

Agentenbasiertes Suchen, Filtern und Klassifizieren von Informationsangeboten im World Wide Web unter Einsatz von Künstlichen Neuronalen Netzen und Neuro-Fuzzy-Technologien

Dipl.-Kfm. Frank Teuteberg

Europa-Universität Viadrina Frankfurt (teute@euv-frankfurt-o.de)

Betreuer: Prof. Dr. K. Kurbel

Inhalt

- 1 Problemstellung**
- 2 Agenten**
- 3 Einflußgebiete**
- 4 Komponenten des Agentensystems**
- 5 Empirisch-experimentelle Untersuchungen**
- 6 Erwarteter Erkenntnisgewinn**

1 Problemstellung

Eine fast unerschöpfliche Quelle unterschiedlicher Informationsangebote steht dem interessierten Nutzer mit dem World Wide Web (WWW) zur Verfügung. Die Unterstützung der Nutzer bei der gezielten Suche, Filterung und Klassifikation der Informationsangebote in dem weitgehend unstrukturierten und dynamischen Informationsmarkt des WWW wird zunehmend ein Schlüsselfaktor für ein erfolgreiches und effizientes Informationsmanagement in Unternehmen. Traditionelle "keyword search" basierte Suchdienste können eine wichtige Hilfestellung für die Informationserschließung im WWW leisten, weisen jedoch eine Reihe von Schwächen auf, die aufgrund der exponentiell anwachsenden Informationsmenge in Zukunft noch stärker in Erscheinung treten werden. Hierzu zählen z.B. die hohe Belastung der Datennetze aufgrund der Vielzahl an Suchdiensten, die Grenzen zur Spezifikation einer Suchanfrage, das Relevanzranking der Treffermenge, die eingeschränkte Aussagekraft der zu den einzelnen Informationsangeboten indizierten Informationen, die niedrige Präzision der gelieferten Ergebnisse oder die oftmals nicht mehr aktuellen Hypertextverweise ("dead links") der Treffermenge (vgl. z.B. Teuteberg 1997, S. 375 ff.). Unterstützung durch "intelligente" Suchwerkzeuge ist wünschenswert. Der Einsatz sog. *Informationsagenten* ("Information Discovery Agents", "Information Filtering Agents", "In-

formation Classifier Agents") wird in jüngster Zeit verstärkt als Lösung der oben skizzierten Probleme propagiert.

2 Agenten

Begriffe wie "Softwareagenten", "Agentenbasierte Systeme", "Multi-Agentensysteme" oder "Intelligente Agenten" haben durch das Wachstum des Internet in jüngster Zeit wieder an Aktualität und Bedeutung gewonnen. Eine allgemein akzeptierte, umfassende Definition eines Agenten existiert jedoch nicht. Sowohl die Bedeutung der nachfolgend aufgeführten Eigenschaften als auch deren Verwendung in Zusammenhang mit Agenten ist in der Literatur nicht einheitlich (vgl. Jennings/Wooldridge 1998, S. 4 f.). Als für Agenten in unterschiedlicher Ausprägung charakteristisch lassen sich die nachfolgenden Eigenschaften aufführen (vgl. z.B. Wooldridge/Jennings 1995, S. 115 ff., Schubert/Zarnekow/Brenner 1998, S. 306 f.):

- *Adaptivität/Lernfähigkeit:* Adaptivität/Lernfähigkeit ist die Fähigkeit eines Agenten, sich an verändernde Umgebungen anzupassen. Die Spanne reicht dabei vom einfachen Fall der Beurteilungsfähigkeit bis hin zur Lernfähigkeit. Hierzu werden zumeist Methoden des maschinellen Lernens eingesetzt. Agentensysteme weisen dabei im wesentlichen eine interne Wissensbasis auf (wobei das Wissen auch implizit in Form der Gewichte innerhalb Künstlicher Neuronaler Netze (KNN) abgebildet sein kann) und besitzen die Fähigkeit zu Schlußfolgerungen auf Basis des impliziten oder expliziten Wissens.
- *Mobilität:* Mobilität ist die Fähigkeit eines Agenten, sich innerhalb elektronischer Kommunikationsnetzwerke zu bewegen. Zu unterscheiden ist die einfache Mobilität, d.h. die Fähigkeit zur "Remote Execution" (Ausführung von Programmen auf entfernten Rechnern) sowie die uneingeschränkte Mobilität, d.h., Programme können auf einen entfernten Rechner wandern (Migration) und dort ausgeführt werden. Dies setzt eine geeignete Umgebung auf dem entfernten Rechner voraus. Mobilität ist einer der wesentlichen Vorteile von Agenten. In Verbindung mit dem Merkmal der Autonomie können Agenten zu bestimmten Zeitpunkten eine Netzwerkverbindung zu anderen Rechnern oder Agenten herstellen, gewünschte Informationen erhalten und anschließend erforderliche Aufgaben auf dem lokalen PC ausführen. Auf diese Weise lassen sich z.B. die Verbindungskosten (Online-Zeiten) für den Benutzer reduzieren.
- *Autonomie:* Ein wesentliches Merkmal eines Agenten ist die Fähigkeit, Ziele zu großen Teilen autonom, d.h. unabhängig von einer ständigen Benutzersteuerung, zu verfolgen. Autonomie zeigt sich z.B. darin, daß der Benutzer dem Agentensystem bestimmte Vorstellungen oder Interessengebiete mitteilt und der Agent mit diesen Informationen selbständig Aufgaben zur Zufriedenheit des Benutzers ausführt. Voraussetzungen für autonomes Handeln liegen im wesentlichen in der Zielorientierung und der Lernfähigkeit. Pattie Maes sieht in der Autonomie eine der grundlegenden Charakteristika von Agenten (Maes 1995, S. 108): "Autonomous agents are computational systems that inhabit some complex, dynamic environment, sense and act autonomously in this environment, and by doing so realize

a set of goals or tasks that they are designed for".

- *Reaktivität*: Als Reaktivität wird die Fähigkeit eines Agenten bezeichnet, in angemessener Weise auf Umwelteinflüsse bzw. Veränderungen zu reagieren. So ist u.a. die Selbstorganisation in derartigen Agentensystemen von besonderem Interesse. Zur Umwelt eines Agenten zählen dabei u.a. andere Agenten, Benutzer sowie externe Ressourcen. Als Beispiel für einen einfachen reaktiven Agenten seien Agenten genannt, die bestimmte Informationsangebote im WWW überwachen und bei Veränderungen der Inhalte den Benutzer informieren.
- *Kooperation/Sozialkompetenz*: Unter Kooperation/Sozialkompetenz versteht man die Fähigkeit eines Agenten zur Interaktion und Kooperation mit anderen Agenten, Benutzern sowie externen Ressourcen. Die Fähigkeit zur Interaktion und Kooperation ist notwendig, wenn z.B. komplexe Aufgaben nur durch das Zusammenwirken mehrerer Agenten gelöst werden können (z.B. bei Aufgaben, die die Fähigkeiten einzelner Problemlösungseinheiten (Agenten) übersteigen).
- *Proaktivität/Zielorientierung*: Reagiert ein Agent nicht nur auf Umweltveränderungen (Eigenschaft der Reaktivität) sondern ergreift in bestimmten Situationen selbständig die Initiative, so wird dies als proaktives Verhalten bezeichnet. Voraussetzung für echtes proaktives Verhalten ist ein umfangreiches Zielsystem, das dem Agenten zugrunde liegt und die Eigenschaft der Zielorientierung hat.

In dieser Arbeit stehen sog. *Informationsagenten* im Mittelpunkt des Interesses. Der Begriff "Informationsagent" wird dabei als eine Metapher für ein (Software-)Programm verstanden, das Fähigkeiten und Eigenschaften wie autonomes und zielgerichtetes Verhalten, Kooperation, Reaktivität sowie Lernfähigkeit in unterschiedlich starker Ausprägung aufweist und den Nutzer bei der Suche nach Informationen in verteilten Informationssystemen (wie z.B. dem Internet oder firmeninternen Intranets) unterstützt (vgl. Klusch/Benn 1998, S. 9 f.). Dabei übernimmt der Informationsagent Aufgaben wie das Identifizieren von relevanten Informationsangeboten, das Filtern und Klassifizieren von Informationsangeboten sowie die benutzerfreundliche Aufbereitung der Ergebnisse (vgl. z.B. Nwana/Ndumu 1998, S. 38 f.).

3 Einflußgebiete

Die Arbeit untersucht den Einsatz einer agentenbasierten Informationssuche, -filterung und -klassifikation im World Wide Web. Schwerpunktmäßig werden dazu Verfahren eingesetzt, die unter dem Begriff *Soft-Computing* (vgl. Zadeh 1994, S. 77 ff.) subsumiert werden können, wie Künstliche Neuronale Netze (KNN) und Neuro-Fuzzy-Technologien, und ein "intelligentes" Information Retrieval sowie "Personalized Information Filtering" ermöglichen sollen. Dazu werden u.a. Methoden und Mechanismen untersucht, Informationsflüsse im WWW durch automatisch generierte Benutzerprofile, welche die Informationswünsche (Präferenzen) der Nutzer reflektieren, zu personalisieren. Informationsangebote werden hierzu basierend auf dem *Vector-Space-Model (VSM)* des *Information Retrievals (IR)* durch Merkmalsvektoren repräsentiert.

Unter IR im weiteren Sinne wird die Repräsentation, Speicherung und Organisation

von Informationen und der Zugriff auf Informationen (vgl. Salton/McGill 1987, S. 1 u. 8) verstanden. Das Wort "Retrieval" im Sinne von "Wiedergewinnen" weist jedoch darauf hin, daß sich IR vielmehr mit den Problemen des Suchens in großen Informationsräumen als mit den Problemen der Speicherung und Organisation von Informationsinhalten beschäftigt. Aus der Überlappung der Forschung in der KI und der Forschung auf dem Gebiet des traditionellen Information Retrieval ist das Gebiet des *Intelligenten Information Retrieval* entstanden (vgl. z.B. Brooks 1987, S. 367). Dabei werden zum einen KI-Technologien wie z.B. KNN oder Fuzzy-Technologien zum Ausbau und zur Verbesserung von IR-Systemen herangezogen, zum anderen aber auch traditionelle IR-Techniken zur Weiterentwicklung von KI-Systemen eingesetzt.

Beim Vector-Space-Model werden Informationsangebote durch eine festgelegte Anzahl von Merkmalen (*features*) beschrieben. Pro Informationsangebot werden diese Merkmale in Merkmalsvektoren zusammengefaßt. Die Merkmalsvektoren repräsentieren den Inhalt und die Struktur der Informationsangebote und können in einem N-dimensionalen Raum dargestellt werden (vgl. Salton/Buckley 1988, S. 514 ff.). Die Distanzen zwischen den Informationsangeboten im Merkmalsraum bestimmen ihre Übereinstimmung.

Von großer Bedeutung ist die Auswahl (*Feature Selection*) der "richtigen" Merkmale, die zum Training der KNN herangezogen werden sollen und die Informationsangebote repräsentieren. Das Problem besteht darin, die beste Untermenge der Gesamtmenge an N Merkmalen auszuwählen, um die Dimensionalität der Merkmalsvektoren reduzieren zu können (vgl. Dash/Liu 1997). Basierend auf dem Vector-Space-Model des Information Retrievals wurden hierzu verschiedene Gewichtungsschemata untersucht. Um die Relevanz einzelner Merkmale bestimmen und eine Vorauswahl treffen zu können, werden u.a. auf dem *TFIDF-Schema* (term frequency times inverse document frequency) basierende Gewichtungen eingesetzt. Das Gewicht w_{ij} eines Terms i im Informationsangebot j kann bspw. wie folgt definiert werden:

$$w_{ij} = S_i \cdot \frac{tf_{ij} \cdot \log\left(\frac{N}{df_i}\right)}{\sqrt{\sum_i tf_{ij}^2 \cdot \log\left(\frac{N}{df_i}\right)^2}}$$

Dabei bedeutet tf_{ij} die Häufigkeit des Terms i im Informationsangebot j und df_i die Anzahl an Informationsangeboten, in denen der Term i vorkommt. Die Gesamtanzahl der analysierten Informationsangebote wird durch N wiedergegeben. Die Gewichtung wird dann jeweils besonders groß, wenn zum einen der Term i in einem spezifischen Informationsangebot j besonders häufig vorkommt, in allen anderen Informationsangeboten hingegen nicht, und zum anderen alle anderen Merkmalsterme im Informationsangebot j generell selten sowie darüber hinaus in allen Informationsangeboten vorkommen. Den entsprechenden Struktureigenschaften auf der Basis sog. Tags (in HTML (HyperText Markup Language) wird über Tags die Struktur und die Darstellung von Informationsangeboten im WWW festgelegt) und Hypertextverweise im HTML-Source der Informationsangebote wird durch den Gewichtungparameter S_i Rechnung getragen. Stellt ein entsprechender Term i einen Hypertextverweis dar, so nimmt S_i den Wert 1 an. Befindet sich der entsprechende Term im Meta-Tag des

HTML-Dokuments, so wird er mit 0,75 gewichtet. Im Title-Tag des HTML-Dokuments vorkommene Terme werden mit 0,5 und im Body-Tag vorkommene Terme mit 0,25 gewichtet. Als Terme finden dabei nicht nur einzelne Wörter ("Unigramme") bzw. Wortkombinationen sondern auch sog. n-Gramme in Form von Buchstabensequenzen Berücksichtigung (vgl z.B. Teufel/Schmidt 1991, S. 510 ff.). Als n-Gramme werden Gruppen von n aufeinanderfolgenden Buchstaben bezeichnet. Das Wort "Internet" läßt sich bspw. in die Trigramme {Int, nte, ter, ern, rne, net} und in die Bigramme {In, nt, te, er, rn, ne, et} zerlegen.

Neben Begriffen (Termen) im HTML-Source der Informationsangebote werden zusätzlich multimediale Merkmale (wie z.B. eingebundene Video- und Audio-Dateien), technologische Merkmale (wie z.B. eingesetzte Standards, Scripts und Programmiersprachen) sowie Interaktivitäts-Merkmale (Elemente, die auf einen höheren Grad der Interaktivität hinweisen, wie z.B. onSelect in Java-Script), die Anzahl interner/externer Hypertextverweise sowie die Größe des Informationsangebots (in Kilobyte) zur Repräsentation der Informationsangebote in den Merkmalsvektoren berücksichtigt.

4 Komponenten des Agentensystems

Ein im Rahmen der Arbeit konzipiertes und prototypisch implementiertes System zur agentenbasierten Informationssuche, -filterung und -klassifikation soll zur empirischen Evaluierung der eingesetzten Soft-Computing-Verfahren dienen. Das System soll dabei mit Informationsagenten assoziierte Eigenschaften aufweisen sowie den Nutzer bei der Suche nach Informationen im WWW unterstützen und dabei u.a. Aufgaben wie das Identifizieren von relevanten Informationsangeboten, das Filtern und Klassifizieren von Informationsangeboten sowie das Überwachen von Informationsangeboten im Hinblick auf Änderungen der Informationsinhalte übernehmen (vgl. Abschnitt 2). Die nachfolgend beschriebenen Komponenten bzw. Softwaremodule des Agentensystems (vgl. Abb. 1) sollen für diese Aufgaben prototypisch implementiert werden:

- *"Schedule Agent"*: Zentrale Steuerungskomponente des Systems.
- *"Search/Download Agent"*: Softwaremodul zum Herunterladen von Informationsangeboten zu vorab definierten Kriterien (z.B. Hypertexttiefe, Dateitypen).
- *"Profil Agent"*: Softwaremodul zum Anlegen von Benutzerprofilen. Die Benutzerprofile basieren dabei auf der Bewertung der dem Benutzer präsentierten Informationsangebote.
- *"Watcher Agent"*: Softwaremodul, das vorab spezifizierte Informationsangebote im Hinblick auf Änderungen des Informationsinhalts überwacht und dem Benutzer entsprechende Änderungen meldet.
- *"Relevance Feedback Agent"*: Softwaremodul, das eine Beurteilung der Klassifikationsgüte des Systems durch den Benutzer ermöglichen soll.
- *"Report Agent"*: Softwaremodul zur benutzerfreundlichen Aufbereitung der Ergebnisse des Klassifizierungs- bzw. Filterungsprozesses (z.B. durch Angabe von Meta-Informationen oder Relevanzkriterien).

- *"Parser"*: Extrahiert relevante Merkmale aus dem HTML-Source der Informationsangebote.

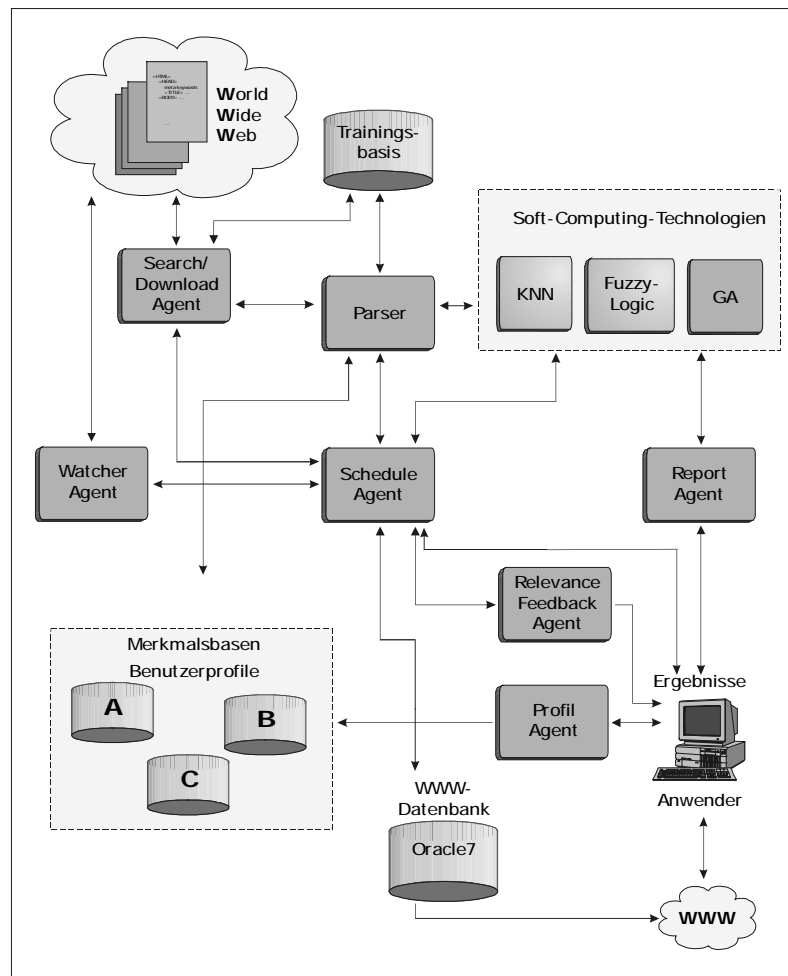


Abbildung 1: Komponenten des Agentensystems

Die softwaretechnische Umsetzung des "Watcher Agents", "Relevance Feedback Agents" sowie des "Profil Agents" sind zur Zeit im Gange. Desweiteren wird derzeit an den Schnittstellen zwischen den einzelnen Softwaremodulen gearbeitet, um den Informationsfluß und das Zusammenwirken der einzelnen Softwaremodule zu automatisieren sowie bestimmte Konfliktsituationen zwischen den einzelnen Softwareagenten abzufangen. Als Programmiersprachen werden Borland Delphi sowie C++ eingesetzt.

Die zum Training und Aufbau der KNN sowie Fuzzy-Systeme benötigten WWW-Seiten der einzelnen Informationsangebote werden in einer Trainingsbasis gespeichert. Durch die Aufnahme neuerer Informationsangebote (z.B. durch veränderte Benutzerpräferenzen) und erneutes Training können die Gewichte der KNN zu bestimmten Zeitpunkten neu angepaßt werden. Das System hat Zugriff auf eine Oracle7-Datenbank mit Schnittstelle zum World Wide Web. Dies ermöglicht, Meta-Informationen (z.B. Kurzbeschreibung, Internet-Adresse, Klassifizierungskriterien sowie die Relevanz) zu klassifizierten bzw. vorselektierten Informationsangeboten aus unterschied-

lichsten Domänen in der WWW-Datenbank abzulegen. Diese Meta-Informationen können zu späteren Zeitpunkten von (autorisierten) Benutzern aufgerufen werden.

5 Empirisch-experimentelle Untersuchungen

Die eingesetzten Soft-Computing-Technologien zum Klassifizieren und Filtern der Informationsangebote werden auf der Basis empirisch-experimenteller Untersuchungen validiert. Die Untersuchungen lassen sich schwerpunktmäßig den folgenden Bereichen zuordnen:

➤ *Filtern bzw. Klassifizieren von betrieblichen WWW-Angeboten:*

An der Europa-Universität Viadrina Frankfurt (Oder) wurde 1996 eine Datenbank mit betrieblichen WWW-Angeboten eingerichtet und seitdem kontinuierlich erweitert. Die Datenbank und das ihr zugrundeliegende Datenmodell wurden bereits an anderer Stelle beschrieben (vgl. Kurbel/Teuteberg 1997). Zur Unterstützung der Suche und Klassifikation geeigneter WWW-Angebote wurde ein auf Künstlichen Neuronalen Netzen basierendes System konzipiert und implementiert. Die auf der Basis der KNN automatisch vorselektierten potentiellen "Kandidaten" werden anschließend von einem Projektmitarbeiter analysiert und, sofern für die Datenbank geeignet, aufgenommen. Eine genaue Beschreibung des Ablaufs und der mit dem System erzielten Ergebnisse wurden in (Kurbel/Singh/Teuteberg 1998) veröffentlicht. Bis zu 87,7 % der dem System präsentierten betrieblichen WWW-Angebote konnten korrekt in Testläufen klassifiziert werden.

➤ *Klassifizieren von Informationsangeboten im WWW auf der Basis der Yahoo-Hierarchie:*

Verzeichnisse im WWW (vgl. z.B. Teuteberg 1997, S. 373 f.), wie bspw. der verzeichnisbasierte Suchdienst Yahoo, erfreuen sich bei den Benutzern großer Beliebtheit. Im Rahmen der Arbeit soll untersucht werden, inwieweit durch Integration von Soft-Computing-Technologien, wie KNN und Fuzzy-Technologien, eine automatisierte Klassifikation von Informationsangeboten in derartige WWW-Verzeichnisse möglich ist. Die Untersuchungen hierzu sind derzeit im Gange.

➤ *Personalisieren von Informationsbedürfnissen durch Aufbau von Benutzerprofilen:*

"Bookmark-Files" bzw. "Hotlists" (Sammlung von WWW-Informationsangeboten, die ein Benutzer als "interessant" bewertet hat) werden u.a. herangezogen, um Künstliche Neuronale Netze mit den entsprechenden Informationswünschen (Präferenzen) des Benutzers zu trainieren und ein Benutzerprofil aufzubauen. Durch sukzessives Trainieren der KNN mit weiteren Informationsangeboten lassen sich die KNN den ggf. im Zeitablauf verändernden Benutzerwünschen anpassen. Der Benutzer bewertet beliebige Informationsangebote bspw. mit "uninteressant" und "interessant" bzw. differenzierteren Bewertungen. Die durch die Vektoren repräsentierten Informationsangebote werden dabei zusammen mit der entsprechenden Bewertung des Benutzers den KNN präsentiert (vgl. Abb. 2). Das Wissen über die Präferenzen einzelner Benutzer ist in den adaptierenden Gewichten der KNN implizit repräsentiert.

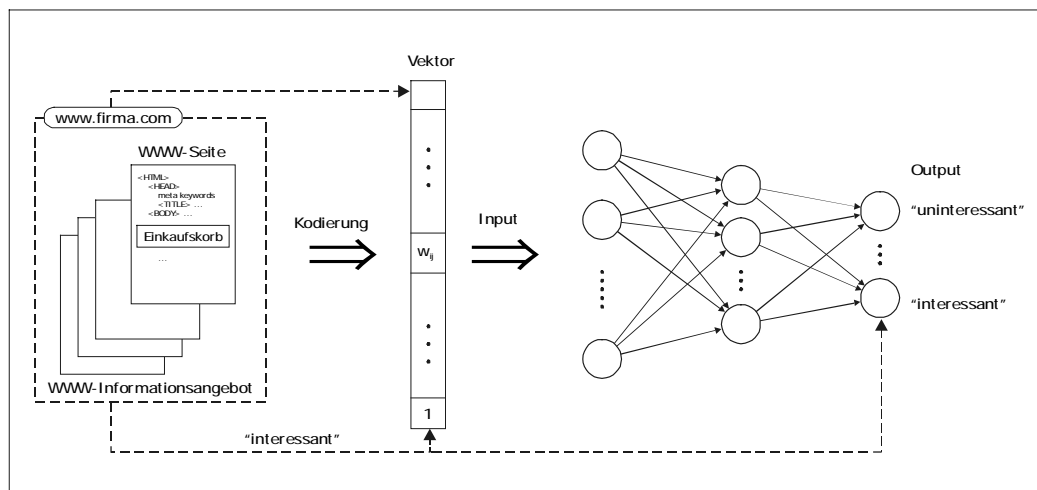


Abbildung 2: Trainieren von Künstlichen Neuronalen Netzen

6 Erwarteter Erkenntnisgewinn

Die Arbeit soll einen Beitrag zu einer effizienteren Informationssuche im WWW leisten und mit dem Einsatz bzw. der Integration von Soft-Computing-Technologien neue Lösungsansätze zur Unterstützung der klassischen Art der Informationssuche im WWW aufzeigen. Neben den Untersuchungen zum Einsatz von Informationsagenten, die eine aktive und intelligente Unterstützung bei der Suche nach relevanten Informationen ermöglichen sollen, werden neue Ansätze zur Strukturierung der Informationsinhalte im WWW vorgestellt und Konzepte zur Verbesserung der Orientierung im WWW diskutiert.

Literaturverzeichnis

- Brooks, H. M. (1987): Expert Systems and Intelligent Information Retrieval. *Information Processing & Management* 23 (1987) 4, S. 367-382.
- Dash, M./Liu, H. (1997): Feature Selection for Classification; <http://www-east.elsevier.com/ida/browse/0103/ida00013/article.htm>.
- Jennings, N. R./Wooldridge, M. J. (1998): Applications of Intelligent Agents; in: Jennings, N. R., Wooldridge, M. J. (Eds.), *Agent Technology – Foundations, Applications, and Markets*. Berlin u.a. 1998, S. 3-28.
- Klusch, M./Benn, W. (1998): Intelligente Informationsagenten im Internet. *Künstliche Intelligenz* 12 (1998) 3, S. 8-17.
- Kurbel, K./Teuteberg, F. (1998): Internet-Datenbank – Innovative Referenzanwendungen im Mittelstand; in: Pötschke, D., Weber, M. (Hrsg.), *Wirtschafts- und Technologiernetzwerke für die Region Berlin-Brandenburg - Informations- und Kommunikationstechnologien für Wirtschaft und Verwaltung*. Berlin 1998, S. 130-134.
- Kurbel, K./Singh, K./Teuteberg, F. (1998): Search and Classification of "Interesting"

- Business Applications in the World Wide Web Using a Neural Network Approach; in: Forcht, K. (Ed.), Proceedings of the 1998 IACIS Conference. Cancun, Mexico, 1998, S. 75-81.
- Maes, P. (1995): Artificial Life meets Entertainment: Interacting with Lifelike Autonomous Agents, Special Issue on New Horizons of Commercial and Industrial AI. Communications of the ACM 38 (1995) 11, S. 108-114.
- Nwana, H. S./Ndumu, D. T. (1998): A brief Introduction to Software Agent Technology; in: Jennings, N. R., Wooldridge, M. J. (Eds.), Agent Technology – Foundations, Applications, and Markets. Berlin u.a. 1998, S. 29-47.
- Salton, G./Buckley, C. (1988): Term Weighting Approaches in Automatic Text Retrieval. Information Processing and Management 24 (1988) 5, S. 513-523.
- Salton, G./McGill, M. J. (1997): Information Retrieval – Grundlegendes für Informationswissenschaftler. Hamburg u.a. 1997.
- Schubert, C./Zarnekow, R./Brenner, W. (1998): A methodology for classifying intelligent software agents; in: Baets, W. R. J. (Ed.), Proceedings of the 6th European Conference on Information Systems. Aix-en-Provence, France, 1998, S. 304-316.
- Teufel, B./Schmidt, S. (1991): Anwendungsmöglichkeiten Informationsspur basierter Retrievalmethoden im Bürobereich. Wirtschaftsinformatik 33 (1991) 6, S. 510-515.
- Teuteberg, F. (1997): Effektives Suchen im World Wide Web: Suchdienste und Suchmethoden. Wirtschaftsinformatik 39 (1997) 4, S. 373-383.
- Wooldridge, M./Jennings, N. R. (1995): Intelligent Agents: Theory and Practice. The Knowledge Engineering Review 10 (1995) 2, S. 115-152.
- Zadeh, L. (1994): Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing. Communications of the ACM 37 (1994) 3, S. 77-84.