

Mobile Agenten im Internet

Stefan Fünfroeken
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Verteilte Systeme
Alexanderstraße 6
64283 Darmstadt
fuenf@informatik.tu-darmstadt.de

1. Kurzfassung

Kaum ein anderer Begriff erzeugt mehr Uneinigkeit und Mißverständnisse als der des „Agenten“. Dabei ist dieser Begriff zur Zeit in aller Munde, vor allem in den Gebieten der (verteilten) künstlichen Intelligenz, des verteilten und mobilen Rechnens sowie in vielen Bereichen der IT-Industrie. Es ist von „intelligenten Agenten“ und „Interface Agenten“ die Rede, denen fast hellseherische Fähigkeiten nachgesagt werden, von „Multi-Agentensystemen“ mit deren Hilfe sich Probleme wie von selbst lösen, seit einiger Zeit aber auch von „mobilen Agenten“, deren Lebensraum das Internet ist, wo sie sich eigenständig von Rechner zu Rechner bewegen und Visionen heraufbeschwören, wie man sie sonst nur aus der virengeplagten PC-Welt kennt. Insbesondere diese „mobile Agenten“ werden im vorliegenden Beitrag näher untersucht. Es werden mögliche Anwendungsgebiete, wie Electronic Commerce und der Einsatz mobiler Agenten als digitale Assistenten aufgezeigt. Daneben werden die durch die Verwendung mobiler Agenten entstehenden Probleme identifiziert und Lösungsansätze beschrieben. Da die Internet-Sprache Java immer wieder mit Agenten in Verbindung gebracht wird, wird auch die Eignung von Java zur Programmierung und Realisierung mobiler Agenten und mobiler Agentensysteme thematisiert.

2. Was ist ein mobiler Agent?

Ein Agent ist jemand, der eigenständig agiert oder auch im Auftrag eines Dritten handelt. Aufgrund dieser beiden leicht unterschiedlichen Auffassungen haben sich verschiedene Agentenbilder entwickelt. In der KI-Forschung finden sich beide Begriffe wieder: zum einen werden die „handelnden“ Softwareeinheiten, wie etwa die zur verteilten Problemlösung eingesetzten Programme, als Agenten bezeichnet, zum anderen gibt es den Begriff des Assistenten, mit dem Softwareeinheiten bezeichnet werden, die Benutzern in ihrer Arbeit unterstützend zur Seite stehen, indem sie z.B. im Auftrag des Benutzers eingehende elektronische Post nach einem vorher spezifizierten Profil filtern und sortieren. Als „mobilen Agenten“ bezeichnet man ein Programm, das die Möglichkeit besitzt, sich selbständig über ein Netzwerk von einem Rechner zu einem anderen zu begeben, z.B. um dort auf einen Dienst zuzugreifen, der auf dem ursprünglichen Rechner nicht angeboten wird. Neben dieser physikalischen Mobilität haben mobile Agenten auch die Möglichkeit, miteinander zu kommunizieren, um Informationen auszutauschen.

Während im KI-Bereich die Agenteneigenschaft eines Programmes von der Erfüllung bestimmter Kriterien wie Autonomie, Kommunikationsfähigkeit, Wahrnehmung der Umwelt und Eigeninitiative abhängig gemacht wird [Jennings], beschränkt man sich im Umfeld der mobilen Agenten darauf, die Agenteneigenschaft daran zu binden, daß ein Programm einen Auftrag für seinen Benutzer erledigt und dazu bewußt seine Mobilität einsetzt. Um unnötige Verwirrung zu vermeiden und falschen Assoziationen vorzubeugen, spricht man hier mittlerweile gerne von *mobilen Objekten*. Dabei kann ein solches mobiles Objekt auch die Agenteneigenschaften erfüllen und stellt somit auch einen Agenten im KI-Sinne dar.

Elektronische Agenten oder Assistenten sind keine neue Erfindung, schon in den fünfziger Jahren hatte Vannevar Bush entsprechende Vorstellungen und auch Doug Engelbart hatte die Vision eines elektronischen Helfers vor Augen, als er Augment entwickelte. Ebenso ist die rechnerübergreifende Mobilität von Objekten und damit potentiell auch das Konzept des mobilen Agenten nicht neu. Schon 1969

wurde von Jeff Rulifson eine Hardware-unabhängige Sprache DEL [RFC5] vorgeschlagen, die das Versenden von in DEL geschriebenen „Programmen“ über Rechnergrenzen hinweg ermöglichen sollte.

Bei genauerer Betrachtung können mobile Agenten als eigenständiges Kommunikationsparadigma verstanden werden, welches neben den traditionellen nachrichtenbasierten Kommunikationsparadigmen wie z.B. Client-Server-Kommunikation oder Remot Procedure Call (RPC) seinen Platz findet. In diesem Zusammenhang werden mobile Agenten auch als „aktive Nachrichten“ charakterisiert.

Das breite Interesse an mobilen Agenten wurde 1994 von der Firma General Magic ausgelöst, als diese mit der Programmiersprache Telescript an die Öffentlichkeit trat [Telescript]. In den Folgejahren wurden in der Industrie und insbesondere an Hochschulen eigene mobile Agentensysteme entwickelt [Mobile Agents'97].

3. Einsatzgebiete

Das Kommunikationsparadigma „mobile Agenten“ ist, verglichen mit anderen Kommunikationsparadigmen, noch relativ jung: erst seit Beginn der neunziger Jahre wird intensiv auf diesem Gebiet geforscht [Telescript, Facile, Tacoma]. Seither sind im wesentlichen Prototyp-Systeme entworfen und entwickelt worden, die sich bisher jedoch noch nicht im kommerziellen Einsatz befinden. Einzig General Magic bildet hier eine Ausnahme: Mit Veröffentlichung von Telescript wurde in Zusammenarbeit mit AT&T ein Nachrichtensystem namens PersonaLink angeboten, das mobile Agenten als Nachrichtenkurier einsetzte und insbesondere Benutzer mit mobilen Kleincomputern (PDAs) unterstützte. Aufgrund der proprietären Software und Hardware - der Transport der mobilen Agenten geschah über das Telefonnetz und nicht über das Internet - sowie der damals geringen Akzeptanz von PDAs, wurde das Projekt Ende 1996 jedoch eingestellt. Was blieb, ist die von General Magic gezeichnete Vision vom weltweiten elektronischen Markt. Etwas verallgemeinert unter dem Slogan „Das Netz ist der Computer“ ist sie nach wie vor die treibende Kraft der Entwickler von mobilen Agentensystemen.

Im Zentrum der Vision vom elektronischen Markt steht die sogenannte Agentenwelt, in der sich mobile Agenten von einem Ort zum anderen begeben können, um untereinander Informationen auszutauschen und Handel zu treiben. Orte in der Agentenwelt werden auf Rechner abgebildet und können hierarchisch organisiert sein, also selbst wieder Orte enthalten: so kann in der Agentenwelt das Szenario eines Kaufhauses nachgebildet werden, das aus mehreren Geschäften besteht. Ein mobiler Agent erfüllt einen Auftrag seines Benutzers, etwa die Bestellung eines Buches zum billigsten angebotenen Preis. Um den Auftrag zu erfüllen, begibt er sich vom Rechner seines Benutzers in die Agentenwelt und forscht dort nach geeigneten Anbietern. Nachdem er in einer Rundreise den Anbieter mit dem billigsten Angebot herausgefunden hat, begibt sich der mobile Agent zu dessen Repräsentationsort in der Agentenwelt und bestellt beim dortigen Verkaufsagenten das gewünschte Buch. Die Bezahlung geschieht online und direkt von Agent zu Agent.

Ein Agent kann sich stellvertretend für seinen Auftraggeber durch das weltweite Netz bewegen und für ihn Aufgaben vor Ort erledigen, die er selbst nur mit höherem Aufwand an Kosten und Zeit erledigen könnte. Aufgrund dieser Eigenschaften mobiler Agenten und unter einer etwas verallgemeinerten Zielrichtung haben sich neben dem Anwendungsgebiet *elektronischer Markt* bzw. *Electronic Commerce* andere Einsatzgebiete ergeben, die von der Verwendung mobiler Agenten profitieren können: Durch das Zusammenwachsen von Internet mit den bisher benutzten Systemen und Standard-Anwendungen sowie durch den Einzug von Internet-Technologie im Intranet-Bereich findet auch das Kommunikationsparadigma der mobilen Agenten Einzug in Bereiche wie

- Informationsbeschaffung,
- Workflow-Systeme,
- Telekommunikation,
- Software zur Unterstützung von Gruppenarbeit,
- Fernwartung von Hard- und Software,
- Netzwerkmanagement,
- Dienstleistungen auf WWW-Daten,
- Persönliche digitaler Assistenten.

Eines der ersten Einsatzgebiete für mobile Agenten stellt die Informationsbeschaffung dar. Im traditionellen Kommunikationsansatz stellt ein Suchagent z.B. wiederholt Anfragen an einen Datenbankserver, das Ergebnis der Suchanfrage wird an den Suchagenten zurückübertragen, der die Daten sichtet und aufgrund der Auswertung neue Anfragen u.U. auch an weitere Datenbankserver stellt. Die Daten werden hier zum Programm gebracht, was dann sehr ineffizient ist, wenn aus der Datenmenge nur wenige Datensätze relevant sind.

Im Gegensatz dazu kann sich ein mobiler Suchagent zum entsprechenden Datenbankserver begeben, um dort die Anfragen lokal zu stellen, und die so gefundenen Datensätze zu seinem Auftraggeber zurückzubringen. Dadurch wird die Netzbandbreite effizient genutzt und durch die lokalen Anfragen ergibt sich in der Regel auch ein Laufzeitgewinn. Natürlich muß ein solcher Suchagent entscheiden, ob eine Migration sinnvoll ist, da dazu die Übertragung der zur Migration nötigen Datenmengen gegen die ohne Migration anfallenden Datenmengen abgeschätzt werden müssen.

Das wohl größte Anwendungsgebiet für mobile Agenten ist das Internet, speziell in seiner Ausprägung als World-Wide-Web (WWW). Die dem WWW zugrundeliegende Struktur der vernetzten Server entspricht genau dem der Agentenwelt. Durch die Zusammenführung von WWW und mobilen Agenten erschließt sich eine Fülle neuer Anwendungsszenarien, angefangen von mobilen WWW-Suchagenten, über mobile und aktive WWW-Dokumente (Online-Zeitung, Pay-per-View), bis hin zu komplexen Dienstleistungsszenarien auf WWW-Daten.

Workflow-Systeme sind eine idealer Einsatzort für mobile Agenten. Mobile Agenten übernehmen hier z.B. die Rolle aktiver Dokumente, die selbst wissen, welche Stationen der Bearbeitung sie durchlaufen müssen und können auch aktiv auf Änderungen in der Umwelt, etwa die Nichtverfügbarkeit eines Sachbearbeiters, reagieren. Dadurch, daß mobile Agenten aktive Einheiten darstellen, lassen sich so auch dynamisch neue Datenformate in das Workflow-System integrieren. Der zugehörige mobile Agent bringt die zur Bearbeitung nötigen Funktionalität oder das graphischen Benutzerinterface selbst mit.

Im Bereich der Telekommunikation erscheint es möglich, mobile Agenten dazu einzusetzen, Dienstleistung auf Anfrage (*service on demand*) zu realisieren. Ein Kunde kann so z.B. online eine neues Dienstmerkmal bestellen, das dann z.B. in Form eines mobilen Agenten in seinem Endgerät installiert wird, oder aber in der für den Kunden zuständigen Vermittlungsstelle die entsprechenden Dienstleistungsmerkmale aktiviert. Daneben können mobile Agenten auch als dezentrale Überwachungsinstanzen z.B. den Lastausgleich betreiben oder Vermittlungstellen dynamisch umkonfigurieren, wenn eine Überlastsituation eintritt.

Generell sind mobile Agenten als aktive Elemente im Bereich des Netzmanagements einsetzbar. Hier übernehmen sie insbesondere Aufgaben wie z.B. Monitoring, wo sich die mobilen Agenten von Netzknoten zu Netzknoten bewegen, um die lokalen Daten einzusammeln und auszuwerten. Schon jetzt wird in Standardprotokolle wie SNMP die Möglichkeit des sogenannten „Scriptings“ eingebaut: die zu kontrollierenden Systeme können kleine Programme vom Managementsystem empfangen und diese dann lokal ausführen. Dies kann als erster Schritt in Richtung mobile Agenten gesehen werden.

Auch für den Bereich „mobile computing“ sind mobile Agenten ideal geeignet, denn durch ihre Mobilität und Eigenständigkeit sind sie nicht auf eine ständige Verbindung zu ihrem Heimatrechner angewiesen. Sie lassen sich damit ideal in Kommunikationsumgebungen mit niedriger Bandbreite und häufigen Offline-Zeiten einsetzen, wie sie typischerweise Laptop-Systeme oder GSM-Systeme darstellen, von denen sie sich in ein Festnetz begeben, um ihre Aufgabe zu erfüllen. Danach kehren sie selbständig zurück, sobald die Verbindung mit ihrem Heimatsystem wieder hergestellt ist. So bieten sie ihren Anwendern den effizienten Einsatz von Kommunikationsressourcen, da sich die mobilen Agenten zum Kommunikationspartner begeben, um die Kommunikation dann lokal abzuwickeln. Damit wird nicht nur die geringe Bandbreite effizient genutzt, der Einsatz mobiler Agenten liefert zusätzlich noch einen höheren Grad an Fehlertoleranz bei Netzwerkausfällen.

Man kann prognostizieren, daß ein Benutzer einer auf mobilen Agenten basierenden Applikation den Mobilitätsaspekt nicht unbedingt bemerken muß. Mobilität sollte auch nur da eingesetzt werden, wo sie

sinnvoll ist. Aus diesem Grund wird man nur gewisse Teilfunktionalität einer Applikation mit mobilen Agenten realisieren. Es wird zudem keine Applikationen geben, die ausschließlich mit mobilen Agenten realisierbar sind. Mobile Agenten sind als Kommunikationsmittel neben den herkömmlichen Kommunikations-mechanismen zu verstehen: richtig verwendet, bieten sie dem Benutzer viele Vorteile wie:

- Effiziente Nutzung von schmalbandiger Kommunikation
- Robustheit beim Arbeiten über das Netz
- Flexibilität bei Softwarewartung und Installation
- Dezentrale Kontrolle von Abläufen

Obwohl die möglichen Einsatzgebiete mobiler Agenten vielfältig sind, ist der kommerzielle Erfolg wesentlich von der Lösung der inhärenten Sicherheitsprobleme der mobilen Agententechnik abhängig.

4. Mobile Agenten und Sicherheit

Mobile Agenten besitzen die Fähigkeit, sich von jedem beliebigen Rechner zu jedem beliebigen anderen Rechner zu bewegen. Gerade die zentrale Eigenschaft der mobilen Agenten, ihre Mobilität, führt jedoch zu zwei inhärenten Problemen: Zum einen entsteht ein gravierendes Sicherheitsproblem, da aus Sicht eines Rechnerbetreibers ein Agent als fremder und damit nicht vertrauenswürdiger Programmcode anzusehen ist. Zum anderen ist die heutige Rechnerlandschaft kein homogener Verbund von gleichartigen Rechnern, sondern eine Ansammlung heterogener, durch das Internet lose gekoppelter Maschinen. Damit darf ein Agent nicht als hardwareabhängiger Code vorliegen, sondern lediglich in einer hardwareunabhängigen Form. Dies verhindert aber, daß ein Agent direkt auf einem Rechner ausgeführt werden kann und macht eine zusätzliche Ablaufumgebung nötig, die den hardwareunabhängigen Code ausführen kann.

Durch den Einsatz interpretierter Sprachen zur Programmierung mobiler Agenten hat man einen Lösungsansatz für beide Probleme gefunden: da der Agentencode durch den lokal vorhandenen Sprachinterpreter ausgeführt wird, kann ein Agent auf allen Rechnern ausgeführt werden, für die der Sprachinterpreter verfügbar ist. Andererseits stellt der lokale Sprachinterpreter aus Sicht des Rechnerbetreibers vertrauenswürdigen Code dar. Der Agentencode wird nicht direkt ausgeführt, sondern durch den Sprachinterpreter. Um die Sicherheit des Rechners zu gewährleisten, kann man den Sprachinterpreter nun so verändern, daß die Ausführung „gefährlicher“ Kommandos, etwa das Schreiben einer Datei, gänzlich verboten ist, oder zumindest an gewisse Bedingungen geknüpft ist. Solche modifizierten Sprachinterpreter waren die Basis der ersten Ablaufumgebungen für Agenten. Da lokale Ressourcen nicht in uniformer Weise für alle mobile Agenten gleich beschränkt sein sollen, muß eine Agentenablaufumgebung die Möglichkeit besitzen, Agenten zu erkennen und Ressourcen zu verwalten. Der Zugriff sollte in Abhängigkeit von dem einem Agenten entgegengebrachten Vertrauen dynamisch konfigurierbar sein.

Obwohl sich mobile Agenten und die gefürchteten Computerviren unterscheiden (sie schleichen sich nicht unbemerkt ein, indem sie sich in anderem Code verbergen, sondern sie melden sich beim lokalen System vielmehr an und können über die lokal benötigten Ressourcen verhandeln), stellen sie trotzdem ein gewisses Sicherheitsrisiko dar, da vor Ausführung des Agenten nichts über dessen „Absichten“ bekannt ist. Dieses Restrisiko auf ein akzeptables Maß zu verringern, ist die Aufgabe des Agentensystems.

Schutz in Agentensystemen läßt sich in folgende Teilbereiche unterteilen:

1. Schutz des Rechners vor den Agenten
2. Schutz der Agenten voreinander
3. Schutz der Agentensysteme voreinander
4. Schutz des Agenten vor dem Agentensystem

Sind die ersten drei Aufgaben mit traditionellen Mitteln wie Vergeben und Überprüfung von Berechtigungen, Agentensystem-vermittelte Kommunikation oder Einsatz von Proxy-Objekten und kryptographischen Methoden zur Verschlüsselung und Identifikation zu erreichen, so gibt es zur Zeit keine befriedigende Lösung, um Agenten vor böartigen Agentensystemen zu schützen. Daß dieser Schutz nötig ist, wird spätestens in Electronic-Commerce-Szenarien klar, in denen mobile Agenten elektronisches Geld

oder wertvolle Informationen mitführen sollen und somit ein lohnendes Ziel für räuberische Agentenweltbetreiber werden.

5. Electronic Commerce mit mobilen Agenten

Der weltweite elektronische Markt hält mit dem WWW unaufhaltsam Einzug in die internationalen Rechnernetze. Schon jetzt sind „Online-Banking“, „Online-Shopping“ und „Virtuelle Kaufhäuser“ keine Fiktion mehr. Es ist zu erwarten, daß die Internet-Präsenz bald für jedes Unternehmen ein Muß sein wird. Zur Zeit wird diese Präsenz jedoch häufiger nur zur Darstellung des Firmenprofils, oder allenfalls zu Produktwerbezwecken genutzt, und nur selten als kommerzielles Medium in den Bereichen Verkauf, Kundenbetreuung oder Dienstleistung.

Die Vision vom globalen elektronischen Markt ist schon von General Magic gezeichnet worden: die reale Wirtschaftswelt soll in elektronischer Form durch virtuelle Kaufhäuser und elektronische Kunden in Form von mobilen Agenten, den elektronischen Stellvertretern (Avataren) der realen Kunden, nachgebildet werden. Grundlage für diese elektronische Wirtschaft ist das Internet, das die einzelnen Wirtschaftsunternehmen in Form ihrer Rechner verbindet. Zur Zeit ist die Kommunikation im WWW durch Client-Server-Computing gekennzeichnet: potentielle Kunden verbinden sich mit Hilfe ihrer WWW-Clients, den Browsern, mit den WWW-Servern, um das dortige Angebot zu nutzen. Agenten spielen bisher im WWW-Umfeld eine untergeordnete Rolle und werden z.B. als Suchagenten eingesetzt, die sich - ausgestattet mit mehr oder weniger Intelligenz - stellvertretend für einen Benutzer mit einer oder mehreren WWW-Servern verbinden, um so auf die dortigen Daten zuzugreifen. Dabei findet Mobilität bisher keine Anwendung.

Anwendungen für den elektronischen Markt profitieren klar vom Einsatz mobiler Agenten. Durch ihre Mobilität können sie selbsttätig die Orte finden, welche die zur Erfüllung ihrer Aufgabe nötigen Ressourcen bereitstellen, wie etwa eine Datenbank oder einen geeigneten Informationsdiest. Dabei sind sie weder auf eine ständige Verbindung zwischen dem Rechner ihres Auftraggebers und dem Rechner, der die Ressource anbietet, angewiesen, noch darauf, daß es keine Netz- oder Rechnerausfälle auf der entsprechenden Route gibt. Mobile Agenten agieren offline und können selbständig Ausweichrouten bestimmen. Dies trägt wesentlich zur Informationssicherheit und Robustheit gegenüber Netzstörungen bei.

Mobile Agenten können auch als zuverlässige Boten für vertrauliche Daten eingesetzt werden. Sie enthalten die Daten in verschlüsselter Form und gewähren nur demjenigen Zugang dazu, der sich ihnen gegenüber legitimieren kann. Sie sind so zum Beispiel als Überbringer von WWW-Seiten oder Artikeln einer elektronischen Zeitschrift zu benutzen, wo sie im „Pay-Per-View“ oder „Pay-Per-Download“ Szenario über die ordnungsgemäße Abrechnung wachen, und ihren Inhalt nur gegen eine erfolgte Zahlung präsentieren.

Dadurch, daß mobile Agenten kommunikativ sind und einen Kontrollfluß „vor Ort“ darstellen, sind sie in der Lage, mit anderen Agenten ein Kommunikationsprotokoll auszuhandeln oder auf Ausnahmesituationen geeignet zu reagieren.

Bevor diese Anwendungen allerdings Realität werden können, müssen drei wichtige Voraussetzungen erfüllt sein:

- die Verbreitung der Ablaufumgebungen für mobile Agenten muß groß sein,
- die Sicherheit der mobilen Händler/Einkäufer muß gewährleistet sein, und
- es muß eine für mobile Agenten geeignete Informationsstruktur und adäquate Möglichkeit der elektronischen Bezahlung geben.

Zur Zeit gibt es intensive Bemühungen, diese Voraussetzungen zu schaffen, z.B. durch die Integration von WWW-Servern und Agenten-Ablaufumgebungen, durch die Schaffung von Zertifizierungsinstanzen und Trustzentren, und durch die Entwicklung elektronischer Zahlungsmittel jenseits der derzeit benutzten Kreditkarten. Denn daß sich der elektronische Markt etablieren wird, steht außer Frage. Ob mobile Agenten dabei den Platz einnehmen, der ihnen eigentlich zusteht, ist zur Zeit noch unklar, da die Vorleistungen

relativ hoch sind. Verglichen mit denen durch das Kommunikationsparadigma „mobile Agenten“ gewonnen Vorteilen, insbesondere bei der Netzwerkkommunikation, scheint sich die Investition jedoch zu lohnen.

6. Elektronischer Sekretär der Zukunft?

Die Vision des Agenten als elektronischer Assistent oder Sekretär des Menschen ist schon lange Triebkraft in vielen Bereichen der KI-Forschung. Schon jetzt unterstützen intelligente Benutzerinterfaces den Menschen in seiner Arbeit mit den elektronischen Medien. Auch im WWW finden sich Agentensysteme, die z.B. Musikempfehlungen zwischen WWW-Benutzern mit gleichen Interessen- und Musikgeschmacksprofilen vermitteln.

Der Einsatz von mobilen Agenten im elektronischen Markt macht neben strukturellen Voraussetzungen aber auch die Integration von KI-Methoden, wie Problemlöse- oder Suchstrategien nötig. Denn ein mobiler Agent soll aufgrund einer Aufgabenstellung selbsttätig den nötigen Lösungsweg planen und auch die während der Durchführung auftretenden neuen Parameter in die Planung des weiteren Lösungsweges miteinbeziehen, oder aber gemachte Erfahrungen bei der Bearbeitung neuer Aufgaben berücksichtigen.

Der avisierte offene Markt erfordert, daß völlig fremde mobile Agenten miteinander kommunizieren können müssen. Dazu müssen Protokolle dynamisch verhandelt werden. Hier könnte der Einsatz der aus dem Bereich der Sprechakttheorie stammenden Forschungsergebnisse zum Einsatz kommen. Insbesondere die in einem solchen System wichtigen Vermittlungskomponenten, die sogenannten „Trader“, müssen in der Lage sein, Anbieter und Nachfrager auf „intelligente“ Art und Weise zusammenzubringen.

Mobilität alleine genügt daher nicht, um einen akzeptablen elektronischen Assistenten Wirklichkeit werden zu lassen. Eine Integration von Techniken der KI und den Vorteilen mobiler Agenten beim Arbeiten mit Netzen scheint daher ratsam. Zur Zeit wird intensiv am Büro für das nächste Jahrtausend gearbeitet: der elektronische Sekretär soll ständiger Begleiter im Büro werden; wird mit „Intelligenz“, Emotionen und einer eigenen Persönlichkeit ausgestattet sein. Mobile Agenten sind hier derzeit i.a. nur als Nachrichten-kuriere eingepplant.

7. Java die Agentensprache?

Neben der Zuverlässigkeit der zur Ausführung mobiler Agenten nötigen Ablaufumgebung, die den lokalen Rechner vor böartigen Agenten schützt, ist die Sprache, in der mobile Agenten programmiert werden, entscheidend für deren Akzeptanz und Verbreitung. Obwohl nicht damit zu rechnen ist, daß der normale PC-Benutzer selbst mobile Agenten programmiert, sondern mobile Agenten mit einer bestimmten Funktionalität käuflich erwirbt und dann gemäß seiner Bedürfnisse konfiguriert, ist die Programmiersprache in der mobile Agenten formuliert werden eine wesentliche Komponente mobiler Agenten und mobiler Agenten Systeme.

Unter der Vielzahl der zur Verfügung stehenden interpretierten Programmiersprachen hat sich Java als Programmiersprache für mobile Agenten schon jetzt etabliert: Durch die Fähigkeit, dynamisch Code in den Java-Interpreter nachzuladen und zusammen mit der in Java standardmäßig angebotenen Objekt-Serialisierung, bietet Java ideale Voraussetzungen zur einfachen Realisierung des dynamischen Ladens von Agenten im laufenden Betrieb des Agentensystems, sowie der zustandserhaltenden Agentenmigration. Obwohl Java zu den favorisierten Programmiersprachen für Agentenablaufumgebungen zählt, ist sie als eigentliche Programmiersprache für mobile Agenten eher weniger geeignet.

Die bisher einzige originäre Programmiersprache für mobile Agenten war die von General Magic entwickelte Sprache Telescript, die den durch das mobile Agenten-Paradigma bedingten spezifischen Problemen auf Sprachebene Rechnung trug. Hier zeigt sich im direkten Vergleich, daß Java diese Funktionalität naturgemäß vermissen läßt. Diese können zwar bis zu einem gewissen Grad nachträglich in Form von Sprachbibliotheken hinzugefügt werden, sind aber damit nicht Bestandteil der Sprache selbst,

was zu Performanceverlusten, Portabilitätsproblemen und einem komplexen Programmierinterface für Entwickler mobiler Agenten führt.

So fehlt in Java beispielsweise:

- Ein *Owner*-Konzept für die von Agenten erzeugten Objekte. Haben z.B. zwei Agenten Referenzen auf das selbe Datenobjekt, und migriert einer der Agenten, so erhält der migrierende Agent eine Kopie des Objektes, was nicht immer wünschenswert ist. Java bietet hier nur das Konzept von „shared objects“.
- Die Verfügbarkeit unterschiedlicher Arten von Objektreferenzen, etwa Referenzen, über die nur lesend auf das referenzierte Objekt zugegriffen werden kann. In Java gibt es nur Objektreferenzen, die vollen Objektzugriff erlauben. Eine Zugriffskontrolle ist zwar durch Proxy-Objekte erreichbar, erfordert aber vom Programmierer mobiler Agenten die Verwendung der entsprechenden Zusatzklassen. Die Kontrolle ist damit aber nicht auf Sprachebene angesiedelt, sondern künstlich eingebracht. Es besteht zudem kein Zwang, diese neuen Objektreferenzen zu benutzen, was dazu führt, daß ein so programmierter Agent diesen Zusatzschutz nicht genießt und u.U. von bösartigen Agenten in ungewollter Weise modifiziert werden kann.
- Spezielle Agentenoperationen wie z.B. Auslösen der Migration oder Initiieren der Kommunikation mit anderen Agenten. Diese Funktionalität muß nachträglich durch spezielle Objekte verfügbar gemacht werden.

Trotz dieser Nachteile ist durch die weiter fortschreitenden Verbreitung von Java davon auszugehen, daß sich Java-basierte mobile Agenten und Agentenwelten weiter durchsetzen werden. Eine vereinheitlichte Programmierschnittstelle für den Agentenprogrammierer ist zwar zur Zeit noch nicht abzusehen, wird aber durch den Einsatz von nur einer einzigen Programmiersprache unterstützt, da damit die Abbildung von Funktionalitäten unterschiedlich mächtiger Programmiersprachen entfällt. Ob sich der momentan auf den Weg gebrachte Standard für CORBA-basierte mobile Agentensysteme [MAF] etablieren wird, ist fraglich; insbesondere von den Entwicklern mobiler Agentensysteme im Hochschulbereich wird er mit Skepsis betrachtet, da er sich zu sehr an einigen wenigen Systemen orientiert hat und Systembereiche standardisiert und festschreibt, die diese Festschreibung nicht benötigen und andererseits in Bereichen, die der Standardisierung bedürfen, um etwa die Interoperabilität der Systeme zu gewährleisten, diese Festschreibung vermissen läßt.

8. Literaturreferenzen

[Facile] B. Thomsen, L. Leth, F. Knabe, P.-Y. Chevalier, *Mobile Agents*, European Computer-Industry Research Center (ECRC), Technischer Report ECRC-95-21, 1995

[Jennings] N. Jennings, M. Wooldridge, *Intelligent Agents*, *ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, Amsterdam, The Netherlands, August 1994, LNAI 890, 1994

[MAF] Crystaliz Inc., General Magic Inc., GMD Fokus, IBM, The Open Group, *Mobile Agent Facility Specification*, OMG TC Document, Juni 1997

[Mobile Agents'97] K. Rothermel, R. Popescu-Zeletin (Ed.), *Mobile Agents*, Tagungsband des ersten deutschen Workshops über mobile Agenten, Berlin, LNCS 1219, Springer-Verlag, April 1997

[Telescript] J.E. White, *Telescript Technology: The Foundation for the Electronic Marketplace*, Whitepaper von General Magic Inc., Sunnyvale, CA, USA, 1994

[Tacoma] D. Johanson, R. van Renesse, F. Schneider, *An Introduction to the TACOMA Distributed System*, Universität Tromsø, Department of Computer Science, Technischer Report CS TR 95-23, Juni 1995

[RFC5] J. Rulifson, *DEL*, Network Working Group, RFC-5, 2. Juni 1969