

Die Schwierigkeiten der Prognose bei evolutionären Entwicklungen

Bei den Matreier Gesprächen 1995 über Technik-Anwendung wurden evolutionäre Algorithmen vorgestellt und deren Wirkungsweise an Computersimulationen gezeigt (*Nagel, K. 1996*). Diese Algorithmen versuchen mit vereinfachten Modellen der natürlichen Evolution technische Optimierungsaufgaben zu bewältigen. Die Grundidee dabei ist, durch zufällige Änderungen (Mutationen) Lösungen zu verbessern, verschiedene Lösungen zu mischen und bei dieser Rekombination die besseren Lösungen zu bevorzugen (Selektion). Bei dem Verfahren wird eine zufällige Anfangspopulation von potentiellen Lösungen gebildet und der Zufall bestimmt auch, welche Lösungen zu neuen kombiniert werden und welche Mutationen auftreten (*Holland, J.H. 1992*). Obwohl das ganze Verfahren überwiegend vom Zufall bestimmt war, stellten sich nach einigen Generationen immer die gleichen Lösungen ein. Den in der Überschrift genannten Schwierigkeiten der Prognose bei evolutionären Entwicklungen scheint das zu widersprechen, bei den Computersimulationen ließ sich das Ergebnis sicher voraussagen. Diesem Widerspruch soll jetzt nachgegangen werden.

1. Zufall und Prognose

Das einfachste und grundlegende zufällige Experiment ist das Werfen einer Münze. Bei einem einzelnen Wurf weiß man nicht, ob Kopf oder Zahl fallen wird. Obwohl der Wurf nach einfachen physikalischen Gesetzen abläuft, lässt er sich nicht im Voraus berechnen, denn kleinste Änderungen – weit unterhalb der Messgenauigkeit – der Wurfrichtung, Wurfhöhe oder Wurfgeschwindigkeit können das Ergebnis umdrehen. Trotzdem lässt sich auch beim Münzwurf vieles vorhersagen, nämlich, wenn man sehr viele Würfe macht. Bei tausend Würfeln kann man nahezu sicher sein, dass Kopf zwischen vierhundertmal und sechshundertmal fällt. Der Ausgang eines einzelnen zufälligen Experiments ist ungewiss, das Ergebnis vieler Experimente gehorcht statistischen Gesetzen. Die Häufigkeit, mit der bei tausend Würfeln

Kopf fällt, folgt der Gauß'schen Normalverteilung und die prozentuale Abweichung verringert sich mit der Anzahl der Wiederholungen des Experiments. So lassen sich in Hochrechnungen Wahlergebnisse treffend vorhersagen, obwohl man nicht weiß, wie sich der einzelne Wähler entscheidet. Spielbanklizenzen sind so begehrt, weil der Betreiber sich langfristig auf seinen kleinen Gewinnvorteil verlassen kann, selbst wenn gelegentlich die Bank gesprengt wird. Die natürliche Evolution ist ein Experiment mit sehr vielen Teilen. Warum sollte sich ihre Entwicklung nicht auch mit statistischen Methoden voraussagen lassen?

2. Zielfunktion

2.1 Zielfunktion bei genetischen Algorithmen

In dem oben erwähnten Beispiel ging es um das Problem der Brachistochrone, der Linie der kürzesten Zeit. Dabei ist die Form einer Kurve gesucht, auf der ein Körper, getrieben von der Schwerkraft, sich möglichst schnell vom Anfang zum Ende bewegt, man denke etwa an eine Kinderrutsche. Für die Behandlung mit evolutionären Algorithmen wird die Höhe der Kurve an beispielsweise zwanzig Zwischenstellen vorgegeben, zwischen denen die Kurve jeweils gerade verläuft. Die benötigte Zeit für jedes Teilstück berechnet sich nach einfachen physikalischen Gesetzen für die schiefe Ebene. Ziel ist es, das Minimum einer Funktion zu finden, die abhängig von den zwanzig Zwischenwerten, eine einzige Zahl liefert, die Gesamtzeit; daher der Name Zielfunktion.

Ein solcher Optimierungsvorgang lässt sich gut veranschaulichen an der Suche nach dem höchsten Gipfel in einem Gebirge. Die zu variierenden Werte sind in diesem Fall die geografische Länge und Breite, die Zielfunktion gibt die Höhe über dem Meeresspiegel an in Abhängigkeit von diesen Koordinaten. Ein genetischer Algorithmus sucht zufällig in der Umgebung des erreichten Ortes und, wenn ein höherer Punkt gefunden wurde, bewegt er sich weiter zu diesem Ort. Die Verbesserungen laufen ähnlich ab, wenn man sich stets in der Richtung des steilsten Anstiegs, des sogenannten Gradienten, weiterbewegt; Bergsteiger sprechen in diesem Fall von der Direttissima. Der Gradient ist oft schwer zu berechnen oder zu bestimmen, da hat die zufällige Suche bei den genetischen Verfahren den Vorteil, dass nur die Zielfunktion selbst ermittelt werden muss. Bei Bergen wie dem Fudschijama

oder Kilimandscharo führt die Direttissima sicher zum Gipfel; das liegt an deren glatter, kegelförmiger Form. Die Höhenlinien sind in diesem Falle nahezu Kreislinien, und folgt man den Gradienten, das heißt bewegt man sich senkrecht zu den Höhenlinien, dann gelangt man von jedem Ausgangspunkt zum einzigen Gipfel. Nimmt man aber in einem zerklüfteten Gebirge wie den Alpen immer den steilsten Anstieg, dann erreicht man im Allgemeinen nicht den höchsten Berg, den Montblanc, sondern man endet auf einem niedrigeren Gipfel oder gar nur einer kleinen Kuppe. Trotz der vielen Variablen bei der Brachistochrone ist die Struktur der Zielfunktion so einfach wie bei einem Bergkegel. Man kann eine Variable nach der anderen einzeln optimieren und nähert sich schrittweise der eindeutigen Lösung, die schon vor über dreihundert Jahren von Jacques Bernoulli berechnet wurde.

2.2 Zielfunktion in der natürlichen Evolution

Eine Funktion, welche die natürliche Evolution zu optimieren versucht, tritt nicht in reiner Form auf. Es gibt keinen Index, an dem sich ermesen ließe, wie fit eine Art im Überlebenskampf ist, und bei der ein höherer Wert eine Überlegenheit ausdrückt. Nach dem Grundsatz des „Survival of the Fittest“ äußert sich das Ziel in der Verbreitung und der Länge des Überlebens einer Art und da sind uns viele andere Arten weit überlegen: Kakerlaken leben in nahezu unveränderter Form schon fünfzigmal länger auf der Erde als wir Menschen. Haie und Tintenfische gab es schon lange vor uns und die Ratten sind als einzige Säugetiere zahlreicher als Menschen, wobei deren Anzahl verschwindend gering ist im Vergleich zu Einzellern, Bakterien und Viren. Fitness im Sinne der Evolution kann auf vielen Eigenschaften und deren Kombination beruhen: Größe, Stärke, Schnelligkeit, Intelligenz, Güte der Sinnesorgane, Anpassungsfähigkeit an Nahrungsangebot und Klima, Tarnung, Panzerung, Reproduktionsrate und vielen mehr.

Eine Zielfunktion der natürlichen Evolution müsste von all diesen Eigenschaften abhängen. Die Eigenschaften stehen zum Teil in Konkurrenz und lassen sich nicht unabhängig von einander wählen. Grosse Schnelligkeit und ein schwerer Panzer sind nicht vereinbar, ein großes Tier kann nicht die Reproduktionsrate eines Einzellers haben. Die Vielzahl der entstandenen Arten zeigt an, dass die Zielfunktion viele lokale Optima hat; jedes entspricht einer Nische, in der eine Art überleben kann. Die Zielfunktionen in der Natur entsprechen also nicht dem kegelförmigen Berg, sondern eher dem zerklüfteten Gebirge, wobei die Vielzahl der lokalen Nebengipfel aber bedeutend größer

ist, denn auch die Zahl der Variablen ist unermesslich hoch. Größe, Körperbau, Bau und Wirkungsweise sämtlicher Organe, Verhalten, Nahrung, Lebensraum und vieles mehr kann in nicht abzuschätzendem Maß variieren. Örtlich weichen die Anforderungen stark von einander ab, in arktischer Umgebung sind andere Eigenschaften gefordert als in den Tropen, das Eichhörnchen in den Baumkronen braucht andere Sinne als der Maulwurf unter der Erde. Auch zeitlich ändern sich die Bedingungen; eine Art kann nur entstehen und überleben, nachdem auch ihre Nahrungsmittel – Beutetiere oder Pflanzen – entstanden sind. Auszusehen wie eine Wespe hilft der Schwebfliege erst, wenn ihre Fressfeinde schlechte Erfahrungen mit Wespen gesammelt haben. Globale Katastrophen, Klimaveränderungen verändern die Zielfunktionen und geben anderen Arten bessere Chancen, so wie etwa Säugetiere die Jahrtausende währende Vorherrschaft der Saurier ablösen.

3. Fazit

Die Unmöglichkeit, eine evolutionäre Entwicklung vorauszusagen, liegt nicht, wie man vielleicht erwarten würde, am Zufall, der die Mutationen und die Partnerwahl steuert. Bei der riesigen Anzahl dieser zufälligen Vorgänge wären statistische Aussagen durchaus möglich. Die Schwierigkeit der Prognose beruht auf der Komplexität der Zielfunktion, es gibt keine universell bestens angepasste Art, bei der alle relevanten Eigenschaften optimal ausgeprägt sind, wie etwa ein Tier, stark wie ein Elefant, gepanzert wie ein Nashorn, schnell wie eine Gazelle, intelligent wie ein Mensch und mit einer Vermehrungsrate wie eine Fruchtfliege. Die Gesetze der Physik lassen ein solches Tier nicht zu, denn Größe und Panzerung stehen der Geschwindigkeit entgegen, die Größe erlaubt keine hohe Reproduktionsrate und der erforderliche Energiebedarf würde schnell alle Nahrungsquellen erschöpfen. Statt eines einzigen globalen Optimums gibt es unzählige lokale Optima, von denen aus durch kleine Veränderungen keine Verbesserungen zu erreichen sind. Jede Art hat solch ein lokales Optimum für sich entdeckt. Evolutionärer Druck zur Verbesserung entsteht nur gegenüber Arten, die zu dem gleichen Optimum streben, also um Revier und Nahrungsquellen streiten. Darum stehen unterschiedliche Arten gewöhnlich nicht in Konkurrenz. Das ermöglicht ihre Vielfalt, macht aber eine Prognose der evolutionären Entwicklung unmöglich.

4. Literatur

- HOLLAND, John H. (1992): Adaption in Natural and Artificial Systems. – MIT Press. Cambridge/ London.
- NAGEL, Klaus (1996): Theorie und Anwendung evolutionärer Algorithmen.
– In: Max Liedtke (Hg.), Technik-Anwendung. – Matreier Gespräche 1994. austria medien service. Graz, 138-145.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der
Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: [2007](#)

Autor(en)/Author(s): Nagel Klaus

Artikel/Article: [Die Schwierigkeiten der Prognose bei evolutionären
Entwicklungen 58-62](#)