the chair.

Oh, bibliographic references. May be worth a few words—Hans-Paul knows how to cite a literature reference correctly, and we all learned it from him. Indeed, it is easy for me even today to take a look at a scientific paper's list of references and make up my mind whether the authors are precise or rather sloppy in their writing style—which immediately makes me conclude something about their working style.

Interestingly, if you want to do the bibliographic stuff right, with complete information, you have to master BibTeX (or type it all by hand)—otherwise it will just not work to your (or to Hans-Paul's) satisfaction. We learned that over time, thanks to Frank Hoffmeister's incredible LaTeX skills. After a while, we knew precisely what to enter into which BibTeX field, to make sure it will look the way it was required to be Hans-Paul acceptable. After fifteen years I can today confide to the reader that one of my golden rules was to never show Hans-Paul an article with incomplete or sloppy bibliographic part—so he rarely saw any draft from me, but only stuff I considered final. That turned out to be—at least for me—a perfect working relationship with him.

The Blue Book as such was fun stuff, as the reader can imagine. If you can, get a copy. Since we were computer scientists, we tried to come up with an automatic Blue Book generator, based on LaTeX processing all of the files, which hopefully were all kept updated by all of the authors, in two languages (German and English), thus finalizing the whole thing based on a single press of a button. Great stuff! It worked, but the output never met Antje's and Hans-Paul's expectations, so we put more work into the manual postprocessing than into the writing itself. Anyway, the Blue Book editorship was a chair-internal job that, after a couple of years at the chair, became something that everybody feared—partly because we just were too successful, such

that the number of entries was just growing too fast, so keeping up to pace was almost impossible. This is an example of how success can turn into a burden ...

Don't get me wrong—I love the Blue Book, volunteered at that time to be its editor, and I think it is a great thing. I still keep my 1994 copy, and am sure that with modern computer science tools today's editor has an easy job and it is just a piece of cake to generate the most recent version by pressing a single button once ...

Research proposals and funding

After having finished my master's thesis at Hans-Paul's chair, I knew I wanted to stay, if possible. Already by then, 1990, however, the chair did not have any open positions at all, so there was only one way to do this—and Hans-Paul came up with the idea: He told me I could decide to write a research grant application to the DFG, Germany's national research funding institution. I did, I got a four year grant, and I also managed to finish my PhD thesis within this four year time period and to get my PhD in spring of 1994. Since then, also for the remainder of the time I worked with Hans-Paul, I always had a position that was funded through a research proposal which I had written myself.

This is an interesting perspective, because it generates awareness for the funding issue and it also makes you self-responsible for what you are doing. I always found this to be a stimulating and creative situation during these ten years, and Hans-Paul did all he could to support the proposal writing and application process—but at the end of the day, it depended on me and the quality of the research proposed. This way, we managed to receive some really significant research grants from the German government to advance theory and applications of evolutionary computation, and we did that

during our time at the Informatik Centrum Dortmund (ICD), where I had the pleasure to lead Hans-Paul's activities within the ICD.

A PhD thesis

Under the supervision of Hans-Paul, a PhD student is doing interesting stuff by himself, with a very self-responsible, autonomous working style. This leaves lots of freedom and flexibility to decide which direction to go, and to shape your own topic. I thought this was a wonderful experience, because Hans-Paul never said “do this” but rather was interested in the progress itself, the bits and pieces that were part of the way there, and he would let you know when the sum of the pieces was sufficient to have a thesis. Exciting for me, as I could explore whatever I wanted (subject to the contents of my research proposals, of course), as deep as I wanted, present the stuff at conferences, and write it all together. I liked that very much, and I worked towards the PhD supervising myself. Hans-Paul often said, of success, 5% is talent and 95% is sweat, and I agree with it.

A number of very valuable resources helped me on my way: Hans-Paul's private library at the chair, which contained all relevant literature on evolutionary computation, but also lots of material beyond that, and I must say that this library is just a treasure if you want to do research on evolutionary computation! Ulrich Hermes, who could help with any kind of question on hardware, software, and visualization etc., and whenever he said “I have no time” you could be sure he was working on a solution and would come back to you with it within a few hours.

Finally: Hans-Paul

The heart of the chair, of course, the brain, the engine. Hard-working, so that you could

always be sure he would have done his part of the job by tomorrow. Hard to satisfy, but always fair. Certainly the most helpful person I have ever met, trying to support you in whatever way he could—by giving guidance, by building rapport with you quickly, by being available whenever you needed support, and by giving you the positive feedback whenever you needed it. He just cares about people around him—a property you do not find very often today. If you add Antje to the picture, it becomes clear that when working with Hans-Paul, you are almost part of the family. This environment was so unique and so much fun to work in—I would not want to miss it at all, and if I had to do it again, I would not change anything.

My professional career is based on my time with Hans-Paul, and I am very happy that my professorship position at Leiden University is dedicated to the topic “Natural Computing”, which I know is a topic that Hans-Paul likes very much. My work with NuTech Solutions allows me to also put science into real-world applications, and solve tough business problems using—among others—evolution strategies. Hans-Paul Schwefel, the visionary, knew very early on how powerful evolution strategies are—and I see that confirmed today in some of the most challenging real-world problems one could imagine.

I am very grateful to Hans-Paul for the opportunities and support he gave me, and the time we worked together.

Thank you, Hans-Paul!

Instead of references, see some photo material from the early days.



On our way back from PPSN 1992 (Brussels, obviously). We used to be at the PPSN conferences with a pretty large delegation from Dortmund. You might know most of the people on this photo—from left to right: Günter Rudolph, Frank Hoffmeister, Antje and Hans-Paul, myself, and Frank Kursawe.

This is the most impressive conference event we had together: A bath in the Dead Sea. From left to right: Hans-Michael Voigt, Martin Schütz, Thomas Bäck, Hans-Georg Beyer, Günter Rudolph, Hans-Paul, Ulrich Hammel.



The upper figure is from the World Congress on Computational Intelligence (Orlando) conference, and really shows me among some of the most famous researchers in evolutionary computation!



On the photo above, you are actually seeing what we did in Hans-Paul's office when he was absent. He had quite some stress, sometimes, when we had our creativity flow as much as you can see here ...

Evolution on the fast track

Wolfgang Banzhaf

Dear Hans-Paul,

This contribution will be written in the form of a letter, a letter, hopefully, that raises some interesting topics in connection with your area of research, evolution and its algorithmic and physical implementation.

Admittedly, we all are people with only so limited a life time. So one might ask whether it isn't really difficult to study a subject so "remote" or slowly developing as evolution over the course of Earth's history. What has it to do with our daily life, with our concerns for the environment, our society and the daily progress of our technology?

Well, you might respond, that is why we are so active in trying to map what evolution did over eons into the time span of an evolutionary run of an experiment or a computer program. By using measurement and processing tools developed over the last decades, we are able to accelerate evolution considerably, perhaps by a factor of a million, if not more under circumstances. A method that has shown so many admirable results in Nature, shouldn't it be helpful to better our circumstances? And sure enough, the progress of Evolution Strategies, Evolutionary Algorithms and Evolutionary Computation over the last decades is a testimony to this hypothesis. Indeed, it was possible to find good recipes for optimizing a myriad of technical systems, we also found explanations for what happens in our systems, and could improve the methods, having understood the mechanisms that held them back. You yourself have actively contributed to this area by numerous publications, among them your influential book, and by educating a generation of engineers and computer scientists.

In this contribution I will try to give another answer, based on the knowledge that is presently accumulating in the scientific community. Despite what meets the eye, natural evolution is actually much faster than we tend to believe. Indeed, over the course of a few years, decades or centuries, biological evolutionary adaptations happen, all in response to environmental pressures. Evolution is on the fast track, and changes can be observed in the course of a human life time. Especially recent history, with its strong human impact is a good example. We are talking here about natural (biological) evolution, a process we usually associate with millions of years.

I hope you will forgive me if I merely collect evidence in this contribution. The subject would merit a broader examination, and some books are beginning to appear, but a real systematic study cannot be done in the shortness of this contribution. So I apologize for the informal way I have to treat the subject here.

Let's start with an example that most everybody knows: the blackening of moth wings in industrial Britain. We will then look at some other examples, studied in recent years, where we can see evolution on the fast track. First is a look into the history of mankind where, as it turns out, evolution is quite visible over the course of millennia. We will then discuss an example where human impact changed environment for animals and led to amazing adaptations which we can only understand from the point of view of a vigorous evolutionary force. This will lead us to a look at the evolution of infectious diseases of humankind, a company we have not sought, but which is not leaving us either, despite numerous attempts to rid us from them. We will end with some thoughts (or speculations) about possible mechanisms that allow evolution to be so vigorous, and accelerate at times to unbelievable speeds.

Our first example, which is known under the heading of Industrial Melanism, relies on the following observation: During the industrialization of Britain in the 19th century, some species of moths became darker in color. A well studied moth is the peppered moth, *Biston Betularia*. Around 1850, the black mutant variety was observed near the industrial town of Manchester, England. Within a century, this black mutant increased its share in the population to up to 90% of the population in some regions. Although the example has called anti-evolutionists onto the stage, it does seem to be a clear example of evolution at work. Due to better blending with its coal-blackened background tree, the black variety was able to escape bird predators with a better chance than other varieties, and became subsequently more numerous. It is interesting to note that after industrial pollution has retreated from the areas in question, the black variety has also retreated and is being replaced by brighter versions.

In the example above, evolutionary forces were acting in the course of a century, and were able to bring about a substantial change over that time span, if only in allele frequency. Our next example, and those following, will discuss longer-term evolutionary adaptation, mostly in connection with the origin and development of human-kind.

Recently, a study was published discussing the genomic variability of lice [1]. Lice are interesting because they are tied to their host species. Thus lice of the genus *Homo sapiens* have been with the *Homo* line since its separation from chimpanzees approximately 5.5 million years ago. So far, we are still in the millions of years. But interestingly, human lice provide independent evidence for a population bottleneck thought to have happened before *H. Sapiens* spread globally, and timed to around 50,000 to 150,000 years [2]. The numbers vary, but it is hypothesized that the population count

was down to between 2,000 and 15,000 individuals. The lice data show more about our history, but that should not concern us in this context.

This population bottleneck was, according to paleoanthropologists not the only one in the history of mankind. For example, some people believe that mankind made a real evolutionary jump forward around 40,000 years ago, when suddenly many “high-tech” tools appear. In a most recent paper on the development of a gene called *microcephalin*, which controls the size of brains (in a scaling fashion, i.e. without changing the relative distribution of parts), the authors [3] argue that the particular haplotype now found most widespread in human populations around the globe seems to indicate that there was strong positive selection for this type in millennia much more recent than what the emergence of the gene itself would allow. In fact, the so-called haplotype D now widespread seems to have effects on neural progenitor cells which in turn contribute to the determination of brain size, cognition and personality. These results were produced by selectively sequencing genomes of many people and comparing their SNP patterns on that particular strand of DNA with each other.

An even later event is marked by the evolution of the *ASPM* gene, also related to brain size control in humans [4]. The authors are able to show that a particular variant of this gene arose 5800 years ago, and has since swept through human populations to a high frequency, with a clear spatial pattern following human colonization of continents. The authors posit that the results show a curious coincidence with the rise of domestication of animals, cities and with written language.

Our next example has to do with the introduction of changes into the environment by humans. A good place to look at those changes is an island continent like Austral-

ia. We all know about the devastating effect that the introduction of European rabbits had on Australia. This is, however, not the only example, so let's discuss another one which gives a bit more an evolutionary perspective. In the 1930ies, the cane toad was introduced to Australia, as a means to control pests in cane plantations. Unfortunately, this little fellow produces a toxin that does not allow its predators to survive. As a result, the population of cane toads rose quickly in Australia, with the usual effects of turning from a friend to a pest. What started to happen was that snakes that used to dine on toads did not survive their cane toad dinner due to those creatures' toxins. So snakes started to litter the expansion path of the cane toad which was spreading like wildfire in certain areas of Australia. A recent study suggested that as many as 49 species of Australian snakes are impacted by the arrival of the toad. In the last 70 years since its introduction, however, the snake species particularly vulnerable to these effects have literally evolved. The populations now have smaller heads so that they cannot swallow larger toads (with a more toxic load), and they grew longer, so that their digestive tract has more time to neutralize the toxins. Both adaptive changes can be observed within a short period of time [7].

A similar antagonism can be observed between diseases and organismal hosts. It also accelerates evolution considerably if there is a bacterium or virus of particular lethality. Hosts need to adjust to the new environment enriched by this parasite. I have in front of me a little book with the nice title "microterrors" which discusses a few of these pests. The first section starts with prion diseases, perhaps long among us, but not recognized until very recently. Prion diseases, however, are not the only new kids on the block, as can be seen from the recent emergence of SARS and the avian flu, and there are a many newly identified infectious diseases just since the fifties of

the 20th century. To name a few: Korean hemorrhagic fever (1951), Dengue fever (1953), Marburg disease (1965), Lassa fever (1969), Lyme disease (1975), Legionnaire's disease (1976), AIDS (1981), hantavirus pulmonary syndrome (1993), etc. [6]

We tend to think that our infectious diseases have always been with us, and thus are not the product of recent evolutionary steps, yet the history of mankind is full of catastrophes brought about by diseases mostly jumping from genetically near organisms, like primates, canines, or bovines. *Yersinia pestis*, the agent of the plague, evolved shortly before the first pandemics among humans whose agent it was [8], and is suspected to be 1,500 to 15,000 years old.

The newest arrival on the virus front is H5N1. As reported in the media, it is able to jump from chickens and other birds to humans. However, it only recently evolved its pathogenicity to mammals [9]. To be more specific, between 1999 and 2002 there was some shuffling and mixing of genes with other bird flu viruses. This resulted in a clear trace of increase in pathogenicity, which could be tested on mice. Mammal immune systems will certainly strike back by developing appropriate defenses, and let us hope it does not require another population bottleneck. But the response will take time, so it turns out our immune system is in an arms race with this virus.

This was the case in the past, too, with influenza viruses. In the middle ages, influenza and chicken pox were biological weapons against aboriginal people from the American continent, simply because they had not gone through what had been experienced by Asian and European populations. Indigenous population from the North Pole to the South Pole fell victim to these and other diseases [10].

At this point we have not discussed the possible response by human medicine, which might take into account the evolutionary pressures exerted on pathogenic organisms by medical treatment. For example, the widely used treatment of bacterial infections with (low) doses of broad-band antibiotics might do more harm than good. It provides a smooth selective pressure for pathogens, to evade their hunters, and to settle into patterns unassailable by state of the art antibiotic treatments. The new antibiotic-resistant bacterial strains, also called hospital bugs in the US and Canada, are already spreading far and wide, without a cure in sight. Evolutionary thinking would let doctors treat the pathogen with very careful and systematic approaches. As a result, a new field is springing up in medicine, evolutionary medicine, which takes the evolutionary potential of pathogens to heart in order to come up with proper treatments that either drive these organisms out of pathogenicity or prohibit their evolution altogether by cutting off all lines [11,12].

In all these cases of accelerated evolution or adaptation, serious population size fluctuations seem to have a big impact. We know that small population sizes allow the quick fixation of certain alleles, but what then provides the source of innovation, if selection is so strong? Variety seems to be generated on a higher level than single bit mutations, e.g. by rearranging and exchanging entire sections of the genomes that provide functional components. Gene duplication comes to mind [13]. Further, the enormous variety of morphological features of dogs seem to come about by changes in the regulatory sites of genes, not so much in the structural protein sites. Just today the dog genome project published its results [14]. Humans share, obviously, virtually all their genes with dogs, the difference seems to lie essentially in the regulatory section of the genome.

It remains to be seen whether the myriad of multicellular organisms can be traced back to mostly regulatory differences. If that should be the case, we need to rethink evolutionary algorithms to include a model of regulation which might give rise to a much more complex genotype-phenotype map than has been used in most approaches in the past.

I think we all can be grateful to live in these interesting times. On the occasion of your retirement I'd like to express my sincere gratitude and my best wishes for you.

References

- [1] D.L. Reed, V.S. Smith, S.L. Hammond, A.R. Rogers, D.H. Clayton, *Genetic Analysis of Lice Supports Direct Contact between Modern and Archaic Humans*, PLoS Biology, Vol 2, 2004, pp. 1972-1983.
- [2] C. Stringer, *Human evolution: Out of Ethiopia*, Nature 423, 2003, 692-695.
- [3] P.D. Evans et al., *Microcephalin, a Gene Regulating Brain Size, Continues to Evolve Adaptively in Humans*, Science, 309, 2005, pp. 1717 - 1720
- [4] N. Mekel-Bobrov et al., *Ongoing Adaptive Evolution of ASPM, a Brain Size Determinant in Homo sapiens*, Science, 309, 2005, 1720 - 1722
- [5] T. Hart, *microterrors - the complete study guide to bacterial, viral and fungal infections that threaten our health*, Firefly Books, 2004, Buffalo, NY
- [6] A. Karlen, *Man and Microbes*, Putnam, 1995, New York
- [7] B.L. Phillips, R. Shine, *Adapting to an invasive species: Toxic cane toads induce morphological change in Australian snakes*, PNAS 101, 2004, 17150 - 17155
- [8] M. Achtman, K. Zurth, G. Morelli, G. Torrea, A. Guiyoule and E. Carniel, *Yersinia pestis*, the cause of plague, is a recently emerged clone of *Yersinia pseudotuberculosis*, PNAS 96, 1999, 14043 - 14048

- [9] H. Chen, et al, *The Evolution of H5N1 influenza viruses in ducks in Southern China*, PNAS, 101, 2004, 10452 – 10457
- [10] J. Diamond, *Guns, Germs and Steel*, Penguin, 1999, New York
- [11] W.R. Trevathan, E.O. Smith, J.J. McKenna (Eds.), *Evolutionary Medicine*, Oxford University Press, 1999, New York
- [12] R. Nesse, G. Williams, *Evolution and Healing*, Weidenfeld and Nicolson, 1995, London
- [13] X. Gu, Z. Zhang and W. Huang, *Rapid evolution of expression and regulatory divergences after yeast gene duplication*, PNAS, 101, 2005, 707 – 712
- [14] K. Lindblad-Toh, *Genome sequence, comparative analysis and haplotype structure of the domestic dogs*, Nature, 438, 2005, 803 – 819

SPOT—A Toolbox for Visionary Ideas

Thomas Bartz-Beielstein

Abstract

We present SPOT, an open-source toolbox for the experimental analysis of optimization algorithms. Evolution strategies (ES) have been severely criticized before they started their triumphal procession as optimization algorithms. Schwefel discussed ideas which appeared to be provocative at the first sight. SPOT provides a modern framework to test these ideas. The extreme programming methodology was used to implement the toolbox. Schwefel's idea that forgetting is as important as learning, which laid the cornerstone for comma-strategies in ES, is analyzed.

1. Introduction

Schwefel proposed innovative ideas that have “been laughed at” first. For example, Beyer and Schwefel (2002) wrote: “Had the $(\mu+1)$ -ES already been laughed at because it makes use not only of the so far best individual to produce an offspring, but also of the second best, even the worst out of μ parents, ...”

However, many of these ideas belong to the standard repertoire of modern optimization practitioners. We present a framework to test new ideas and to derive interesting conclusions: SPOT (sequential parameter optimization toolbox), a toolbox for testing new ideas in simulation and optimization.

Extreme programming is presented as a valuable tool for testing stochastic algorithms. As an example, Schwefel's idea that survival of the best ancestor is not always a good advice is analyzed. SPOT was able to

reproduce results from Schwefel's original experiments.

2. The Sequential Parameter Optimization Toolbox

SPOT has been developed as a toolbox for the experimental analysis of algorithms. It consists of three modules:

1. optimization
2. prediction
3. report and analysis

Each module is extensible and can be used separately. Interfaces are kept as simple as possible.

The optimization module contains an implementation of an evolution strategy as presented in Beyer and Schwefel (2002). Optimization algorithms require the specification of exogenous strategy parameters, e.g. population size in ES, before they can be started. One parameter setting is considered as a design point. The prediction module generates design points that might improve the algorithm's performance. It uses the sequential parameter optimization (SPO) framework (Bartz-Beielstein 2006), which combines classical and modern statistical techniques such as DOE (design of experiments) and DACE (design and analysis of computer experiments). The third module is a collection of report generators and visualization routines for the analysis of the results.

Before we discuss the applicability of SPOT to analyze new ideas in simulation and optimization, the implementation of the ES in the optimization module is presented.

3. Extreme Programming

Because ES are stochastic search algorithms, it is difficult to test their correctness. Extreme programming (XP) tools have been proven to be valuable for our implementation. In contrast to waterfall-development approaches, XP demands tests should be automated and performed continuously. Code does not consist of solid blocks, it is in a liquid state: it can be refactored or even completely thrown away and rewritten. "Everything flows, nothing stands still" (Fig.2).



Figure 2: Heraclitus, Detail of Raffaello Santi's "The School of Athens" (1510), Vatican collection, Rome. For Heraclitus everything is "in flux", as exemplified in his famous aphorism "Everything flows, nothing stands still". Fb78, Wikimedia Commons, lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz by-sa-2.0-de, URL: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/legalcode>

XP comprehends four basic techniques: Coding, testing, listening, and designing (Beck 1999). Features of the software do not exist until they are verified and validated

by tests. We take a glance at testing, because it is a key practice in XP.

Each part of the program is isolated in XP. The goal of the so-called unit testing is to show that these individual parts are correct. Unit tests are pieces of source code written by a programmer to test a small and clearly specified part of software (Hunt and Thomas 2003). Assertions indicate that the source code behaves as expected. The following assertion `assertTrue` tests whether the condition is true. Figure 3 presents a simple example in JAVA. If the condition is not fulfilled (Fig. 4), a program terminates.

```
public void assertTrue (boolean cond){
  if (!cond){
    abort();
  }
}
```

Figure 3: A simple assertion. The program is aborted if the test fails

The concepts discussed so far consider deterministic computer programs—evolution strategies are by definition stochastic search algorithms. The deterministic behaviour of the test in Fig. 4 can only be guaranteed if the value 2 is assigned deterministically to the variable `a`. The test would produce nonsense if `a` is a random variable.

```
int a=2;
xxxx xxxx
xxx xxxx
assertTrue(a == 2);
xxx xxxxxx xx
xxxxxxxxxx x
```

Figure 4: This program terminates if the test fails

Randomness is a fundamental concept for evolution strategies. Randomness complicates testing, because the arguments for

the assertions are not deterministic, their results are not predictable. However, results are certain if the random stream seeds are set deterministically. One can go even one step further: replace ES-functions (methods) with deterministic functions. This concept is referred to as “de-randomization” in the following. De-randomization here is loosely related to techniques in complexity theory, but not to the de-randomized step-size adaptation in ES. De-randomization generates mock objects from random objects. Mock objects have dummy behaviour, they replace domain objects. In JAVA, Mock objects implement an interface (Fig. 5).

```
public interface IMutation {
    public Individual mutate(Individual
x);
}
```

Figure 5: Mock objects implement an interface. They are used in our example to imitate the behaviour of mutation operators

To give an example, we consider the mutation operator in ES. The real mutation operator is implemented as shown in Fig. 6, whereas the mock implementation is shown in Fig. 7. The code can be tested if the ES-mutation operator is initialized with a Mock-Mutation object. The real code uses the Mutation operator.

```
public class Mutation implements IMuta-
tion{
    public Individual mutate(Individual x){
        //the real mutation which uses
        // randomness
        xxxxxxxxxxxx...
        xxxx
        xxxxxxxx
    }
}
```

Figure 6: The real mutation operator can be implemented without any modification. It does not “see” the mock routines

Further ES operators, e.g., recombination or selection, can be implemented and tested in a similar manner. The reader is referred to the SPOT documentation for details. To show that SPOT can be applied to analyze new ideas, we now investigate one idea from “Natural Evolution and Collective Optimum-Seeking”.

```
public class MockMutation implements
IMutation{

    private Individual b;

    public void setMutationResult(Individual
x) {

        // method to control the deterministic

        // behavior during the test

        b=a;

    }

    public Individual mutate(Individual x){
        // the mock mutation which produces
        // deterministic results
        return b;
    }
}
```

Figure 7: The mock mutation operator returns deterministic results

4. Forgetting and Learning: Schwefel's Results

The idea “forgetting is as important as learning” (Schwefel 1992) sounds provocative at the first sight. Why should we skip available information in decision making? Is there any context where forgetting is beneficial?

Schwefel wrote: “ ‘Survival of the fittest’, often taken as Darwin's view, turns out to be

a bad advice. Forgetting, i.e. individual death, and even regression show up to be necessary ingredients of the life game."

He described the (1+1)-ES as a representation of Darwin's 'survival of the fittest' selection principle (Schwefel 1992):

"According to a given selection criterion, a descendant is rejected if its vitality is less than that of its ancestor, the ancestor otherwise. This scheme may be called a (1+1) or a two-membered evolution strategy [...], resembling the "struggle for life" between one ancestor *and* one descendent."

The (1+1)-scheme can be extended to (1+ λ), (μ +1), or even (μ + λ) selection schemes—all these plus schemes use the survival of the best. Schwefel introduced the so-called comma-strategies, the (μ , λ) versions: parents are no longer included in the selection. This ES version requires a birth-surplus. Note, that information concerning the best found position so far (object parameters) is forgotten. However, information concerning "good" internal models (strategy parameters) are inherited. Formulated as a hypothesis, Schwefel's idea reads:

(H) *Survival of the best ancestor is not always a good advice.*

Schwefel used the following experimental setup (experimental design in the jargon of statistics) to test (H): An (1,10)-ES is compared to an (1+10)-ES on the 30-dimensional sphere function $f_1 = \sum x_i^2$. The progress rate was measured as $\log\sqrt{(F_0/F_g)}$, where F_0 denotes the start value, and F_g the current value at generation g . Schwefel demonstrated that the (1,10)-ES performs better than the (1+10)-ES (Fig.8).

He explained this behaviour as follows (Schwefel 1987):

"If an ancestor happens to arrive at a superior position, this might be - by chance - in

spite of a non-optimum step size, or a step size which is not suitable for further generations. The (1+ λ) scheme preserves the unsuitable step size as long as with it a further success is placed. This leads to periods of stagnation. Within a (1, λ) ES the good position, occasionally won with an unsuitable step size, is lost, together with the latter, during the next generation. This short term regression, however, enhances the long term velocity of the whole process by a stronger selection with respect to the suitable step size (strategy parameter). In other words: Forgetting is as important as learning, the former must be seen as a necessary integral part of the latter. One might interpret the fact of an inherent finite life time of living beings (preprogrammed maximum number of cell divisions) as an appropriate measure of nature to overcome the difficulties of undeserved success - or, in a changing environment, of forgetting outdated 'knowledge'."

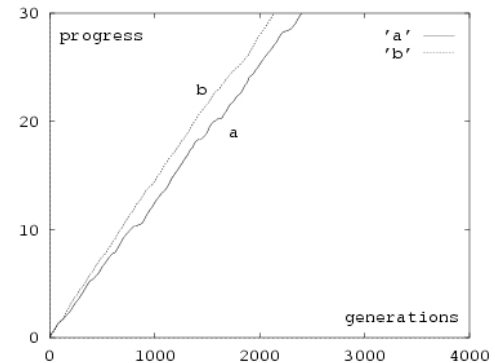


Figure 8: Self learning of one common mutation step size for the sphere function f_1 . a) (1+10) evolution strategy, b) (1,10) evolution strategy. Higher progress [rate] values are better (Schwefel 1987).

5. Forgetting and Learning: SPOT Results

We repeated Schwefel's experiments with SPOT. The results from the previous section could be reproduced (Fig. 9).

Although Schwefel did not specify the exact experimental design, i.e., starting points, initial step sizes, and other exogenous strategy parameters, his results are reproducible—at least qualitatively. The curves depicted in Figs. 8 and 9 look similar even though the exogenous parameters were varied.

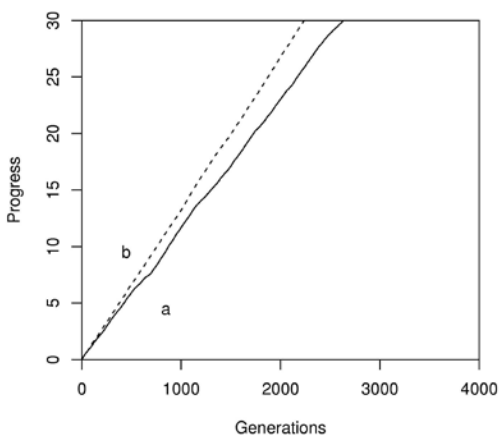


Figure 9: Self learning of one common mutation step size for the sphere function f_1 . a) (1+10) evolution strategy, b) (1,10) evolution strategy. Higher progress rate values are better. This figure was generated with SPOT, whereas Fig. 8 is the original figure presented in Schwefel (1987)

6. Summary

We have introduced SPOT, a toolbox for the experimental analysis of algorithms, to discuss briefly one visionary idea, Schwefel's "forgetting is as important as learning" principle. SPOT provides a set of modern software tools to test randomized search algorithms and to confront visionary ideas with reality.

SPOT can be used to test further visionary ideas, e.g. the idea that "many wrongs do make a right" which is related to recombination. Schwefel (1992) comments: "If more than one, i.e. not only the best of the descendants, become parents of the next generation and recombination by sexual propagation takes place, i.e. mixing of the information gathered by different individuals during the course of evolution, then over-adaptation and consecutive stagnation can be overcome. Now the convergence rate steeply goes up with the population size." SPOT enables interested readers to perform related experiments.

Schwefel propagated many other ideas, some of them have been "re-invented" several decades later, e.g. random search, asynchronous parallelism, self-adaptation, varying population sizes, meta-strategies, the importance of robustness (effectivity), ageing concepts, neighbourhood models, prey-predator models, ... The reader is referred to Schwefel's articles, many of them are freely available on the internet.

The SPOT software and the results discussed in this article are available for other researchers to test the huge potential of evolution strategies.

We close with an anecdote: One of Schwefel's friends, a researcher who enjoys an excellent reputation, stayed as a guest in Dortmund. Inspired by studies in Schwefel's famous library he improved his own optimization algorithm. After the first day had passed, he proudly presented his improved algorithm: it used a modified selection operator that worked in a similar manner as selection in ES. On the next day, his algorithm even worked better, because he modified a second operator in an ES-like manner. On the third day, he reported that taking over the real-valued representation from ES resulted in a significant improvement.

This went on until the end of the week. Finally, he confessed: “Hans-Paul, my algorithm works much better now—but it looks like your ES.”

Literature

Beck, Kent (1999) Extreme Programming Explained: Embrace Change. Addison-Wesley, New York.

Hunt, Andrew and Thomas, David (2003) Pragmatic Unit Testing - in Java with JUnit, The Pragmatic Bookshelf, Lewisville.

Schwefel, Hans-Paul (1981) Numerical Optimization of Computer Models. Wiley, Chichester.

Schwefel, Hans-Paul (1987) Collective phenomena in evolutionary systems. In P. Checkland and I. Kiss, editors, Problems of Constancy and Change - The Complementarity of Systems Approaches to Complexity, Proc. 31st Annual Meeting, volume 2, pages 1025-1033, Int'l Soc. for General System Research, Budapest.

Schwefel, Hans-Paul (1992) Natural evolution and collective optimum seeking. In A. Sydow, editor, Computational Systems Analysis - Topics and Trends, pages 5-14. Elsevier, Amsterdam.

Bartz-Beielstein, Thomas (2006) Experimental Research in Evolutionary Computation, Springer, Heidelberg.

Beyer, Hans-Georg and Schwefel, Hans-Paul (2002) Evolution strategies – A comprehensive introduction, Natural computing 1:3-52.

Wie lautet die geheimnisvolle Schwefel'sche Zahl?

Volker Claus, Universität Stuttgart, FMI, 2.12.2005

1. Ein Maß für Unordnung

Jeder von uns kennt Unordnung. Der vielleicht einfachste Fall von Unordnung liegt vor, wenn eine Reihe von Objekten hintereinander gelegt und dabei in ihrer natürlichen Reihenfolge durcheinander gebracht wird. Zum Beispiel kann man ein Manuskript, welches aus n Seiten besteht, durchmischen und jemandem zum Lesen in dieser neuen Reihenfolge geben. Welche Reihenfolge wird die sein, bei der man beim Lesen am wenigsten versteht? Das kleinste gerade n , für das diese unordentlichste Reihenfolge keine innere Symmetrie mehr aufweist, werden wir - sofern sie existiert - als *Schwefel'sche Zahl* bezeichnen.

Mathematisch nennt man das Umordnen von n Dingen eine "Permutation". Eine *Permutation der Ordnung n* ist also eine Anordnung $(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ der ersten n Zahlen. Zum Beispiel ist $(3, 1, 4, 6, 2, 5)$ eine Permutation der Ordnung 6. Die Menge aller Permutationen der Ordnung n bezeichnet man mit S_n . Diese Menge besitzt genau $n!$ Elemente (mit $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$, genannt " n Fakultät"). Zwei spezielle Permutationen sind die Identität $\text{id} = (1, 2, 3, \dots, n)$ und die Anti-Identität $\text{ant} = (n, n-1, n-2, \dots, 1)$. Zu einer Permutation $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ sei $\text{hz}(\pi) = (n+1-\pi_1, n+1-\pi_2, \dots, n+1-\pi_n)$ die horizontale Spiegelung und $\text{vt}(\pi) = (\pi_n, \pi_{n-1}, \dots, \pi_1)$ die vertikale Spiegelung. Speziell gilt $\text{ant} = \text{hz}(\text{id}) = \text{vt}(\text{id})$; beachten Sie auch $\text{hz}(\text{vt}(\pi)) = \text{vt}(\text{hz}(\pi))$ für alle Permutationen π .

Eine Permutation kann man sich mit einem $n \times n$ -Gitter veranschaulichen (siehe Anhang): Man zeichnet die Permutation in einem Gitter durch Punkte auf (zu jedem x -Wert i ist π_i der zugehörige y -Wert). Wenn man nun alle Punkte (i, π_i) miteinander verbindet, so ergibt sich meist ein undurchsichtiges Gebilde. Wir sagen, dass eine Permutation umso unordentlicher ist, je mehr die Strecken "auf und ab verlaufen", genauer: je größer die Summe der Absolutbeträge aller Steigungen ist. Für eine Permutation π bezeichnen wir diesen Wert mit $C(\pi)$. Die Steigung der Strecke zwischen den Punkten mit x -Werten i und j beträgt $|\pi_j - \pi_i|/|j - i|$. Jedes Punktepaar tritt hierbei zweimal auf: als $((j, \pi_j), (i, \pi_i))$ und als $((i, \pi_i), (j, \pi_j))$. Folglich kann man die Funktion $C: S_n \rightarrow \mathbb{Q}$ ($\mathbb{Q}$ = Menge der rationalen Zahlen) folgendermaßen definieren:

$$C(\pi) = 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n |\pi_j - \pi_i| / (j - i).$$

Hiermit haben wir nun ein Maß für die Unordnung von durcheinander gebrachten Reihenfolgen. Als nächstes werden wir versuchen, die unordentlichste Reihenfolge zu finden, also diejenige Permutation, deren C -Wert maximal ist. Dies wird für jede Zahl n eine andere Permutation sein. Wir definieren also:

$$C_{\max}(n) = \max\{C(\pi) \mid \pi \in S_n\}$$

und nennen eine zugehörige Permutation π mit $C_{\max}(n) = C(\pi)$ eine *maximal unordentliche Permutation* der Ordnung n . Analog führen wir die besonders ordentlichen Permutationen ein, die also einen minimalen C -Wert

$$C_{\min}(n) = \min\{C(\pi) \mid \pi \in S_n\}$$

besitzen. Schließlich interessiert noch der Erwartungswert $C_{\text{erw}}(n)$ des C -Wertes, den eine Permutation besitzen kann (= den durchschnittlichen C -Wert einer Permutation = das arithmetische Mittel der C -Werte aller Permutationen der Ordnung n):

$$\text{Cerw}(n) = \left(\sum_{\pi \in S_n} C(\pi) \right) / n!$$

Man beachte, dass C gegenüber den Operationen hz und vt invariant ist, d.h. für alle Permutationen π gilt: $C(\pi) = C(hz(\pi)) = C(vt(\pi)) = C(hz(vt(\pi)))$.

Für unsere Formeln benötigen wir noch die harmonische Funktion (= Summe der Kehrwerte der ersten n Zahlen): $H(n) = 1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n$. Bekanntlich verhält sich $H(n)$ wie der natürliche Logarithmus $\ln(n)$, denn es gilt: $H(n) - \ln(n) = 0,5772156649\dots + 1/(2n) - O(1/n^2)$. (Diese Konstante 0,5772156649... heißt nach ihrem Entdecker die "Eulersche Zahl".)

2. Resultate

Die Forschungsaufgabe besteht nun darin, die Eigenschaften der Funktion C und die Besonderheiten der maximal unordentlichen Permutationen herauszufinden. Zunächst ermitteln wir hierfür alle die Permutationen, die den geringsten C -Wert $C_{\min}(n)$ besitzen, wir geben den Erwartungswert $\text{Cerw}(n)$ an und wir schätzen $C_{\max}$ möglichst scharf nach oben ab. Diese Resultate lauten, siehe [1] und [2] (*div* ist die ganzzahlige Division):

$$\begin{aligned} C_{\min}(n) &= n \cdot (n-1), \text{ dieser Wert wird nur von } \underline{id} \text{ und } \underline{ant} \text{ angenommen,} \\ \text{Cerw}(n) &= 2 \cdot (n+1) \cdot (n \cdot H(n-1) - n + 1) / 3, \\ C_{\max}(n) &< (2 \cdot n^2 / 3 - 1) \cdot H(n \text{ div } 2) + 3 \cdot n^2. \end{aligned}$$

Um die maximal unordentlichen Permutationen zu finden, berechnen wir für alle Permutationen π der Ordnung n den Wert $C(\pi)$. Leider kann man dies zurzeit mit normalen Rechnern nur bis $n = 14$, mit besonders schnellen Rechnern höchstens bis $n = 18$ durchführen. Im Jahre 1990, als die Berechnungen in [1] erfolgten, wurden die ersten 12 Werte auf diese Weise ermittelt und weitere Werte bis $n = 21$ mit Hilfe von Heuristiken, die recht schlecht waren.

Im Jahre 2004 kam endlich Prof. Schwefel ins Spiel [3]: Wir verwendeten Heuristiken, die sich an seinen evolutionären Strategien orientierten und konnten/mussten hiermit alle bisher berechneten Werte ab $n = 20$ nach oben korrigieren. Wegen der Rechenzeiten interessierten uns zunächst nur möglichst große C -Werte bis $n = 25$. Die Zahl 25 lag noch in dem Bereich, wo brauchbare Ergebnisse mit vernünftigem Rechenaufwand von einigen Tagen auf einem Kleinrechner anfielen; ansonsten "fiel sie vom Himmel" und ist nur psychologisch zu erklären. Wir hätten auch $n = 23$ oder $n = 26$ nehmen können. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse aus dem Jahre 2004 auf der Suche nach Permutationen mit möglichst großem C -Wert bis $n = 25$.

Studieren Sie bitte zunächst die Permutationen für geradzahlige Werte von n . Sicher stellen Sie sofort fest, dass hier stets $\pi = hz(vt(\pi))$ gilt, d.h., $\pi = (n+1-\pi_n, n+1-\pi_{n-1}, \dots, n+1-\pi_1)$. Eine Permutation mit dieser Eigenschaft nennen wir "**invers symmetrisch**" oder punktsymmetrisch. Alle unordentlichsten Permutationen in der Tabelle sind für gerade Ordnung also invers symmetrisch aufgebaut. Bei den ungeradzahligen Werten von n ist dies ebenfalls oft der Fall, jedoch scheint es für die größte Unordnung nicht immer sinnvoll zu sein, dass die Zahl $(n+1)/2$ genau in der Mitte liegt, weshalb die entdeckte Symmetrie-Eigenschaft nicht für alle ungeraden Ordnungen (nämlich nicht für $n = 3, 5, 7, 13, 15, 17$ und 19) exakt zutrifft.

Im Prinzip glaubten wir, ein Geheimnis besonderer Unordnung aufgespürt zu haben, nämlich die innere inverse Symmetrie. So etwas ist auch aus anderweitigen Bereichen bekannt, denn der Begriff der Unordnung entspricht dem der Entropie. Höchste Entropie hat oft etwas mit Gleichverteilungen und maximalen Mittelwerten zu tun. Wir suchten nun also nach plausiblen Erklärungen dafür, dass eine maximale Unordnung für gerades n die Gleichung $\pi = hz(vt(\pi))$ erfüllen muss und im ungeraden Fall nur wenig davon abweichen kann. Es folgte eine Zeit der fruchtlosen Suche nach Beweisen für diese oder andere Vermutungen.

n	Cmax(n)	zugehörige Permutationen
2	2.0000000000	1 2
3	7.0000000000	2 3 1
4	16.6666666667	2 4 1 3
5	29.1666666667	3 2 5 1 4 und 3 1 5 2 4
6	47.4000000000	3 5 1 6 2 4
7	68.4333333333	5 2 6 1 7 3 4 und 5 3 6 1 7 2 4
8	95.8857142857	5 3 7 1 8 2 6 4
9	126.9380952381	4 7 2 9 5 1 8 3 6
10	163.9365079365	6 3 9 1 7 4 10 2 8 5
11	205.4634920635	5 8 3 10 1 6 11 2 9 4 7
12	253.0659451659	6 9 3 11 1 8 5 12 2 10 4 7
13	305.1803030303	8 5 11 2 10 4 13 1 7 12 3 9 6
14	363.5144522145	7 10 3 13 4 9 1 14 6 11 2 12 5 8
15	427.2018925519	7 11 4 14 2 10 6 15 1 8 13 3 12 5 9
16	496.6970140970	9 6 13 3 15 5 10 1 16 7 12 2 14 4 11 8
17	571.9961982462	8 12 4 15 7 11 1 17 5 13 2 16 9 3 14 6 10 und 8 12 4 15 7 11 2 17 5 13 1 16 9 3 14 6 10
18	653.2837642749	9 13 4 16 7 11 2 18 5 14 1 17 8 12 3 15 6 10
19	740.4151786122	9 14 4 17 7 12 2 19 5 15 10 1 18 8 13 3 16 6 11
20	833.3792963143	10 14 5 17 3 12 8 19 1 15 6 20 2 13 9 18 4 16 7 11
21	933.1449436872	12 7 16 4 19 9 14 2 21 5 11 17 1 20 8 13 3 18 6 15 10
22	1037.9245044086	10 15 5 19 12 3 17 7 21 1 14 9 22 2 16 6 20 11 4 18 8 13
23	1150.4908546905	13 8 19 4 15 10 21 2 17 6 23 12 1 18 7 22 3 14 9 20 5 16 11
24	1267.9789712777	14 9 19 5 12 22 2 17 7 24 4 15 10 21 1 18 8 23 3 13 20 6 16 11
25	1392.8368266229	12 17 7 21 4 15 10 23 2 18 6 25 13 1 20 8 24 3 16 11 22 5 19 9 14

Tabelle 1: Maximale C-Werte (bis $n = 14$ durch Testen aller Permutationen bewiesen, ab dann mit speziellen Heuristiken à la Schwefel ermittelt). Da mit π auch $hz(\pi)$, $vt(\pi)$ und $hz(vt(\pi))$ maximal unordentlich sind, wurden hier zwei Permutationen nur dann aufgeführt, wenn diese nicht durch hz und vt auseinander hervorgehen. Dass zwei in diesem Sinne wesentlich verschiedene Permutationen mit dem maximalen C-Wert auftreten, wurde bisher nur in den drei Fällen $n = 3, 5$ und 17 beobachtet.

3. Unwillkommene Resultate und ein Hinweis zur Zahl 42

Um der inversen Symmetrie endgültig zum Durchbruch zu verhelfen, untersuchten wir die Zahlen 26 bis 32 experimentell. Hier halfen nur noch Schwefel'sche Methoden; denn auch wenn man Annahmen über die Zahlen macht, die bei einer unordentlichsten Permutation vorne, hinten oder in der Mitte stehen müssen, sowie berücksichtigt, dass nur ein- oder zweimal die Steigungen benachbarter Punkte nicht alternierend positiv und negativ sind, verbleiben für $n = 26$ noch mehr als 10^{13} Möglichkeiten (von $26! \approx 10^{26}$ Permutationen), was heutzutage zwar durchgerechnet werden kann, aber nur mit aufwändiger Vorbereitung, für die niemand Zeit aufbringen wollte. Und all dieser Aufwand würde schon für $n=27$ oder 28 nicht mehr belohnt werden. Also wurde evolutionär gerechnet, und zu unserem Erstaunen lieferten die an unser Problem angepassten Schwefel'schen Methoden "nur" die Werte der Tabelle 2.

Für $n = 30$ war die Welt noch in Ordnung, aber es gelang in den anderen 6 Fällen bisher nicht, eine symmetrische maximale Unordnung zu finden. Besonders ärgerlich war der Fall $n = 32$, weil hier eine invers symmetrische Permutation mit dem C-Wert 2445,067139 aufgespürt wurde (Jubel im Saal), die einige Wochen später aber von der Permutation aus der Tabelle 2 ganz knapp überholt wurde (Trauer im Saal). Weitere Versuche ergaben auch für die geraden Zahlen $n = 34, 36, 40$ und 42 invers symmetrische maximale Permutationen (bei $n = 38$ trat

dasselbe Jubel-Trauer-Phänomen wie bei 32 auf), doch nach heutiger Kenntnis scheint es ab 43 mit der schönen Symmetrie zu Ende zu sein.

Dies lässt die Zahl 42 (siehe das Buch "PerAnhalter durch die Galaxis" von Douglas Adams) in einem völlig neuen Licht erscheinen: Wenn 42 die letzte Zahl mit inverser Symmetrie ist, dann hat der in jenem Buch genannte Rechner Deep Thought in der Tat 7,5 Millionen Jahre an diesem Problem rechnen müssen (zugleich wissen wir nun endlich, welche Frage dem Rechner gestellt worden war, nämlich die Frage nach dem Ende der Ordnung im Chaos). Betrachten wir das Ergebnis für $n = 26$. Die Summe der ersten und letzten Zahl liefert zwar $n+1 = 27$, die Summe der zweiten und vorletzten Zahl ergibt jedoch 28. Aber zurzeit ist nichts endgültig bewiesen und wir können hoffen, dass es sich nur um eine suboptimale Lösung handelt. Doch das würde bedeuten, dass die Schwefel'schen Heuristiken noch unzureichend wären, was ebenfalls schwer vorstellbar ist. Insbesondere die noch stärkere Asymmetrie bei der Zahl $n = 27$ ($11 + 19 = 30$ anstelle der gewünschten Zahl $n+1=28$) ließen uns immer längere Computerprogramme durchrechnen, um die Symmetrie irgendwie zu retten - bisher leider vergeblich und die obige Tabelle 2 wankte nicht.

n	Cmax(n)	zugehörige Permutation
26	1523.1536980005	12 18 7 22 4 16 11 24 2 19 8 26 5 14 20 1 25 9 17 3 23 13 6 21 10 15
27	1660.5502630071	13 19 6 23 10 16 2 26 8 20 4 24 12 17 1 27 7 21 14 3 25 9 18 5 22 11 15
28	1804.2311050432	13 19 7 23 15 4 25 9 18 2 27 11 22 5 14 28 1 20 8 26 3 17 12 24 6 21 10 16
29	1954.4711219531	14 20 8 24 5 17 11 27 3 23 15 7 29 1 19 12 26 4 21 9 28 2 18 13 25 6 22 10 16
30	2111.5216988796	14 21 7 25 12 18 4 28 9 23 2 16 30 5 20 11 26 1 15 29 8 22 3 27 13 19 6 24 10 17
31	2274.8652215901	15 21 7 26 12 18 4 29 9 23 2 27 14 19 5 31 10 24 1 16 30 8 22 3 28 13 20 6 25 11 17
32	2445.0824492224	15 21 8 26 17 5 29 11 23 2 31 13 19 4 28 9 22 1 32 16 6 25 10 30 3 20 14 27 7 24 12 18

Tabelle 2: Maximale C-Werte für 26 bis 32 (Stand: Oktober 2005). Nur für $n = 30$ ist die zugehörige Permutation invers symmetrisch. Weitere evolutionär berechnete und als maximal vermutete Permutationen liegen mittlerweile bis $n = 45$ vor.

Eine Hoffnung bleibt: Eventuell bilden ab $n = 26$ die optimalen Lösungen derart isolierte dünne Maxima im Sinne einer Fitnesslandschaft, dass sich ein evolutionärer Algorithmus nur mit extrem kleiner Wahrscheinlichkeit in sie verirren kann. Überzeugender klingt jedoch das Argument, dass es eigentlich keinen vernünftigen Grund dafür gibt, warum besonders unordentliche Permutationen uns die Freude machen sollten, eine innere Symmetrie aufzuweisen. Somit bleibt uns für die nächsten Monate und Jahre nichts anderes, als in unserer Freizeit geduldig den Fall $n = 26$ mit speziellen verfeinerten Methoden und überdurchschnittlicher Zähigkeit zu analysieren, um Vermutungen durch Gewissheiten zu ersetzen.

4. Die Schwefel'sche Zahl

Sollten die Resultate der Heuristiken sich aber als zutreffend erweisen, dann können wir die Zahl 26 als die **Schwefel'sche Zahl** in die Theorie der Permutationen einführen. Denn genau hier beginnt die mathematisch dominierte Welt durch evolutionäre Techniken nach H.-P. Schwefel abgelöst zu werden.

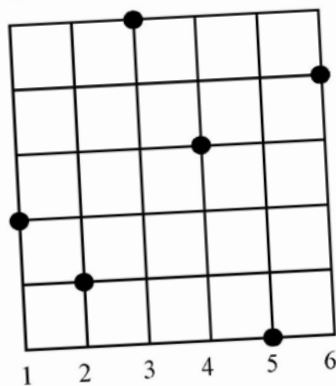
Finden wir dagegen doch noch ein extrem isoliert gelegenes invers symmetrisches Maximum für $n = 26$, so wird es bald einen Nachfolgeartikel zu dieser vorgelegten kurzen Abhandlung geben, in der zugleich die Schwefel'sche Zahl neu berechnet wird. Bis dahin gilt aber unsere Behauptung: **Die geheimnisvolle Schwefel'sche Zahl lautet 26.**

Literatur:

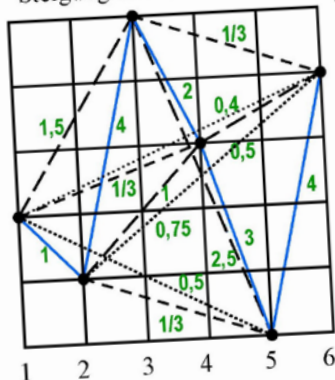
- [1] Claus, Volker, "Complexity measures on permutations", Informatik-Festschrift zum 60. Geburtstag von G. Hotz, Teubner-Verlag, Stuttgart 1992, S. 81-94
- [2] Kohler, Michael, "Komplexitätsmaße für Permutationen", Studienarbeit 1368 der Fakultät Informatik, Universität Stuttgart, 1994
- [3] Schwefel, Hans-Paul, sehr sehr viele Veröffentlichungen 1965-2005

Anhang: Geometrische Veranschaulichung der Permutationen π in einem Gitter an einem Beispiel; $C(\pi)$ ist die Summe der Absolutbeträge aller Steigungen zwischen je zwei Punkten.

Permutation 3 2 6 4 1 5



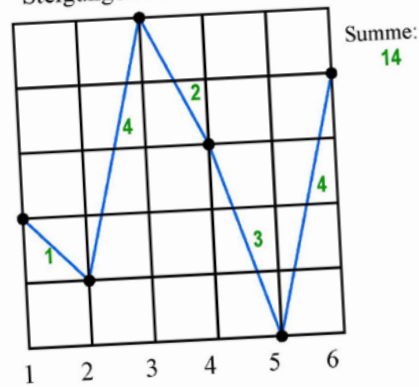
Permutation 3 2 6 4 1 5
Steigungen aller Punkte



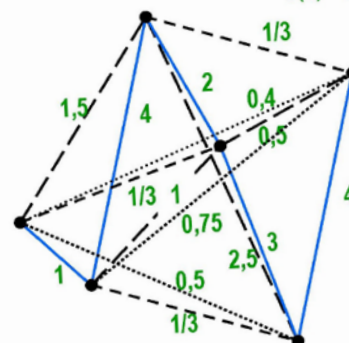
Summe:
14
+ 4,5
+ 1
+ 1,25
+ 0,4
+ ...
= 21,15

Noch mit 2
multiplizieren,
ergibt 42,30.

Permutation 3 2 6 4 1 5
Steigungen benachbarter Punkte



Permutation $\pi = 3 2 6 4 1 5$
 $C(\pi) = 42,30$



Investigating Predator-Prey Algorithms for Multi-Objective Optimization

Kalyanmoy Deb and Udaya Bhaskara Rao N
Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL)
Department of Mechanical Engineering
Indian Institute of Technology Kanpur
Kanpur, PIN 208016, India
{deb,udaya}@iitk.ac.in
<http://www.iitk.ac.in/kangal/>

ABSTRACT

This paper describes the GA model using a new selection method inspired by predator-prey interactions. In this model, prey, which represents the decision space vector, will be placed on the vertices of a two-dimensional lattice. Predator, which deals with objective functions, will also be placed on the same lattice randomly. Basic algorithm proposed by Professor Hans-Paul Schwefel and reported in Laumanns et al. (1998) and the modifications on it are discussed here. Thereafter, we propose a number of modifications to the basic model and apply the final algorithm to standard two and three-objective optimization problems. The predator and prey approach is also used to find preferred Pareto-optimal solutions (preys) corresponding to user-supplied reference points (treated as predators). This study should encourage further use of predator-prey approaches to multi-objective optimization.

Keywords: Evolutionary algorithms; predator-prey algorithm; Evolutionary multi-objective optimization, reference point approach.

1. INTRODUCTION:

Over the past decade, evolutionary algorithms have been extensively used and applied to solve multi-objective optimization problems [1,2]. The main advantage of the evolutionary multi-objective optimization (EMO) procedures is that they can be used to find a set of Pareto-optimal solutions, instead of a single solution. In the presence of multiple trade-off solutions, (i) decision-makers and designers can make a better decision of choosing a solution [1,3] and (ii) designers can understand their problems better by deciphering salient inter-relationships among variables and objectives [4,5]. EMO methodologies are also being used for solving other kinds of optimization problems (such as constrained handling, reducing bloating in a genetic programming, and introducing adequate diversity thorough the use of an additional objective) [6,7].

Most EMO algorithms used a standard population-based EA with following three operators: (i) emphasizing non-dominated solutions for achieving convergence towards

the Pareto-optimal front, (ii) emphasizing less-crowded solutions for achieving a well-diverse set of solutions, and (iii) an elite-preservation operator for making a faster and reliable convergence. Some of the popular EMO methodologies are elitist non-dominated sorting GA or NSGA-II [8], strength Pareto EA or SPEA2 [9] and others. Some of these algorithms are also available in commercial softwares (such as ISIGHT from Engeneous Inc. and mode FRONTIER from ESTICHO). Moreover, freely downloadable softwares are also available from various sites [10,11].

Although an extension of a standard EA procedure for multi-objective optimization is natural, Prof. Hans-Paul Schwefel of University of Dortmund, Germany had a slightly different and more natural concept in mind. In 1998, he and his coauthors proposed a predator-prey model for finding multiple Pareto-optimal solutions in a unique way [12]. In their proposed predator-prey algorithm (which we refer here as the 'original model'), a new selection method was used which was inspired by predator-prey interactions. Here each prey represents one decision space vector, and each predator deals with one objective function. The algorithm imitates the natural phenomenon that a predator swallows the weakest prey, meaning that a predator eliminates the worst prey in its neighborhood, which corresponds to the worst value of the objective in which the predator specializes. To implement such an idea, they proposed a toroidal grid (shown in Figure 1), in which a prey is randomly initialized in every node and one (or more) predator per objective was placed randomly on nodes. Thereafter, every predator considers all preys (solutions) in the neighborhood and deletes the prey corresponding to the worst objective value. Then, a random prey from the neighborhood is chosen and mutated. The mutated child solution is then placed to the deleted prey. The predator then takes a random walk to one of its neighboring nodes. This procedure is continued for all predators one at a time. By the way of deleting worst solutions with respect to all objectives, the algorithm emphasizes the best solutions and preliminary simulation results have shown to take the initial random population towards the Pareto-optimal front [12].

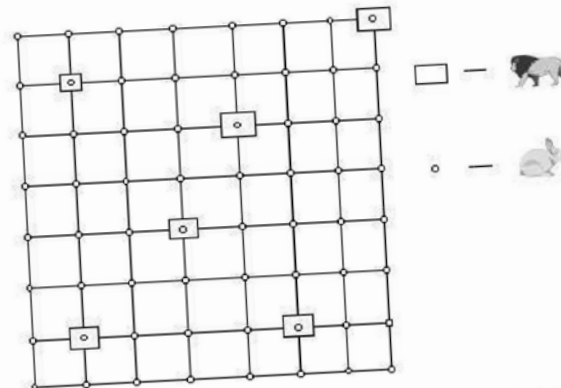


Figure 1: Placement of predators and preys on a toroidal grid (original model).

In this paper, we investigate the potential of such a predator-prey model in multi-objective optimization problem-solving by first outlining the reported extensions of the original model and then suggesting a number of new methodologies for an efficient solution of multi-objective optimization problems.

2. PAST METHODOLOGIES:

In the following, we describe the original model of Laumanns et al. [12] in a step-by-step manner:

- Step 1:* Initialize set of preys randomly between the variable limits.
- Step 2:* Place these preys on the vertices of undirected connected graph.
- Step 3:* Place predators randomly on the vertices of the graph.
- Step 4:* Assign each predator with one objective function in a manner so that each objective is assigned to at least one predator.
- Step 5:* Evaluate preys around each predator and select the worst prey. (For example, in a minimization problem, the worst prey will be the one which is having the largest value of the objective function which was assigned to that predator.)
- Step 6:* The selected preys will be swallowed by the predators, meaning that the worst prey will be deleted and will be replaced by an offspring.
- Step 7:* Create an offspring by mutating a randomly picked prey around the worst prey which was chosen by the predator.
- Step 8:* Then predators will now take a random walk to the vertex which is a neighbor of the current position of the predator.
- Step 9:* This completes one generation of the predator-prey algorithm. Repeat Steps 5 to 8 for the next generation.

With more generations, the prey population is hoped to reach near the true Pareto-optimal front. To illustrate the efficiency of this algorithm, we code the procedure and apply it to solve the following two-objective test problem:

Test-Problem 1 (TP1):

Minimize $f_1(X) = x_1^2$,
 Minimize $f_2(X) = (1+x_2^2)/x_1^2$,
 Subject to $\sqrt{0.1} \leq x_1 \leq 1$, $0 \leq x_2 \leq \sqrt{5}$.

Figure 2 shows the final population of 50 preys obtained after 200 generations. In this approach, one predator per objective function is used, thereby having only 2 predators in the entire grid of size 10 X 50. As can be seen from the figure, the convergence to the true Pareto-optimal front is not good.

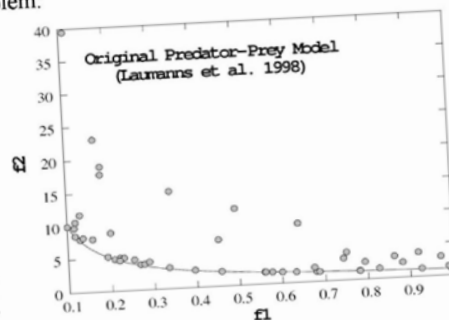


Figure 2: Original Predator-Prey model with one predator per objective function.

Next, we use 10 predators per objective, thereby using a total of 20 predators in the grid. Figure 3 shows the final population of 50 preys obtained after 200 generations. The convergence was still not good, because as the number of predators is increased, some well-converged preys may be deleted if placed in the neighborhood of some other predators.

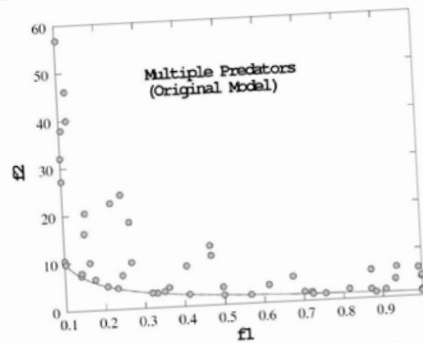


Figure 3: Original Predator-Prey model with 10 predators per objective.

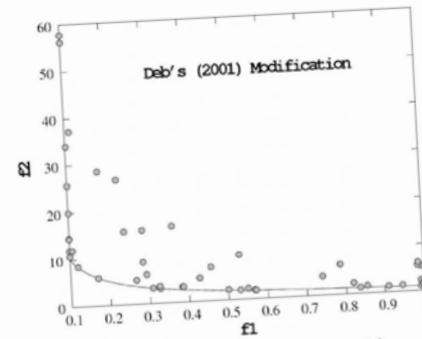


Figure 4: Modifications suggested in Deb (2001) with predators working with weighted sum of objectives. 10 predators per objective are chosen.

The first author suggested some modifications to the original algorithm in his 2001 book [1].

1. Predators assigned with weight vectors, instead of individual objective function. These predators will deal with the weighted sum of objective function values.
2. Offspring will be created by mutating the best prey around the worst prey, instead of random one.
3. Predator will move to the best prey position among its neighboring preys, instead of random move.

By these modifications the algorithm improved in such a manner that the convergence rate was good, but still elite-preservation was not introduced. Because of this as more predators are considered, it is likely that the some converged points may be taken out by other predators. Figure 4 shows the final population of 50 preys after 200 generations. 21 predators with weight vectors uniformly distributed between $[0,1]$ to $[1,0]$ are used.

Li [13] revised the original predator-prey algorithm and suggested that preys and predators be placed in the blocks of lattice (Figure 5), but need not completely fill the whole toroidal grid. All preys and predators will take random walks to their neighboring blocks which are empty. Predators will move faster than preys, meaning that the predator will move multiple times before a prey is moved. If the predator moves on to a prey position, that prey will be killed. All preys that get a chance to move will create offsprings. Since the preys are moved in a random fashion, the rate of convergence was found to be poor and the procedure took many iterations to come close to the Pareto-

optimal frontier. Another study [14] also used this idea to evolve neural network for a blast furnace modeling problem.

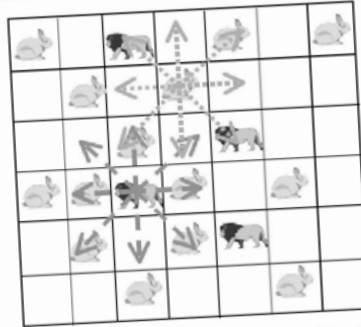


Figure 5: Predator-prey model proposed by Li [13].

3. PROPOSED MODIFICATIONS:

The present study modifies the original model systematically by introducing the following features one at a time:

1. Elite-preservation.
2. Recombination operator.
3. Diversity preservation mechanism.

We discuss the effect of each of the above features in the following subsections.

3.1 Introducing Elite-Preservation Operator:

Elite-preservation means preserving good solutions. Elitism can be implemented by comparing worst preys with newly created offspring. If only an offspring is found to be better than the worst prey, the worst prey will be replaced. The evaluation will be based on the *domination* criteria. If the offspring *weakly* dominates (best in at least one objective function) all existing preys, thereby meaning that no prey in the existing population strongly dominates (best in all objective functions) the offspring, then that offspring is fit for that population. If the created offspring is fit, then the worst prey will be replaced by the offspring. When the offspring is not found to be fit, the worst prey will remain in the population and the predator will take a random walk. By this way, we can introduce elitism. The random move of the predator among the entire vertices helps in maintaining the diversity somewhat. This situation happens only when the neighboring worst prey is better than the created offspring, thereby indicating that the region covered by this predator is good and a move by the predator may help find a region which may require finding better solutions. After creating the offspring, predator moves to the worst prey position instead of moving to the best prey position, as suggested by Deb [1]. This change is found to produce better results.

Figure 6 shows 50 preys obtained after 200 generations of this proposed elite-preservation procedure. Once again 21 predators with weight vectors uniformly

distributed between $[0,1]$ to $[1,0]$ are used. The figure shows that a much better converged set of solutions is obtained by the modified procedure.

3.2 Faster Convergence Using a Recombination Operation:

Crossover and mutation are introduced into the above modified predator-prey algorithm. Two offspring are created by applying a crossover between the best and the second best solutions around the worst prey. Thereafter, a mutation operator is applied on one of the selected offsprings at random. Figure 7 shows 50 preys after 200 generations. 21 predators are used with weighted sum of objectives as their evaluation measures. Although the convergence is good, a proper distribution is missing.

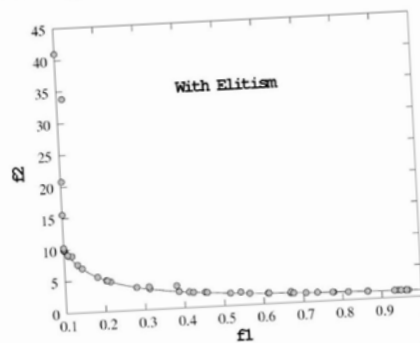


Figure 6: Elite-preservation is introduced.

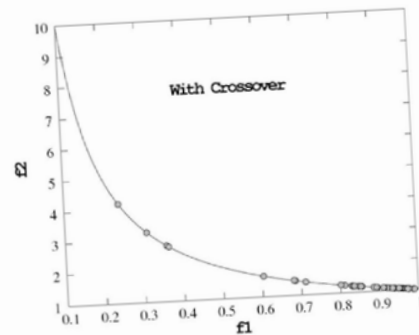


Figure 7: Crossover operation among preys is introduced.

If the newly created offspring is not found to be fit compared to the worst prey, we recreate a new offspring and again compare it with the worst prey. This process is continued at most 10 times. We do not show the results of this study, but this process is found to increase the convergence rate of the proposed algorithm. However, this extension is added in the procedure discussed in the next subsection.

3.3 Ensuring Adequate Distribution:

In this final modification, each prey is assumed to have an influencing region which is defined by a hyper-cube around it on the objective space. The offspring is not accepted if it is created within the influencing region of any existing prey. This is similar to the epsilon-dominance concept used elsewhere [15]. This explicit diversity-preserving procedure forces a good distribution of preys to exist on the Pareto-optimal front. Although the procedure demands the user to suggest the window sizes for the influencing box, in practice they are desired and can be set according to the required precision in the objective values. Figure 8 shows the final population with identical parameter setting as before. The window sizes used in this simulation are 0.01 for both first and second objectives. The figure clearly shows the efficacy of the combined proposed procedure.

Both the convergence to the true Pareto-optimal front and the obtained diversity are better than any of the procedures discussed before.

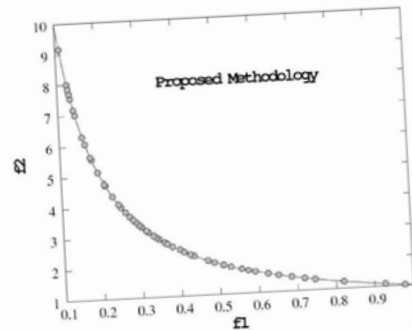


Figure 8: Proposed methodology with combined crossover, elite-preservation and diversity preservation.

3.4 Proposed Predator-Prey Algorithm:

Thus the combined predator-prey procedure has the following step-by-step procedure:

- Step 1:* Initialize set of preys randomly between the variable limits.
- Step 2:* Place these preys on the vertices of undirected connected graph.
- Step 3:* Place predators randomly on the vertices of the graph.
- Step 4:* Assign each predator with a distinct weighted sum of objectives uniformly created within $[0,1] \times [0,1] \times \dots \times [0,1]$, so that the sum of weights is one.
- Step 5:* Evaluate preys around each predator and select the worst prey.
- Step 6:* Create two offspring by applying a crossover operation between the first and the second best preys in the neighborhood of the worst prey. Randomly choose one of the two offspring and mutate it to create the child solution.
- Step 7:* Child acceptance criteria:
 - Step 7a:* If the child solution weakly dominates all existing preys or child solution is non-dominated with all existing preys, child becomes a candidate to replace the worst prey. If the child is not within the influencing region of any existing prey, it replaces the worst prey. Predator also moves to the position of the worst prey.
 - Step 7b:* Else if the child solution is dominated by any existing prey or the child is within the influencing region of any existing prey, the child is not accepted and a new child is created by Step 6. The creation of new child and its acceptance test are continued a maximum of 10 iterations, after which the worst prey is retained. In this case, predator takes a random walk to any position in the grid.
- Step 8:* This completes one generation of the predator-prey algorithm. Repeat Steps 5 to 7 for the next generation.

The salient features of the proposed algorithms are as follows:

1. A weighted-sum of objectives per predator is used as a criterion for deleting the worst prey.
2. A crossover between two good solutions and a subsequent mutation are used to create a child solution.
3. The elite preservation and diversity maintenance are ensured by accepting a newly created child only when it weakly dominates all existing preys and it is not within a predefined region from existing preys.

4. MODIFIED ALGORITHM TESTED ON STANDARD TEST PROBLEMS:

First, we apply the modified procedure to two-objective ZDT test problems [1] and later apply to a three-objective DTLZ problem [16]. In all ZDT problems, we have used 21 predators with weighted-sum of objectives uniformly placed within $[0,1]$ and $[1,0]$. 100 preys and a window size of 0.01 in each objective are always used. In ZDT1 to ZDT4 problems, we have run the procedure till 1,000 generations but for ZDT6 problem we run it till 2,500 generations. Figures 9 till 13 show the final population on the 10-dimensional ZDT problems.

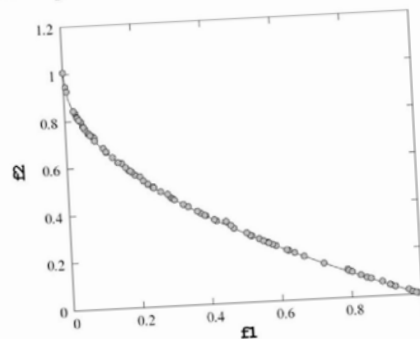


Figure 9: Proposed methodology on 10-variable ZDT1.

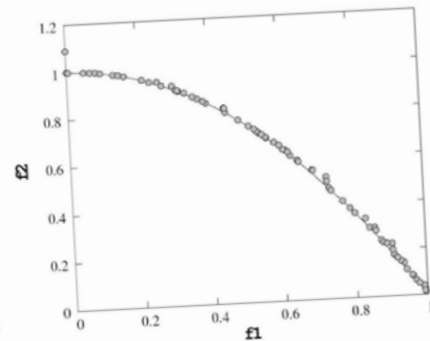


Figure 10: Proposed methodology on 10-variable ZDT2.

The proposed methodology finds almost a uniformly distributed set of solutions for ZDT1 and ZDT2. The convexity of the Pareto-optimal front does not seem to matter to the proposed procedure. Similarly, the disconnectedness of Pareto-optimal frontiers in ZDT3 does not also cause any difficulty to the proposed procedure. However, as can be seen from Figure 12, the approach is not able to overcome all the locally Pareto-optimal fronts present in ZDT4. The procedure gets stuck to one of the locally-optimal front. ZDT6 introduces non-uniformity in solutions along the frontier with more dense solutions towards larger f_1 values. Figure 13 shows that the proposed procedure finds a non-uniform distribution of solutions on the Pareto-optimal front.

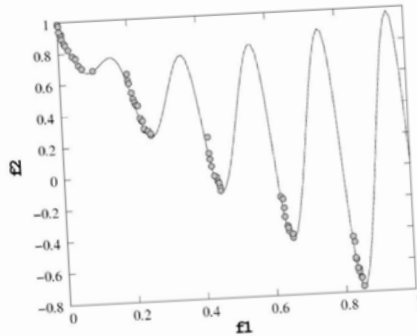


Figure 11: Proposed methodology on 10-variable ZDT3.

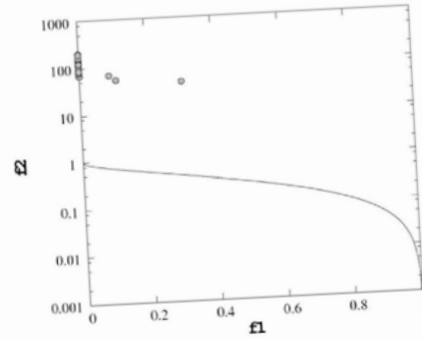


Figure 12: Proposed methodology on 10-variable ZDT4.

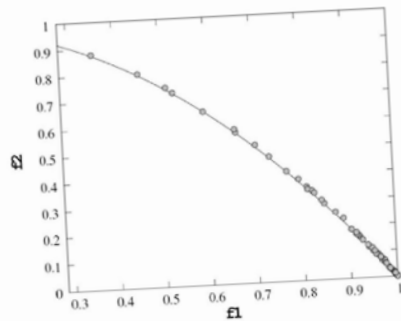


Figure 13: Proposed methodology on 10-variable ZDT6.

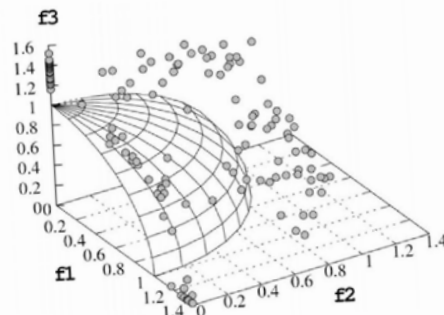


Figure 14: Proposed methodology on 12-variable DTLZ2.

Figure 14 shows the final population on DTLZ2 with 12 variables. Here, 150 preys and 15 predators are used and the procedure is run for 1,000 generations. It can be observed that the population after 1,000 generations did not quite reach the true Pareto-optimal front. It is also observed that with an increase in generations, the convergence towards the Pareto-optimal front is slow. This aspect needs further investigation. However, the maintenance of a good distribution of solutions is a hallmark of the proposed procedure.

5. FINDING PREFERRED OPTIMAL SOLUTIONS:

The predator-prey procedure may be better utilized for a different and more pragmatic task in multi-objective problem solving. Instead of finding the complete Pareto-optimal set, a decision-maker may be interested in finding a solution which is on the Pareto-optimal and is closer to a preferred reference objective vector. In such cases, we can use the proposed predator-prey methodology in a unique manner. Let us consider a general case in which preferred Pareto-optimal solutions are to be found for a set of reference

points. The user supplies these reference points in the objective space. For this task, we modify the proposed predator-prey approach in the following manner:

1. Each predator is assigned to one of the preferred points. Multiple predator assignment to a single reference point is also allowed and is recommended.
2. All neighboring preys are divided into two classes: (i) one which dominates the predator and (ii) the remaining prey solutions.
3. If the second set is empty, we declare the prey having the smallest Euclidean distance as the worst prey. Otherwise, we find the prey in the second set having largest Euclidean distance and declare it as the worst prey.
4. The creation of offspring is identical to the proposed methodology. However, if only the created offspring is within a critical distance from any reference point, this offspring can be considered as a candidate for inclusion in the grid. If the offspring is not within the critical distance of any reference point, it is simply discarded.

With these modifications, we apply the procedure to a number of scenarios on the two-objective five-variable ZDT1 test problem. All these results are taken for 300 generations. The number of preys is chosen in proportion to the number of reference points (25 times the number of reference points). In all cases, 10 predators are considered for each reference point.

Figure 15 to 18 show the final population of preys for different scenarios. In each case, the predators (or reference points) are shown using a red '+'. It is interesting to observe how the proposed methodology is able to find a concentrated set of Pareto-optimal solutions near each of the reference points. It is also interesting to note that the procedure works equally well whether the reference point lies inside the feasible objective space or not.

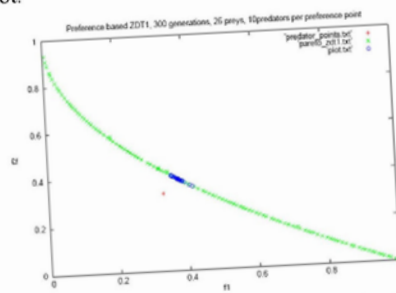


Figure 15: Preferred solutions with an infeasible reference point.

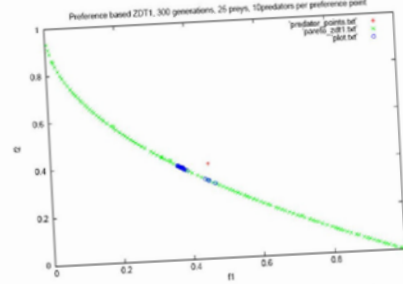


Figure 16: Preferred solutions with a feasible reference point.

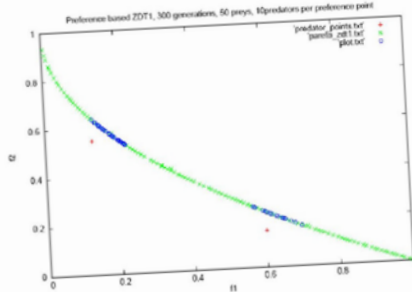


Figure 17: Preferred solutions with two infeasible reference points.

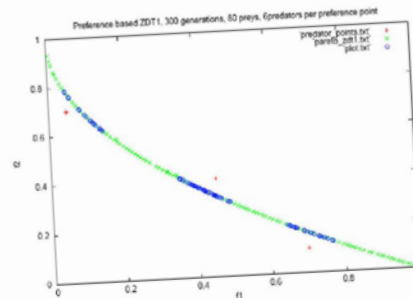


Figure 18: Preferred solutions with two infeasible and one feasible reference points.

6. CONCLUSIONS:

In this paper, we have revisited the predator-prey algorithm originally proposed by a Prof. Hans-Paul Schwefel and his coauthors at the Collaborative Research Laboratory at the University of Dortmund, Germany. The idea of different predators hunting for particular preys based on a different objective function (or goal) was well thought as a candidate multi-objective optimization tool. However, the simplistic implementation was reported to be slow in the past by some researchers. In this paper, we have made a systematic study by first reviewing the past efforts and by suggesting a viable methodology. Although the proposed method may not have a straightforward natural appeal as that in the original model, the proposed procedure is able to find a well-converged and well-distributed set of near Pareto-optimal solutions quickly.

Moreover, the concept of predator and prey interactions has also been utilized well in finding preferred Pareto-optimal solutions near a supplied set of reference points on the objective space. We hope that the methodologies proposed in this paper should motivate other researchers and practitioners to pay more attention to the predator-prey approach of solving multi-objective optimization problems. In the future, the proposed procedure can be extended to solve constrained optimization problems. A hybrid strategy of using the predator-prey approach with another local hill-climbing strategy can also be tried.

REFERENCES:

1. K. Deb. *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*. Chichester, UK: Wiley, 2001.
2. C. A. C. Coello, D. A. VanVeldhuizen, and G. Lamont. *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2002.
3. V. Coverstone-Carroll, J. W. Hartmann, and W. J. Mason. Optimal multiobjective low-thrust spacecraft trajectories. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 186(2-4):387--402, 2000.
4. K. Deb and A. Srinivasan. Innovization: Innovation through optimization. *KanGAL Report Number 2005007*, Kanpur Genetic Algorithms Laboratory, IIT Kanpur, PIN 208016, 2005.

5. K. Deb. Unveiling innovative design principles by means of multiple conflicting objectives. *Engineering Optimization*, 35(5):445-470, 2003.
6. P. D. Surry, N. J. Radcli_e, and I. D. Boyd. A multi-objective approach to constrained optimisation of gas supply networks: The COMOGA method. In *Evolutionary Computing. AISB Workshop*, pages 166-180. Springer-Verlag, 1995.
7. S. Bleuler, M. Brack, and E. Zitzler. Multiobjective genetic programming: Reducing bloat using spea2. In *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*, pages 536-543, 2001.
8. K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap, and T. Meyarivan. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2):182-197, 2002.
9. E. Zitzler, M. Laumanns, and L. Thiele. SPEA2: Improving the strength pareto evolutionary algorithm for multiobjective optimization. In K. C. Giannakoglou, D. T. Tsahalis, J. Periaux, K. D. Papailiou, and T. Fogarty, editors, *Evolutionary Methods for Design Optimization and Control with Applications to Industrial Problems*, pages 95-100, Athens, Greece, 2001.
10. NSGA-II code in C: <http://www.iitk.ac.in/kangal/soft.htm>
11. PISA software: <http://www.tik.ee.ethz.ch/pisa/>
12. M. Laumanns, G. Rudolph, and H. P. Schwefel. A spatial predator-prey approach to multi-objective optimization: A preliminary study. In *Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature, V*, pages 241-249, 1998.
13. Xiaodong Li, "A real-coded predator-prey genetic algorithm for multiobjective optimization", *EMO-2003*, pp. 207-221, (2003).
14. Pettersson, F., Chakraborti, N. and Saxen, H. "A genetic algorithms based multi-objective neural net applied to noisy blast furnace data", *Applied Soft Computing*, (ASOC-202), (2005).
15. K. Deb, M. Mohan, and S. Mishra. Evaluating the ϵ -domination based multi-objective evolutionary algorithm for a quick computation of Pareto-optimal solutions. *Evolutionary Computation Journal*, 13(4):501-525, 2005.
16. K. Deb, L. Thiele, M. Laumanns, and E. Zitzler. Scalable test problems for evolutionary multi-objective optimization. In A. Abraham, L. Jain, and R. Goldberg, editors, *Evolutionary Multiobjective Optimization*, pages 105-145. London: Springer-Verlag, 2005.

Begegnungen mit Hans-Paul Schwefel

Pierre Frankhauser

Als ich Hans-Paul Schwefel kennen lernte, war ich Doktorand am 2. Institut für Theoretische Physik der Universität Stuttgart. Das Thema meiner Doktorarbeit war entsprechend dem Forschungsfeld dieses Instituts interdisziplinär. Es betraf die Anwendung stochastischer Bewegungsgleichungen auf die Entwicklung der Bevölkerungsverteilung in einem Städtesystem. Der Modellansatz gestattete die Attraktivitäten der Städte mittels gewisser Modellparameter zu beschreiben. Eine französische Kollegin hatte demographische Daten über das französische Städtesystems zur Verfügung gestellt, die es gestatteten, diese Parameter zu schätzen. Allerdings war die Datenlage ungünstig, das Modell hochgradig nichtlinear und das System umfasste über tausend Städte. Beschränkte man sich auf die Attraktivitäten der wichtigsten Städte, schwankte die Zahl der zu schätzenden Parameter zwischen 30 und 50 und daher schienen nur effiziente und kontrollierbare Schätzverfahren anwendbar. Mein Doktorvater, Wolfgang Weidlich, kannte Hans-Paul als Gutachter von Forschungsprojekten und brachte mich mit ihm in Verbindung. Hans-Paul war sofort bereit, nicht nur das unter seiner Leitung entwickelte Software-Paket „DAIMOS“ zur Verfügung zu stellen, sondern selbst an der Parameterschätzung mitzuwirken. Natürlich mussten vorher die entsprechenden Zusatzprogramme für den speziellen Fall entwickelt werden. Die in Stuttgart damals geläufige Programmiersprache war eine vorgeahnte FORTRAN 90-Version. Erst wenige Tage vor meiner ersten Fahrt nach Dortmund erfuhr ich, dass DAIMOS im wesentlichen in FORTRAN IV programmiert war. Etliche Kommandos mussten daher in aller Eile geändert werden. Ich kam so mit archai-

schieren Phasen der Informatik in Berührung. Der Datentransfer erfolgte zunächst noch über Bänder, eine beeindruckende aber etwas schwerfällige Prozedur.

Schließlich war es soweit und gemeinsam mit Hans-Paul verbrachten wir etliche Stunden vor dem Rechner, um die Parameter zu schätzen, die Stabilität zu prüfen, die Verlässlichkeit gewisser Modellannahmen zu testen usw.. Das DAIMOS-Programm war beeindruckend, konnte man doch jederzeit von einer zur anderen Optimierungsstrategie hüpfen. So hörte ich von Powell-Strategie, von Hooke und Jeeves und anderen Optimier-Größen. Die Methode von Rosenbrock blieb mir besonders im Gedächtnis, sie hinterließ sozusagen einen süßlichen Nachgeschmack, denn sie war bei irgendeinem Bananen-Problem entstanden. Wie nicht anders zu erwarten, erwies sich natürlich die Evolutionsstrategie als die verlässlichste Methode – vor allem in der Schlussphase der Schätzungen. Auch bei den folgenden Arbeitstreffen erwies sich DAIMOS als äußerst effizient. So war es schließlich möglich, stabile und vertretbare Ergebnisse zu erhalten, in den Fällen, wo die Datenlage äußerst kritisch war. Außerdem konnte der Einfluss der Modellannahmen geklärt werden. Die Arbeitsbesuche in Dortmund boten die Gelegenheit mit Hans-Paul über allerhand Themen zu diskutieren. Ich erfuhr unter anderem sehr viel über den systemanalytischen Ansatz und über komplexe Systeme, was mir bei meiner späteren Tätigkeit sehr zu gute kam.

Ein Ergebnis dieser Zusammenarbeit war unter anderem ein Workshop, den ich in Lützelstein im Nordelsass organisierte, um gemeinsam mit meinem Doktorvater, den französischen Kollegen und Hans-Paul die erhaltenen Ergebnisse zu interpretieren. Dieses Treffen erlaubte es, die dürre Wissenschaft mit der angenehmen Atmosphäre und der vorzüglichen Verköstigung, die das Hotel „Trois Roses“ bot, zu verbinden.

Zur gleichen Zeit begann ich auf einem ganz anderen Feld zu arbeiten. Ich war mehr durch Zufall mit der Fraktalgeometrie in Kontakt gekommen und begann diesen Ansatz zur morphologischen Beschreibung von Siedlungsmustern anzuwenden. Dies geschah in enger und fruchtbarer Zusammenarbeit mit dem Städtebaulichen Institut der Universität Stuttgart im Rahmen eines Sonderforschungsbereichs. Anfangs war dieser Ansatz aber ziemlich umstritten. Mein erster Seminarvortrag zu diesem Thema endete in einer ziemlich chaotischen Diskussion. Als ich hiervon Hans-Paul berichtete, meinte er nur, ich solle mich nur nicht irritieren lassen und weitermachen, derartige Kritiken würden irgendwann in sich zusammenfallen.

Die ungünstigen Aussichten in meinem Arbeitsbereich, in Deutschland eine universitäre Dauerstelle zu finden, hatten mich bewogen, einem Vorschlag der französischen Kollegen, mit denen ich in Kontakt stand, zu folgen und eine zweite, französische Dissertation ins Auge zu fassen, und zwar in Geographie. Die Arbeiten über den Fraktalen Ansatz zur Beschreibung städtischer Strukturen boten schließlich hierfür genügend Stoff. Allerdings musste diese Arbeit nach Fertigstellung meiner ersten Dissertation noch geschrieben werden. Zwar bot man mir die Gelegenheit noch während eines Jahres nach meiner ersten Dissertation in Stuttgart zu bleiben, aber danach sah es eher düster aus. Ich suchte nach Auswegen, unter anderem über ein gemeinsam mit einem Planungsbüro beim Bundesministerium für Raumplanung eingebrachten Projekt, das aber schließlich scheiterte. Nur wenige Monate vor Jahresende erzählte ich Hans-Paul von meiner Situation. Er antwortete spontan: *„warum haben Sie das nicht früher gesagt? Ich werde sofort etwas versuchen“*. Noch vor Jahresende hatte ich die Zusage für eine befristete Stelle in Dortmund, die ich bereits im Februar antreten konnte. Meine Familie blieb vorerst im Stuttgarter Raum.

So begann meine Dortmunder Zeit, die allerdings nur acht Monate währte. Trotz der kurzen Dauer habe ich an diese Zeit die besten Erinnerungen behalten. Ich bekam sofort einen vollständig ausgestatteten Arbeitsplatz und die Aufnahme am „LS 11“ war äußerst herzlich. Obwohl ich auf einem ganz anderen Gebiet arbeitete, fühlte ich mich rasch sehr gut integriert, wozu die Institutsatmosphäre entscheidend beitrug. Ich bekam auf diese Weise auch Einblick in eine andere Disziplin, die Informatik, die ich als „junge Disziplin“ wesentlich offener erlebte als meine Ausgangsdisziplin, zumindest im Rahmen des LS 11. Hans-Paul sagte einmal: *„ein Informatiker muss lernen mit anderen Disziplinen zu kommunizieren, denn später wird er meist mit Nicht-Informatikern zusammenarbeiten und vor allem für diese arbeiten“*.

Hans-Paul verfolgte die Fortschritte meiner Arbeit mit großem Interesse. Er suchte auch nach einer Möglichkeit zur Veröffentlichung meiner deutschen Dissertation, was sich allerdings zerschlug. Ich fing gemeinsam mit meiner Frau an, Pläne zu schmieden für einen längerfristigen Aufenthalt in Dortmund. Dann ergaben sich allerdings relativ rasch Erfolg versprechende Kontakte mit Frankreich. Die Geographen der Universität Besançon boten mir eine befristete Stelle mit günstiger Aussicht auf eine Dauerstelle an, sofern ich meine französische Dissertation abgeschlossen und die in Frankreich erforderliche zentrale Qualifizierung für den Hochschuldienst erhalten hätte. Hans-Paul überlegte, ob er mir nicht zu reden solle in Dortmund zu bleiben. Doch angesichts der nicht rosiger gewordenen Aussichten riet er mir schließlich, das Angebot aus Frankreich anzunehmen. Ich arbeitete nunmehr mit Hochdruck an der Fertigstellung meiner Dissertation, die ich weitgehend vor meinem Ausscheiden im August fertig stellen konnte.

Schon vor der Entscheidung, nach Frankreich überzusiedeln, war die Idee aufge-

kommen, den jährlichen Institutausflug ins Elsass zu machen, woher meine Familie stammt. Ich organisierte einen Ausflug ins Südsass. Er fand zu einer Zeit statt, als ich bereits meine Stelle in Besançon angetreten hatte. Es war dies ein kleines Dankeschön an die Mitglieder des LS11. Es ist mir ein Anliegen an dieser Stelle Hans-Paul für die Unterstützung in einer entscheidenden Phase meines beruflichen Werdegangs zu danken.



PHOTO 1 : Ausflug zum Grand Ballon anlässlich des Elsaß-Fahrt des LS11

Vor meiner Abreise überließ mir Hans-Paul noch eine Kopie seines Vorlesungsskripts über Systemanalyse, da sich andeutete, dass ich Elemente dieser Thematik in eine Vorlesung in Besançon integrieren könnte.

Im darauf folgenden Januar fand meine Doktorprüfung an der Universität Paris 1 statt. In Frankreich sind Doktorprüfungen eine feierliche Prozedur mit hochschulöffentlichem Vortrag und einem Prüfungsausschuss. Ich hatte Hans-Paul gebeten, Mitglied des Prüfungsausschusses zu sein, was er gerne akzeptierte. Wie alle anderen Mitglieder gab er seine Beurteilung in Französisch ab.



PHOTO 2: Meine hochschulöffentliche Doktorprüfung an der Sorbonne

Die Kontakte mit Hans-Paul und mit dem LS11 rissen nie ab. Über ein PROCOP-Projekt ergab sich eine Zusammenarbeit, die zu einer Diplomarbeit und einer gemeinsamen Publikation (u.a. mit Thomas Bäck) führten. Nach vielen Jahren, im Herbst 2001, besuchte mich Hans-Paul mit seiner Frau in Besançon. Ich hatte mich zwischenzeitlich habilitiert und eine Professur angetreten und werde wohl den Rest meines Berufslebens mit fraktalen Städten verbringen, so wie Hans-Paul dies mit den Evolutionsstrategien tat. Die Evolutionsstrategien haben auch Eingang in das Softwarepaket „fractalyse“ gefunden, das wir in Besançon zur fraktalen Analyse von Siedlungsstrukturen in den letzten Jahren entwickelt haben. Der LS11 hat uns hierfür ein Programm-Modul zur Verfügung gestellt.



PHOTO 3: Anlässlich des Besuchs von Hans-Paul und Antje in Besançon

Hans-Paul Schwefel: Eine Reverenz von Seiten der Regelungstechnik

Harro Kiendl
Martin Sternke
Peter Krause

Eigentlich weiß man ja, dass die Zeit unaufhaltsam voranschreitet und Ereignisse, die zunächst noch in weiter Ferne zu liegen scheinen, sich irgendwann ereignen müssen. Dennoch ist man überrascht, wenn ein solches Ereignis dann tatsächlich eintritt. So geht es uns mit der Tatsache, dass Hans-Paul Schwefel, den wir über viele Jahre als inspirierenden Vordenker und engagierten Promotor im Bereich der Computational Intelligence erleben durften, jetzt pensioniert wird.

Wir, das sind Harro Kiendl (seit 1973 Inhaber des Lehrstuhls für Elektrische Steuerung und Regelung an der Universität Dortmund, 2001 emeritiert), Martin Sternke (wissenschaftlicher Mitarbeiter dieser Universität) und Peter Krause (Mitarbeiter der Firma NuTech Solutions). Wir drei sind aus unterschiedlichen Gründen Hans-Paul Schwefel zu großem Dank verpflichtet und möchten ihm daher jetzt unsere Reverenz erweisen.

Hans-Paul Schwefel als Pionier und Vordenker im Bereich Evolutionärer Algorithmen

Bekanntlich können viele technische Analyse- und Entwurfsprobleme auf die Lösung von Optimierungsaufgaben zurückgeführt werden. Diese erweisen sich aber bei realitätsnahen Problemen häufig als so komplex, dass sie mit klassischen mathematischen Optimierungsverfahren nur unbefriedigend lösbar sind. Hans-Paul Schwefel ist einer der Pioniere der Idee, zur Lösung

derartiger Optimierungsprobleme den in der Biologie ablaufenden Evolutionsprozess – vorzugsweise durch Simulation auf einem Rechner – technisch nachzubilden [1, 2, 3]. Die große Tragfähigkeit dieser Idee und ihre praktischen Erfolge – unterstützt durch den permanenten Zuwachs an verfügbarer Rechnerleistung – haben in den vergangenen Jahrzehnten zur Entwicklung des blühenden neuen Wissenschaftszweiges *Evolutionäre Algorithmen* geführt.

Das Grundprinzip eines Evolutionären Algorithmus ist einfach. Er beginnt mit der zufälligen Erzeugung einer *Anfangsgeneration* von vielen miteinander konkurrierenden potentiellen Lösungen (*Individuen*) in geeignet codierter Form. Aus diesen *Genotypen* der Individuen wird durch zufällige Veränderungen (*Mutationen*) und *Kreuzungen* von jeweils zwei zufällig ausgewählten *Elternindividuen* eine größere Anzahl von modifizierten genotypischen Individuen erzeugt. Für jedes dieser *Nachkommen* wird dann seine *Fitness* (Tauglichkeit zur Lösung des gestellten Problems) ermittelt. Hierzu werden die genotypischen Individuen in Form von *Phänotypen* in die Welt des zu lösenden Problems übersetzt. Durch *Selektion* der fittesten Individuen wird eine *neue Generation* von Individuen erzeugt, die wieder dem obigen Prozess unterzogen wird. Dieses Spiel wird über viele Folgen von Generationen wiederholt. Ein solcher evolutionärer Prozess erzeugt in der Regel von Generation zu Generation schrittweise verbesserte Lösungen. Am Ende erhält man meist sehr gute, praktisch nutzbare Lösungen, nicht selten auch solche, auf die man durch Nachdenken nicht gekommen wäre.

In den Arbeiten unseres Lehrstuhls wurden Evolutionäre Algorithmen hauptsächlich als Werkzeug eingesetzt, beispielsweise in Kooperation mit der Firma Bosch/Rexroth zur Optimierung der 24 Parameter des Reglers für ein Hydraulikventil [4]. Hier bestand jedes genotypische Individuum aus

einem Satz von 24 Reglerparametern und jedes phänotypische Individuum aus einem kompletten, simulatorisch realisierten Regler (mit diesen Reglerparametern). Im Interesse einer möglichst großen Realitätsnähe wurde der Fitnesstest anhand eines Hardware-in-the-Loop-Aufbaus durchgeführt: Hierzu wurde der simulierte Regler mit dem realen Hydraulikventil zusammengeschaltet und das Verhalten des resultierenden Regelkreises in unterschiedlichen Betriebssituationen experimentell ermittelt und aufgezeichnet. Zur Gesamtbewertung des beobachteten Regelungsverhaltens sind Prozessexperten erfahrungsgemäß hervorragend befähigt, da sie positive und negative Einzelaspekte im Kopf zu einem angemessenen Gesamturteil verrechnen können. Eine solche Fitnessbewertung „von Hand“ ist aber für eine evolutionäre Regloptimierung mit tausenden zu bewertenden Individuen zu aufwendig. Deshalb wurde in einer Voruntersuchung das Bewertungsverhalten erfahrener Prozessexperten für eine große Stichprobe von exemplarischen Fällen protokolliert und darauf aufsetzend ein Fuzzy-Modul generiert, das die in diesen Daten enthaltenen Zusammenhänge zwischen Kenngrößen des Regelungsverhaltens einerseits und Urteil der Prozessexperten andererseits beschreibt. Dieses Fuzzy-Modul ermöglicht nun eine automatische Fitnessbewertung auf der Basis erhobener Messdaten.

Das auf Hans-Paul Schwefel zurückgehende Grundschema Evolutionärer Algorithmen ist inzwischen von ihm und einer weltweiten Heerschar von Wissenschaftlern durch zusätzliche, der Biologie entlehnte, nützliche Strategieelemente erweitert worden. Derartige Bemühungen lagen zwar nicht im Fokus der methodenorientierten Arbeit unseres Lehrstuhls. Aber inspiriert durch Erfahrungen bei der praktischen Anwendung Evolutionärer Algorithmen sind wir dem Charme solcher Überlegungen und Spekulationen gelegentlich erlegen [5, 6, 7]. Der beim obigen Fitnesstest nach Ein-

führung des Fuzzy-Moduls noch verbleibende Aufwand liegt vor allem in der experimentellen Erhebung der Messdaten. Ein erneuter Blick auf das biologische Vorbild könnte Abhilfe schaffen: Dort ist nämlich bemerkenswert, dass bei der Befruchtung Millionen von Spermien (Genotypen) der Eizelle zustreben, aber nur das „fitteste“ in die Eizelle eindringt und sich zu einem Phänotypen weiterentwickelt. Dieser millionenfache Untergang der anderen Spermien hätte einen tieferen Sinn, wenn es eine Korrelation zwischen den Eigenschaften der Spermien und der später daraus hervorgehenden Phänotypen gäbe (schnelles Spermium → guter Hundertmeter-Läufer). Dann gäbe es nämlich einen weniger aufwendigen „Vortest“ auf Genotypebene, der solche Individuen, die im eigentlich relevanten Fitnesstest auf Phänotypebene („Haupttest“) vermutlich versagen würden, ausscheidet. Dem aufwendigen Haupttest würden dann nur jene wenigen Individuen unterzogen, die im Vortest am erfolgreichsten waren (Analogie: Vordiplom und Hauptdiplom). Dieses zweistufige Konzept zur Fitnessbewertung dürfte Evolutionsprozesse deutlich beschleunigen. Wir wissen zwar nicht, ob das biologische Vorbild so funktioniert, d. h., ob sich solche höchst nützlichen Korrelationen zwischen Individueneigenschaften auf Geno- und Phänotypebene tatsächlich evolutionär herausgebildet haben oder nicht. In jedem Fall erscheint es uns aber sinnvoll, dieses zweistufige Konzept zur Fitnessbewertung in Evolutionäre Algorithmen zu integrieren [7].

Hans-Paul Schwefel als Promotor im Bereich der Computational Intelligence

Hans-Paul Schwefel hat die Evolutionären Algorithmen frühzeitig als Problemlösung durch *Imitation der Natur* – plakativ durch *technische Nutzung von Patenten der Natur* – verstanden. Damit wurde er zum Promotor eines Paradigmas zur Problemlösung, dessen Bedeutung weit über die Evolution

hinausreicht. Zwei Beispiele sollen dies illustrieren.

- Bekanntlich erlernt ein Kind das Fahren einer Kurve mit dem Fahrrad nach etlichen Stürzen, kann dann aber meist verbal nicht erklären, welche Lenkbewegungen es dabei ausführt. Der eingetretene Lernerfolg ist dem *unbewusst* ablaufenden Training seines neuronalen Netzes durch vielfältige positive und negative Erfahrungen zu danken. Die Intention, dieses Problemlösungskonzept der Natur technisch zu imitieren, hat den Wissenschaftszweig *Künstliche Neuronale Netze* begründet.
- Bekanntlich werden Fahrschüler vom Fahrlehrer nicht durch mathematisch exakte Kommandos, sondern durch Hinweise wie „Lenkrad stark links einschlagen“ oder „vorsichtig zurücksetzen“ im Rückwärtseinparken unterwiesen. Der Lernerfolg tritt durch situationsgerechte Entschlüsselung und Befolgung von Begriffen wie „stark“ oder „vorsichtig“ ein. Dieses im Alltagsleben höchst erfolgreiche Konzept zur Problemlösung auf der Basis „unscharfer“ Begriffe ist insofern auch der Natur zuzurechnen, als es sich im Verlaufe der kulturellen Entwicklung ohne planerisches Zutun der Menschen evolutionär herausgebildet hat. Die Intention, dieses Problemlösungskonzept technisch zu imitieren, hat die Wissenschaftszweige *Fuzzy Logic* und *Fuzzy Control* begründet.

Hans-Paul Schwefel erkannte frühzeitig, dass in der Kombination der genannten, auf Patenten der Natur basierenden Wissenschaftszweige Evolutionäre Algorithmen, Neuronale Netze und Fuzzy Logic / Fuzzy Control ein großes Potential zur Lösung komplexer und / oder durch ungenaue Systemkenntnis geprägter Probleme liegt. Deshalb hat er sich für die gemeinsame Weiterentwicklung dieser Wissenschafts-

zweige unter dem einheitlichen Dach der *Computational Intelligence* eingesetzt. Insbesondere hat er den Sonderforschungsbereich 531 „Design und Management komplexer technischer Prozesse und Systeme mit Methoden der Computational Intelligence“ initiiert und höchst erfolgreich geleitet [8]. Durch dieses Engagement hat er vielen Mitarbeitern unseres Lehrstuhls jahrelang ein stimulierendes und fruchtbares interdisziplinäres Umfeld zur Durchführung von wissenschaftlichen Arbeiten – schwerpunktmäßig im Bereich von Fuzzy Control – verschafft [9, 10, 11]. Hierfür schulden wir sowie Martin Fritsch, Holger Jessen, Angelika Krone, Barbara Ottersbach (geb. Nicolaus), Daniel Schauten, Ulf Schwane und Timo Slawinski großen Dank.

Hans-Paul Schwefel – ursprünglich Ingenieur – hat ein ausgeprägtes Interesse an technischen Anwendungen. Deshalb hat er neben dem Sonderforschungsbereich auch einen Transferbereich initiiert und geleitet, dessen Aufgabe darin besteht, theoretischen und methodischen Ergebnissen des Sonderforschungsbereichs den Weg in industrielle Anwendungen zu bahnen. Für jeden von uns – die Bearbeiter des ersten in den Transferbereich aufgenommenen Projektes „Datenbasierte Generierung und Optimierung von Fuzzy-Modellen mit dem Fuzzy-ROSA-Verfahren für komplexe Systeme und Prozesse“ – hat dieses Engagement von Hans-Paul Schwefel eine besondere Bedeutung:

- Harro Kiendl erfuhr dadurch, dass es auch für die postaktive Lebensphase spannende und einlösbare Aufgaben gibt.
- Martin Sternke profitierte vom Transferprojekt durch vielfältige Möglichkeiten zu seiner weiteren Qualifikation im Schnittbereich von Methoden und Anwendungen. So ist es ihm jüngst gelungen, die Nutzung negativer Regeln entscheidend zu erweitern. Derartige Regeln sprechen im Unterschied zu üblichen (positiven)

Regeln nicht Empfehlungen, sondern Warnungen oder Verbote aus. Negative Regeln wurden ursprünglich für Fuzzy-Systeme vom Mamdani-Typ eingeführt [12]. Sie ermöglichen eine transparente Modellierung spezifischen Anwenderwissens. Dies dient beispielsweise zur Vermeidung gefährlicher Prozesseingriffe oder – wie im oben erwähnten Fuzzy-Gütemaß – zur Abwertung des Prozessverhaltens bei Nichteinhaltung essentieller Spezifikationen, gleichgültig wie gut die übrigen Spezifikationen erfüllt sind. Darüber hinaus ergeben sich negative Regeln automatisch bei der datenbasierten Modellierung mit dem Fuzzy-ROSA-Verfahren [13, 14]. Während sich Fuzzy-Systeme mit Mamdani-Regeln für industrielle Anwender durch ihre hohe Interpretierbarkeit auszeichnen, werden sie aber hinsichtlich der erreichten Modellgenauigkeit von Fuzzy-Systemen vom Typ Takagi-Sugeno-Kang (TSK) meist deutlich übertroffen. Daher war es ein wichtiges Ziel des Transferprojekts, das Potential negativer Regeln auch für TSK-Fuzzy-Systeme zu erschließen und den Nachweis für ihre industrielle Nutzbarkeit zu erbringen. Dieses Ziel wurde jüngst im Transferprojekt eingelöst [15].

Die Idee zur technischen Verwendung negativer Regeln [12] entspricht nun ebenfalls dem obigen Paradigma, denn es hat im erweiterten Sinne ein Vorbild in der Natur. Man denke beispielsweise an einen Autofahrer, der in Kenntnis der Verkehrsregeln seine Handlungen durch Abwägung und Vereinigung von Empfehlungen und Warnungen auswählt und gestaltet. Er wird sich auf vereister Straße in Erinnerung rufen, dass er keine abrupten Lenkbewegungen vornehmen darf, da sonst der Wagen ausbrechen und von der Straße abkommen könnte. Andere natürliche Vorbilder für negative Regeln sind die 10 Gebote oder die Beipackzettel von Medikamenten mit Indikationen und Kontraindikationen.

- Peter Krause erhielt die Chance, den praktischen Wert neuester Verfahren aus dem Transferprojekt in Kooperation mit einem industriellen Anwender (Beiersdorf AG) in der harten Wirklichkeit auf die Nagelprobe zu stellen. Über den Erfolg dieser Kooperationen informiert folgende kürzlich von der Firma Beiersdorf AG abgegebene Pressemitteilung:

Beiersdorf AG Relies on NuTech's ClearVu Formulations Engine

Cosmetics and Health Care Company Benefits From Ease and Accuracy of Formulation Discovery and Shorter Time-to-Market HAMBURG and DORTMUND, GERMANY – February 24, 2005 –

NuTech Solutions, a leader in the commercialization of evolutionary computation software for advanced predictive analytics, is making research and development more innovative and efficient at Beiersdorf AG. Faced with constantly changing market requirements, Beiersdorf needed a creative way to discover new product formulations, while at the same time decreasing product development time. Beiersdorf engaged NuTech Solutions to apply their data mining and optimization tools, known as the ClearVu Formulations engine, to these challenges in new product development. Using a virtual formulation development process, models predict characteristics of suggested combinations of ingredients and quantities, improving the resulting recipe by reincorporating the desirable attributes with each subsequent model. As a result, ingredients not considered by traditional approaches are suggested by ClearVu Formulations.

“Our past experience limited our trials to include only familiar ingredients, and the lengthy process of attempting each combination had led us to declare the desired product infeasible after three months of research,” said Thomas Hillemann, PhD, from Beiersdorf. “However, with NuTech's ClearVu Formulations engine, we satisfied all the

technical requirements faster than with traditional processes, and now have a new product we will bring to the market." Product development time is significantly reduced with the ClearVu Formulations engine because the model's predictions automatically rule out unrealistic experiments, allowing scientists to conduct only those tests with potentially positive outcomes. "NuTech's solution helped Beiersdorf learn more about their formulations and minimize investment in time and testing by targeting their efforts on relevant experiments," said Thomas Bäck, PhD, President of NuTech Solutions, Germany. "We're focusing on helping other life sciences companies use ClearVu Formulations to recognize the same savings."

About NuTech Solutions: NuTech Solutions, Inc. delivers insight and measurable results to Global 1000 companies. Our solutions are designed to solve complex problems in a variety of industries, including automotive, consumer goods, petroleum, financial services and national security. With an office in Dortmund, Germany, and headquartered in Charlotte, N.C., USA, NuTech Solutions' client roster includes BMW, General Motors, Oxy, Beiersdorf, BB&T, Ford Motor Company, ChevronTexaco, Air Liquide and many U.S. Government Departments and Agencies, including the Department of Defense. For more information call (704) 549-4480 or visit www.nutechsolutions.com.

Es ist anzumerken, dass Thomas Bäck (Geschäftsführer der NuTech Solutions GmbH, Dortmund) ein Schüler von Hans-Paul Schwefel ist. Zudem dürfte sich Hans-Paul Schwefel darüber freuen, dass dieses Transferprojekt keine Eintagsfliege geblieben ist, sondern inzwischen die Durchführung zweier weiterer Transferprojekte im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 531 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bewilligt worden ist.

Abschließender Dank

Wie im Einzelnen beschrieben, hat Hans-Paul Schwefel unser wissenschaftliches und berufliches Leben in vieler Hinsicht nachhaltig geprägt. Darüber soll aber nicht vergessen werden, dass uns seine Persönlichkeit immer Vorbild war und ist. Für beides schulden wir ihm großen Dank. Wir hoffen und wünschen, dass er der Fachwelt noch lange als Vordenker erhalten bleibt.

References

- [1] Klockgether, J. ; Schwefel, H.-P.: Two-phase nozzle and hollow core jet experiments. In: D.G. Elliott (Hrsg.): *Proc. Eleventh Symp. Engineering Aspects of Magnetohydrodynamics*, S. 141-148, California Institute of Technology, Pasadena CA, 1970.
- [2] Schwefel, H.-P.: *Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie*. Band 26 der Reihe *Interdisciplinary Systems Research*. Birkhäuser, Basel, 1977.
- [3] Schwefel, H.-P.: *Evolution and Optimum Seeking*. Sixth-Generation Computer Technology. Wiley Interscience, New York, 1995.
- [4] Nicolaus, B. ; Kiendl, H. ; Blumendeller, W. ; Schwane, U.: Evolutionary Optimization of an Industrial Hydraulic Valve with the Help of a Fuzzy Performance-Index. In: *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE 2001, Melbourne, Australien*, Bd. 1. Piscataway, NJ, USA: IEEE-Press, 2001, S. 139-142.
- [5] Kahlert, J.: *Vektorielle Optimierung mit Evolutionsstrategien und Anwendungen in der Regelungstechnik*. Düsseldorf : VDI Verlag, 1991. – (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 8, Nr. 234)
- [6] Ottersbach, B.: *Dezentrale Strategieelemente für Evolutionsstrategien und Anwendung zum Reglerentwurf*. 2005 (Universitätsbibliothek Dortmund). <http://hdl.handle.net/2003/21532>

- [7] Kiendl, H. ; Nicolaus, B. ; Lammers, K. ; Blumendeller, W. ; Sternke, M.: Verfahren zur Erzeugung günstiger Einstellwerte für technische Prozesse. 2003. – Patentanmeldung. DE 10302898.6
- [8] Schwefel, H.-P. ; Wegener, I. ; Weinert, K. (Hrsg.): *Advances in Computational Intelligence – Theory and Practice*. Natural Computing Series. Springer, Berlin, 2003.
- [9] Kiendl, H., Krause, P., Slawinski, T. und Schauten, D.: Data-based fuzzy modeling for complex applications. In: Schwefel, H.-P., Wegener, I. und Weinert, K. (Hrsg.): *Advances in Computational Intelligence*, Springer, Berlin, S. 46-77, 2003.
- [10] Kiendl, H. ; Krause, P. ; Slawinski, T. ; Schauten, D.: Fuzzy modeling to cope with ambiguities. In: Schwefel, H.-P., Wegener, I. und Weinert, K. (Hrsg.): *Advances in Computational Intelligence*, Springer, Berlin, S. 78-103, 2003.
- [11] Slawinski, T. ; Kiendl, H.: Data-based fuzzy modelling. In: *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [<http://www.eolss.net>], 2004.
- [12] Kiendl, H.: Verfahren zur Erzeugung von Stellgrößen am Ausgang eines Fuzzy-Reglers und Fuzzy-Regler hierfür. 1994. – Patent. DE 4308083
- [13] Krone, A.: *Datenbasierte Generierung von relevanten Fuzzy-Regeln zur Modellierung von Prozesszusammenhängen und Bedienstrategien*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999.-(Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, Nr. 615)
- [14] Kiendl, H.: *Fuzzy Control methodenorientiert*. Oldenbourg, München, 1997.
- [15] Sternke, M. ; Krause, P. ; Kiendl, H.: Nutzung negativer Regeln in TSK-Fuzzy-Systemen. In: *Tagungsband des 15. Workshop Computational Intelligence*, VDI/VDE GMA (FA 5.14 Computational Intelligence). Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, S. 89-103, 2005.

Über Schwierigkeiten bei der Etablierung von *unorthodoxen Forschungsvorhaben* im System der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Roland Kischkel

Irgendwann im Jahr 1995 begegnete ich HANS-PAUL SCHWEFEL zum ersten Mal – er ein mir bis dahin nur namentlich bekannter Professor für Informatik aus Dortmund, ich damals einer seiner Ansprechpartner in der Geschäftsstelle der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in Bonn für den von ihm angestrebten Sonderforschungsbereich. Eine Gruppe um HANS-PAUL SCHWEFEL hatte das Konzept für den Sonderforschungsbereich niedergeschrieben und es der DFG als Grundlage für den ersten gutachterlichen Beratungsprozess vorgelegt. Die Vorbereitungen für diese Beratung verliefen in den üblichen Bahnen: Ein fachnahes Mitglied aus dem DFG-Senatsausschuss für die Sonderforschungsbereiche wurde gesucht, vier oder fünf Gutachter eingeladen – dann folgte in Bonn ein etwa dreistündiges Beratungsgespräch zwischen den Initiatoren und den Gutachtern, an dessen Ende ein Hinweis stehen sollte, ob die Initiative in einer Einrichtungsbegutachtung Aussicht auf Erfolg haben würde. Da der Sonderforschungsbereich unter dem Titel „Design und Management komplexer technischer Prozesse und Systeme mit Methoden der *Computational Intelligence*“ im Jahr 1997 in die Förderung aufgenommen wurde und bis heute erfolgreich arbeitet, erübrigt sich eine detaillierte Vergegenwärtigung der auf die Beratung folgenden und in ihren groben Zügen bekannten Schritte. Aus Anlass der Verabschiedung und zu Ehren von HANS-PAUL SCHWEFEL möchte ich hier über einen

besonderen Aspekt dieses Vorgangs nachdenken: Der Forschungsansatz des Sonderforschungsbereichs war, als er der DFG vorgelegt wurde, in einem noch zu klärenden Sinn *unorthodox*.

Zunächst einige Erläuterungen zur Bedeutung des Wortes (*un-*) *orthodox* in dem genannten Zusammenhang. Es geht auf die griechischen Wörter *orthós* und *dóxa* zurück und wurde seit dem 16. Jahrhundert in theologischen und religionspolitischen Diskursen als Ausdruck für die auf die *rechte Lehre* und die auf sie gerichtete Gläubigkeit verwendet. Es mag auf den ersten Blick unangemessen erscheinen, diesen Begriff aus dem Bereich religiösen Glaubens auf Eigenschaften unseres heutigen Systems der Forschungsförderung anzuwenden, aber er vermag an ihm bestimmte Seiten hervorzuheben, die für thematisch und methodisch ungewöhnliche und stärker risikobehaftete Forschungsvorhaben folgenreich sein können.

Forschungsprozesse, also die Prozesse, in denen neues wissenschaftliches Wissen gebildet wird, verlaufen nicht linear und unidirektional. Die Gegenstände, auf die sich das Interesse der forschenden *communities* richtet, wechseln, neue Methoden eröffnen neue Gegenstandsbereiche oder veränderte Betrachtungsweisen auf bekannte Gegenstände und nicht selten schließen parallel verfolgte Ansätze sich gegenseitig aus. In diesen unübersichtlichen Prozessen wird man durchaus quantitative und qualitative Wissenszuwächse auf rein fachlicher Ebene erkennen können. Sie werden jedoch auch stark von Faktoren beeinflusst, die der Ebene der *sozialen Organisation* von Forschung zuzurechnen sind. Aus der Überfülle der relevanten Forschungsobjekte und möglicher Forschungsmethoden müssen zunehmend die ausgewählt werden, die Vorrang haben sollen, und zwar nicht nur durch den einzelnen Forscher oder die einzelne Forscherin, sondern auch durch die forschenden *communities* und – da es in

derlei Entscheidungen nicht selten um sehr viel Geld geht – durch ihre Institutionen im Grenzbereich von Wissenschaft, Gesellschaft und Politik. Hierbei entstehen programmatische Gegenstands- und Methodenwechsel aus einer Mixtur fachlicher Argumente, individuell geprägter Überzeugungen, fachlobbyistischer oder externer politischer Ansprüche heraus, mit der Folge, dass ihr Verlauf für den außen stehenden Beobachter von modischen Trends oder Wellen kaum unterscheidbar ist. Sie erzeugen thematische Prioritäten, die sich auch auf die Forschungsförderung durch die DFG auswirken. Auch Systeme wie die DFG, die vergleichsweise stark wissenschaftsgesteuert sind, die ihre Entscheidungen vor allem Qualitätsansprüchen verpflichtet sehen und die insofern ganz besonders offen und innovationsorientiert sind, bringen ihre Entscheidungen nicht unabhängig von den Steuerungsimpulsen hervor, die zumindest teilweise *nicht* wissenschaftsimmanent sind. Zu den vorgängigen Steuerungsimpulsen auf der Makroebene treten in *peer review*-Systemen auf der Mikroebene all jene Einflussfaktoren hinzu, die einzelne Gutachter und Gutachterinnen oder Gutachtergruppen in Form von individuell ausgeprägten Überzeugungen, Fachkompetenz oder Risikotoleranz mitbringen. Für die Erfolgchancen eines Forschungsvorhabens ist es also nicht nur entscheidend, dass es im engeren Sinn fachlich überzeugend ist. Bedeutsam ist zugleich, ob es mit den aktuellen Prioritätsentscheidungen auf der Makroebene übereinstimmt und ob es auf der Mikroebene nach den Maßstäben der Gutachterinnen und Gutachter überzeugend vorgetragen wird.

Unorthodox, um auf den begrifflichen Ausgangspunkt zurückzukommen, möchte ich solche Forschungsvorhaben nennen, die nicht mit aktuellen Prioritätsentscheidungen auf der wissenschaftlichen und wissenschaftspolitischen Makroebene und/oder persönlichen Prioritätsüberzeugungen von

Gutachterinnen und Gutachtern übereinstimmen.¹

Dass es sich bei dem von HANS-PAUL SCHWEFEL initiierten Dortmunder Vorhaben um ein unorthodoxes Vorhaben handelte, wurde für mich als Nicht-Informatiker erst in dem oben erwähnten Beratungsgespräch vor etwa 10 Jahren erkennbar. Die Reaktionen der Gutachter, allesamt in dieser Rolle erfahrene und hoch angesehene Experten, waren gemischt: Dem Ziel, technische Systeme und Prozesse mit den Mitteln der Informatik zu beschreiben und gezielt zu beeinflussen, stand man sehr positiv gegenüber – dies übrigens auch ausdrücklich mit Bezug auf wissenschaftspolitische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen. Man kam auch zu der Auffassung, dass die Universität Dortmund hierfür besonders günstige Voraussetzungen biete. Verhalten äußerte man sich dagegen zu den Erfolgsaussichten des Vorhabens, sich hierbei (in dieser Form weltweit erstmalig) ausschließlich auf Ansätze der *Computational Intelligence* oder des *Soft Computing* zu stützen. Dass diese in technischen Systemen erfolgreich angewandt werden können, stand außer Frage. Zweifel wurden jedoch daran geäußert, dass in dem Sonderforschungsbereich die Frage ausreichend Berücksichtigung finden werde, *warum* dies der Fall ist. Ohne eine solche konzeptionelle Erweiterung sah man das Vorhaben nach den Maßstäben der DFG als wenig förderungswürdig an. Hinter diesem Einwand, der dem Sonderforschungsbereich, im Nachhinein betrachtet, tatsächlich sehr geholfen hat, standen nach meiner heutigen Überzeugung nicht nur fachliche Überlegungen: Der Gesamtansatz des Sonderforschungsbe-

¹ Richtiger wäre es, von Graden zu sprechen, in dem ein Forschungsvorhaben (*un-*) *orthodox* sein kann. Die Verwendung des Begriffs soll daher vor allem der Beschreibung einer Tendenz dienen und nicht suggerieren, er erlaube stets eine eindeutige Unterscheidung. Das ändert allerdings nichts an seiner Nützlichkeit.

reichs stand in der deutschen Wissenschaft alleine und lag keineswegs im Trend der deutschen Informatikforschung, und auch sein Protagonist, HANS-PAUL SCHWEFEL, der international bereits seit längerem über sehr hohe Anerkennung verfügte, war mit seinen Arbeiten über auf Prinzipien evolutionärer Prozesse beruhende Methoden in der deutschen Informatik ein Außenseiter. Aus dieser gutachterlichen Bredouille führte damals der erwähnte Ratschlag zu einer konzeptionellen Erweiterung heraus, der in Dortmund den Anstoß zur Einbeziehung von INGO WEGENER gab – dieser personifizierte für die Gutachter den zuvor vermissen theoretisch-erklärenden Anspruch in idealer Weise. Zum späteren Erfolg in der Einrichtungsbegutachtung trug daneben in entscheidender Weise bei, dass HANS-PAUL SCHWEFEL es auf bewundernswerte Weise verstand die Gutachter zu einem Vertrauenskredit für den ansonsten unveränderten Ansatz zu überzeugen. Dieser Kredit wurde vor allem auf sein persönliches Auftreten, sein wissenschaftliches Ansehen und auf seine Partnerschaft mit INGO WEGENER hin dann auch gewährt.

Ein etwas weniger souverän agierender Sprecher, kein neuer Partner wie INGO WEGENER, der sich bewegen lässt mitzumachen – schon das hätte zum Abbruch eines zwar Erfolg versprechenden, aber unorthodoxen Forschungsvorhabens genügt. Die Hürden liegen in einem solchen Fall eben etwas höher und wackliger. Dies ist nicht planvoll herbeigeführt oder im Einzelnen gewollt, es ist ein so gewordenes Strukturmerkmal des *Systems DFG* und als solches auch weder *gut* noch *schlecht*, vielleicht sogar unvermeidlich. Soll daraus in der Balance zwischen unvermeidlicher Systemträgheit und Beweglichkeit keine unerwünschte Trägheitstendenz entstehen, soll das System auch weiterhin besonders offen, besonders innovations- und risikozugewandt sein, muss es auf bestehende Probleme bei der Behandlung unorthodoxer Vorhaben wirksame Antworten finden.

Random Impressions of a Gentle Scientist

Sandor Markon

My first encounter with Hans-Paul Schwefel was the same as I guess it is for most people: I read his book 'Evolution and Optimum Seeking'... I had a practical optimization problem; wanted to try an evolutionary algorithm; and this book was recommended by many as *the* place to start. I have to confess that at that time I was using the book as a 'cookbook' (despite the warnings to not to do this), so I took a simple (1+1)-ES algorithm from it and plugged it into my work (and it worked...).

Some time passed, and at one point my friend Prof. Kita of Kyoto University mentioned in passing that Prof. Schwefel is coming to the IEEE SMC1999 conference in Tokyo. This sounded like a good chance of getting acquainted, and perhaps getting a few morsels of advice.

We met first at a non-official banquet, hosted by Prof. Nishikawa, where I saw that both he and Antje are comfortable with Japanese food.



Figure 1: Official banquet hosted by Prof. Nishikawa

Through Prof. Kita, I succeeded in inviting them to Kyoto, to my favourite Zen temple 'Juko-In', for a private visit.



Figure 2: A private visit to the Zen temple Juko-In

My impression was that Hans-Paul and Antje were at ease with taking on the head abbot (another friend) on equal terms, in discussing the temple and the world: on one side, a German academician couple, on the other, a Japanese Zen monk caring for a 500-years old temple; liking each other from the first moment.



Figure 3: Juko-In

It appears in retrospect, that this visit was the decisive point in the chain that sent me for a month to Dortmund, and resulted in a lasting cooperation with Hans-Paul's students, most prominently first with Prof. Baeck and many others, then later with Dr. Bartz-Beielstein.

Skipping over the details, finally I made it to UniDO, and here is my first observation of

Hans-Paul in his 'natural habitat', always composed but cheerful, ready for whatever comes.



Figure 4: Hans-Paul's office in Dortmund

During my stay in Dortmund, much of my time was spent with Thomas Baeck and his NuTech collaborators; but in the background I always felt the presence of Hans-Paul, ready to step in and help out with anything. The result for me and my company was great: we have found some theoretically interesting and publishable new results, and my company has got the seeds of a completely new technology.

After returning to Japan, I was looking forward to meeting Hans-Paul again, and continuing the process of learning *from* and *about* him. Finally the occasion arrived: Hans-Paul came to Japan to give one of his many keynote talks, this time at CIRA2003 in Kobe, and he has kindly reserved a couple of days for a trip with me, to Mount Koya. We have talked about this mountain before, the headquarters of Japanese Shingon Buddhism, while in Dortmund, and I was eager to show him the unique atmosphere that I enjoy with my wife at least a few times each year.

For me, the Koya trip was a chance of returning a small part of Hans-Paul's hospitality that I enjoyed in Dortmund; but also a once-in-a-lifetime opportunity of finding out something about what 'makes him tick'.

We started out from Kobe, drove along the highways leading to Koya, and arrived at the top, fast enough to have time for some sightseeing among the 1300 year old temples.



Figure 5: Garan



Figure 6: Oku-no-in

We have finished wandering around just in good time to enjoy a hot bath and a vegetarian 'Shojin' meal at the 'Dai-Myoh-Oh-In' temple-lodge.

My wife, Akiyo, still reminds me how impressed I was with Hans-Paul cleaning up everything from his dishes, even the thick, sweet 'miso' dressing that I cannot eat even after 30 years in Japan.

The next day we drove down the mountain, seeing the breathtaking views of Oku-Koya.

Hans-Paul was busy photographing the mountains, while I was snapping him.



Figure 7: Mountains

Finally we have arrived in Kobe, again in time for a little final sightseeing at the 'Ijinkan' (Foreigners' Residence).



Figure 8: Kobe

During our two days together, Hans-Paul told me many stories; I hope not only to distract himself from my reckless driving...

I leave it to others who know him better to tell us about his seminary days, his relation to singing and music, or the events leading to the famous Venturi-tube optimization experiments and hence the founding of the Evolutionary Strategy branch of evolutionary algorithms; for me, his personality means more than the bare facts.

I consider myself lucky that our lives have crossed, giving me one more example to emulate. I am waiting for the next occasion to continue my study of this 'Gentle Scientist'.

Streiflichter

Jörn Mehnen

Über einen lieben Menschen zu schreiben und über ihn zu lesen ist immer nahe am Missverständnis oder an der Selbstbespiegelung. Wer schreibt denn da, was schreibt er da überhaupt und was wollte er sagen? Steht da denn nicht etwas zwischen den Zeilen? Preise werden häufig verliehen, um den Preisgeber zu ehren. Erinnerungen sind rückwärts gerichtet. Das passt nicht für einen Menschen, der so bedächtig und gleichzeitig so vorwärts gewandt ist, den ich persönlich so sehr schätze wie Herrn Schwefel.

Ein hell erleuchtetes Fenster. Es ist schon spät. Sehr spät. Draußen poltert der Nachtexpress durch den Garten. Eine Tasse Tee dampft. Oder war es einmal Pfeifenrauch? Nein, nein! So geht das nicht. Literaturreferenzen ohne Seitenzahl und Jahresangabe. Es wird wohl doch noch später.

Gödel Escher Bach. Schwefel. Er sitzt in seinem Büro. Die eigene Bibliothek ist gleich nebenan. Die Tür zum Büro ist wie so häufig offen oder nur angelehnt. Ich klopfe vorsichtig. Er kommt mir mit einladendem Lächeln entgegen. Was kann ich für Sie tun? Ein Fachgespräch entfaltet sich. Wieder was gelernt und nicht nur über evolutionäre Algorithmen. Warum bin ich da nicht selbst drauf gekommen?

Die Ampel steht auf Rot. Menschengedränge. Sprachfetzen. Es ist heiß. Warten. Schweiß und Küchendünste steigen in die Nase. Gänsehaut. Grünes Licht. Die Menschenmenge kommt in Bewegung. Peking am frühen Morgen. Die kleine Hausfrau auf der Kreuzung verliert gleich ihr Suppenhuhn. Frau Schwefel unterhält sich angeregt mit ihr.

Schrittweitenadaptation. Der Blick über Paris über den Dächern ist atemberaubend. Grün und weiß und tief. Im Hintergrund Montmartre. Die Blumen am Geländer müssten wieder gegossen werden. Ein Tee oder doch ein Cappuccino? Studieren ist doch wunderbar! Und das hier oben. Sein Buch auf dem Schoß. Hmm... wie funktioniert nur diese self-adaptation?

Schiffswendegetriebe. Welcher Informatiker kann schon von sich behaupten, dass er je ein Schiffswendegetriebe konstruiert hat?

Picasso oder Chagall? Ein blauer Pullover und ein quitte-gelbes Auto. Und eine Ente gehört definitiv nicht auf den Nürburgring!

Chaostheorie. Na ja, da gibt es einige Theorien. Auf dem Schreibtisch die aktuellen Papiere. Der Rechner. Systemanalyse und Zukunftsforschung. Optimierung. Entscheidungen auf des Messers Schneide. Kleinste Änderungen haben eine große Wirkung.

Der Spiegel-Artikel. Mann, war ich als Student beeindruckt. Eine Diplomarbeit und mit der auch gleich in den Spiegel. Ich hatte ja keine Ahnung von der Evolutionsstrategie. Aber wer hat das schon. Die Denkweise ist irgendwie auf den Kopf gedreht. Nichts für einen if-then-else-goto. Frage und Du bekommst eine Antwort. Frage aber richtig! Das ist nicht nur Abschauren von der Natur. Evolutionsstrategie. Es finden sich Mathematik, Logik, Biologie und Ingenieurwesen. Die Düse konnte trotz der Vorbehalte optimiert werden. Es klappt einfach.

Ein Berliner in Dortmund. Parallel Problem Solving from Nature. Mit dem Campingbus durch Australien. Soll ich noch mehr inkompatible Aussagen zusammenstellen? Abenteuerlich.

Spieltheorie. Fünfzig Leute sitzen in einem Raum. Alle haben ein Ziel: Gewinnmaximierung. Der eine denkt an Geld, der andere an Ruhm, der nächste vielleicht an eine gesicherte Zukunft für sich und andere,

wieder ein anderer hat Träume und Ideen. Der Topf hat einen Deckel. Kooperation mit oder ohne Kommunikation. No free lunch, unsicheres Wissen, Mehrzieloptimierung, Hybridisierung. Wir sitzen alle im selben Boot. Was am Ende bleibt, ist das Wissen. Wissenschaft. Seine Strategie geht auf.

Wo sind wir nicht überall gewesen? Tja, leider habe ich Quax den Bruchpiloten oder vielmehr den Plattbodenschiffkapitän ja nicht erlebt. Aber dafür Heringsdorf kurz nach der Wende. Eine Reise in den Nebel zum Grand Ballon. Die Bundestagswahl auf einem Berg im Harz... auch im Nebel. Vom Hiwi über den wissenschaftlichen Mitarbeiter bis zum Ehemaligen. Viele sind da. Der Spaß war immer riesig. Sonnenbrand in Texel? Dafür war's dann doch zu kühl. Thomas Bäck, Günter Rudolph, Frank Kursawe, Gundel Jankord und Heike Bracklo. Die Gespräche waren eher intellektuell. Fach- und Allgemeinwissen werden bei Herrn Schwefel sehr gepflegt. Weinprobe und Spaßbad.

Unfortunately I cannot write this text in English. Kontextfrei oder kontextsensitiv. Wann ist der Text wahr? Wer kann's entscheiden? Ich wage es nicht, diesen Text in englischer Sprache zu verfassen. Freundlich begleitete mich Herr Schwefel einen langen Weg. Ich bräuchte also nichts zu fürchten, obwohl er jedes Wort und jede Redewendung sofort versteht. Kein Artikel mit seinem Namen ohne dass er entsprechenden Einfluss selbst genommen hätte. Die Nächste wurden wieder lang.

Shanghai. Die Schnellbahn saust lautlos durch die Häuserschluchten. Die Leute kommen jetzt schneller ans Ziel. Ein Handy klingelt. Kurze Wege. Leute unterhalten sich. Ein Flugzeug zieht auch hier über den wirklich blauen Himmel dahin. Ein Eisbär wurde wieder in Alaska gesichtet. Es lässt sich einiges optimieren. Die Wege sind bereitet.

Die letzte Hülle fiel. Das Licht ist aus und die Show vorbei. Es bleibt ein Wagnis.

The show must go on. It still goes on.

Dear Hans-Paul,

I am very happy for you. You are about to open a new chapter in your life, which might be the most exciting chapter of them all. With more time and many new ideas, there is no limit to what you can accomplish!

I have always admired your vision and perspective on life. I believe that some universal qualities (like kindness, sense of humour, understanding) are of vital importance in our day-to-day lives. You are one of very few people I have met with all these qualities; I am very proud that you consider me one of your friends.

I also share your passion for travel and exploration of new places (and ideas)... I have attached a photo from one of the most enjoyable places I ever visited (Machu Picchu), with hopes that one day we can travel there together. I have also attached another photo from our last meeting in Wuhan. I am still exploring the possibility of organizing a computational intelligence conference on a cruise ship in the South Pacific... I know that you always liked the idea...

And I loved your idea of "garlic anniversary"... I plan to steal this concept from you; however, we have to wait almost 3 years to get there...

I do believe that you already have a great plan for the next stage of your life, and I hope we can get together on a more regular basis (whether in Europe or in Australia), sharing stories, ideas, and plans.

All the best,

Zbyszek and Ewa Michalewicz



Evolutionäre Aufzucht von Methodenbäumen zur Merkmalsextraktion aus Musikdaten

Katharina Morik
Ingo Mierswa

In den vergangenen Jahren ist es dem Sonderforschungsbereich 531 unter der Leitung von Hans-Paul Schwefel gelungen, genetischen Algorithmen, Evolutionsstrategien und genetischer Programmierung einige Geheimnisse zu entlocken und sie ein Stück zu entmystifizieren. Nun bedienen wir uns ihrer Hilfe, um mit der Musik ein weiteres, äußerst komplexes Anwendungsgebiet zu erschließen. Damit versuchen wir eine Verbindung zu schaffen zwischen zwei Leidenschaften von Hans-Paul Schwefel: Evolutionären Algorithmen und Musik.

Vielleicht hilft dieser Beitrag irgendwann dabei, die von Hans-Paul Schwefel geschätzten asiatischen Instrumente in einem Berg von Musikdaten aufzufinden. Oder ihm ein persönliches Radioprogramm automatisch zu erstellen („mit viel Klassik – und nur wenig Popmusik“). Vielleicht können auch Suchanfragen wie „Mozart gespielt mit Koto und Shakuhachi“ in Zukunft schneller oder überhaupt erst beantwortet werden und erlauben es dem Hörer auf diese Weise, noch leichter in seine Welt der Musik einzutauchen.

Einleitung

Wir stellen uns also der Aufgabe der Musikdatenanalyse und beschränken uns dabei zunächst auf automatische Klassifikationen von Musikstücken gemäß vorgegebener Genres oder eines persönlichen Benutzergeschmacks. Die grundsätzlich zu lösende Frage ist hier: Wann sind zwei Musikstücke ähnlich?

Heutige Ansätzen zur Zeitreihenindexierung und -ähnlichkeitsmaßen werden feste Zeitskalen zu Grunde gelegt (Keogh/Pazzani/98). Im Allgemeinen wird die Ähnlichkeit in Hinblick auf die Form und den Verlauf der Reihen ermittelt (Kahveci/Singh/2001, Yi/etal/98). Musikstücke variieren jedoch in ihrer Länge und die i -ten Zeitpunkte der Stücke weisen untereinander keine Korrelation auf. Die entscheidenden Aspekte für die Klassifikation sind daher nicht in dem konkreten Verlauf der Kurven zu suchen, sondern müssen aus den Originaldaten extrahiert werden. Die Merkmalsextraktion aus Audiodaten ist daher zu einem aktuellen Forschungsthema geworden (Guo/Li/2003, Liu/etal/98, Tzanetakis/2002, Zhang/Kuo/98).

Viele verschiedene Extraktionsmethoden haben ihre Güte für unterschiedliche Lernaufgaben und Datensätze bewiesen. Das Problem ist nun die Suche nach dem besten Merkmalsatz für eine neue Lernaufgabe oder für einen neuen Datensatz. Ein einheitlicher Rahmen für Extraktionsmethoden fehlt bisher, so dass eine strukturierte Suche oder auch ein strukturierter Vergleich der Methoden kaum möglich ist. Hinzu kommt, dass jede neue Lernaufgabe einen neuen Merkmalsatz verlangt. Es ist unwahrscheinlich, dass ein Merkmalsatz, der eine hervorragende Trennung von Klassik und Pop ermöglicht, sich in gleicher Weise für die Klassifikation zwischen Techno und Hip Hop eignet. Dieses Problem wird durch eine Klassifikation nach Benutzerpräferenzen noch verschärft.

In diesem Artikel wird ein Rahmen für automatisierte Merkmalsextraktion vorgestellt, der zur Lösung der dargestellten Probleme beiträgt. Im nächsten Abschnitt werden elementare Basismethoden der statistischen Zeitreihenanalyse systematisch gruppiert. Diese Bibliothek von Basismethoden erlaubt uns, die Merkmalsextraktion als Sequenz von Datentransformationen zu betrachten. An deren Ende steht die Aus-

gabe der benötigten Merkmale. Dies führt zu der algorithmischen Struktur der Methodenbäume zur Extraktion von Merkmalen aus Wertereihen. Damit werden die bereits bekannten Merkmale aus Audiodaten abgedeckt und einige neue Merkmale können mit ihrer Hilfe extrahiert werden. Gesucht ist also eine optimale Kombination der elementaren Basismethoden für eine gegebene Klassifikationsaufgabe. Diese Suche muss für jede neue Lernaufgabe und jeden neuen Datensatz erneut durchgeführt werden. Anstatt von Hand die möglichen Kombinationen durchzuprobieren, nutzen wir nun die Strukturierung der Methoden aus und suchen die optimale Extraktion mit Hilfe von genetischer Programmierung.

Die Suche durch den Raum aller denkbaren Methodenbäume ist geleitet durch eine Fitnessfunktion. In unserem Fall wird die Performanz eines eingebetteten Klassifikationslernalers geschätzt. Die Fitness steigt monoton mit der Performanz des Lernalers auf der gegebenen Repräsentation des Suchpunkts (Individuums). Das Ergebnis ist ein Methodenbaum, der angewendet auf die gegebenen Audiodaten die Performanz der aktuellen Lernaufgabe maximiert. Abbildung 1 zeigt den kompletten Prozess der Suche nach Methodenbäumen. Er enthält zwei Lernschritte: Zum einen das Lernen der besten Repräsentation, d.h. des besten Merkmalssatzes und zum anderen das

Lernen der eigentlichen Klassifikationsaufgabe. Letzteres wurde hier mit der *support vector machine* mySVM (Rüping/2000) durchgeführt. Diese ist ebenfalls Teil der Fitnessbewertung während des Repräsentationslernens. Die Fitness braucht jedoch nur auf einen Teil der Daten abgeschätzt werden, wodurch weitere Rechenzeit eingespart wird. Der hier beschriebene Ansatz wurde für mehrere Klassifikationen nach Genre sowie für Benutzerpräferenzen evaluiert. Im letzten Abschnitt beschreiben wir die Ergebnisse.

Methoden zur Merkmalsextraktion aus Audiodaten

Audiodaten sind Zeitreihen, bei denen die x-Achse den Verlauf der Zeit und die y-Achse die augenblickliche Auslenkung (Elongation) beschreibt. Die Elongation beschreibt schlussendlich die Auslenkung einer Lautsprechermembran zu einem bestimmten Zeitpunkt eines Musikstücks. Im Folgenden generalisieren wir diese Reihe zu einer *Wertereihe*, d.h. zu einer Abbildung von den natürlichen Zahlen in das Kreuzprodukt reeller Zahlen mit einem komplexen Vektorraum der Dimension m . Die erste Komponente des Bildraums ist die Indexkomponente, welche die Position auf einem Zahlenstrahl anzeigt (z.B. Zeit oder Frequenz). Die zweite Komponente ist

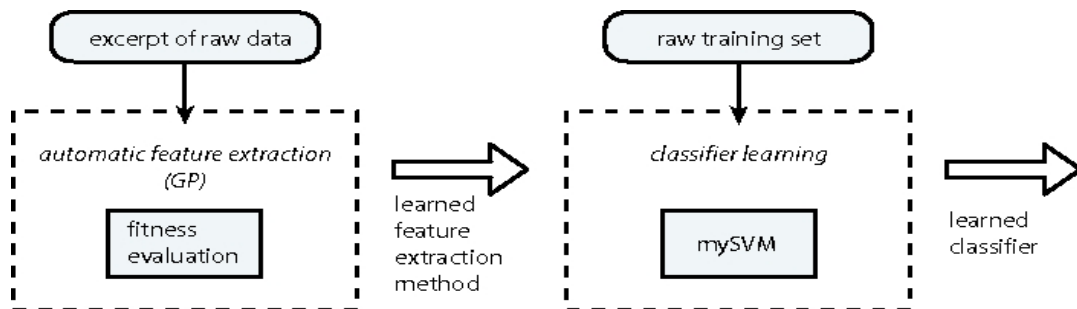


Abbildung 1: Übersicht über den automatisierten Merkmalsextraktionsprozess

ein m -dimensionaler Vektor von (komplexen) Werten. Durch die Indexdimension ist eine Ordnung innerhalb dieser Dimension nicht länger nötig, wodurch auch Transformationen in für Audiodaten eher ungewöhnliche Räume (z.B. den Phasenraum) ermöglicht werden.

Systematisierung statistischer Basismethoden

Eine Systematisierung der Methoden der Zeitreihenanalyse muss mächtig genug sein, um alle bekannten Methoden der Merkmalsextraktion abdecken zu können. Andererseits muss die Systematik präzise genug sein, um durch die Strukturierung eine automatisierte Suche nach den besten Kombinationen zu erlauben. Jede Methode arbeitet auf einer gegebenen Wertereihe und produziert dabei ein Ergebnis. Es stellt sich heraus, dass die Art dieses Ergebnisses ein gutes Kriterium für die Einteilung der Methoden darstellt. Wir unterscheiden:

- Alle Methoden, welche erneut eine Reihe als Ergebnis produzieren, heißen Transformationen.
- Alle Methoden, welche einzelne Werte ohne Ordnung produzieren, heißen Funktionale.

Die Ergebnisse von Funktionalen werden schließlich als Merkmale eingesetzt. Vorher können jedoch noch beliebige Ketten von Transformationen durchgeführt werden. Transformationen, welche lediglich die Reihe ändern ohne direkt Merkmale zu produzieren, können wiederum in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. *Basistransformationen* bilden von einem Vektorraum in einen anderen Vektorraum ab (z.B. Fouriertransformationen). Durch die Verwendung einer anderen Basis werden oftmals Eigenschaften betont, die vorher nicht deutlich zu erkennen waren. So kann durch die Berechnung der Autokorrelation mit vorgegebenen Phasenverschiebungen das Tempo eines Stückes bestimmt werden (siehe Abbildung 2).

Ein anderes und für Audiodaten weitestgehend unbekanntes Beispiel einer Basistransformation ist die Rekonstruktion des Zustandsraums (Takens/80), auch bekannt als Transformation in den Phasenraum. Die Winkel im Zustandsraum geben Aufschluss über die Perkussivität eines Stückes (Mierswa/2003). Abbildung 3 zeigt den Phasenraum eines typischen klassischen Stückes (rechts) im Vergleich zu einem Popstück (links). Der durchschnittliche Winkel und seine Varianz sind offensichtlich gute Merkmale für die Klassifikationsaufgabe Pop gegen Klassik.

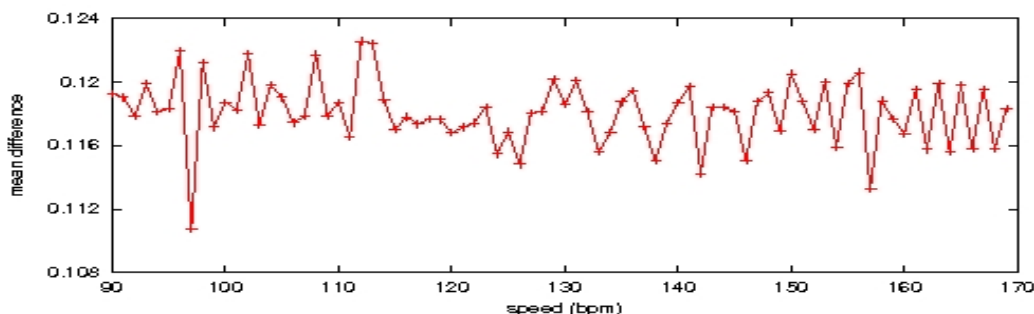


Abbildung 2: Autokorrelation zur Bestimmung des Tempos eines Musikstückes. Das Minimum markiert das tatsächliche Tempo von 97 Schlägen in der Minute

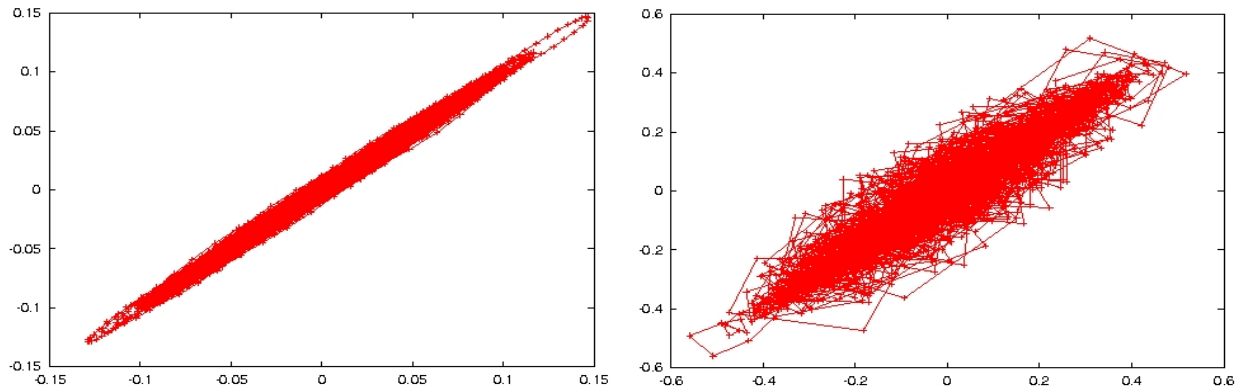


Abbildung 3: Phasenraumtransformation eines klassischen Musikstücks (links) und eines Popstücks (rechts)

Filter hingegen ändern nicht den Raum selber, sondern nur die Position des Elementes (Differenzenfilter oder Glättung). Eine besondere Rolle spielen *Auszeichnungen in Wertereihen*. Diese versuchen Intervalle in verschiedenen Dimensionen der Reihe zu finden um damit die Extraktion zu beschleunigen bzw. sie nur in interessanten Regionen durchzuführen. Nachfolgende Transformationen können also von diesen Auszeichnungen profitieren (Mierswa/Morik/2005).

Fensterung erweitert den Methodenraum

Um die bereits entwickelten Methoden der Wertereihenanalyse (Bradley/99, Schlittgen/Streitberg/2001) vollständig abdecken zu können, benötigt eine spezielle Transformation eine besondere Behandlung. Mit Hilfe einer *Fensterung* kann eine Vielzahl bekannter Merkmale und Transformationen gebildet werden. Eine Transformation heißt Fensterung, wenn ein Fenster der Größe w mit Schrittweite s über die Reihe geschoben wird und für jedes Fenster ein Funktional berechnet wird. Die Ergebnisse bilden erneut eine Reihe.

Durch die Verwendung aller denkbaren Funktionalen kann diese Definition bereits eine große Anzahl bereits bekannter Transformationen „simulieren“. Ist das Funktional z.B. definiert als die Bildung des Durch-

schnitts der gegebenen Werte, so entspricht die Anwendung der Fensterung dem bekannten gleitenden Durchschnitt. Wir gehen jedoch noch einen Schritt weiter und erlauben vor Anwendung des Funktionalen noch eine beliebige Anzahl von zusätzlichen Transformationen. Diese Erweiterung der Fensterung nennen wir *verallgemeinerte Fensterung*. Die Forderung nach einem Funktional für jedes Fenster verhindert ein Explodieren des Speicherbedarfs, was angesichts der großen Datenmengen dringend erforderlich ist.

Es kann gezeigt werden, dass die Laufzeit der verallgemeinerten Fensterung von dem Grad der Fensterüberlappung abhängt. Im Vergleich zu der Laufzeit der auf die einzelnen Fenster angewendeten Transformationen und Funktionalen kann sich die Gesamtlaufzeit durch Anwendung einer Fensterung mit realistischen Parametern für w und s jedoch nur verringern (Mierswa/Morik/2005).

Methodenbäume zur Merkmalsextraktion

Die extrahierten Merkmale sind das Ergebnis einer Kette von Transformationen mit einem Endfunktional. Eine Fensterung ist ebenfalls eine Transformation, welche jedoch iterativ andere Methoden auf Teilen der Reihe anwendet. Eine mögliche Modellierung für diesen Zusammenhang ist die

Abbildung 4 zeigt ein Beispiel eines solchen Methodenbaums. Dieser wird gemäß einer Tiefensuche durchlaufen, wobei die Kinder einer Fensterung im Gegensatz zur normalen Tiefensuche mehrfach angewendet werden. Gestrichelte Linien zeigen die Eltern-Kind-Relationen, durchgezogene Linien markieren den Datenfluss. Das letzte Kind des Wurzelknotens ist das Durchschnittsfunktional, welches die verlangten Merkmale „Durchschnitt und Varianz der maximalen Frequenz im Verlauf der Zeit“ liefert.



Dynamische Fensterung in Methodenbäumen

Jeder Methodenbaum produziert ein oder mehrere Merkmale. Die Baumstruktur entsteht durch die Schachtelung der Fensterungen. Es ist daher unmöglich, zwei Fensterungen mit den gleichen Fensterweiten w ineinander zu schachteln. Die Kindfensterung wäre auf Grund mangelnder Werte nicht mehr in der Lage, eine weitere Fensterung durchzuführen und eine neue Reihe zu produzieren.

Um eine effiziente Laufzeit der Fensterungen zu gewährleisten, sollte die Überlappung fest gewählt werden. Die Größe der Fenster muss bei fester Schrittweite dann dynamisch an die Tiefe im Methodenbaum angepasst werden (*dynamische Fensterung*). Sie ist $w=n/d$ für ein gegebenes d . Ein Methodenbaum hat dann eine maximale Tiefe von $\log_d n - 1$. Es gilt für den gesamten Methodenbaum - genau wie für die verallgemeinerte Fensterung - dass die Laufzeit der Merkmalsextraktion niemals exponentiell wird, wenn die Laufzeit der Basismethoden nicht exponentiell war (Mierswa/Morik/2005).

Automatische Konstruktion von Methodenbäumen

Elementare Methoden der statistischen Zeitreihenanalyse können zu Methodenbäumen kombiniert und zur Extraktion von Merkmalen verwendet werden. Die Forderung nach dem Funktional einer Fensterung stellt dabei sicher, dass der Speicherverbrauch nicht exorbitant ansteigt. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass die Merkmalsextraktion mit Hilfe von Methodenbäumen effizient durchgeführt werden kann.

Es ist jedoch äußerst mühsam, solche Kombinationen von Hand zu erstellen und zu validieren. Da es sich bei Methodenbäumen um Bäume variabler Größe handelt, wenden wir *genetische Programmierung* an, um den optimalen Methodenbaum für eine gegebene Anwendung zu züchten.

Abbildung 6 zeigt diese Suche nach der besten Repräsentation. Das Bild beschreibt den linken Teil von Abbildung 1 im Detail. Der Suchraum wird Universum der Methodenbäume genannt; eine Population ist eine Menge von Methodenbäumen. Die Navigation durch das Universum aller Bäume

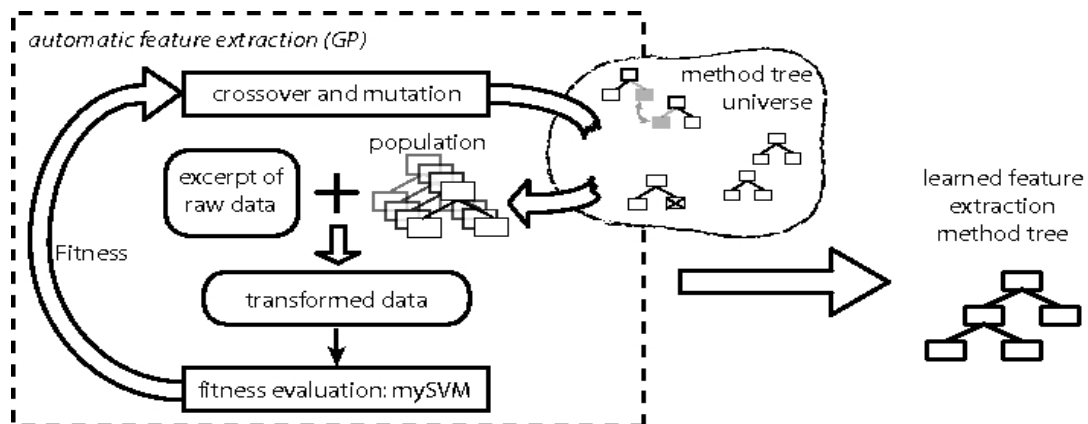


Abbildung 4: Automatisierte Konstruktion eines optimalen Methodenbaums zur Merkmalsextraktion aus Musikdaten mittels genetischer Programmierung

ist ein Kreislauf aus Selektion der besten Individuen, Veränderung der Bäume durch Mutation und Kreuzungen, Anwendung der neuen Methodenbäume auf die Rohdaten und Evaluierung der Fitness durch Abschätzung der Güte eines Lernverfahrens.

Die lokalen Suchoperationen sind Mutation und Kreuzungen. Mutationen fügen zufällig neue Methoden hinzu, löschen zufällig ausgewählte Methoden oder ersetzen eine Methode durch eine andere der gleichen Methodenklasse. Bei allen Änderungen wird gewährleistet, dass die strukturellen Bedingungen erfüllt bleiben. Kreuzungen tauschen einen zufällig ausgewählten Teilbaum eines Elters mit einem Teilbaum eines anderen Methodenbaums. Auch hierbei werden alle Bedingungen berücksichtigt. Im Falle der Kreuzung ist dies gewährleistet, falls die Wurzeln der beiden Teilbäume vom gleichen Typ sind.

Fitnessfunktion und Selektion

Zur Selektion der besten Individuen wird die sogenannte *Turnierselektion* eingesetzt. Hierbei werden t Methodenbäume zufällig aus der aktuellen Population ausgewählt und der Gewinner dieses „Turniers“ der nächsten Population hinzugefügt. Dieses wird solange iteriert, bis die gewünschte Anzahl der Individuen erreicht ist.

Da Methodenbäume letztendlich einer verbesserten Klassifikationsgüte dienen sollen,

wird diese auch als Kriterium zur Fitnessbewertung eingesetzt. Methodenbäume, deren Merkmale eine bessere Klassifikation erlauben, sollten auch mit einer höheren Wahrscheinlichkeit in die nächste Generation aufgenommen werden. Um die Fitness eines Methodenbaums zu bewerten, werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Jedes Individuum, d.h. jeder Methodenbaum, wird auf einer Teilmenge der Rohdaten angewendet.
- Das Ergebnis ist ein transformierter Datensatz bestehend aus den extrahierten Merkmalen, welcher für die Klassifikationsaufgabe verwendet wird.
- Eine zehnfache Kreuzvalidierung schätzt die Performanz des Lernverfahrens auf den gegebenen Repräsentationen ab.
- Die durchschnittliche Klassifikationsperformanz (z.B. *accuracy*) entspricht der zu maximierenden Fitness.

Klassifikationen mit Hilfe gelernter Methodenbäume

Das Ziel der automatisierten Merkmalsextraktion war eine Optimierung der Vorhersageperformanz des zweiten Lernschritts, welcher die extrahierten Merkmale verwendet. Abbildung 1 aus der Einleitung verdeutlicht, dass die extrahierten Merkmale als Eingabe für einen zweiten Lernschritt verwendet werden. Abbildung 7 erläutert den rechten Teil der eingangs beschriebenen Übersicht.

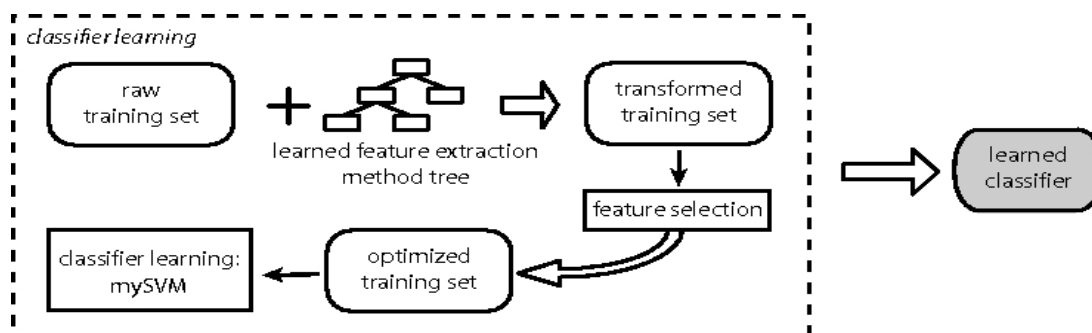


Abbildung 5: Lernen eines Klassifikators für die gegebene Aufgabe auf Basis des erzeugten Methodenbaums.

Da die Merkmale nur auf Basis von Teilmengen der Daten extrahiert wurden, wird für diesen zweiten Lernschritt noch eine evolutionäre Merkmalsselektion mit Hilfe eines einfachen (1+1) EA durchgeführt. Erneut wird die Performanz des Klassifikationslernalers als Fitnessfunktion verwendet. Die ausgewählten Methodenbäume werden dann auf dem kompletten Rohdatensatz angewendet und die mySVM hierauf angewendet.

Alle Experimente wurden mit der maschinellen Lernumgebung YALE durchgeführt (YALE sowie ein Plugin zur automatisierten Merkmalsextraktion aus Musikdaten und anderen Wertereihen sind frei erhältlich unter <http://yale.sf.net>).

Klassifikation nach Genres

Zunächst soll eine vorgegebene Klassifikation nach musikalischen Genres untersucht werden. Zu diesem Zweck werden drei Datensätze verwendet:

- Klassik/Pop: 100 Stücke jeder Klasse (Ogg Vorbis).
- Techno/Pop: 80 Stücke jeder Klasse (viele Alben, Ogg Vorbis).
- HipHop/Pop: 120 Stücke jeder Klasse (wenige Alben, MP3 mit 128 kbits/s).

Diese Lernaufgaben sind von ansteigender Schwierigkeit. Die Performanz der mySVM mit linearer Kernfunktion wurde mit einer 10-fachen Kreuzvalidierung abgeschätzt. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 1. Für Klassik gegen Pop wurden unter Verwendung von Hand optimierter Merkmale vormals 93% Accuracy und für Hip Hop gegen Pop 66% Accuracy veröffentlicht (Tzanetakis/2002, Tzanetakis/etal/2001). Die mit dem hier beschriebenen Ansatz extrahierten Merkmale liefern also in jedem Fall vergleichbar gute Vorhersageergebnisse.

Tabelle 1: Vorhersagegenauigkeit auf Basis speziell konstruierter Methodenbäume für verschiedene Genreklassifikationen

	Klassik / Pop	Techno / Pop	HipHop / Pop
Accuracy	100,00%	93,12%	82,50%
Precision	100,00%	94,80%	85,27%
Recall	100,00%	93,22%	79,41%
Fehler	0,00%	6,88%	17,50%

Klassifikation nach Benutzerpräferenzen

Empfehlungen von Liedern für potentielle Kunden basieren derzeit lediglich auf der Korrelation der zusammen verkauften Stücke. Dieser kollaborative Ansatz ignoriert jedoch vollständig inhaltliche Aspekte der Stücke. Insbesondere ist eine hohe Korrelation üblicherweise nur innerhalb des gleichen Genres gegeben, da Präferenzen über Genrengrenzen hinaus seltener auftreten. Die Angabe der von einem Benutzer präferierten Stücke ermöglicht eine individuelle Klassifikation seiner Hörpräferenz. Dabei handelt es sich um eine äußerst anspruchsvolle Aufgabe, da aus nur wenigen Stücken zuverlässig und robust generalisiert werden muss. Das Benutzerverhalten kann dabei beliebig variieren und Genrengrenzen ebenso beliebig überschreiten. Dies verdeutlicht nochmals den Bedarf für auf die Klassifikationsaufgabe zugeschnittene Merkmalssätze.

Vier Benutzer mit völlig unterschiedlichen Hörpräferenzen waren in der Lage, zwischen 50 und 80 Stücke ihrer Lieblingsmusik anzugeben sowie ebenso viele negative Beispiele. Benutzer 1 wählte positive Stücke mit einer dominierenden elektrischen Gitarre. Benutzer 2 wählte sowohl positive

wie auch negative Stücke aus dem Bereich des Jazz. Benutzer 3 wählte genreübergreifend sowohl aus Klassik, Latin, Soul, Rock und Jazz. Benutzer 4 wählte ebenfalls Musik aus unterschiedlichen Genres, jedoch nur von wenigen verschiedenen Alben.

Jeder Benutzer definierte also eine Lernaufgabe, für die ein Satz von Methodenbäumen gesucht war. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse.

	Benutzer 1	Benutzer 2	Benutzer 3	Benutzer 4
Accuracy	95,19 %	92,14 %	90,56 %	84,55 %
Precision	92,70 %	98,33 %	90,83 %	85,87 %
Recall	99,00 %	84,67 %	93,00 %	83,74 %
Fehler	4,81%	7,86%	9,44%	15,45 %

Das exzellente Lernergebnis für Benutzer 1 entspricht den Erwartungen, da die positiven Beispiele alle aus einem leicht zu identifizierenden Genre stammen. Die Performanz für eine Lernaufgabe mit positiven und negativen Beispielen aus dem gleichen Genre führt zu vergleichbar guten Ergebnissen. Überraschend gut ist das Ergebnis für Benutzer 3, bei dem die Auswahl äußerst genreübergreifend stattfand. Dies ist ein Indikator dafür, dass die extrahierten Merkmale die Bildung von Präferenzclustern im Merkmalsraum eher bevorzugen als die Bildung von Genreclustern. Dies erklärt auch das im Vergleich schlechte Abschneiden für den vierten Benutzer, bei dem die Auswahl von Stücken nur einer

kleinen Anzahl unterschiedlicher Alben mit ähnlichen Klangcharakteristiken entstammt.

Literatur

- E. Bradley.** Intelligent Data Analysis: An Introduction. Springer, 1999.
- G. Guo and S. Z. Li.** Content-Based Audio Classification and Retrieval by Support Vector Machines. IEEE Transaction on Neural Networks, 14(1): 209-215, January 2003.
- N. S. Jayant and P. Noll.** Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video. Prentice Hall, 1984.
- T. Kahveci and A. K. Singh.** An efficient index structure for string databases. In Proc. of the 27th VLDB, Seiten 352-360. Morgan Kaufmann, 2001.
- E. Keogh and M. Pazzani.** An enhanced representation of time series which allows fast classification, clustering and relevance feedback. In Proc. of the 4th Conference on Knowledge Discovery in Databases, 239-241, 1998.
- Z. Liu, Y. Wang, and T. Chen.** Audio Feature Extraction and Analysis for Scene Segmentation and Classification. Journal of VLSI Signal Processing System, June 1998.
- I. Mierswa.** Beatles vs. Bach: Merkmalsextraktion im Phasenraum von Audiodaten. In Proc. of LLWA 03, 2003.
- I. Mierswa and K. Morik.** Automatic Feature Extraction for Classifying Audio Data. Machine Learning Journal, 58: 127-149, 2005.
- S. Rüping.** mySVM Manual. Universität Dortmund, Lehrstuhl Informatik VIII, 2000.
- R. Schlittgen and B. H. J. Streitberg.** Zeitreihenanalyse. Oldenburg, 2001.
- F. Takens.** Detecting strange attractors in turbulence. In D. A. Rand und L. S. Young, editors, Dynamical systems and turbulence, volume 898 of Lecture Notes in Mathematics, 366-381. Springer, Berlin, 1980.
- G. Tzanetakis.** Manipulation, Analysis and Retrieval Systems for Audio Signals. PhD thesis, Computer Science Department, Princeton University, June 2002.
- G. Tzanetakis, G. Essl, and P. Cook.** Automatic musical genre classification of audio signals. In Proc. of the Int. Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR), 205-210, 2001.
- B. Yi, H. Jagadish, and C. Faloutsos.** Efficient retrieval of similar time series under time warping. In Proc. of the 14th Conference on Data Engineering, 201-208, 1998.
- T. Zhang and C. Kuo.** Content-based Classification and Retrieval of Audio. In SPIE's 43rd Annual Meeting - Conference on Advanced Signal Processing Algorithms, Architectures, and Implementations VIII, San Diego, July 1998.

Meine ersten Eindrücke am Lehrstuhl 11

Petra Mutzel

Geschafft! Ich wurde also als Nachfolgerin des international erfolgreichen Professors Dr.-Ing. Hans-Paul Schwefel ausgesucht: dem Pionier und Vordenker im Bereich der Evolutionären Algorithmen; demjenigen, der das Gebiet der Evolutionären Algorithmen in Theorie und Praxis maßgeblich vorangetrieben hat und hierfür 1995 den Lifetime Achievement Award der Evolutionary Programming Society sowie 2002 den Evolutionary Computation Pioneer Award der IEEE Neural Networks Society erhalten hat; demjenigen, der mit viel Energie und Engagement den äußerst erfolgreichen interdisziplinären SFB 531 an der Universität Dortmund gegründet hat, viele Jahre lang erfolgreich als Leiter und Sprecher vertreten hat und dadurch viele wissenschaftliche Nachwuchskräfte in diesem Bereich geprägt hat; und demjenigen, der beharrlich gegen alle Widerstände dafür gesorgt hat, dass seine Professur bereits ein Jahr vor Ablauf seiner Amtszeit wiederbesetzt wird, um eine weitere Verlängerung dieses SFBs, der so sehr von ihm geprägt war, nicht zu gefährden.

Ich war auf unsere erste Begegnung sehr gespannt!

Aufgrund seiner herausragenden Stellung war ich sehr überrascht, einen äußerst freundlichen und zurückhaltenden – ja, sehr bescheidenen – Kollegen kennenzulernen. Um was es auch immer geht; um eine neue Lehrstuhlbezeichnung, neue Büros im Informatik-Neubau, seine in vielen Jahren größtenteils privat aufgebaute Lehrstuhlbibliothek, die Neugestaltung der Webseiten, oder um Türschilder: Ich hatte alle Freiheiten. Er bestand jedoch darauf, dass sein Name überall an letzter Stelle erscheinen

solle, denn ich sei jetzt die neue Lehrstuhlinhaberin.

Bereits zu Beginn fiel mir die familiäre Atmosphäre am Lehrstuhl 11 auf. Ich kenne keinen anderen Lehrstuhl, bei dem die aktuellen UND die ehemaligen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen mitsamt ihren ganzen Familien jährlich mehrere Tage in einem Ferienpark verbringen.

Zu der besonderen Atmosphäre trägt sicherlich auch Herrn Schwefels Gattin, Frau Antje Schwefel bei, die eine tragende Rolle im Lehrstuhlgeschehen des LS11 innehat. Wie eine „Lehrstuhlmutter“ kümmert sie sich um „ihre Kinder“, die sie – inklusive der studentischen Hilfskräfte – alle persönlich kennt, und die sie regelmäßig mit selbstgebackenem Kuchen oder auch mit tamilischem „Vadai“ versorgt. Sie hat sicherlich auch Anteil daran, dass jedes Lehrstuhl-Mitglied jeweils ein persönliches Geburtstagsgeschenk erhält. Auch ich staunte, als ich an meinem Geburtstag ein hübsches Geschenk des Ehepaars Schwefel für meinen Garten vorfand.

Frau Schwefel arbeitet aber auch tatkräftig am Lehrstuhl mit. Obwohl sie – soweit ich weiß – nie eine offizielle Tätigkeit am Lehrstuhl innehatte, so kümmert sie sich doch regelmäßig um die Web-Seiten und die Publikationsdatenbank des LS11. Weiterhin organisiert sie die alle zwei Jahre erscheinenden Lehrstuhlberichte und sammelt vor Ort alle Beiträge ein. Dabei kann sie sehr hartnäckig sein – so dass selbst ich mich ihren Vorgaben kaum entziehen kann.

Inzwischen ist nun fast ein Jahr vergangen in dem ich – wann immer ich sie brauchte – die Unterstützung von Herrn Schwefel erhalten habe. Für die Zeit nach seinem offiziellen Abschied an der Universität Dortmund hatte sich Herr Schwefel viele Vortragsreisen in alle Welt vorgenommen. Ich hoffe dennoch, dass er zwischendurch ein

wenig Zeit finden wird, die er mit uns zusammen am Lehrstuhl verbringt.

Hiermit möchte ich mich noch einmal für seine Unterstützung bedanken und wünsche ihm und seiner Frau noch viele glückliche gemeinsame Jahre, in denen sie noch viele Reisen in ferne Länder (vielleicht ja zum Kljutschewskaja Sopka) unternehmen können.

Was ist ein System?

Boris Naujoks

Die Frage

„Was ist ein System?“

ist die wahrscheinlich am häufigsten von Hans-Paul Schwefel in Prüfungen gestellte Frage. Wir sollten zunächst klären, dass es sich bei diesen Prüfungen in der Regel um Prüfungen zum Diplom im Studiengang Informatik oder Ingenieurinformatik handelt. Der ebenfalls denkbare Studiengang Philosophie hat hiermit aber auch gar nichts zu tun.

Ferner dienen Prüfungsprotokolle an der Universität Dortmund den Studenten zur Vorbereitung auf die eigene Prüfung. Dass diese auch Aussagen zum Prüfer enthalten, liegt in der Natur der Sache. Die folgenden Zitate sind (natürlich) völlig aus dem Zusammenhang gerissen und daher eher wertlos, oder etwa doch nicht?

„Herr Schwefel ist ein sehr empfehlenswerter Prüfer.“

und

„Die Prüfung läuft in einer ausgesprochen angenehmen Atmosphäre ab.“

sind Zitate, die in den analysierten 17 Protokollen ebenfalls recht häufig vorkommen. Dass dies wohl an seiner Persönlichkeit und nicht an den Vorlesungsthemen liegt, zeigt folgendes Zitat:

„Holla, ... SA [Systemanalyse] benötigt die weitaus größte Vorbereitungszeit, was eindeutig an der Breite des Stoffes liegt. Schwefels Script ist für jemanden, der nicht in der Vorlesung war, eine echte Katastrophe.“

Naja, das Vorlesungsskript ist ein nicht enden wollendes, leidiges Thema, an dem der Autor dieses Textes nicht ganz unbeteiligt ist. War er (was, ich? Nein, niemals!) doch an der Erstellung eines solchen zum 60. Geburtstag von Hans-Paul Schwefel bereits beteiligt.

Leider reichte es dann am Stichtag lediglich zu einem Gutschein. Diesen versucht Hans-Paul Schwefel bis heute an den unterschiedlichsten Stellen einzulösen, was aber bisher erfolglos blieb.

Vielleicht lag dies aber auch im Sinne von Hans-Paul Schwefel, denn so sind die Studenten doch gezwungen sich mehr mit dem Stoff auseinander zu setzen.

„Einige Fragen kann man nur beantworten, wenn man die Vorlesung besucht hat.“

„Man sollte auch die Vorlesung besucht haben oder zumindest auch eine Mitschrift der Vorlesung haben, da in dem Script nicht alles steht und er doch immer wieder Fragen stellt, die weder aus der Spezialliteratur noch aus dem Script zu beantworten sind.“

Dies sind sicherlich gut gemeinte, weise Ratschläge für alle Studenten und so ziemlich jede Prüfung. Für diejenigen, die sich damals mit dem Gutschein „verpflichteten“, hatte dieser aber auch seine guten Seiten. Wir waren gezwungen uns eingehender mit dem ausgewählten Gebiet auseinander zu setzen. Wir hätten schließlich ein derartiges Werk von der Trivialität

„Man muss nicht immer tiefsinnige Hintergründe suchen, wo es keine gibt. Herr Schwefel fragt auch nach an sich selbstverständlichen Dingen und Trivialitäten.“

bis in den komplexesten Zusammenhang

„So kommen nach jeder Antwort (egal wie gut sie war) ergänzende Kommentare, die einen Gesamtzusammenhang herstellen und die nächste Frage vorbereiten.“

vielleicht sogar fertig stellen können! Aber endet ein solches Werk nicht zweifelsohne wiederum im Studiengang Philosophie?

Zurück zum System! Die Prüfungssituation an sich stellt bereits ein in sich geschlossenes (isoliertes) System dar. In ganz seltenen Fällen entwickelt sich daraus sogar ein humanistisch-humoristisches System, zumindest für den Prüfer

„(Schwefel grinst) Da haben Sie schon auf die Frage geantwortet, die ich Ihnen als nächstes stellen wollte.“

und den Beisitzer,

„Wenn Sie jemand fragt, wie lang die Küste von England ist, was würden Sie als Eingeweihter ihm sagen?“

denn nach der korrekten Antwort (fraktale Dimension etc.) des Studenten folgt noch

„Ob mein Gegenüber damit allerdings etwas anfangen kann, weiß ich nicht so genau. (Beisitzer rollt sich ab.)“

Wie ein Student aus diesem geschlossenen System wieder herauskommt hängt natürlich größtenteils von ihm selbst ab. Es handelt sich schließlich auch um ein dynamisches, bisweilen auch chaotisches System, das je nach Anfangsbedingungen sehr unterschiedliche Verläufe nehmen kann.

„Sicherlich nicht die leichteste [Prüfung], da Schwefel eher auf Anwendung des Wissens prüft, als auf rei-

nes Abfragen der Fakten. Da kommt man schon mal ins Schwitzen.“

„Die Fragen, die Schwefel stellte, waren überwiegend unerwartet (um es sanft auszudrücken). [...] Schwefel gab nach der Prüfung auch zu, dass die Fragen teilweise gemein waren. Für mich gab es daher mit einer 1,7 immer noch eine gute Note, obwohl ich einiges nicht gewusst habe oder nur geraten habe. [...] Die Prüfung selbst war aber kein Zuckerschlecken.“

Aber all die Aufregung geht auch wieder vorbei, schließlich ist eine Prüfung auch ein endliches System. Und dieses kann noch dazu vom Studenten selbst gesteuert werden.

„Wenn die Fragen zur Vorlesung Überhand nehmen, sollte man ihn darauf aufmerksam machen [...]“

„[Es ist] durchaus möglich, den Verlauf der Prüfung selbst ein wenig zu steuern, indem man Herrn Schwefel Vorlagen für seine nächsten Fragen gibt. Schwefel ist ein Prüfer, der, wenn er merkt, dass man sich in einem Gebiet gut auskennt, gern noch tiefer gehende oder übergreifende Fragen stellt. Es ist dann auch nicht so schlimm, wenn man diese eventuell nicht so ganz genau beantworten kann wie die Standardfragen. [...] Man sollte sich allerdings nicht allzu sehr darauf verlassen. Wichtig ist es, einen souveränen Eindruck auch bei der Beantwortung von Fragen machen, die sich an der Peripherie des eigenen Wissens bewegen. Er fragt dann oft gar nicht weiter. Wenn man bei der Beantwortung einer Frage ein wenig spekulieren muss, ist das nicht weiter schlimm.“

Wenn man aber so gut spekulierend durch die Prüfung kommt, was hat das Ganze dann noch mit Informatik zu tun? Sind wir vielleicht doch in der Philosophie?

Am besten wird es sein, die Antwort dem Prüfer selbst zu überlassen, er wird ja wohl nicht bewusst falsch antworten. Auch mit dieser Taktik kommt man augenscheinlich gut durch die Prüfung, wie gleich mehrere Aussagen bezeugen.

„Weiß man etwas nicht, so bohrt er nicht lange, sondern hilft zunächst mit Zusatzfragen oder erklärt den Zusammenhang selbst.“

„In der Prüfung konnte ich einige Fragen nicht beantworten, so dass Herr Schwefel sie mir dann erklärte.“

„Er lässt einem genug Zeit zum Überlegen. Wenn man etwas nicht weiß, hilft er durch Zusatzfragen oder gibt selbst die erwartete Antwort.“

„In der Prüfung konnte ich einige Fragen nicht beantworten, so dass Herr Schwefel sie mir dann erklärte. Da trotzdem eine gute Note gegeben wurde [...].“

Als Fazit bleibt wohl

„Alles in allem kann man aber sagen: Eine nicht einfache, aber zu empfehlende Prüfung.“

Wirklich beschwert hat sich in den Protokollen kein Student, vielleicht kann Herr Schwefel da andere interessante Geschichten erzählen. Für die Prüfung bei ihm gilt jedenfalls wie für viele Studenten

„In dubio pro reo: Gesamt: 2,0.“

Und wie könnte man eine derartige Analyse besser abschließen als mit Weisheiten für alle Lebenslagen?

„Was man nicht weiß, sollte man selber nicht zur Sprache bringen.“

Oder

„Auch bei völliger Ahnungslosigkeit die Nerven bewahren!“



Prologue

*Ben Paechter
Jennifer Willies
Mike Preuß*

Once upon a time, in an almost dark room lit by only a single torch, amidst the shadows slowly dancing on the walls, there sat a man looking out of the window. The thunderstorm had just passed, leaving the sky filled with bulky black clouds drifting low. From time to time, a late-coming stroke of lightning permeated the dark and enabled perceiving some features of the man-made world: Houses, cars, and few people seeking for shelter. A tense but quiet mood emerged as the city was waiting for the rain.

Then it came. Single drops first, growing fast into hundreds and thousands of tiny vertical streams. "Entirely natural, but massively parallel" the man thought, and he had the DREAM of a massively parallel supercomputer, made available for optimisation tasks.

The Internal Supervision Team

In March 2000, three months after the devastating blow of the millennium numbers against the world's computing devices, the European Commission (EC) began again to put money into weird research projects. The man began to think. He contacted his friends at his favourite club – the European Vastly Overpriced Network for the Enrichment of Travel (EVONET). They knew that they could be as weird as anybody, and formed the Desperate Research Engineers And Managers (DREAM) Network and succeeded to securing the funds. Soon a problem solving organisation (PSO) was formed, consisting of researchers, supervisors, and an internal supervision team (IST). Work was brought forward in a dis-

tributed evolution (DE) approach, utilising the benefits of synergy and group adaptation (GA). After implementing a generic protocol (GP), it finally made first achievements during the "execute the program" (EP) sessions at the annual EC evaluation meetings. From that point on the DREAM network grew and grew adding additional consortium organisations (ACO) and started to distribute its members to the wildest places on earth, always in search of new nodes to connect to...

Alas, it soon became clear that the quality of our marketing work was unable to reach the standards of our research. We therefore made a last desperate attempt and convinced our internal supervision team to release their incognito and step into the open. They did so at PPSN 2002 in Granada. It was: Hans-Paul and Antje Schwefel!



A Time Travel to the Early Theory of Evolution Strategies

Günter Rudolph

The 15th March 1965 was the deadline for Hans-Paul Schwefel to submit the final version of his diploma thesis to the Hermann Föttinger institute for fluid mechanics at the Technical University of Berlin. He was requested by his advisor Prof. Dr.-Ing. Rudolf Wille to work on the answers to three questions:

1. Is the evolution strategy superior to classical optimization strategies in case of many variables?
2. How does the evolution strategy behave in case of noise?
3. Is there a theoretical justification for using stochastically large, medium and small mutation steps? And if so, what is their optimal distribution?

There are well-founded reasons why the results are hardly known to the scientific community that is engaged in the field of Evolutionary Computation: Diploma theses are practically not available via public libraries, the diploma thesis is written in German, ... and there was no WWW in 1965.

This article is supposed to put Hans-Paul Schwefel's findings in a nutshell in order to initiate a dissemination of these early contributions to the theory of evolution strategies.

Starting Position

The starting position is the assumption that one has to cope with experimental optimization, i.e., there is no mathematical description or a simulator for the system to be optimized: you are optimizing a real object

at hardware level! Since the interrelationships between the variable input parameters and the dependent output behavior are unknown, we encounter a black box situation in the cybernetic sense: In case of a closed system with high complexity the only thing you can do is the measuring of the input/output relations.

In experimental optimization the measure for assessing the behavior or quality of the real object varies but the main optimization loop remains the same: You change some settings (i.e. input parameters) of the system according to some strategy and then you measure some physical quantity that reflects the quality of the system. Depending on the measuring the underlying optimization strategy dictates which settings are to be altered and how.

Analysis of Gradient Strategy

The model for analyzing different optimization strategies is developed in [1, pp. 6-12]. Let x be a real vector of dimension $n \geq 2$ that represents the input parameters. These parameters should be changed according to some desired (unknown) direction in parameter space. If $f(x)$ measures the quality to be maximized then the best direction in a reasonably sized vicinity of the current position x is the direction given by the (unknown) gradient $\nabla f(x)$. Let $\delta > 0$ be the distance made into the desired direction. Then $\varphi = \delta / m$ describes the velocity toward the optimum parameter setting, where m denotes the number of measurements required in the course of a single iteration of the optimization strategy.

The gradient strategy is certainly a classical optimization method. If it is supposed to be used in experimental optimization it has to be modified: Since gradients are not available in our black box scenario they must be approximated via $\partial f / \partial x_i \approx \Delta f / \Delta x_i$. Thus, at least $m = n + 1$ measurements are required

for an approximation of the gradient. Since the approximation is only valid in a vicinity of order Δx_i , the step size s must not exceed this value. As a consequence, the progress δ toward the desired direction is simply s and therefore we obtain $\varphi = \delta / m = s / (n + 1)$ for the velocity toward the optimum. If the measurements are inaccurate due to noise, additional measurements must be made for averaging out the errors. In this case the velocity decreases to $\varphi = s / (nk + k)$ where k denotes the number of measurements per setting.

Analysis of Cybernetic Evolution Strategy

After the analysis of the gradient strategy the strategy of cybernetic evolution is introduced [1, pp. 13 – 18] next. According to Schwefel, the term cybernetic evolution is used to denote the transfer of principles of natural evolution to procedures for attaining a given goal, e.g. in scientific and technical research. Although this term is uncommon nowadays, its meaning has been transferred to the term evolutionary computation in the meantime.

Prior to the formal analysis of the evolution strategy (ES) some obvious differences to the gradient strategy (GS) are listed: The ES is not restricted to a single path through the parameter space and a comparison of two different states is based on an ordinal instead of a cardinal scale. This property makes the ES less sensitive to perturbations than the GS which uses the values of the measurements to determine the next step to be taken.

A Markov Model with Discrete Mutations

Let $X^{(k)}$ be the parameter setting (i.e., the individual) of dimension n at iteration $k \geq 0$. The new candidate solution $Y^{(k)}$ is obtained via $Y^{(k)} = X^{(k)} + s^{(k)} U^{(k)}$, where $s^{(k)} > 0$ is the

scalar step size and $\{U^{(k)}\}_{k \geq 0}$ is a sequence of independent and identically distributed random vectors of size n . The components U_i of U are independent with distribution [1, p. 19]

$$P(U_i = -1) = P(U_i = 0) = P(U_i = 1) = 1/3.$$

Let $s^{(k)} = s > 0$ be constant. As a consequence, the ES operates on a lattice (embedded in $\Re^n$) whose granularity is determined by the size of s . Evidently, the early ES used in practice or analyzed theoretically was optimizing over *discrete* structures – this widely unknown fact is in diametrical opposition to the common myth that ES are only used for optimization over continuous sets!

Assume that the step size s is small enough such that the objective function $f: \Re^n \rightarrow \Re$ (i.e., the quality measure) can be approximated linearly in the sense of a Taylor expansion at the current position $X^{(k)} \in \Re^n$. In two-dimensional space ($n = 2$) the objective function is locally approximated by $f(x) = x_1 \cos \alpha + x_2 \sin \alpha$, where angle α specifies the desired direction toward better solutions. As can be seen in fig. 1, for every angle α there is a transition graph whose vertices (the squares) denote the positions on the lattice and whose directed edges represent transitions to vertices with better objective function value.

If the ES is in state i then there are 3^n possible new positions caused by mutation. The transition probability is $m_{ij} = 1/3^n$ for those states j and $m_{ij} = 0$ otherwise. The selection operation compares the objective function values of i and j . If state j is better than i (i.e., if there is an edge from i to j in the graph of fig. 1), then the probability of accepting state j is given by $s_{ij} = 1$ and $s_{ij} = 0$ otherwise. If there are noisy measurements of the objective function value then $s_{ij} \in [0, 1] \subset \Re$. In any case, the transition probability from some state i to state j is p_{ij}

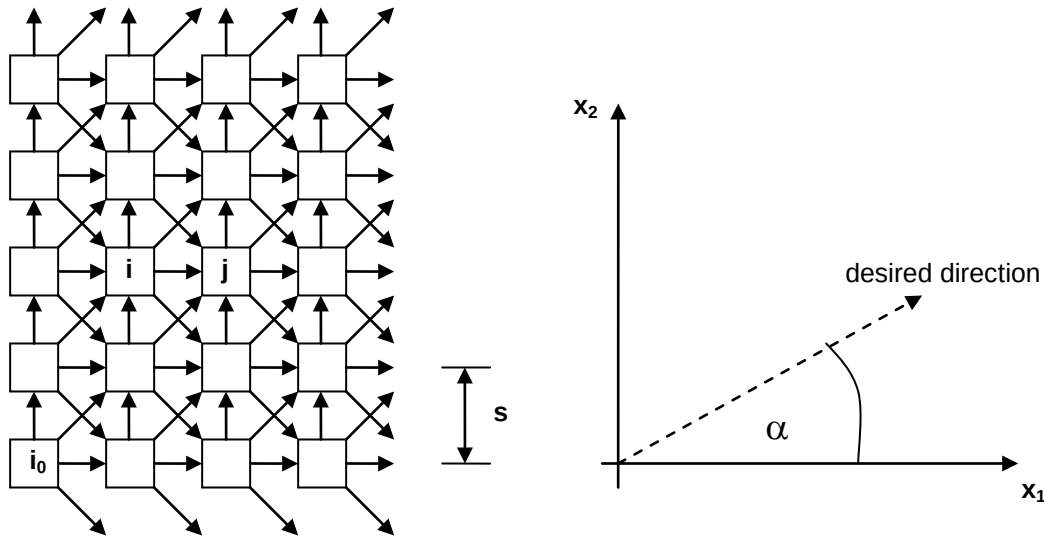


Fig. 1: An embedded transition graph (left) where directed edges represent potential transitions to better states. The existence of the edges and their directions depend on the angle α that determines the direction to better solutions (right). Reproduced from [1, p. 21].

$= m_{ij} \cdot s_{ij}$ for $i \neq j$ and $p_{ii} = 1 - \sum_j p_{ij}$ with $j \neq i$. Most likely, this is the first time-homogeneous Markov chain model [1, pp. 20-25] of an evolutionary algorithm! The term *Markov model*, however, was never used in the diploma thesis.

Owing to this Markov model the progress was determined numerically on a Zuse Z23 computer. Not surprisingly, the practicability of this approach was limited since the number of states and therefore the size of the matrices became intractably large – and this remains true for contemporary computers!

As a consequence, a different analytical approach was developed [1, pp. 26-30]. The numerically tedious calculation of the occupancy frequencies in the Markov model can be circumvented by calculating the expected progress directly: Let the ES with discrete mutations optimize the (unbounded) linear function $f(x) = c \cdot x$ for some vector c .

If $n = 2$ and $0 < \alpha < 45^\circ$ the expected progress is $\varphi(\alpha) = s (3 \cos \alpha + \sin \alpha) / 9$ for some $s > 0$ and a specific angle α . Integration and averaging over all angles $\alpha \in (0, 45^\circ)$ leads to the general expected progress $\varphi = 4s (1 + \sqrt{2}) / (9\pi) \approx 0.342 s$. Compared to $\varphi = s / 3 \approx 0.333 s$ for the gradient strategy it is easily seen that ES beats GS for $n = 2$. Using a lower bound on φ for $n > 2$ (credited to Ingo Rechenberg) it is shown numerically [1, p. 30] that the ES is the better than the GS the larger is the dimension n .

Expected Progress along a Parabolic Ridge

This test problem was used to analyze the behavior of the ES in a nonlinear environment [1, pp. 35-46]. Again, the ES used discrete mutation steps of fixed size. Using the same approach as before (i.e., calculate the expected progress *directly*) Schwefel shows that GS and ES behave similar if the step size s is in the range being valid

for gradient approximations. In contrast to the GS the ES is not fooled if the step sizes are made much larger. In this case the ES is up to one order of magnitude quicker than the GS. But there is a limit on the size of s at which the ES is blocked: This kind of stagnation distant from a local optimum occurs sooner or later depending on s . A simulation on a Zuse Z23 computer with 1.3×10^6 mutations in 100 hours computing time confirmed the necessity of a formal analysis of this phenomenon.

It is proven that blocking is caused by *discrete* mutation steps (also see fig. 2). Schwefel succeeded in deriving analytical expressions for the regions of blocking depending on s for $n = 2$. It turned out that the region of blocking becomes smaller the finer is the lattice (i.e., the smaller is s). This leads to the conclusion that these regions of blocking will vanish if the step size can be made arbitrarily small. Thus, one needs some kind of step size control!

Expected Progress for the Rotational Parabola

The test problem termed *rotational parabola* is nowadays known as the *sphere model*. The expected progress was calculated [1, pp. 47-50] for the ES with discrete mutations with fixed step size for $n = 2$ and $n = 3$. The analysis revealed that the progress decreases when approaching the vicinity of the optimum and that the ES got stuck prematurely prior to reaching the optimum. The invariability of the step sizes was identified as the reason for this unpleasant behavior.

Continuous Step Size Distributions

The analysis of the progress rates for the parabolic ridge and the rotational parabola had revealed that the ES is handicapped by its method to generate new candidate solutions: If the step size is constant and dis

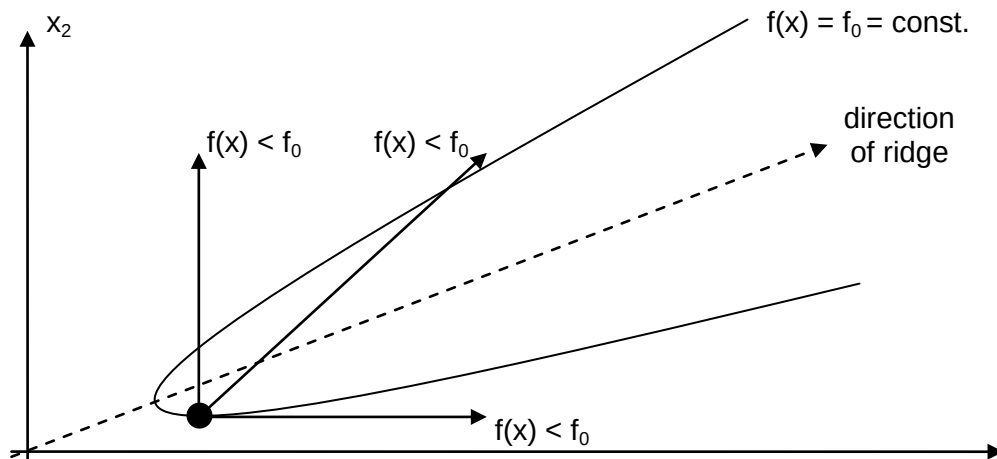


Fig. 2: Blocking caused by constant step sizes: The ES cannot generate better solutions from its current position (black spot). Every solution within the parabola is better than the current position for this maximization problem. Reproduced from [1, p. 41].

crete the ES can stagnate somewhere in the search space without reaching a local optimum. There can only be one conclusion: The ES must be endowed with a variable and continuous step size distribution!

The Gaussian law of errors was the background for choosing the normal distribution for mutations. It was shown [1, pp. 51-53] how the expected step size can be controlled by the standard deviation σ by deriving the probability density of the stochastic step size (that obeys a $\chi_n(\sigma)$ -distribution).

A formal analysis is still possible with this kind of step sizes [1, pp. 54-59]. The expected progress is determined for the unbounded linear case with and without noise in two-dimensional space. Finally, this is the version of the ES as we know it today with the exception that the explicit control of σ was not addressed here: It took some years until a satisfactory solution was found; the development of effective and efficient step size controls is still an active area of research in the EC community.

Conclusions

(1) The ES beats the GS especially in high dimensions. (2) The ES works even in the presence of noise. (3) Constant discrete step sizes lead to premature stagnation of the search. (4) Step sizes should be variable, continuously distributed, and controllable in future versions of ES.

Outlook

Future versions of ES should include further principles from natural evolution beyond mutation and selection. Actually, the principle of isolation is emphasized and a sketch of evolutionary algorithms with periodically communicating subpopulations is given. This model became known as the migration model in the EC community decades later when parallel computers became affordable.

In 1965 this and other ideas were just dreams. Many of them came true. Others still await their fulfilment ...

Bibliography

[1] Hans-Paul Schwefel: Cybernetic Evolution as Strategy for Experimental Research in Fluid Mechanics (in German). Diploma Thesis, Herman-Föttinger Institute for Fluid Mechanics, Technical University Berlin, March 1965.

Hört nicht auf die Altvorderen!

Karlheinz Schmitt

Mit diesem Rat schloss Herr Schwefel als Altvorderster unseres Lehrstuhls seine Rede anlässlich seines 60. Geburtstages ab. Doch was sollte ich davon halten? Ich war damals erst ein paar Tage am Lehrstuhl und ein Hochschullehrer – mein Chef – riet mir, auf alles zu hören, nur nicht auf ihn.

Derart eingestimmt begann meine Zeit mit Herrn Schwefel – d.h. nicht ganz. Zum ersten Mal traf ich Herrn Schwefel als Student in seiner Vorlesung „Systemanalyse“. Ich erwartete, wie üblich nach ein paar formalen Einführungsworten, eine anfängliche Definition, was für ihn Systemanalyse denn nun wäre. Doch hier sollte ich schon zum ersten Mal eines Besseren belehrt werden. Ich hörte von Menzius, Leibniz, Kant, Forrester und Lambert, über die hermetische Philosophie und vom I Ging (dem Buch des Wandels) des Taoismus, von Leontieff, Bertalanffy, Rapoport und Piaget. Nach diesen Stunden wusste ich nicht nur, was ein System sein kann und wie sich der Begriff der Systemanalyse über die Zeit entwickelt hatte. Ich wusste auch, wie ein System in anderen Wissenschaftsbereichen wie z.B. der Philosophie, der Biologie oder in den Wirtschaftswissenschaften definiert wird. Ich muss zugeben, dass ich damals den Sinn nicht ganz eingesehen habe, warum ich unbedingt wissen sollte, wie ein System aus Sicht der Soziologie beschrieben werden kann oder welche Umstände dazu beigetragen hatten, dass Kepler sein deskriptives Modell aufstellen konnte. Überzeugt davon, dass ich nichts hiervon für meine Prüfung benötigen würde, nahm ich alles als unterhaltsame Geschichten hin.

Nun, um es kurz zu machen, ich habe wirklich nichts davon für meine Prüfung benö-

tigt. Sicherlich hätte ich bis heute auch die meisten Geschichten bereits wieder vergessen. Doch nach mittlerweile fünf Wiederholungen der Vorlesung Systemanalyse brach mein Widerstand zusammen. Mehr noch, heute ertappe ich mich sogar immer öfter dabei, während der Vorbereitung meiner Übungen ebenfalls nachzuschlagen, wer z.B. Bayes oder Mayer waren und diese Informationen mit in die Übungen einfließen zu lassen. So sehr ich mich auch bemüht habe, nicht auf meinen Hochschulprofessor zu hören, scheine ich dieses Verhalten dennoch adaptiert zu haben und verlor so meine sorgsam gepflegten Scheuklappen.

Entschlossen, nicht ein weiteres Mal seinen Rat zu missachten, suchte ich meinen Platz am Lehrstuhl. Wenn mir auch das Letztere von allen Mitgliedern des Lehrstuhls, allen voran von Frau Schwefel und Herrn Schwefel, sehr einfach gemacht worden ist, so wurde mein Entschluss, seinen Rat zu befolgen, immer wieder auf eine harte Probe gestellt.

Hartnäckig unternahm Herr Schwefel in unterschiedlichster Weise den Versuch, mir Ratschläge zu erteilen oder Hilfestellungen in Form von Zusatzinformationen zu geben. Ein gutes Beispiel sind hier die umfangreichen Umläufe. Sie enthielten stets eine Vielzahl an Informationen über bevorstehende Konferenzen, Interna aus der Universität, zeitpolitisches Geschehen, aber auch Nachrichten über den Werdegang ehemaliger Mitglieder unseres Lehrstuhls. Ich muss zugeben, dass diese Informationen oftmals in so beeindruckender Übermacht an mich herangetragen wurden, dass ich nicht umhin kam, diese nutzbringend zu verwenden. Gesteigert wurde alles auch noch durch Hinweise auf Vorträge oder persönliche Gespräche, für die Herr Schwefel immer wieder Zeit fand. Ich war schon fast versucht, dieses persönlich zu nehmen, als ich erfuhr, dass er diese Hartnäckigkeit bei allen Mitarbeitern an den Tag

legte. Zwar nicht beruhigt, aber nun überzeugt, gerecht und gleichmäßig attackiert zu werden, wappnete ich mich gegen weitere Versuche. Diese kamen in Gestalt unseres regelmäßig abgehaltenen Lehrstuhltees auf mich zu.

Einem konspirativen Treffen gleich, wurden hier sowohl aktuelle Ereignisse und Probleme besprochen, als auch Strategien für das weitere Vorgehen in den nächsten Wochen diskutiert. Seien es anstehende Konferenzen, Reviews, zu leistende Lehre oder auch gemeinsame Ausflüge, alles wurde dort gemeinsam geplant. Unbemerkt von uns arglosen Mitarbeitern nutzte Herr Schwefel diese Treffen schamlos dazu aus, um aus einem bunten Haufen wackerer Einzelkämpfer eine gut funktionierende Gemeinschaft zu formen, die auch noch Spaß daran hatte, sich gegenseitig zu helfen und Ratschläge zu erteilen. Ehe ich mich versah, war ich Teil dieser Gemeinschaft, die ich heute wohl am besten als ein Familienunternehmen beschreiben würde. Nun war es also soweit, Herr Schwefel hatte sich Verbündete gesucht. Gemeinsam mit ihnen demonitierte er meine in jahrelanger und liebevoller Kleinstarbeit aufgebaute Mauer des Schweigens. Unfähig, mich dieser geballten Macht zu widersetzen, merkte ich immer öfter, wie ich einen Ratschlag nach dem anderen annahm oder gar selber gab. Mein Vorsatz, nicht auf meine Altvorden zu hören, drohte nun völlig zusammenzubrechen.

Also entschloss ich mich, meine Strategie zu wechseln. Ich ging nun in die Gegenoffensive und berichtete ihm meinerseits über Ideen, die ich ausprobieren wollte. Überzeugt davon, nun von seinen Verlockungen verschont zu werden, wähnte ich mich ob meines genialen Schachzuges in Sicherheit. Doch wie sehr ich mich irren sollte, merkte ich schon bald. Von nun an strömten nur noch mehr Informationen auf mich ein. Waren sie vorher regelmäßig und allgemein, so wurden sie von nun an nur noch

reichhaltiger und präziser. Glaubte ich, alle Seiten eines Problems betrachtet zu haben, so zeigte Herr Schwefel mir stets neue Möglichkeiten auf. Derart in die Enge gedrängt, blieb mir kein anderer Ausweg als einen erneuten Strategiewechsel durchzuführen.

Doch dieses Mal wollte ich es schlauer anstellen. Ich beschloss, seine Strategien zu untersuchen und mir zu jedem seiner Tricks mindestens eine Gegenmaßnahme zu überlegen.

So konnte ich z.B. beobachten, dass Herr Schwefel stets versucht war, uns besser kennen zu lernen. Er stellte eine unverfängliche Frage hier, erkundigte sich über das Befinden der Familie dort, und ehe man sich versah, war er in der Lage, jedem einzelnen von uns noch besser angepasste Informationen zukommen zu lassen. Er scheute sogar nicht davor zurück, sie als Geburtstagsgeschenke zu verpacken. Nun, meinen Geburtstag konnte ich nicht abschaffen und die Informationen über mich hatte ich ja schon preisgegeben. Daher stand ich diesem Trick machtlos gegenüber.

Weitaus bessere Chancen rechnete ich mir für die Zeit aus, in der das blaue Heft geschrieben wurde. In diesem Bericht fassen wir alle zwei Jahre die Leistungen und Errungenschaften unseres Lehrstuhls zusammen. Wohl wissend, dass zwei Jahre schneller vorüber gehen als man denkt, bemühten wir uns, so viel Material wie möglich hierfür zusammen zu tragen. Als Jägerin und Sammlerin aller Ergebnisse setzte Herr Schwefel sogar seine Geheimwaffe ein: Seine Frau. Mit der gleichen Unermüdlichkeit wie ihr Mann die Informationen unter uns verteilte, sammelte Frau Schwefel die Informationen wieder ein, ordnete und archivierte sie wieder. Von den Erfahrungen geprägt wussten wir jedoch alle, dass wir so wenig Informationen wie möglich über uns weiter geben durften, um

nicht Gefahr zu laufen, Herrn Schwefel weiteres Material in die Hände zu spielen. Also versuchte ich mit geschickten Formulierungen und kreativen Satz- und Wortschöpfungen so wenige Informationen wie möglich zu vermitteln. Ich muss zugeben, dass die Strategie der widersprüchlichen Informationen, gar innerhalb eines Satzes, einer meiner bevorzugten Tricks war. Doch welche Strategie ich auch immer wählte, gegen die vereinte Kraft beider Schwefels war kein Kraut gewachsen. Unbeirrt und hartnäckig bekamen wir das Abgelieferte immer wieder zurück, bis auch die letzte Unklarheit beseitigt und das letzte Komma an seinem Platz war. Desillusioniert und bar jedes weiteren Tricks versuche ich heute gar nicht erst, mich zu wehren, und gebe die Informationen so präzise und vollständig wie möglich weiter.

Meine letzte Hoffnung bestand nun nur noch darin, mich in Geduld zu üben. Ich wusste ja, dass er uns alle immer wieder in Versuchung führte – dies auch noch mit sehr unterschiedlichen Strategien. Rechnete ich jetzt seine übrigen Verpflichtungen hinzu, wie z.B. Sprecher des Sonderforschungsbereiches 531, die diversen Mitgliedschaften in Programmkomitees, Gutachtergremien und nicht zuletzt auch die gestiegene Lehrverpflichtung, musste ich nur noch warten, bis ihm die Zeit fehlte und er seine Bemühungen einstellen musste.

Doch weder die Zeit noch die Ideen gingen ihm aus. Wie um mir eindeutig das Gegenteil zu beweisen, nahm er sich stets die Zeit für ausführliche Gespräche mit uns, und verrichtete auch noch nebenbei den Küchendienst. Ich war sowohl mit meiner Weisheit als auch mit meiner Geduld am Ende.

Wenn ich heute auf die vergangenen Jahre zurückblicke, so muss ich zugeben, nicht ganz genau zu wissen, ob ich nun seinem Rat zuwider gehandelt habe oder nicht. Im Bestreben, seinen Rat zu befolgen und

nicht auf meine Altvorderen zu hören, suchte ich meinen eigenen Weg. Hierbei fand jeder Mitarbeiter tatkräftige Unterstützung durch Herrn Schwefel. Aber dadurch, dass ich nicht auf ihn gehört habe, bin ich dennoch seinem Vorbild gefolgt, denn auch er hat nicht auf seine Altvorderen gehört.

Restlos verwirrt und vollkommen davon überzeugt, dass es Herrn Schwefel auch noch Spaß gemacht hat, ist jeder einzelne von uns nun auf seinem eigenen Weg in die Zukunft.

Danke!

Chairs, Evolution, and Hans-Paul Schwefel

Marc Schoenauer

Abstract. This paper unveils some important yet generally ignored contributions from Hans-Paul Schwefel in the domain of Chair Design.

Keywords: Chairs, Evolution, Hans-Paul Schwefel

1 Introduction

The evolution of seat and chair styles along History (see e.g. Fiell, 1997) is an evolutionary process indeed: young designers start by learning their elders' techniques and styles before modifying them to build their own. There are, of course, several differences between sheer chair design and evolutionary processes.

On the one hand, "natural selection" is replaced by "social selection"—but this only makes the process dynamic. Another approach would be to consider that it is in fact a co-evolution between styles and rich buyers' tastes, but this point of view will not be considered here, and will be discussed in a forthcoming companion paper (Schoenauer, Submitted-a).

On the other hand, there exist a memory of past styles that prevents evolution loops. On the one hand, this reminds of Tabu Search (TS)—and there are many other examples of hybridization between Evolutionary Computation (EC) and TS; but on the other hand, this can be viewed as a way to save "computing time". Moreover, because the no-loop hypothesis is a crucial hypothesis of the No Free Lunch theorem, this will be the basis of further theoretical studies (Schoenauer, Submitted-b). Nevertheless, we will stick in this paper to the pure EC

process, neglecting the effects of the memory.

From the point of view of Chair Design Evolution considered as a pure Evolutionary Process, this paper will first analyze the driving forces of this process (Section 2) in order to try to further predict the next steps that Evolution is likely to make in the area of chair design (Section 3). The last section (Section 4) should be a complete surprise, so it will not be summarized here. Finally, the conclusion will conclude this paper.

2 About Chairs



Figure 1: Examples of French chair design styles: Renaissance, Henri II, Louis XIII, Louis XIV, Louis XV, Louis XVI, Directoire, Empire, Second Empire, Art Nouveau and Art Déco.

Evolution of chairs in History doesn't seem to follow any definite pattern. Take a look

for instance at Figure 1, that shows sketches of French chair styles across the centuries (we don't have any memory of pre-historical chairs, so this paper will voluntarily limit its inquiries to the recent 600 years).



Figure 2: The “leaders” corresponding to the style of Figure 1: François 1er, Henri II, Louis XIII, Louis XIV, Louis XV, Louis XVI, Bonaparte, Napoléon 1er, Napoléon 3, Karl Marx and Sigmund Freud – the two latter can be seen as having influenced their time strongly enough to justify their presence among the “kings”.

But things change radically if you superpose to each style the corresponding leading people of the same period of History, as a quick look at Figure 2 will rapidly convince anyone.

We have hence demonstrated (even though the details of the proof are left out due to the lack of space) that innovation in the domain of chair design, as in any other domain, requires enlightened leaders on top of leading technologies.

3 Next step

At the dawn of this new millennium (according to the Christian calendar at least), chair designers have begun to use the power of computers to sustain their inspiration. In such a framework, the question of what kind of technique and resulting design will fill the question mark of Figure 2 is widely open.

Because EC is the best possible optimization technique to use when everything else has failed, because EC gives the programmer an immense flexibility that allows him to explore possibilities that he would never have dreamed of before, because EC leaves room for interaction between the designer and the evolution process (as



Figure 3:
Evolutionary
Chair

as witnessed by several workshops on *Evolutionary Interactive Evolution*), we believe that next generation of designers will use EC techniques to support their creativity. It is already happening, at some semi-industrial level, in pictorial art (see e.g. <http://fractales.inria.fr/latelier/>), and the very first premises of this phenomenon in chair design (see Figure 3) have been recently proposed (Morel et al. 2005).

But the natural question that immediately follows this affirmation regards the other question mark, in Figure 2: who will be (or has already been) the inspiration of evolutionary chair design?

Because you are reading a book dedicated to Hans-Paul Schwefel's Festschrift, you can probably guess the answer. But there are many reasons (well, in fact, exactly 3) that justify this new claim, that we will develop in the last section of this paper.

4 About Hans-Paul Schwefel

This section reveals at last the links between this paper and Hans-Paul Schwefel's achievements.

4.1 Science

What was the technique used to create the chair of Figure 3? It is completely described in (Hamda and Schoenauer, 2002) and will not be detailed here, but basically, it uses a variable-length representation, where each individual is a list of points in the design domain (*Voronoi sites*), and Gaussian mutations for the coordinates of those Voronoi sites—plus gene addition and deletion to emphasize the variable-length characteristic.

Now remember the first historical example of a (1+1)-Evolution Strategy, optimizing the famous nozzle (Schwefel, 1968; Klockgether and Schwefel, 1970; Herdy, 2001): it used a variable length discrete representation, binomially distributed mutations, and included also gene duplication and deletion.

It is well-known that Gaussian mutations are the limit of binomial mutations when going from discrete to continuous variables (Radcliffe and Surry, 1997). So it is fair to say that (almost) everything for evolutionary chair design (and many more!) had already been invented and used in Hans-Paul Schwefel's work, long before the actual design of Figure 3.

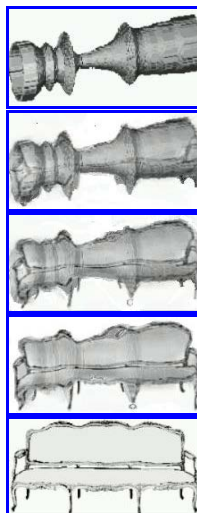


Figure 4: The nozzle experiment: going further. The first image is the final nozzle published by Hans-Paul Schwefel (Schwefel, 1968; Klockgether and Schwefel, 1970).

4.2 Psychoanalysis

Now we also claim that there is a subliminal contribution of the nozzle experiment to seat and chair design.

This should be clear even to the most obtuse reader, from the images of Figure 4: the original experiments with the nozzle were simply not run for enough generations—but it is fair to recall that the experimenters had to actually build the nozzles and test them in the wind tunnel to get their fitness! Would they have had the time to run a few thousands more generations, they might have ended designing something resembling the nice sofa represented on Figure 4.

4.3 Linguistics

But the best reason to associate Hans-Paul Schwefel and chair design is probably the most hidden one, that pertains to linguistics. Indeed, in scientific communities, the word “chair” Also designate the person in charge of some Committee or Assembly ...and curiously reminds us of the “leaders” mentioned in section 2.

As everyone knows, Hans-Paul Schwefel has been the founding chair of the PPSN (Parallel Problems Solving from Nature) Steering Committee, that has the scientific responsibility of the bi-annual conference with the same name. And because of his gentle and subtle management of this body, as well as his participation to many other, formal or informal “governing bodies”



Figure 5: Hans-Paul Schwefel

of the Evolutionary Computation Community, he deserves, more than anyone else, the right to complete the series of figures of Figure 2.

5 Summary and conclusion

Figure 6 says it all ...



Figure 6: The completed list of “leaders”.

References

- C. & P. Fiell. 1000 chairs. Taschen Verlag, 1997.
- H. Hamda and M. Schoenauer. Topological Optimum Design with Evolutionary Algorithms. *Journal of Convex Analysis*, 9, 503–517, 2002.
- J. Klockgether and H.-P. Schwefel. Two-phase nozzle and hollow core jet experiments. In: Elliott DG (ed) Proc. 11th Symp. Engineering Aspects of Magnetohydrodynamics, 141–148. California Institute of Technology, Pasadena CA, 1970.
- M. Herdy. Optimization of a two-phase nozzle with an ES, EvoNet Flying Circus Demo, <http://evonet.lri.fr/CIRCUS2/node.php?node=72>, 2001.
- Ph. Morel, H. Hamda, and M. Schoenauer. Computational Chair Design using Genetic Algorithms. *Concept*, 71:3, 95–99, 2005.
- N. J. Radcliffe and P. D. Surry. Real representations. In L. D. Whitley and R. K. Belew, eds., *Foundations of Genetic Algorithms* 4, 51–72, Morgan Kaufmann, 1997.
- M. Schoenauer et al. Coevolution of Chairs and Asses. Submitted to *Evolutionary Journal*.
- M. Schoenauer et party. No Free Lunch, but Bring Your Chair: a theoretical journey inside Evolutionary Chair Design. Submitted to *Theoretical Chair Science-Z*.
- H.-P. Schwefel. Projekt MHD-Staustrahlrohr: Experimentelle Optimierung einer Zweiphasendüse, Teil I. Technischer Bericht 11.034/68, 35, Berlin: AEG Forschungsinstitut, 1968.

Spurensuche Statistische Auswertung der Publikationen von Prof. Hans-Paul Schwefel

Gabriele Schönfelder

Wo hinterlässt ein ansehener, erfolgreicher Wissenschaftler seine Spuren? Welche Spuren hinterlässt er?

Die Antwort liegt nahe: ein wesentlicher Teil dieser Spuren liegt in den Veröffentlichungen, die ihrerseits wieder Spuren hinterlassen. Veröffentlichungen begleiten den Weg von Wissenschaftlern, zeigen, mit welchen Arbeitsgebieten sie sich wo und mit wem gemeinsam beschäftigt haben.

Für Prof. Schwefel gilt dies in besonderer Weise. Fachliteratur, Bibliothek, Veröffentlichungen sind ein wichtiger Bestandteil seiner Forschungsarbeit, was ich beim Kennenlernen im Jahr 1985 schnell feststellen konnte.

Dieser Beitrag versucht, die Spuren, die Prof. Hans-Paul Schwefel in seiner Zeit als Wissenschaftler hinterlassen hat, zu verfolgen und einzuordnen. Dabei soll auch folgender Aspekt berücksichtigt werden: die Veröffentlichungen selbst sind ein wesentlicher Teil des Forscherdaseins – aber eben so wichtig ist es, dass diese Veröffentlichungen zur Kenntnis genommen, gelesen und zitiert werden.

In Anbetracht der Vielzahl der Nachweisinstrumente erhebt diese Zusammenstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr soll sie einige, besonders markante Schlaglichter setzen.

Die Veröffentlichungen

Wo beginnt die Spurensuche?

Natürlich im Fachbereich Informatik, Lehrstuhl 11. Hier findet man schnell eine Internetseite mit einer aktuellen und – wie sich herausstellen wird – auch kompletten Zusammenstellung seiner Veröffentlichungen.

Eine erste Analyse dieser insgesamt 166 Dokumente ergibt folgendes:

- 1 Diplomarbeit
- 1 Dissertation
- 49 Konferenzbeiträge
- 39 Reports
- 32 Beiträge in Sammelwerken (Beiträge in Büchern)
- 24 Zeitschriftenaufsätze
- 13 Proceedingsbände, bei denen Prof. Schwefel (Mit)-Herausgeber ist
- 7 Bücher

Veröffentlichungen verraten nicht nur das Arbeitsgebiet eines Wissenschaftlers, auch die wichtigen Stationen seines Wirkens werden sichtbar. Im Fall von Prof. Schwefel ist anhand der in den Veröffentlichungen angegebenen Institutionen und Erscheinungsorte leicht zu sehen, dass sein Weg von Berlin über Jülich nach Dortmund führte.

Eine Durchsicht der Titel zeigt, dass das Thema „Evolution“ sich wie ein roter Faden durch die Arbeiten zieht. Bereits die Diplomarbeit (1965) mit dem Titel „Kybernetische Evolution als Strategie der experimentellen Forschung in der Strömungstechnik“ befasst sich damit. In den nächsten Jahren kommt das Thema Energie, Optimierung hinzu, was zunächst im Bereich der Strömungstechnik bearbeitet wird.

Die Dissertation im Jahre 1975 heißt: „Evolutionsstrategie und numerische Optimierung“ – ein Thema, da von nun an schwerpunktmäßig behandelt wird.

Die Wegbegleiter auf dem wissenschaftlichen Weg sind als Mitautoren in den Veröffentlichungen sichtbar. Insgesamt sind 65 Co-Autoren zu verzeichnen, die unterschiedlich häufig beteiligt sind. Hervorzuheben sind hier:

Thomas Bäck mit 21, Günter Rudolph mit 15 und Ulrich Hammel mit 10 Beiträgen.

Nachweis der Veröffentlichungen

Für die Recherche, welche Veröffentlichungen nachgewiesen sind, stehen an der Universitätsbibliothek Dortmund diverse Datenbanken zur Verfügung.

Hier wurden einbezogen:

Inspec, ZDE, Math und MathSci und DOMA (s. Anhang). In diesen Literaturdatenban-

ken werden vorzugsweise Zeitschriftenaufsätze, Konferenzbeiträge nachgewiesen, die auf konventionellem Wege in Zeitschriften bzw. Proceedingsbänden veröffentlicht wurden. Der Berichtszeitraum dieser Datenbanken beginnt ca. 1969 / 1970 – deckt also den zu betrachtenden Zeitraum gut ab.

Daneben existieren internetbasierte Datenbanken, die Literatur im Internet aufspüren und verzeichnen. Hier stehen DBLP und die Collection of Computer Science Bibliographies im Vordergrund und wurden hier einbezogen. Der Berichtszeitraum dieser Datenbanken setzt naturgemäß später ein, ist allerdings nicht genau zu beziffern – wird auch von den Datenbankbetreibern nicht exakt genannt.

Rein statistisch ergibt sich folgende Verteilung:

Datenbank	Anzahl Hinweise gesamt	Zeitschriften- Artikel	Proc.- Beitrag	Buch	Proc (Hrsg.)	Report	Beitrag zu Buch / Sam- melwerk
INSPEC	30	8	12		6	2	2
ZDE	9	1	5	2			1
Math	15	4		3	4		4
MathSci	12	3	2	2	1	1	3
DOMA	4	1	1				2
DBLP	24	6	8		7	1	2

Die Übersicht macht deutlich, dass keine Datenbank allein alle Informationen enthält. Vielmehr ergänzen sie sich. Sogar in der Datenbank DOMA (Maschinenbau) sind 4 Veröffentlichungen nachgewiesen.

Zitierte Veröffentlichungen

Neben den Literaturdatenbanken, die das reine Vorhandensein von Literatur nachweisen, existiert mit dem Science Citation Index eine eingeführte Datenbank, die nachweist, wie häufig eine Publikation von anderen Autoren zitiert wurde. Aus dem Verhältnis von Zitierungen und Veröffentlichungen – bezogen auf eine bestimmte Zeitschrift – ergibt sich der sog. Impact Factor, mit dem die Bedeutung von einzelnen Zeitschriften beschrieben wird.

In den Jahren 1995–1997 waren die hier ausgewerteten Datenbanken in der Bibliothek noch nicht für die öffentliche Benutzung zugänglich. Zu dieser Zeit führte ich zahlreiche Recherchen für den Lehrstuhl 11 durch, u.a. auch Recherchen im Science Citation Index. Protokolle aus dieser Zeit weisen im Jahr 1995 insgesamt 151 Zitate für „Schwefel HP“ nach. Die gleiche Recherche im Jahr 2005 ergibt die Zahl von 1.090 Zitaten.

Wie es bei den Literaturdatenbanken die konventionellen Datenbanken wie Inspec u.a. neben den internetbasierten Datenbanken wie DBLP gibt, so existiert neben dem SCI die internetbasierte Zitationsdatenbank CiteSeer (citeseer.ist.psu.edu), die mit automatischen Verfahren die Zitierungen erfasst und nachweist. Da hier in der Hauptsache elektronische Dokumente erfasst sind, besteht die Möglichkeit, auch den Kontext des Zitats zu zeigen.

Eine statistische Übersicht beider Zitatdatenbanken ergibt:

Datenbank	SCI	CiteSeer Nachweis*	CiteSeer Zitat**
Anzahl Hinweise	42 (1090)	24	34 (322)
Zeitschriftenartikel	6 (25)	3	4 (32)
Proc.-Beitrag	12 (69)	9	10 (43)
Buch	3 (851)	–	3 (60)
Proc. (Hrsg.)	3 (30)	2	8 (132)
Dipl./Diss	40/41	–	3/3
Report	6 (14)	8	5 (46)
Beitrag zu Buch/ Sammelwerk	10 (20)	2	2 (3)

(*): Suche nach Dokumenten von Schwefel, H.P.

(**): Suche nach Zitaten von Dokumenten

Darstellung m (n) :

m = Anzahl der nachgewiesenen Dokumente

n = Anzahl der Zitierungen der unter m angegebenen Dokumente

Folgende 5 Dokumente wurden lt. **Science Citation Index** am häufigsten zitiert:

Anzahl Zitiertungen	Dokument
365	Evolution and Optimum Seeking, Wiley, 1995
322	Numerical Optimization of Computer Models, Wiley, 1981
164	Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie, Birkhäuser, 1977
41	Evolutionsstrategie und numerische Optimierung, Dissertation, 1975
40	Kybernetische Evolution als Strategie der experimentellen Forschung in der Strömungstechnik, Diplomarbeit, 1965

In **CiteSeer** sieht die Verteilung wie folgt aus:

Anzahl Zitiertungen	Dokument
41	Thomas Bäck; Frank Hoffmeister; Hans-Paul Schwefel: Applications of evolutionary algorithms, Universität Dortmund, Interner Bericht der Systems Analysis Research Group, 1992
39	H.-M. Voigt; W. Ebeling; I. Rechenberg; H.-P. Schwefel (Hrsg.): Parallel Problem Solving from Nature - PPSN IV, Proc. Int.

	Conf. Evolutionary Computation, Berlin, September 1996. Springer, 1996. Lecture Notes in Computer Science; 1141
37	Y. Davidor; H.-P. Schwefel; R. Männer (Hrsg.): Parallel Problem Solving from Nature - PPSN III, Proc. Int. Conf. Evolutionary Computation, Jerusalem, Oktober 1994. Springer, 1994. Lecture Notes in Computer Science; 866
34	H.-P. Schwefel; R. Männer (Hrsg.): Parallel Problem Solving from Nature - Proc. First Workshop PPSN, Dortmund, Oktober 1990. Springer, 1991. Lecture Notes in Computer Science; 496
25	Thomas Bäck; Hans-Paul Schwefel: An overview of evolutionary algorithms for parameter optimization. In: Evolutionary Computation, 1993. S. 1-23, Diplomarbeit, 1965

Es ist deutlich zu sehen, wie unterschiedliche Publikationen in diesen beiden Datenbanken zitiert werden. In Science Citation Index liegen die 3 Bücher mit hoher Zitierhäufigkeit eindeutig an der Spitze.

Welche Dokumente wurden am häufigsten „zur Kenntnis genommen“, d.h. zitiert oder in den 8 betrachteten Datenbanken genannt?

Die folgenden 5 Veröffentlichungen wurden in 6, bzw. 5 der benutzten Datenbanken nachgewiesen:

Anzahl Nachweise (DBn)	Veröffentlichung
6	H.-P. Schwefel; R. Männer (Hrsg.): Parallel Problem Solving from Nature - Proc. First Workshop PPSN, Dortmund, Oktober 1990. Springer, 1991. Lecture Notes in Computer Science; 496
5	Y. Davidor; H.-P. Schwefel; R. Männer (Hrsg.): Parallel Problem Solving from Nature - PPSN III, Proc. Int. Conf. Evolutionary Computation, Jerusalem, Oktober 1994. Springer, 1994. Lecture Notes in Computer Science; 866
5	Hans-Paul Schwefel; Günter Rudolph: Contemporary evolution strategies. In: Advances in Artificial Life - Proc. Third European Conf. Artificial Life (ECAL'95). Springer 1995. S. 893-907
5	Marco Laumanns; Günter Rudolph; Hans-Paul Schwefel: A spatial predator-prey approach to multi-objective optimization. In: Proc. Parallel Problem Solving from Nature - PPSN V, Amsterdam. Springer, 1998. Lecture Notes in Computer Science; 1498, S. 241-249
5	Hans-Georg Beyer; Hans-Paul Schwefel: Evolution

	strategies - A comprehensive introduction. In: Natural Computing, 2002, S. 3-52
--	---

Von den 25 Publikationen, die in mindestens 3 Datenbanken genannt wurden, sind:

- 6 Zeitschriftenartikel (von 24)
- 3 Bücher (von 7)
- 3 Beiträge in einem Sammelband (nicht Proceedings) (von 32)
- 6 Proceedingsbeiträge (von 49)
- 6 Proceedings (von 13)
- 1 Report (von 39)

Was besonders auffiel

Bemerkenswert ist, dass die Diplomarbeit und die Dissertation sehr häufig zitiert werden.

Die Diplomarbeit aus dem Jahre 1965 wird auch in den Jahren 2000 bis 2005 noch häufig zitiert – insgesamt 27 Aufsätze sind im Science Citation Index nachgewiesen. Dabei handelt es sich um Autoren, die weltweit agieren, die in den unterschiedlichsten Zeitschriften veröffentlichen.

Ebenso verhält es sich mit der Dissertation. Auch hier finden sich im Science Citation Index zahlreiche Zitate aus jüngster Zeit. Insgesamt 20 Zitate von den unterschiedlichsten Autoren in wichtigen Zeitschriften, wie z.B.: Artificial evolution oder IEEE transactions on systems man and cybernetics und andere.

Bei den Recherchen zu diesem Beitrag tauchte der Begriff „Schwefel function“ auf. Diese Funktion wird in CiteSeer von 9 Dokumenten zitiert, in den übrigen Datenbanken nur 1-2 mal. Somit sind nicht nur durch die Veröffentlichungen selbst Spuren entstanden, sondern auch durch die nach Prof. Schwefel benannte Funktion, die offensichtlich von weiteren Wissenschaftlern ange-

wandt wird und somit in deren Publikationen auftaucht.

Am Rande fiel auf, dass in der Datenbank MathSciNet der Name Schwefel in einem russischen Artikel in der Schreibweise „Shvefel“ auftaucht.

Schlussbemerkung

Spurensuche.....

Zahlreiche Spuren, die Prof. Schwefel durch seine Publikationen erzeugt hat, konnten hier aufgezeigt werden. Es ist deutlich geworden, dass Veröffentlichungen viel über den wissenschaftlichen Weg verraten. Auch ist deutlich geworden, dass die unterschiedlichen Datenbanken eine wichtige Funktion bei der Informationssuche und –vermittlung haben.

Neben den Publikationsspuren hat Prof. Schwefel auch in der Bibliothek einige Spuren hinterlassen – wenn diese auch für Außenstehende nicht so offensichtlich sind.

So fand z.B. in seiner Zeit als Dekan im Jahr 1992 der Umzug der Bereichsbibliothek vom Geschossbau V in den Pavillon statt, bei dem der Fachbereich die Bibliothek tatkräftig unterstützt hat.

Prof. Schwefel hat den ersten Anstoß gegeben, dass Teilnehmer/innen der Proseminare zu einer Einführung in die Literatursuche in die UB kommen. Mehrere seiner Kollegen / Kolleginnen sind diesem Beispiel gefolgt.

20 Jahre ausgesprochen guter Zusammenarbeit mit Prof. Schwefel gehen zu Ende.

Ich wünsche Prof. Schwefel – auch im Namen der Bereichsbibliothek – alles Gute für die Zukunft.

Anhang: Benutzte Datenbanken

Zugang zu den genannten Datenbanken über die Homepage der UB Dortmund:

www.ub.uni-dortmund.de -> Literatursuche
- Fachinformation

Inspec ® Physics, Electronics and Computing
Hersteller: IEE, London

ZDE Elektrotechnik und Elektronik
Hersteller: Fachinformationszentrum Technik, Frankfurt a.M.

DOMA ® Maschinenbau und Anlagenbau
Hersteller: Fachinformationszentrum Technik, Frankfurt a.M.

Science Citation Index (Web of Science)
Datenbankhersteller: Institute for Scientific Information (ISI)

Math - Zentralblatt für Mathematik
Hrsg.: Heidelberger Akademie der Wissenschaften

MathSciNet - Mathematical reviews
Hrsg: American mathematical Society

Hans-Paul Schwefel as colleague

Ingo Wegener

In 1987, I joined the computer science department of the Universität Dortmund which was and is much larger than my previous department in Frankfurt. I decided to visit all other chairs to meet my colleagues and (at least evenly important) their secretaries. Hans-Paul was since 1985 at Dortmund and he gave me a warm welcome. Indeed, he was the only one who introduced his whole group including the technical staff. Even at the first impressions it was obvious that he cares for the people working in his group.

During this meeting I heard for the very first time about evolution strategies and bio-inspired computation. My research interests at that time were focused on complexity theory and I was teaching courses on efficient algorithms – the classical topics like polynomial-time algorithms for important problems (network flow, maximum matchings), algorithmic techniques like linear programming, integer programming, greedy algorithms, dynamic programming, branch and bound, divide and conquer, and new aspects like approximation algorithms and randomized algorithms (e.g., for primality testing). In any case, a main issue was the mathematical analysis of the resources (time and space) needed by the algorithms – typically in the worst case. This was and is the only way to publish in theoretical computer science. All in all, we have disjoint scientific roots leading to different viewpoints on interesting scientific problems. At that time, bionics and bio-inspired algorithms looked to me quite strange.

In a large department it is not possible or necessary that all research groups cooperate directly. I could learn that Hans-Paul is

a pleasant colleague acting as a mediator in department conflicts. From 1990 to 1992 he was the dean of the department and I got the position of a Prodekan “implying” that I should follow Hans-Paul in his position. We were responsible for all important department affairs. The cooperation in such a situation is dangerous, misunderstandings are easily possible. We made a clear plan for division of labor and this worked perfectly. During the whole time we represented the department without disagreement. After having made arrangements I could be sure that he would not change his mind. Nevertheless, there is a lot of work in these positions but not always rewarding or only interesting.

I was happy that I was elected as main referee of the DFG (the German counter part of NSF) for theoretical computer science and this could be used as excuse not to take the position as dean.

During this time I learned more about evolutionary computation and the dominant role of Hans-Paul in this area. Moreover, I saw the discussion about the right terms (evolutionary vs. genetic) and the merits in the past. Similar issues were much easier in complexity and algorithm theory.

Hans-Paul was starting to build up a research team leading later to the SFB 531 on Computational Intelligence. They had no experience to apply for such an SFB (the most prestigious form of DFG support). Because of my work for the DFG Hans-Paul asked me for advice on various aspects. The research group realized some lack of theory in their research plans. So Hans-Paul asked me whether I would join the group to apply my expertise on algorithm analysis to computational intelligence in particular, evolutionary algorithms. I was a little frightened since I knew the prejudices of the theory community against these subjects. However, if this group could create an SFB, there would be no chance for a se-

cond one in Dortmund with a focus on computer science. Looking into the future this would imply that I would be unable to work in an SFB. This finally convinced me to think about a research proposal which was accepted by the preliminary SFB board. Before such a research proposal is decided, DFG invites some researchers for consultations with the idea to prevent proposals without reasonable success probability and to improve the other proposals. The reviewers asked Hans-Paul and me to add a proposal for a joint project. Finally, SFB 531 could start in the beginning of 1997 and, as a result, I shifted my research interests considerably. It is never easy to enter a new research community and my small team at that time (including Stefan Droste and Thomas Jansen) is still grateful that Hans-Paul opened many doors.

Hans-Paul was the speaker of the SFB 531 and did this in a way to support the scientific work as much as possible. Indeed, the other members of the SFB directory had an easy job. Only because of the forthcoming retirement, Hans-Paul stepped back from his position. Nevertheless, he was and is supporting the SFB with all his strength.

The time of retirement is difficult to plan. I would have been happy if Hans-Paul would have tried to prolong his active time in our department. It is exemplary how he cares for his Ph.D. students and how he made the arrangements for his successor such that she could start early, more than one year in parallel with him.

There are many situations where people think "Having such friends (or colleagues) I do not need enemies". The position as a university professor can be one of the most comfortable ones – for this, it is essential to have colleagues like Hans-Paul. He has created and developed an active research area and he influenced many people without the plan to influence them. Thank you,

Hans-Paul, you are always welcome in our group.

Die Evolutionsstrategie verbindet Forschung und Praxis, Maschinenbau und Informatik und – vor allem – Menschen

Klaus Weinert

Die Computational Intelligence (CI) findet ihren Ursprung in herausragenden Erkenntnissen, die durch die Natur motivierte Ideen in praktisch umsetzbare Formate überführen. Praktisch nutzbar sind die CI-Methoden, da sie zum einen algorithmisch umgesetzt werden können, andererseits finden diese intelligenten Verfahren ihren Einsatz in der realen Welt. Noch kürzlich titelte eine bekannte Zeitung aus dem Ruhrgebiet: „Evolutionäre Algorithmen an der Weltspitze.“

Für den Weg bis zu diesem Punkt – und ich denke, dass auch hier klassische lineare Extrapolationstechniken nicht ausreichen, um die im Zeitungstitel geschilderte Situation korrekt zu beschreiben – steht der Name meines geschätzten Kollegen Hans-Paul Schwefel.

Die enge Verbindung zwischen Maschinenbau und den evolutionären Algorithmen (EA) ist bereits durch die Entwicklung der ersten Evolutionsstrategie (ES) gekennzeichnet, die als experimentelles Optimierungsverfahren für die Form von Zweiphasen-Überschalldüsen ihren Anfang nahm. Die fundamentalen Schritte auf der Seite der Informatik drückte sich durch die Entwicklung der (μ, λ) -ES, der mehrgliedrigen Evolutionsstrategie, aus. Obwohl dieses Verfahren bereits in den Schatz der anerkannten und so genannten klassischen Optimierungsverfahren aufgenommen wurde, ist das theoretische Verständnis dieser Methoden noch bei weitem nicht geklärt und vielleicht nur durch neue weitere und ähnlich visionäre

und revolutionäre Sichtweisen zu durchdringen.

Denn tatsächlich sind EA, trotz ihrer verblüffend einfachen Kernstruktur, nicht ad hoc zu verstehen. Der erhebliche Anspruch, den diese Methoden mit sich bringen, führte dazu, dass die Deutsche Forschungsgemeinschaft den Sonderforschungsbereich 531 einrichtete, der das Ziel hat, Methoden der Computational Intelligence zu untersuchen und weitere praktische Einsatzfelder zu erschließen. Der Geist des SFB-CI ist aufs intensivste mit Herrn Schwefel verbunden. Dies nicht nur, weil Herr Schwefel einer der Gründerväter ist und langjähriger Sprecher war, sondern vor allem auch durch sein kontinuierliches kreatives Engagement, das die Forschung im SFB vorantrieb und noch immer bestärkt. Die konkreten Früchte dieses Einsatzes bilden all die Studien-, Diplom-, Doktor- und Habilitationsarbeiten, die Forschungsprojekte und Publikationen, die sich aus dem SFB ergeben haben. Nicht zu quantifizieren ist der wissenschaftliche Einfluss auf die internationale Forschungs-Community.

Die moderne Forschung braucht Ideen und neue Konzepte. Ein evolutionärer Prozess ist gekennzeichnet durch einzelne rekombinatorische Sprünge und viele kleine mutative Veränderungen. Reale Probleme zeichnen sich durch viele lokale Optima und hochdimensionale Parameterräume und Restriktionen aus. Unscharfes und lückenhaftes Wissen sind weitere typische Probleme. CI-Methoden bieten effektive und effiziente Herangehensweisen, um komplizierte, unvorhersehbare und unbekannte „Landschaften“ zu durchqueren. Mit vielen neuen Ideen und Konzepten hat Herr Schwefel den SFB-CI nicht nur auf technologischer Ebene geprägt, sondern ihn durch seinen sehr menschlichen Umgang ausgezeichnet durch alle Schwierigkeiten geführt.

1990 - Bootsausflug**1989 - Haltern****1990 - Bootsausflug**

Lehrstuhl –

Einmal im Jahr zog sich der Lehrstuhl zur Klausur zurück. Zuerst erkundete er die nähere Umgebung (Haltern 1989), dann wagte er sich weiter in die Welt hinaus (Bootsausflug auf der Nordsee 1990, Werveshoof, NL 1994 oder Burgh-Hamstede, NL 1997). Zu diesen Anlässen lag auch schon mal der Chef den Mitarbeitern zu Füßen oder arbeitete als Bootsmechaniker. Fand er den Ausgleich bei derartigen Aktivitäten nicht, ging er schon mal leicht auf die Palme (Citutaki 1993).

1993 - Citutaki

1992 - Lehrstuhltees

Ls11

So genannte Lehrstuhltees fanden regelmäßig am Lehrstuhl 11 statt. Hier wurden Neuigkeiten bekannt gegeben, Informationen ausgetauscht und konzeptionelle Entscheidungen getroffen. Das Foto (1992) entstand während eines solchen Lehrstuhltees und zeigt Herrn Schwefel im Kreise seiner Mitarbeiter. Zu derartigen Anlässen gab es immer Kuchen (vgl. 1990), mit dem häufig seine Frau den Lehrstuhl versorgte.

1997 - Burgh-Hamstede**1994 - Werveshoof****1990 - 50. Geburtstag**

1991 - Ehrendoktor Konrad Zuse**1992 - Schlüsselübergabe****1990 - Parallel Problem Solving from Nature**

Lehrstuhl –

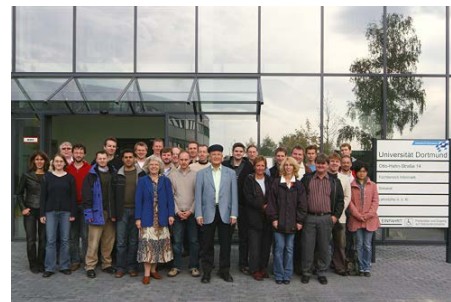
Erste internationale Aufmerksamkeit erfuhr der Lehrstuhl von Hans-Paul Schwefel durch die Veranstaltung der ersten PPSN (Parallel Problem Solving from Nature) Konferenz 1990. Derart gewappnet organisierte er auch weitere Veranstaltungen wie die Einweihung des Transputersystems 1992. Auch bei offiziellen Anlässen war der Chef immer zugegen, z.B. der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Herrn Zuse 1991, der Schlüsselübergabe für den mittlerweile alten Neubau Informatik in der Otto-Hahn Str. 16 (1992) oder dem Spatenstich für den Neubau Informatik im Jahr 2003.

1992 - Transputersystem

1991 - Lehrstuhl 11**2003 - Spatenstich Neubau Informatik**

Ls11

Auch intern gab es häufig Anlässe zu Feierlichkeiten, beispielsweise, wenn ein Mitarbeiter seine Promotionsarbeit erfolgreich verteidigt hatte. Der Stolz des Doktorvaters lässt sich auf dem Bild aus dem Jahr 1991 erahnen. Regelmäßig legte die Familie Schwefel auch auf die Erstellung von Ls11-Familienfotos wert. Aus den entstanden Fotos sind lediglich das erste und das letzte ausgewählt worden.

2005 - Lehrstuhl 11**1991 - Promotionsfeier**

Statistik

Diplomarbeiten

1985

Reiner Gerß

1986

Ute Janik
Peter Schneider

1987

Thomas Bair
Thomas Baumheuer
Matthias Behrens
Hansjörg Klimetzki
Bettina Proschek
Sybille Schmidt
Klaus Schulte
Renate Schweser
Dagmar Theisen-Lindemann
Rainer Weber
Heinz-Hubert Weusthof

1988

Georg Baumann
Harald Boden
Hilmar Heinrichmeyer
Axel Hoffmann
Matina Iatrou
Jamal Ismail
Joachim Leonhardt
Reiner Maiwald
Peter Schendekehl
Joachim Schmitz
Peter Wolf

1989

Thomas Bäck
Angela Beisken
Andreas Bormann
Maria Elena Garcia Esteban
Martina Glomb
Gabriela Dick de Sousa Guimaraes
Rüdiger Kottkamp
Alexander Mück

Burkhard Pietzarka
Georg Rieken
Andreas Schachtner
Dietmar Weidlich
Martin Wienke
Thomas Wysocki

1990

Frank Brüggemann
Sonja Engelskirchen
Martin Frommberger
Susanne Glahn
Thomas Hanne
Frank Kursawe
Axel Lanser
Karl-Heinz Lattemann
Rüdiger Libor
Dirk Löhn
Klaus Löring
Harald Mühlhoff
Detlef Müller
Mohamed Najib
Bernhard Overkämping
Günter Rudolph
Klaus Schürmann
Ingo Schwartz
Joachim Sprave
Andreas Stuer
Torsten Vaupel
Thomas Weber
Klaus Weber

1991

Dirk Aleweiler
Stephan-Marcus Behr
Dirk Brockhaus
Volker Brüggestraß
Manuela Busch
Christoph Engels
Klaus Poguntke
Dirk Rudloff

1992

Abdelhakim Abu-Baker
Jürgen Depping
Ingo Hülsenbeck
Michael Klose
Frank Knickmeier



Martin Mandischer
Thomas Rohne
Christian Seidel
Birgit Straker
Jürgen Symanzik
Jörg Vogelsang
Ursula Wellen
Haitham Zyadeh

1993

Dirk Altenhoff
Ralf Garionis
Werner König
Gaby Lümekemann
Kerstin Ott
Andre Owczarski
Kornelia Paul
Frank Schwienhorst
Matthias Stratmann

1994

Dirk Arnold
Frank Buchholz
Manuel Carriba
Ender Eker
Robert Garmann
Jörg Heitkötter
Jörg Homberger
Jörn Mehnen
Kai Meißner
Jochen Obalek
Martin Schütz

1995

Jörg Brendler
Peter Dittrich
Holger Dörnemann
Christoph Friedrich
Torsten Kellermann
Christian Maiworm
Peter Maldaner
Roger Osterhaus
Kazem Sadeghi
Frank Stöters
Peter Teuber
Jan Wedekind

1996

Thomas Beielstein
Ingo Fenslau
Oliver Günter
Hans-F. Kötter
Andreas Meyer
Carsten Müller
Boris Naujoks
Hans-Thomas Nürnberg
Manuela Petz
Olav Wendemuth

1997

Ismail Basusta
Juan-Carlos Flores-Beltran
Martin Gronek
Stefan Kampmann
Boris Mechow
Stefan Peter
Giovanni Prestifilippo
Mike Preuß
Susanne Rolf
Markus Schmidt
Elias Stelingos
Dirk Wiesmann
Jörg Ziegenhirt

1998

Patrick Becker
Matthias Fellenberg
Olaf Gäsing
Lothar Grünz
Ingo Schwab
Markus Stemmer
Volker Vinkenflügel
Frank Weber
Rolf Wignanek

1999

Michael Emmerich
Ron Körner
Marco Laumanns
Robert Olschewski
Christian Reichmann
Lutz Schönemann
Dirk Schreyer

2000

Claus-Peter Ewald
Frank Grümann
Sven Jansen
Dimitri Knjazew
Karlheinz Schmitt
Marco Wörmann

2001

Karsten Hörmann
Jörn Kleene
Winfried Thieme

2002

Marcus Erling
Ulrich Hockenbrink
Uwe Kleine-Vogel
Lars Willmes

2003

Oliver Kramer
Thomas Michelitsch
Marc Pompl
Mihai-Christian Varcol

2004

Matthias Hebbel
Martin Kleefeld
Torsten Kohlen
Volker Quade
Renate Thies

2005

Enyi Ai
Daniel Blum
Christian Grimme
Markus Niehammer
Volker Strunk
Maren Urselmann
Marcel de Vegt
Olaf Waltjen
Jing Zhou

Promotionen**1988**

Astrid Rühl

1989

Ivan Campos Pinto
Jürgen Herrmann
Karl-Heinz Temme

1990

Wolfgang Ditt
Peter Grabienski
Frank Noack
Bernd Noche

1991

Rudolf Felix
Martina Gorges-Schleuter
Karlheinz Lehner
Ernst Peters

1992

Frank Bendin
Thomas Laußermair
Erdmuthe Meyer zu Bexten

1993

Pierre Frankhauser
Berthold Kröger

1994

Thomas Bäck
Michael Dose
Klaus-Uwe Höffgen
Stefan Pölt

1995

Patrick van Bommel
Christoph Engels

1996

Tobias Blickle
Viktor Vergara Rebolledo
Günter Rudolph

1997

Claudia Bertram-Kretzberg
Thomas Petzold

1998

Dirk Schlierkamp-Voosen

1999

Hannes Geyer
Frank Kursawe
A. Irfan Oyman
Torsten Rudolph
Joachim Sprave

2000

Martin Mandischer
Jörn Mehnen
Frank Weller

2001

Dirk Arnold
Thoma P. Runarsson
Dirk Wiesmann

2003

Thomas Loehl

2005

Thomas Bartz-Beielstein
Michael Emmerich

Habilitationen

1992

Alfred Ultsch

1997

Hans-Georg Beyer

2004

Michael Affenzeller



Autorenverzeichnis

Thomas Bäck:



Dr. Thomas Bäck is professor of Computer Science at Leiden University and President of NuTech Solutions, Germany. Before joining NuTech Solutions, Thomas worked for the Informatik Centrum Dortmund (ICD) as department leader of the Center for Applied Systems Analysis, and later for Divis Digital Solutions GmbH as President and Chief Executive Officer. Thomas Bäck holds a Master of Science degree in Computer Science from Dortmund University, Germany; and a Ph.D. degree in Computer Science from Dortmund University, Germany.

Wolfgang Banzhaf:



Dr. Wolfgang Banzhaf is professor of Computer Science at the Department of Computer Science of Memorial University of Newfoundland, and head of department since 2003. Prior to that, he was Associate Professor for Applied Computer Science in the Department of Computer Science at University of Dortmund, Germany, and a researcher with Mitsubishi Electric in Japan and the United States. His research interests are in Computational Intelligence and Bio-inspired Computing, mostly in Genetic Programming and other Evolutionary Computation methods, including their applications in Science and Engineering.

Thomas Bartz-Beielstein:



Dr. Thomas Bartz-Beielstein (1991 Diplom Waldorfpädagogik, 1997 Diplom Mathematik, 2005 Promotion Informatik) arbeitete von 1994 bis 2000 als Mathematik- und Informatiklehrer, bevor er an den Lehrstuhl für Systemanalyse (Prof. Schwefel) wechselte. Die Simulation und Optimierung komplexer Systeme, für die es keine Standardsoftware gibt, zählt zu seinen Hauptinteressen. Er arbeitete als Berater in der Industrie und ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 531 beschäftigt.

Volker Claus:



Volker Claus promovierte über Schaltwerktheorien und wurde 1972 Professor in der "Abteilung Informatik" an der Universität Dortmund. 1985 wechselte er auf eine Professur für Theoretische Informatik an der Universität Oldenburg und 1992 an die Universität Stuttgart. Er interessiert sich für Graphen, Netze, Verkehrsanwendungen, Ausbildung und für evolutionäre Algorithmen.

Kalyanmoy Deb:

Prof. Kalyanmoy Deb is a Professor of Mechanical Engineering at Indian Institute of Technology Kanpur in India. He has been working in the area of evolutionary computation since 1987 and published more than 160 journal and conference papers. He has pioneered the research and application of evolutionary multi-objective optimization.

Gundel Jankord:

Gundel Jankord ist seit April 1997 an der Dortmunder Universität beschäftigt, zuerst als Sekretärin des Sonderforschungsbereichs 531, seit September 2001 als Sekretärin des Lehrstuhls.

Pierre Frankhauser:

Geb. am 5.10.1949 in Soisy sous Montmorency/ Frankreich. Studium der Physik an der Universität Stuttgart, daneben Studium des Stadtsoziologie und Stadtgeschichte. Lehrtätigkeit am Sprachenzentrum der Universität Stuttgart. 1986-1992 Interdisziplinäre Forschungstätigkeit im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 230 „Natürliche Konstruktionen“, freier Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung. 1991 Promotion am Institut für Theoretische Physik. 1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter am LS11 der Universität Dortmund. 1993 Promotion in Geographie an der Université Paris1. 1993 Dozent an der Université de Franche-Comté/Frankreich, 1996 Habilitation. Seit 1996 Professor für Geographie und Raumplanung in Besançon. Forschungsgebiete: Beschreibung urbaner Strukturen mittels fraktaler Indikatoren, fraktale Konzepte zur Raumplanung, Städte als selbstorganisierende Systeme, Formalisierung von Entscheidungsprozessen.

Harro Kiendl:

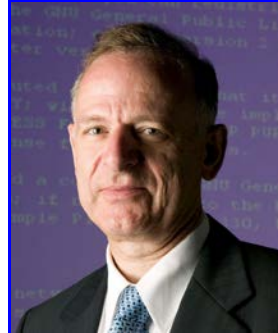
Geb. 1936 in Hamburg, dort Studium der Physik und Mathematik, 1966 Promotion (Festkörperphysik); 1966-1967 Leitung des Sonderprojektes Kybernetische Modelle und Systemanalyse (Pädagogisches Zentrum Berlin); 1967-1969 TU Berlin, 1969-1973 Ruhr-Universität Bochum, 1972 Habilitation (Regelungstechnik). 1973 Ruf auf den Lehrstuhl für Elektrische Steuerung und Regelung Universität Dortmund; methodenorientierte Forschung in den Bereichen nichtlineare Regelungen, Optimierung, Fuzzy Control, datenbasierte Entwurfs- und Modellierungsverfahren. 2001 emeritiert.

Roland Kischkel:

Dr. Roland Kischkel war von 1991 und 2001 Mitarbeiter der Deutschen Forschungsgemeinschaft in der Abteilung Sonderforschungsbereiche und dort auch zuständig für den von Hans-Paul Schwefel gegründeten Dortmunder Sonderforschungsbereich 531. Seit 2001 ist er Kanzler der Universität Dortmund.

Peter Krause:

Peter Krause erhielt 1996 sein Diplom in Elektrotechnik von der Universität Dortmund. Von 1996 bis 2001 arbeitete er an dem Lehrstuhl für Elektrische Steuerung und Regelung an der Universität Dortmund. Seine Arbeit war Teil des Sonderforschungsbereichs 531 "Computational Intelligence" der Universität Dortmund. Seine Hauptinteressen lagen in dem Bereich Data Mining, Fuzzy-Logik und Generierung und Optimierung von Fuzzy-Modellen. In 2001 schloss er seine Promotion im Fachbereich Elektrotechnik der Universität Dortmund ab. Seit Anfang 2002 arbeitet er für die Firma NuTech Solutions GmbH als Bereichsleiter für Forschung und Entwicklung.

Sandor Markon:

Dr. Sandor Markon is a senior researcher at Fujitec Co., Ltd. in Japan. He is also a professor at Kobe Institute of Computing. His main fields of interest are control, simulation, optimization, soft computing including neural networks and evolutionary algorithms. He has also been active in introducing Free/Open Source computing to industrial and scientific applications.

Jörn Mehnen:

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Dipl.-Inform. Jörn Mehnen. 1966 geboren in München. 1987 Studium der Informatik mit Nebenfach Mathematik an der Universität Dortmund. 1994 Diplom zum Thema „Asynchronous Parallel Evolution Strategies“. 1994 Angestellter bei der GLI mbH (München). 1995 Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Spanende Fertigung (ISF). 2000 Promotion zum Thema „Evolutionäre Flächenrekonstruktion“ am ISF. 2004 Habilitation zum Thema „Mehrkriterielle Optimierungsverfahren für produktionstechnische Prozesse“.

Zbyszek Michalewicz:

Zbyszek Michalewicz is a professor at the School of Computer Science, University of Adelaide. He also holds professor positions at the Institute of Computer Science, Polish Academy of Sciences; and the Polish-Japanese Institute of Information Technology. He is also Chairman of the Board of SolveIT Software, a technology company he co-founded, and holds an honorary professorship at the State Key Laboratory of Software Engineering of Wuhan University, China. His current research interests are in evolutionary computation. Michalewicz received PhD in applied mathematics from the Institute of Computer Science, Polish Academy of Sciences.

Ingo Mierswa:

Ingo Mierswa studierte von Ende 1998 bis Anfang 2004 Informatik an der Universität Dortmund. Von 2000 bis 2004 war er am Lehrstuhl für künstliche Intelligenz als studentische Hilfskraft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 531 beschäftigt und entwickelte in dieser Zeit die maschinelle Lernumgebung Yale. Seit April 2004 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.

Katharina Morik:

Katharina Morik nahm nach der Promotion an der Universität Hamburg (1981) und Habilitation an der TU Berlin (1988) den Ruf auf die C4-Professur im Fachbereich Informatik der Universität Dortmund an. Neben zahlreichen anderen Projekten leitete sie im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 531 die Teilprojekte B5 und C11.

Petra Mutzel:

Prof. Dr. Petra Mutzel is full professor of Algorithm Engineering / Experimental Algorithms at LS11 at the University of Dortmund. She earned her Ph.D. at University of Cologne, and her habilitation at the Max-Planck-Institute for Computer Science in Saarbruecken. She was full professor of algorithms and data structures at Vienna University of Technology before she moved to Dortmund University as the successor of Professor Dr.-Ing. Schwefel.

Boris Naujoks:

Boris Naujoks schrieb 1996 am Lehrstuhl für Systemanalyse der Universität Dortmund seine Diplomarbeit und war anschließend als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe von Herrn Schwefel tätig. Nach Erfahrungen an Forschungsinstituten und in der Industrie wandte er sich 2004 wieder der Erforschung evolutionärer Algorithmen zu. Seitdem vertieft er seine Studien zur Anwendung multi-kriterieller evolutionärer Algorithmen und der Kopplung dieser mit Verfahren zur Zielfunktionsapproximation.

Ben Paechter:

Professor Ben Paechter is Director of the Centre for Emergent Computing at Napier University in Edinburgh. He has worked in the field of evolutionary computation for twelve years, concentrating on the solution of combinatorial optimisation problems. He was Coordinator of the European DREAM Project and Deputy Coordinator of EvoNet.

Mike Preuß:

Mike Preuß is Research Associate at the Computer Science Department, University of Dortmund, Germany, where he also received his diploma degree in 1998. His current research interests focus on the field of evolutionary algorithms and include structured populations, niching and diversity maintenance mechanisms, and real-world applications. He was researcher in the DREAM project from 2000 to 2003.

Udaya Bhaskara Rao N.:

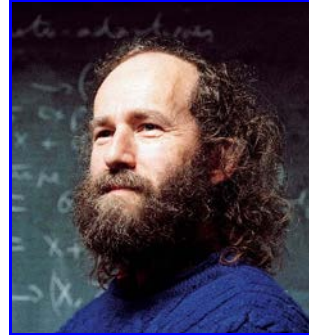
Udaya Bhaskara Rao N. is a master's degree student at the Mechanical Engineering Department at Indian Institute of Technology Kanpur in India. His research interests are in evolutionary multi-objective optimization applied to dynamic optimization problems.

Günter Rudolph:

Günter Rudolph studierte Informatik an den Universitäten Karlsruhe und Dortmund. Diplom in Informatik 1991 und Promotion 1996 an der Universität Dortmund. Er war von 1991 bis 1993 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Dortmund, von 1994 bis 1996 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Informatik Centrum Dortmund (ICD), von 1997 bis 2001 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 531 der Universität Dortmund und von 2001 bis März 2005 in diversen Positionen in den Bereichen Produkt-, Anwendungs- und Softwareentwicklung bei der Parsytec Computer GmbH in Aachen und der Parsytec Solutions GmbH in Erkelenz tätig. Seit April 2005 ist er Professor für Informatik mit Fachgebiet Computational Intelligence an der Universität Dortmund.

Karlheinz Schmitt:

Karlheinz Schmitt received the Diploma degree in computer science from the University of Dortmund in 2000. He is currently a Research Associate at the Chair of Systems Analysis, University of Dortmund, Germany. His main research interests focus on the field of evolutionary algorithms and include single- and multiobjective optimization, coevolution and bio-inspired computation.

Marc Schoenauer:

Marc Schoenauer is Senior Researcher (Directeur de Recherche) at INRIA, the French National Institute for Research in Computer Science and Control, since 2001. He graduated in Applied Maths at Ecole Normale Supérieure in Paris in 1981, and became then Research Scientist at CNRS in the Applied Maths Lab at Ecole Polytechnique. He has been working in the field of Evolutionary Computation since the early 90s, and his main interests are applications of evolutionary methods to engineering and Data Mining problems. He is Editor in Chief of Evolutionary Computation journal since 2002.

Gabriele Schönfelder

Studium der Physik an der Universität Münster, Diplom 1973. Seit 1974 wiss. Ang. an der Universitätsbibliothek Dortmund. 1974 – 1980 Mitarbeit im Projekt DOBIS (Dortmunder Online Bibliothekssystem), hier schwerpunktmäßig Bearbeitung der Funktionen Ausleihe und Erwerbung. Nach der Erziehungszeit 1983 Übernahme des Fachreferats Informatik, was 1992 durch das Fachreferat Elektrotechnik ergänzt wurde. Seit 2004 Leiterin der Erwerbung an der UB Dortmund.

Martin Sternke:

Dipl.-Ing. Martin Sternke studierte von 1995 bis 2001 Elektrotechnik an der Universität Dortmund. Von Oktober 2001 bis Februar 2003 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Elektrische Steuerung und Regelung der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik an der Universität Dortmund. Seit März 2003 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Rahmen des Transferbereichs 37 der Universität Dortmund am Lehrstuhl für Algorithm Engineering und Systemanalyse. Seine Hauptarbeitsgebiete sind die datenbasierte Generierung von relevanten Fuzzy-Regeln und die Anwendung des Fuzzy-ROSA-Verfahrens für die Modellierung industrieller Problemstellungen.

Klaus Weinert:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Klaus Weinert: 1972 Studium des allgemeinen Maschinenbaus mit Schwerpunkt Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik. 1976 Promotion "Die zeitliche Änderung des Schleifscheibenzustandes beim Außenrund-Einsteichschleifen" an der TU Braunschweig. 1978-1992 Tätigkeiten in der Automobilindustrie (VW AG). 1992 Ernennung zum ordentlichen Professor an der Universität Dortmund und Leitung des Instituts für Spanende Fertigung (ISF). 1997 Ehrendoktorwürde der Universität Miskolc, Ungarn.

Ingo Wegener:

Ingo Wegener promovierte 1978 in Bielefeld über die Komplexität boolescher Funktionen. Nach seiner Zeit als C3-Professor in Frankfurt wechselte er an die Universität Dortmund, wo er seit 1987 den Lehrstuhl für effiziente Algorithmen und Komplexitätstheorie leitet. Er ist der Nachfolger von Hans-Paul Schwefel im Sprecheramt des Sonderforschungsbereichs 531 "Computational Intelligence" und Mitglied des Wissenschaftsrates.

Jennifer Willies:

Jennifer Willies is administrator of the EvoNet network of excellence, based at Napier University and helps to organise EuroGP-EvoCOP-EvoWorkshops.