

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Intelligente Systeme

Komplexe Problemstellungen in verschiedensten Anwendungsbereichen führen verstärkt zu Computeranwendungen, die „intelligentes Verhalten“ zeigen müssen. Diese Anwendungen leisten z.B. Entscheidungsunterstützung, steuern Prozesse, erkennen und interpretieren Muster oder bewegen sich autonom in unbekanntem Umgebungen. Zur Bewältigung solcher Aufgaben sind neuartige Vorgehensweisen, Methoden, Programmierumgebungen und Werkzeuge entwickelt worden.

Die allgemeine Aufgabenstellung bei der Entwicklung solcher „intelligenten Systeme“ ist auf einer höheren Abstraktionsebene letztlich immer die Gleiche: es geht um die Simulation intelligenten Denkens und Handelns in einem bestimmten Anwendungsbereich [Russel und Norvig 2009]. Das Wissen über diesen Anwendungsbereich muss zu diesem Zweck dargestellt und verarbeitet werden. Die Qualität des sich ergebenden Systems hängt zum Großteil von der Lösung gerade dieses Darstellungsproblems des Wissens im Entwicklungsprozess ab. Es gibt nicht die „beste“ Methode, sondern es gilt vielmehr, aus den vielen bereitstehenden Ansätzen diejenigen herauszusuchen, die optimal zum Einsatzgebiet des Systems passen.

Die Mechanismen, die intelligentem Verhalten zugrunde liegen, werden im Forschungsgebiet „Künstliche Intelligenz“ (KI) untersucht. Die Künstliche Intelligenz ist ein Teilgebiet der Informatik und hat, wie andere Teilgebiete auch, sowohl theoretische Aspekte (*Wie und warum funktionieren die Systeme?*) als auch anwendungsorientierte Aspekte (*Wo und wann können die Systeme verwendet werden?*).

Zu Beginn der Entwicklung von intelligenten Systemen hat man sich oft an der aus der Aufklärung stammenden Vorstellung vom „Menschen als Maschine“ orientiert. Man wollte eine Intelligenz erschaffen, die wie der Mensch kreativ denken sowie Probleme lösen kann, und die sich durch eine Form von Bewusstsein sowie Emotionen auszeichnet. Der übliche Weg zum Entwurf künstlicher Intelligenz war in der Anfangsphase der KI immer die Beschreibung einer symbolischen Basis dieser Mechanismen. Dazu gehört ebenso die Top-Down-Perspektive der Problemlösung, die als wichtigsten Punkt die Frage behandelt, warum die Systeme funktionieren [Nilsson 2009]. Die Antwort auf diese Frage wird meist mit Hilfe symbolischer Repräsentationen und logischer Prozesse formuliert. Zu diesen Ansätzen gehören beispiels-

weise spezielle Verfahren wie regelbasierte Expertensysteme, automatische Theorembeweiser und viele Operations-Research-Ansätze, die moderner Planungssoftware zugrunde liegen.

Obwohl diese traditionellen Ansätze teilweise sehr erfolgreich waren und sind, haben sie deutliche Grenzen, insbesondere was die Skalierbarkeit angeht. Eine leichte Erschwerung des zu lösenden Problems geht meist mit einer nicht handhabbaren Komplexitätssteigerung einher. Somit sind diese Verfahren allein, obwohl sie eine optimale, präzise oder wahre Lösung garantieren, für praktische Probleme häufig nicht einsetzbar [Hüllermeier *et al.* 2010].

Deswegen werden weiterhin effiziente Methoden zur Verarbeitung und Repräsentation von Wissen gesucht. Bewährt haben sich für einige Problemstellungen Verfahren, die sich an natürlichen bzw. biologischen Prozessen orientieren. Diese Herangehensweise stellt einen Paradigmenwechsel weg von der symbolischen Repräsentation und hin zu Inferenzstrategien für Anpassung und Lernen dar. Zu diesen Ansätzen gehören Künstliche Neuronale Netze, Evolutionäre Algorithmen und Fuzzy-Systeme [Kacprzyk und Pedrycz 2015]. Diese neuen Methoden haben sich bereits, meist in Kombination mit traditionellen Problemlösungstechniken, in vielen Anwendungsbereichen bewährt.

1.2 Computational Intelligence

Das Forschungsgebiet *Computational Intelligence (CI)* als Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz umfasst Konzepte, Paradigmen, Algorithmen und Implementierungen zur Entwicklung von Systemen, die intelligentes Verhalten in komplexen Umgebungen automatisieren sollen. Es werden subsymbolische, naturanaloge Methoden verwendet, die unvollständiges, unpräzises und unsicheres Wissen tolerieren und auf diese Weise approximative, handhabbare, robuste und ressourcengünstige Lösungen ermöglichen.

Die im Bereich Computational Intelligence verwendete Problemlösungsstrategie besteht darin, approximative Techniken und Methoden zu verwenden, die ungefähre, unvollständige oder nur teilweise wahre Lösungen zu Problemen finden können, dies aber im Gegenzug in einem akzeptablen Zeit- und Kostenrahmen bewerkstelligen. Diese Ansätze bestehen aus relativ einfachen Teilabläufen, die im Zusammenspiel zu komplexem und selbstorganisierendem Verhalten führen. Dadurch entziehen sich diese heuristischen Verfahren oft einer klassischen Analyse, sie sind aber in der Lage, schnell ungefähre Lösungen zu ansonsten nur schwierig lösbaren Problemen zu generieren.

Das Gebiet Computational Intelligence kann in diesem Buch nicht vollständig behandelt werden. Wir beschränken uns daher auf die Beschreibung von vier in der Praxis oft verwendeten Techniken.

In den ersten beiden Teilen dieses Buches werden sogenannte „naturanaloge“ Verfahren beschrieben. Die hier verfolgte Idee besteht darin, in der Natur vorkommende Problemlösungsstrategien zu analysieren. Teilaspekte der Lösungsstrategie werden dann auf dem Computer modelliert oder simuliert, ohne dass dabei die Ursprungssysteme selbst korrekt modelliert werden und ohne die biologische Plausibilität der Systeme zu berücksichtigen. Besonders erfolgreiche wichtige Vertreter

dieser Gattung sind derzeit Neuronale Netze, schwarmbasierte Verfahren und Evolutionäre Algorithmen.

Viele Ideen und Prinzipien im Gebiet der neuronalen Netze [Haykin 2008] wurden durch die Hirnforschung inspiriert. Künstliche Neuronale Netze sind informationsverarbeitende Systeme, deren Struktur und Funktionsweise dem Nervensystem und speziell dem Gehirn von Tieren und Menschen nachempfunden sind. Sie bestehen aus einer großen Anzahl einfacher, parallel arbeitender Einheiten, den sogenannten Neuronen. Diese Neuronen senden sich Informationen in Form von Aktivierungssignalen über gerichtete Verbindungen zu. Ausgehend von dem Wissen über die Funktion biologischer neuronaler Netze versucht man, diese zu modellieren und zu simulieren.

Die Idee zu evolutionären Algorithmen entstammt der biologischen Evolution, in deren Rahmen sich Organismen an Umweltbedingungen anpassen. Evolutionäre Algorithmen [Rozenberg 2011] stellen eine Klasse von Optimierungsverfahren dar, die Prinzipien der biologischen Evolution nachahmen. Sie gehören zur Gruppe der Metaheuristiken, die Algorithmen zur näherungsweise Lösung, z.B. eines kombinatorischen Optimierungsproblems beinhalten. Diese sind definiert durch eine abstrakte Folge von Schritten, die auf beliebige Problemstellungen anwendbar ist. Jeder einzelne Schritt muss allerdings problemspezifisch implementiert werden. Aufgrund dessen wird auch von problemspezifischen Heuristiken gesprochen. Metaheuristiken kommen bei Problemen zum Einsatz, bei denen kein effizienterer Lösungsalgorithmus bekannt ist. Das Finden einer optimalen Lösung ist in der Regel nicht garantiert. Jede gute Lösung kann beliebig schlecht sein, wenn sie mit der optimalen Lösung verglichen wird. Der Erfolg und die Laufzeit hängen von der Problemdefinition und der Implementierung der einzelnen Schritte ab.

In den beiden folgenden Teilen dieses Buches geht es um die Einbeziehung von unsicherem, vagem und unvollständigem Wissen in die Problemlösungsstrategie. Die hier verfolgte Idee besteht darin, dass Menschen sehr gut mit imperfektem Wissen umgehen können und man diese Art von Wissen dem Computer zugänglich machen möchte. Besonders erfolgreiche Ansätze, die mit vagem und unsicherem Wissen umgehen, sind Fuzzy- und Bayes-Netze.

In Fuzzy-Systemen wird das impräzise Wissen, das von einem Experten bereitgestellt oder von Entwickler des Systems intuitiv formuliert wird, mit Hilfe von Fuzzy-Logik und Methoden des approximativen Schließens formalisiert und in die Problemlösungsstrategie eingebunden. Diese Verfahren werden routinemäßig in der Regelungstechnik [Michels *et al.* 2006] eingesetzt, weil in vielen Anwendungsfällen eine präzise und vollständige Systemmodellierung unbequem oder gar unmöglich ist.

Bayes-Netze dienen der effizienten Speicherung und Verarbeitung unsicheren Wissens in komplexen Anwendungsbereichen. Formal ist ein Bayes-Netz ein probabilistisches graphisches Modell, das eine Menge von Zufallsvariablen und deren bedingte Abhängigkeiten in einem gerichteten azyklischen Graph repräsentiert. Aufgrund der probabilistischen Repräsentation kann man sehr gut Schlussfolgerungen anhand von neuen Informationen durchführen, Abhängigkeiten analysieren durchführen und Lernverfahren nutzen [Borgelt *et al.* 2009].

In vielen Anwendungsfällen werden hybride CI-Systeme wie Neuro-Fuzzy Systeme genutzt. Manchmal werden diese Verfahren auch mit verwandten Methoden kombiniert, wie beispielsweise im Gebiet des maschinellen Lernens und des fallbasierten Schließens [Beierle und Kern-Isberner 2014].

Über dieses Buch

Unser Ziel ist es, mit diesem Lehrbuch eine methodische Einführung in das Gebiet Computational Intelligence zu geben. Uns geht es nicht nur um die Vermittlung fundamentaler Konzepte und deren Umsetzung; es geht auch darum, den theoretischen Hintergrund der vorgeschlagenen Problemlösungen zu erklären und den Lesern die für den fundierten Einsatz dieser Methoden notwendige Sensibilität zu vermitteln. Es werden grundlegende Kenntnisse in Mathematik vorausgesetzt. Einige besonders wichtige Techniken werden in den Anhängen zusammengestellt. Die vier Teile zu Neuronalen Netzen, Evolutionären Algorithmen, Fuzzy-Systemen und Bayes-Netzen kann man unabhängig voneinander studieren, so dass sich kein vorgegebener Lesefluss ergibt und ein wahlfreier Zugriff auf die einzelnen Teile ermöglicht wird. Für die vorliegende zweite Auflage dieses Buches wurden alle Themenbereiche überarbeitet, aktualisiert und zum Teil erheblich erweitert.

Dieses Lehrbuch ist zudem als Begleitbuch für Vorlesungen im Gebiet Computational Intelligence gedacht. Es basiert auf Aufzeichnungen, die der erste Autor seit mehr als 15 Jahren regelmäßig für Studierende verschiedener Fachrichtungen hält. Auf der Webseite

<http://www.computational-intelligence.eu>

findet man für die vier Vorlesungen Neuronale Netze, Evolutionäre Algorithmen, Fuzzy-Systeme und Bayes-Netze zum Buch passende Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben, Musterklausuren, Software-Demos, Literaturhinweise, Hinweise zu Organisationen, Zeitschriften, Softwaretools und weiteres Ergänzungsmaterial. Insgesamt werden vier Module (Vorlesungen mit dazu passenden Übungen) abgedeckt.