

Zum Geleit

Die unglaublich vielfältigen Lebensformen und Lebewesen, die in der Natur vorkommen, werden dank zunehmend ausgefeilterer und genauerer Analyse-Methoden und unterstützt von immer exakter werdenden Analyse-Werkzeugen immer besser untersucht. Es besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass die dabei zu Tage tretende immense Komplexität der Organismen im Wesentlichen durch Mechanismen hervorgerufen wurden bzw. werden, die „nur“ auf dem Darwinschen Modell der biologischen Evolution beruhen. Bei diesem Maß an Komplexität fällt es schwer, den dafür „verantwortlichen“ Entwicklungsprozess als rein stochastisch anzusehen, und nachzuvollziehen, wie dabei aus der Anwendung der doch relativ einfachen Prinzipien solch komplexe und bestens angepasste Strukturen entstehen können.

Ein in vielen Bereichen – wie etwa der technischen Konstruktion, im Maschinenbau oder auch bei der Erstellung vielschichtiger Software-Systeme – bewährtes Konstruktionsprinzip komplexer Gesamt-Systeme ist deren Aufbau aus Einzelteilen oder Modulen, die austauschbaren und wieder verwendbaren Teillösungen entsprechen, und die Integration dieser Teillösungen zu der angestrebten Gesamt-Lösung.

Die in der vorliegenden Arbeit zu untersuchende Fragestellung war, ob sich bei evolutionären Algorithmen (EA) das o.g. Modularisierungsprinzip in den durchgeführten Lösungsprozessen beobachten lässt – und wenn ja, unter welchen Bedingungen. Evolutionäre Algorithmen werden einerseits im Forschungsgebiet „Artificial Life“ für die Modellierung biologischer Evolutionsprozesse nach Darwin und andererseits im Bereich „Artificial Intelligence“ (Künstliche Intelligenz) zur Lösung und Optimierung von zunehmend komplexen Aufgaben vielfach eingesetzt.

Bei den Analysen sollte sich das Modularisierungsprinzip (natürlich) nicht als Folge von Rahmenbedingungen ergeben, die eine Modularisierung fördern, sondern aus sich selbst heraus. Es sollte also alleine aus der Anwendung der üblichen „Basis-Operatoren“ von EA, wie Selektion, Rekombination und Mutation resultieren. Mit anderen Worten: Es geht darum, ob – und wenn ja, unter welchen Bedingungen – Effekte von selbstorganisierender Modularisierung bei EA auftreten.

Zunächst werden die für die Arbeit zentralen Begriffe Modul und Modularität von verschiedensten Blickwinkeln diskutiert und Schritt für Schritt vom intuitiven Wortgebrauch ausgehend (z.B. im Sinne des Software Engineerings) immer weiter im Hinblick darauf formalisiert, dass sie im Kontext von EA verwendbar sind. Hierbei wird Wert darauf gelegt, dass eine möglichst große Unabhängigkeit von dem jeweils konkreten Modellansatz besteht, was durch Anwendung des Radcliffe-Metamodells gelingt.

Es resultiert die sog. Radcliffe-Modularität, die jedoch bei genauerer Analyse noch einige problematische Eigenschaften besitzt. Als Folgerung dieser Analyse und das Ziel vor Augen, dass für das weitere Vorgehen ein graduell und lokales Modularitätsmaß benötigt wird, definiert die Arbeit auf der Basis einer Synthese zweier unterschiedlicher Metamo-

delle eine sog. Modularitäts-Matrix. Mit ihrer Hilfe erhält man als nächsten Zwischenschritt den Gleichverteilungs- sowie Effektiven Modularitätsgrad. In dieses Konzept lassen sich auch Mutationseffekte integrieren, womit zumindest theoretisch o.g. Probleme ausgeräumt werden können.

Es zeigt sich, daß sich auch sehr unterschiedliche konkrete Ansätze zur Behandlung von Modularität unter dem entwickelten abstrakten Modularitätskonzept subsummieren lassen, ebenso Ansätze, die originär gar nichts mit dem Modularitätskonzept zu tun haben. Für die weiteren Untersuchungen ergibt sich jedoch die Problematik, dass kein Ansatz als repräsentativ für alle vorgestellten Ansätze genommen werden kann. Um die folgenden Analysen zur Modularität mit einem einzigen Modell-Typ fortsetzen zu können, werden aus den prägnant herauspräparierten Gemeinsamkeiten der obigen Ansätze Anforderungen abgeleitet, und in ein neues abstraktes und recht einfaches Metamodell integriert: MetaEA. Dieses besitzt bewusst eine einfache Genomstruktur und einfache Evolutionsoperatoren, um die verschiedenen Effekte gut trennen zu können; trotzdem lassen sich immer noch alle konkreten Modelle damit abbilden.

Zusammen mit den entwickelten theoretischen Grundlagen bildet MetaEA (und seine software-technische Implementation) ein geeignetes Werkzeug, mit dem Prozesse Selbstorganisierter Modularisierung untersucht werden können.

Als Quintessenz lässt sich eindeutig sagen, dass in den MetaEA-Szenarien Prozesse auftreten, die als selbstorganisierende Modularisierung angesehen werden können. Die beobachteten Effekte lassen sich theoretisch erklären und bieten einen interessanten Blickwinkel auf bestehende Ansätze, aber z.B. auch auf das bekannte Schema-Theorem.

Die Arbeit stellt damit eine trag- und vor allem ausbaufähige Basis für ein tieferes theoretisches Verständnis von den Mechanismen dar, die in den Lösungsprozessen von evolutionären Algorithmen eine Rolle spielen.

Prof. Dr. Thomas Uthmann