

# Semantisches Routing für mobile Software-Entitäten

Christian Erfurth  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
erfurth@informatik.uni-jena.de

**Abstract:** Das Informations- und Dienstangebot in einem Netzwerk muss effizient den potentiellen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Besonders interessant und wichtig ist dies, wenn der Nutzer kein Mensch sondern Software ist, die sich autonom im Netzwerk bewegen kann – mobile Agenten. Dieser Artikel stellt einen Ansatz zur Unterstützung mobiler Agenten vor, der bisherige Agentensysteme auf eine neue Stufe hebt. Ebenso werden zukünftige Herausforderungen dieser Technologie aufgezeigt.

## 1 Motivation

In den letzten Jahren ist das Internet zu einem gewaltigen Informationspool mit einer Vielzahl von Diensten herangewachsen. Diese Quantität übersteigt das menschliche Aufnahmevermögen und erschwert die Nutzung. Neben dem Internet existieren in zunehmenden Maße auch abgeschlossene Netzwerke (Intranet, Extranet). Besonders interessant sind hierbei drahtlose Umgebungen, durch die neue Teilnehmer im Netzwerk dynamisch integriert werden können. Diesen Teilnehmern soll das aktuelle Informations- und Dienstangebot des Netzwerks zur Verfügung gestellt werden. In gleicher Weise kann der Teilnehmer zum Informations- und Dienstanbieter im Netzwerk werden.

Neuartige Technologien zum Registrieren und Publizieren von Informationen und Diensten sind notwendig. Ein zentrales Management ist auf Grund der Quantität und Dynamik im Netzwerk nicht realisierbar. Ein Ansatz für verteilte Systeme [TS03] wurde in [Erf04] prototypisch realisiert und evaluiert. Ein Paradigma zur Unterstützung verteilter Systeme, insbesondere der Interaktion zwischen den verteilten Komponenten, sind mobile Software-Entitäten (mobile Agenten), die neuartige Möglichkeiten der Kommunikation erlauben und traditionelle Techniken der Client-Server-Kommunikation ergänzen und erweitern.

## 2 Systeme der nächsten Generation

### 2.1 Reifestufen von Agentensystemen für mobile Agenten

Die technologischen Fähigkeiten mobiler Agentensysteme (MAS) sind bisher ungenügend entwickelt in Bezug auf den effizienten Einsatz der Agententechnologie. Für MAS lassen sich folgende Reifestufen definieren, wobei derzeitige Systeme die Reifestufe 1 besitzen:

- Agentensysteme der Reifestufe 1

Ein spezialisierter Agent muss zur Lösung einer Aufgabe programmiert werden: Der mobile Agent bekommt seine Persönlichkeit (Applikations-Algorithmus) aufgeprägt. Inwieweit er dabei „intelligent“ gemacht wird, hängt von der Aufgabe und den programmtechnischen Möglichkeiten ab.

Dem Agenten muss die Reiseroute übergeben werden: Die Reiseroute beinhaltet eine Menge von Agentenplattformen, die vom mobilen Agenten auf einer Rundreise besucht werden und auf denen sein Applikations-Algorithmus angewendet wird. Die Route wird durch den Programmierer vor Reiseantritt festgeschrieben. Der Programmierer muss daher das Informationsangebot im gesamten Netz kennen und optimal nutzen, da sonst der beste Applikations-Algorithmus ins Leere laufen würde. Die Dynamik des Gesamtsystems wird hierbei nicht berücksichtigt.

- Agentensysteme der Reifestufe 2

Der Reiseplan wird vom Agenten zur Laufzeit erstellt – *autonome Migration*: Die Aufgabe des Programmierers reduziert sich auf die Erstellung des Applikations-Algorithmus. Der mobile Agent bestimmt mit Hilfe des Agentensystems die interessanten Anlaufpunkte im Netz und sucht selbständig den günstigsten Weg dorthin. Der mobile Agent wird zum Dienstleister, der eine Spezifikation der Aufgabe selbständig umsetzt (das *WAS*), anstatt im Detail programmiert werden zu müssen (das *WIE*).

Als weitere Verbesserung könnte die Programmierung der Persönlichkeit des Agenten auf eine Auswahl aus vorgefertigten Schablonen reduziert werden (Weg zur 3. Reifestufe).

## 2.2 Ein Routing Service für mobile Agenten

Die Idee des in [Erf04] realisierten Dienstes ist die Unterstützung der Agenten bei der autonomen Planung und dynamischen Anpassung ihrer Reiserouten - die proaktive Navigation (*ProNav* [Leh05a]). Der erste (und wichtigste) Schritt von einem MAS der ersten Stufe zu einem der zweiten Stufe ist gemacht.

Mit Unterstützung aller Agentenplattformen wird eine Informationsbasis für Agenten aufgebaut, die diese zur Wahrnehmung des Agentennetzwerks befähigt: Das Agentennetzwerk wird kartographiert. Auf der Webkarte sind Informationen über Agentenplattformen (Services) und deren Verbindungen verzeichnet. Die Reiseroute wird auf Basis dieser Informationen geplant, sobald der Agent aktiviert wird, und kann während der Abarbeitung der Route jederzeit aktualisiert werden. Die Navigation selbst bleibt dem Agenten überlassen, der sich dazu der angebotenen Dienste der Komponenten in *ProNav* bedienen kann (obliegt der Autonomie des Agenten). Der Routing Service *ProNav* wurde, ohne in die Implementierung des als Basis dienenden Agentensystems einzugreifen, als Aufsatz auf ein MAS konzipiert (zur technische Beschreibung sowie zur Evaluation siehe [Erf04]).

Die Komponenten von *ProNav* und deren Eingliederung innerhalb einer Plattform sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Die Erstellung der Karte übernimmt das *Kartenmo-*

dul. Für eine Menge von Zielpunkten erstellt der *Routenplaner* eine effiziente Reiseroute durch das Netzwerk. Der spezifisch auf das MAS TRACY [BR04, Leh05b] ausgerichtete *Migrationsoptimierer* versucht, eine geeignete Migrationsstrategie [Bra03] zu finden.

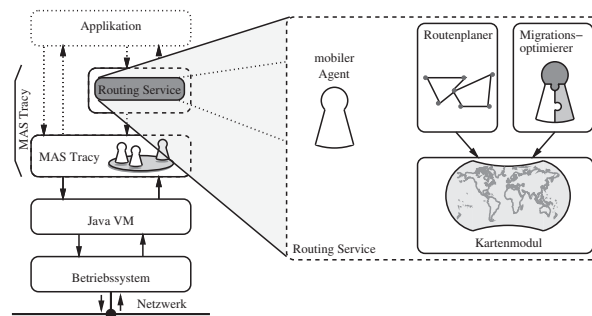


Abbildung 1: Komponenten des Routing Service ProNav

Größtes Problem bei der Realisierung von *ProNav* ist die Quantität der Informationen. Unmöglich ist die Erstellung einer „Welt-Webkarte“. Die Anzahl der potentiellen Agentenplattformen und deren Verbindungen auf dieser Karte übersteigt die Grenzen des beherrschbaren. Durch den Domain Ansatz von TRACY [BER01] wird die Menge in handhabbare Teile partitioniert, so genannte Domains (Agentenplattformen im selben IP-Subnetz). Diese Domains können separat kartographiert werden. Zusammengefasste Domainkarten können zwischen (bekannten) Domains ausgetauscht werden. Ein mobiler Agent bewegt sich während seiner Rundreise mit einer Art Straßenkarte durch mehrere Kartenblätter, wobei er sich jeweils auf die Informationen konzentriert, die das gerade gültige, lokale Blatt anbietet. Bewegt er sich aus diesem Bereich hinaus, so holt er sich das neue Kartenblatt und plant weiter. Dieser Ansatz ermöglicht es, die Quantität pro Kartenblatt (Domain) im überschaubaren Rahmen zu halten. Mit einer Domaingröße von maximal 60 bis 100 Agentenplattformen wird gerechnet.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Kartographierung ist die Dynamik des Systems. Agentenserver, Verbindungen und Services verändern sich in einem modernen Netzwerk. Die Webkarte muss daher ständig neu kartographiert werden. Da die Kartographierung selbst Netzlast erzeugt und die Anzahl der Verbindungen mit der Anzahl der Agentenserver pro Domain quadratisch wächst, sind gewisse Grenzen gesetzt. Hilfreich an dieser Stelle ist, dass lokale Karten verwendet werden, die dezentral erstellt und gewartet werden. Die Evaluierung des Kartenmoduls hat gezeigt, dass für eine typische Domaingröße (siehe oben) die Aktualisierungszeiten der Karte in einem für praktische Anwendungen adäquaten Bereich, im Minutenbereich, liegen.

Die Routenplanung auf Basis vollständiger und aktueller Karten ist ein NP-vollständiges Problem (Traveling Salesman Problem). Das gilt auch für eine Routenplanung im Agentennetzwerk. Passende Algorithmen für dieses Problemfeld wurden gefunden [GP02]. Heuristiken aus der lokalen Optimierung konnten aufgegriffen und angepasst werden. Durch die Reduzierung der Quantität mit Hilfe des Domain Ansatzes ergeben sich geringe Berechnungszeiten, im Bereich von Millisekunden, für die bei Agentensystemen erwarteten typischen Routen. Die strukturellen Ergebnisse liegen dabei sehr nahe am Optimum.

### 2.3 Potentiale und Herausforderungen zukünftiger Systeme

Bereits durch MAS der zweiten Stufe wird die Nutzbarkeit der Agententechnologie verbessert. Mobile Agenten werden befähigt sich autonom und zielgerichtet im Netzwerk zu bewegen. Auch die Mobilität der Plattform selbst und damit die Dynamik der Plattformen im Agentennetzwerk findet Berücksichtigung. In einer Domain werden neu hinzukommende Plattformen integriert. Die Informations- und Dienstangebote werden der Plattform bei Eintritt in die Domain übermittelt. Ebenso trägt die neue Plattform mit ihren Diensten zur Erweiterung und Verstärkung des Angebots bei. Bei einem Zusammentreffen mehrerer Personen könnte sich durch eine Ad-hoc-Vernetzung der Austausch von Informationen flexibler und einfacher gestalten.

Noch abstrakter betrachtet kann eine Menge von autonomen Plattformen (z. B. eine Domain) wiederum zu einer autonomen Einheit mit einem Potential an Diensten und neuen Möglichkeiten heranwachsen, wodurch Aufgaben bearbeitet werden können, die durch eine einzelne Plattform nicht zu bewältigen sind.

Jedoch gestaltet sich die Beschreibung und Nutzung von Diensten im Detail recht schwierig. Das Problem liegt in der Semantik, die bisweilen nur bedingt eine Maschine bzw. ein Programm interpretieren kann. Es sind zwar Ansätze zur Beschreibung vorhanden (Ontologien), doch die Einsatzmöglichkeiten sind noch beschränkt. Bei der Nutzung von Diensten stellt sich zusätzlich die Frage, welcher Dienst geeignet ist. Stand der Technik sind so genannte Matchmaker, die meist einen strukturellen Vergleich auf Parameterbasis durchführen (siehe auch [KKR04]). Warum sollte überhaupt ein Dienst angeboten werden? Anreizsysteme [OFN04] können an dieser Stelle hilfreich sein.

Weitere Herausforderungen im Bereich der mobilen Agenten sind:

- Die Aufgabe eines Agenten wird sich meist nicht auf die Nutzung eines Diensttyps beschränken. Workflowsysteme könnten eine Basis bilden, um komplexere Aufgaben mit Hilfe von mobilen Agenten zu bewältigen.
- Die Übergabe und Interpretation der Aufgabe durch den Agenten ist grundlegend für eine erfolgreiche Lösung der Aufgabe und verbessert die Akzeptanz beim Endanwender. Der Einsatz von virtuellen Figuren (Avataren) ist sinnvoll.
- Die Programmierung eines Agenten sollte für Standard-Aufgaben (z. B. Kommunikation, Fähigkeiten zur Personalisierung oder zum Verhandeln, Transaktionsmanagement) recht einfach gestaltet werden. Die Vorstellung ist den Agenten graphisch zu „programmieren“, d. h. den Kern des Agenten mit auswählbaren Plugins zu erweitern. Dies fördert auch den Gedanken der Wiederverwendbarkeit.

## 3 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurde ein Aufsatz für bestehende Agentensysteme präsentiert, der die autonome und proaktive Navigation mobiler Agenten in einem Agentennetzwerk unter-

stützt. Durch diese Erweiterung wird ein Agentensystem auf eine neue Stufe gestellt: Die wiederkehrende Querschnittsaufgabe der Organisation einer Rundreise eines Agenten wird dem Agenten selbst übertragen. Damit liegt der Fokus eines Agentenprogrammierers auf der Erstellung des eigentlichen Applikationsalgorithmus.

Voraussetzung für den Routing Service ist eine effiziente Organisation der Infrastruktur, um die Quantität und Dynamik der Informationen in einem großen Netzwerk beherrschbar zu machen. Diese Ebene regelt auch die Integration neuer Plattformen sowie das Ausscheiden von Teilnehmern in einem dynamisch Netzwerk.

Der Routing Service und der Infrastrukturdienst stellen allerdings nur grundlegende Mechanismen zur Verfügung. Auf der Dienstebene sowie bei der Organisation der Aufgabebewältigung sind noch zukünftige Herausforderungen zu erkennen, die für eine effiziente Nutzung der Technologie bearbeitet werden müssen.

## Literaturverzeichnis

- [BER01] BRAUN, P. ; EISMANN, J. ; ROSSAK, W.: A Multi-Agent Approach To Manage a Network of Mobile Agent Servers / Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Informatik. 2001 (12/01). – Forschungsbericht
- [BR04] BRAUN, P. ; ROSSAK, W.: *Mobile Agents: Foundations Techniques and Programming*. Morgan Kaufmann, 2004
- [Bra03] BRAUN, P.: *The Migration Process of Mobile Agents - Implementation, Classification, and Optimization*, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Informatik, Diss., 2003
- [Erf04] ERFURTH, C.: *Proaktive autonome Navigation für mobile Agenten*, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fakultät für Mathematik und Informatik, Diss., 2004
- [GP02] GUTIN, G. (Hrsg.) ; PUNNEN, A. P. (Hrsg.): *The Traveling Salesman Problem and its Variations*. Kluwer Academic Publishers, 2002
- [KKR04] KLEIN, M. ; KÖNIG-RIES, B.: Integrating Preferences into Service Requests to Automate Service Usage. In: *First AKT Workshop on Semantic Web Services*. Milton Keynes, UK, December 2004
- [Leh05a] LEHRSTUHL FÜR SOFTWARETECHNIK: *Projekt ProNav*. URL: [http://swt.informatik.uni-jena.de/pro\\_nettracy.html](http://swt.informatik.uni-jena.de/pro_nettracy.html), 2005
- [Leh05b] LEHRSTUHL FÜR SOFTWARETECHNIK: *Projekt Tracy*. URL: [http://swt.informatik.uni-jena.de/pro\\_tracy.html](http://swt.informatik.uni-jena.de/pro_tracy.html), 2005
- [OFN04] OBREITER, P. ; FÄHNRIK, S. ; NIMIS, J.: How Social Structure Improves Distributed Reputation Systems - Three Hypotheses. In: *Proceedings of the Third International Workshop on Agents and Peer-to-Peer Computing (AP2PC'04)*. New York, USA, July 2004
- [TS03] TANENBAUM, A. S. ; STEEN, M. van: *Verteilte Systeme: Grundlagen und Paradigmen*. Pearson Studium, 2003