

Modellierung der Kommunikationsprotokolle für agentenunterstützte Koordinationsverfahren

Michael Awizen

Arbeitsgruppe Verteilte Systeme
Fachbereich Informatik
Universität Hamburg
Vogt-Kölln-Straße 30
D-22527 Hamburg

awizen@informatik.uni-hamburg.de

Torsten O. Paulussen

Lehrstuhl BWL VII
Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30
D-95440 Bayreuth

paulussen@uni-bayreuth.de

Zusammenfassung

Basierend auf dem Agentenparadigma wird in dem MedPAge-Projekt die Praktikabilität verteilter Optimierungsalgorithmen im Krankenhausumfeld überprüft. In einem dezentral organisierten Multiagentensystem kann das MedPaCo-Konzept für die Optimierung der Ressourceneinplanung verwendet werden. Für die Modellierung des MedPAge-Systems wird UML vorgeschlagen. Das generelle Verhalten des Systems kann anhand von Anwendungsfalldiagrammen dargestellt werden. Die Interaktionen zwischen den Agenten werden mit Sequenzdiagrammen visualisiert. AUML bietet Erweiterungen von UML an, welche die Modellierung von Agentenverhalten unterstützen. AUML ist gut für die Modellierung von wiederverwendbaren Agenten-Interaktionsprotokollen (AIPs) geeignet. In dem vorliegenden Beitrag werden die Interaktionsabläufe zwischen optimierenden Agenten mit AUML modelliert. Ein Entwurf von AIP für MedPaCo wird vorgestellt.

1. Einleitung

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“ wird in gemeinschaftlicher, interdisziplinärer Arbeitsweise das MedPAge-Projekt (Medical Path Agents) betreut. Die Mitarbeiter der AG Verteilte Systeme und des BWL Lehrstuhls bilden ein Tandem, in welchem der technische Sachverstand der Informatik sowie theoretische und praktische Kenntnis über die Domäne des Krankenhauses zur Konstruktion eines Multiagentensystems (MAS) führen. Die Aufgabe des MAS besteht darin, dezentrale, agentenorientierte Algorithmen für die Planung und Koordination funktionsübergreifender Aktivitäten in medizinischen Behandlungspfaden zu implementieren und deren Relevanz für die Praxis in Simulationsexperimenten zu verifizieren.

Eine der zentralen Annahmen des MedPAge-Projektes ist die prozessorientierte Sicht auf die Organisation des Krankenhauses. Demnach wird einem Patienten, entsprechend der medizinischen Diagnose, ein standardisierter *Behandlungspfad* („medical path“) zugewiesen, in dem der Weg des Patienten durch das Krankenhaus empfohlen wird. In einem Behandlungspfad-Muster (auch Template genannt) ist eine Teilreihenfolge der notwendigen Behandlungen und der dazugehörigen Ressourcen (medizinische Geräte, medizinisches Fachpersonal, usw.) festgelegt. Ein Behandlungspfad kann als ein Petrinetz modelliert

werden. Eine geeignete Repräsentation dieses Petrinetzes dient als die Grundlage für Reservierungs- und Optimierungs-Aktivitäten der Agenten im System.

Für die Phasen der Analyse und des Designs des MedPage-Systems wird nach geeigneten Modellierungs- und Konstruktionstechniken gesucht. Unified Modeling Language (UML) ist eine standardisierte Modellierungssprache, die als eine graphische Notation vorliegt und die Methoden der objektorientierten Analyse und Entwurfs unterstützt [UML99]. Da MAS in der Regel als objektorientierte Systeme modelliert werden, eignet sich UML prinzipiell gut für den Entwurf von MAS.

2. Anwendungsfälle

Mit Hilfe von Anwendungsfalldiagrammen kann das generelle Verhalten eines Systems übersichtlich dargestellt werden [Fow98]. Das Konzept der Akteure kann direkt dazu verwendet werden, die Agenten zu modellieren. Mit den Anwendungsfällen werden die Interaktionen der Agenten mit dem System und der Agenten untereinander deutlich gemacht.

In dem vorliegenden Beitrag sollen die Interaktionen der Patienten-Agenten (P-Agenten) und Ressourcen-Agenten (R-Agenten) im MedPage-System untersucht werden. P- und R-Agenten repräsentieren die Patienten und die Ressourcen eines Krankenhauses.

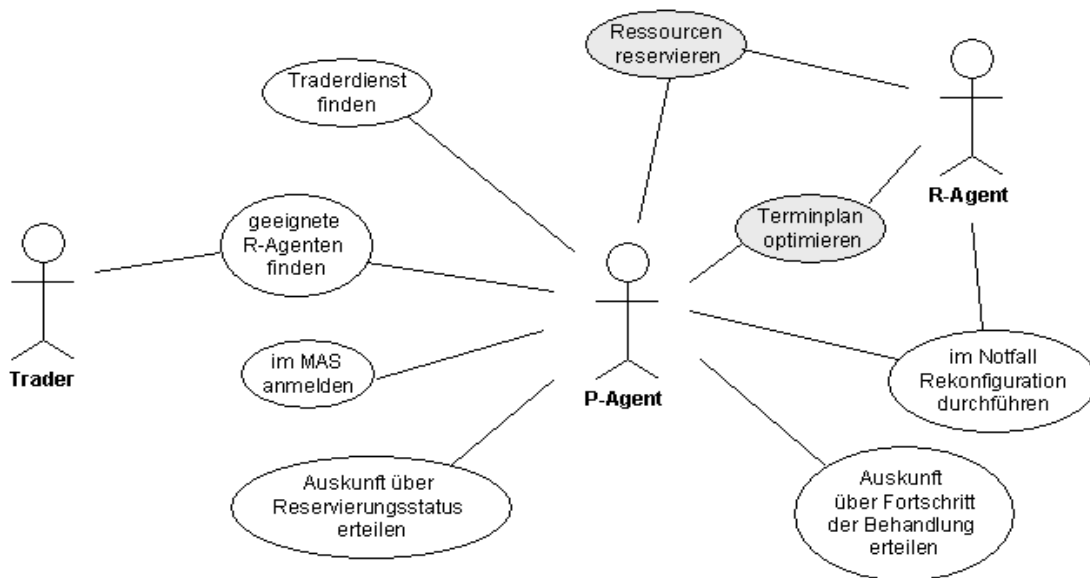


Abbildung 1: Anwendungsfalldiagramm des P-Agenten

In der Abbildung 1 werden die Anwendungsfälle des P-Agenten dargestellt. Aus der Sicht der vorliegenden Arbeit sind die grau unterlegten Anwendungsfälle am wichtigsten. Sie stellen die Interaktionen zwischen den P- und R-Agenten dar. Ein P-Agent, der den medizinischen Behandlungspfad seines Patienten kennt, wird die Behandlungen und die nötigen Krankenhaus-Ressourcen ermitteln. Die Termine der Behandlungen wird er in einer Interaktion mit den R-Agenten reservieren.

Um die Interaktionen zwischen den Objekten zu modellieren, stellt UML Sequenzdiagramme zur Verfügung. Für die semantisch reicheren Kommunikationssequenzen der Agentensysteme

reichen die Mittel, die vom UML-Standard zur Verfügung gestellt werden, jedoch nicht aus. Deswegen werden in Form von AUML agentenorientierte Erweiterungen für UML vorgeschlagen.

3. AUML

Als „Agent UML“ (AUML) ist eine Reihe von Vorschlägen zur Erweiterung von UML bekannt [Ode00]. Die Autoren dieser Erweiterungen gehen von einer großen Akzeptanz der UML aus. Die Anforderungen der Agententechnologie werden unterstützt durch die Erweiterung von Sequenzdiagrammen, mehrschichtige Beschreibung der Interaktionsprotokolle, sowie durch eine Erweiterung der Bedeutung von Packages. Im Weiteren macht AUML Vorschläge auch zu Zustandsdiagrammen, Aktivitätsdiagrammen und zu Verteilungsdiagrammen. Die letztgenannten drei Gruppen von Diagrammen werden jedoch in dem vorliegenden Paper nicht betrachtet.

3.1. Sequenzdiagramme

Die Sequenzdiagramme gehören neben den Kollaborationsdiagrammen zu der Gruppe der Interaktionsdiagramme, welche die Kommunikationsabläufe zwischen den beteiligten Instanzen beschreiben. Aus der Sicht von AUML sind die beiden Untergruppen der Interaktionsdiagramme semantisch äquivalent. Die Wahl zwischen Sequenzdiagrammen und Kollaborationsdiagrammen wird nach der zu visualisierenden Fragestellung oder den persönlichen Präferenzen getroffen. Für die Zwecke des MedPage-Projektes werden zunächst die Sequenzdiagramme verwendet. Von oben nach unten gelesen stellen sie übersichtlich die zeitliche Abfolge der ausgetauschten Nachrichten dar. Aus der graphischen Anordnung der Diagrammelemente wird die Chronologie der Interaktionen deutlich.

AUML stellt Erweiterungen der UML-Sequenzdiagramme zur Verfügung, die eine Beschreibung der besonderen Merkmale des Nachrichtenaustauschs zwischen den Agenten ermöglichen. Insbesondere sind sie gut für die Spezifikation von *agent interaction protocols* (AIP) geeignet. Hiermit sind Interaktionen gemeint, die immer nach dem gleichen Muster ablaufen. Mit Hilfe der Sequenzdiagramme kann die Struktur solcher Interaktionen modelliert werden. Diese Struktur kann zu Packages zusammengefasst werden, wodurch eine Wiederverwendung ermöglicht wird.

In einem Sequenzdiagramm werden die einzelnen Agenten oder andere Systemkomponenten als Rechtecke dargestellt. Die Rechtecke können mit den Namen der Agenten, den eingenommenen Rollen und den Klassennamen versehen werden. Die Rechtecke können auch stellvertretend für eine Gruppe von Agenten stehen, die ähnliches Verhalten aufweisen. So wird im Falle von MedPage versucht, zu generalisieren und nicht von einzelnen Agenteninstanzen, sondern generell von P-Agenten, R-Agenten oder dem Trader-Dienst zu sprechen. Es wird nach generellen Interaktionsabläufen, die für diese Agentengruppen charakteristisch sind, gesucht. Bei der Verwendung von benannten Instanzen können dagegen konkrete Kommunikationsszenarios visualisiert werden.

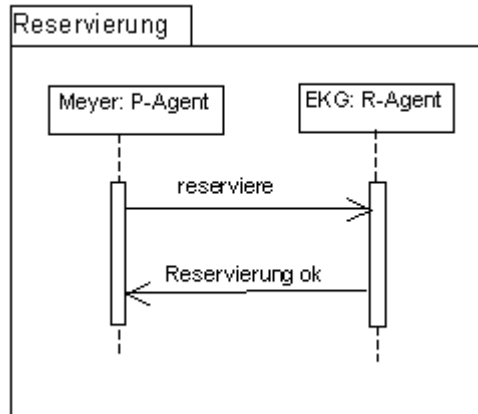


Abbildung 2: Einfaches Protokoll für die Reservierung

Gemäß AUML kommunizieren die Agenten mittels s.g. *communication act* (CA). In der Abbildung 2 sind „reserviere“ und „Reservierung ok“ die CAs. Die offenen Pfeile bedeuten asynchrone Kommunikation. Bei der Modellierung mit AUML wird generell von der asynchronen Kommunikation ausgegangen.

Die nächste Erweiterung der UML ermöglicht mehrere CAs in einer Interaktion. Dabei sind drei Alternativen möglich. AUML ermöglicht die Modellierung einer Interaktion, die aus mehreren gleichzeitig ablaufenden CAs besteht, welche in nebenläufigen Threads unabhängig abgearbeitet werden können.

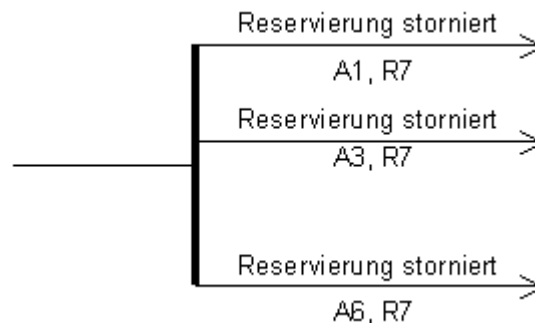


Abbildung 3: Graphisches Symbol für die *and* Kommunikation

Die Darstellung in der Abbildung 3 bedeutet, dass die Nachrichten gleichzeitig geschickt werden. Eine denkbare Anwendung in der MedPage-Umgebung ist, wenn ein R-Agent mehrere P-Agenten gleichzeitig zu einer Umplanung auffordert. Z.B. bedingt durch einen Notfall wird der erste Termin im OP-Saal außerplanmäßig für die Not-OP verwendet. Infolge dessen muss eine Umplanung angestoßen werden. Denkbar ist ein Szenario, in dem alle betroffenen P-Agenten gleichzeitig benachrichtigt werden. Sie werden darüber informiert, dass ihre OP-Termine ungültig sind und dass sie erneuert eine Einplanung vornehmen müssen. Die Abbildung 3 zeigt ein Modell, in dem die P-Agenten A1, A3 und A6 darüber informiert werden, dass ihre Reservierung der Ressource R7 ungültig geworden ist. Diese Nachricht wird von

dem R-Agenten kommen, welcher die R7 Ressource verwaltet. Im Falle des dargestellten OP-Beispiels repräsentiert der R-Agent R7 einen OP-Saal.

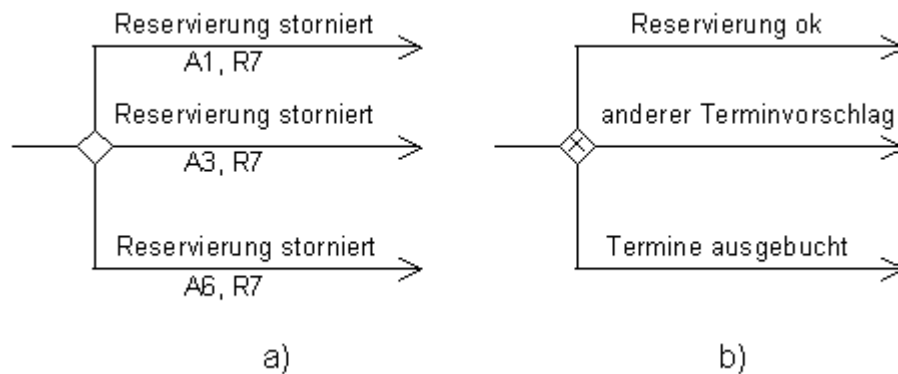


Abbildung 4: a) *inklusive oder Kommunikation*, b) *exklusive oder Kommunikation*

In der Abbildung 4 a) ist eine Entscheidungsbox dargestellt. Sie symbolisiert eine Entscheidungsmöglichkeit. In diesem Fall können keine oder mehrere der CAs nebenläufig abgeschickt werden. Das grafische Symbol in der Abbildung 4 b) bedeutet dagegen die Notwendigkeit einer exklusiven Wahl. Nur eine der alternativen CAs darf und muss gesendet werden. AUML ermöglicht die Modellierung der drei Kommunikationsarten: *und Kommunikation*, *inklusive oder Kommunikation* sowie *exklusive oder Kommunikation*.

Die Kommunikation zwischen zwei Agenten kann prinzipiell in mehreren Threads gleichzeitig ablaufen. Für die Darstellung dieses Verhaltens sieht AUML die beiden in Abbildung 5 dargestellten Möglichkeiten vor. Diese beiden Darstellungsweisen drücken den gleichen semantischen Zusammenhang aus. Die Entscheidung darüber, welche dieser grafischen Notationen verwendet werden soll, hängt von den Anforderungen an das Layout und an die Verständlichkeit der jeweiligen Zeichnung ab.

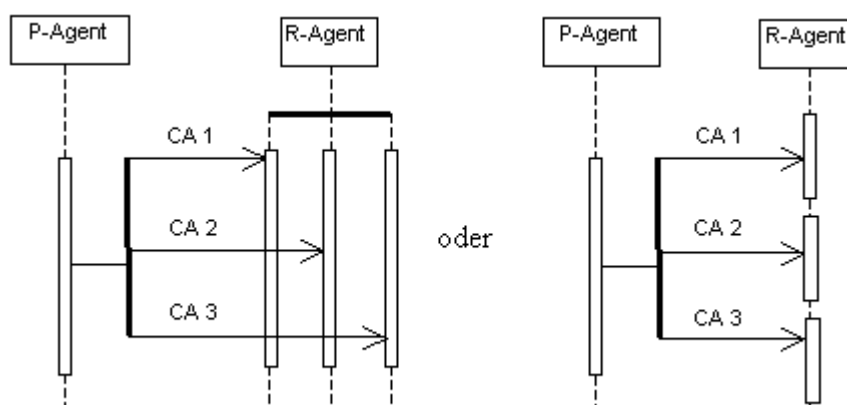


Abbildung 5: *Nebenläufige Kommunikation*

Weitere Details der vorgeschlagenen Erweiterungen der Sequenzdiagramme sind in [Bau00] zu finden.

3.2. Packages

Die Interaktionsvorgänge, die immer nach dem gleichen Muster ablaufen, können als Patterns identifiziert werden. Sie werden als wiederverwendbare Protokolle festgelegt und können als Packages modelliert werden. AUML unterstützt die Idee, die Interaktionsprotokolle als konzeptuelle Einheiten zu sehen, und ermöglicht, diesen Zusammenhang graphisch hervorzuheben. In der Abbildung 2 wird ein einfacher Reservierungsvorgang als Protokoll dargestellt und in einem Package platziert.

4. Konzeption von MedPaCo

In [Pau01] wird ein Koordinationsmechanismus zur dezentralen Ablaufplanung in medizinischen Behandlungspfaden (MedPaCo) vorgestellt. Basierend auf einem Multiagentensystem werden marktwirtschaftliche Mechanismen für die Koordinationsvorgänge angewendet. Die Optimierungsaufgabe besteht darin, die für die Abarbeitung eines medizinischen Behandlungspfades nötigen Ressourcen optimal einzuplanen. Jeder Patient wird im System durch einen Patienten-Agenten (P-Agent) repräsentiert. Jeder dieser P-Agenten wird mit einer vordefinierten Behandlungsfolge assoziiert. Aus der Repräsentation der Behandlungsfolge kann auf die zu reservierenden Ressourcen geschlossen werden. Die Ressourcen eines Krankenhauses werden im System von R-Agenten vertreten. Um die für ihre Behandlungsfolge nötigen Ressourcen zu reservieren, kommunizieren die P-Agenten mit den R-Agenten. P-Agenten verfolgen das Ziel der Minimierung der Durchlaufzeit.

Die früheren Behandlungen haben für einen P-Agenten einen größeren Nutzen. Der Nutzen eines P-Agenten wird mit Hilfe einer Kostenfunktion modelliert, bei der die Behandlungstermine im Zeitablauf teurer werden. Sie wächst mit der Zeit exponentiell. Für die Einzelheiten der Kostenfunktion siehe [Pau01]. Ein P-Agent, der zu einer Optimierung angestoßen wurde, versucht, seine Kosten zu minimieren. Er tritt mit anderen P-Agenten in Verhandlung und versucht seine Reservierungstermine mit diesen Agenten zu tauschen. Als Grundlage für die Tauschvorgänge dient der Vergleich der Kosten verhandelnder Agenten. So wird die Kostenersparnis eines Agenten mit den Mehrkosten des anderen Agenten verglichen. Ein Tauschvorgang kommt nur dann zustande, wenn die Kostenersparnis größer als die Mehrkosten ist. In der Optimierungsphase wird angestrebt, durch fortwährende Tauschvorgänge die Kosten des Gesamtsystems schrittweise zu minimieren.

5. Modellierung der Kommunikationsabläufe

Die Modellierung von Kommunikationsabläufen mit Hilfe von AUML wird anhand eines in [Pau01] vorgestellten Einplanungsbeispiels demonstriert. Die Abbildung 6 zeigt eine Ausgangssituation mit zwei Funktionsbereichen (FB1, FB2) und drei Patienten (A, B, C). Als weitere Information werden die Kosten der Patientenagenten für den jeweiligen Timeslot angegeben. Die Reihenfolge der Behandlungen ist in diesem Beispiel beliebig. Es soll jedoch beachtet werden, dass die Behandlungen patientengebunden sind. Daraus folgt, dass ein Patient nicht mehr als einen Funktionsbereich zu jedem Zeitpunkt reserviert haben kann.

FB \ t	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FB1	A	A	B	B	C	C			
	0,68		2,71		10,82				
FB2	B	B	A	A			C	C	
	0,68		2,71				43,28		

Abbildung 6: Patientenagenten vor der Umplanung

Für den Patienten C ist im System der C:P-Agent zuständig. Dieser Agent ist im System als letzter instanziiert und zunächst nach dem FCFS-Prinzip eingeplant worden. Ihm wurden also die momentan verfügbaren Timeslots in den Zeitplänen der Funktionsbereiche FB1 und FB2 zugeteilt. Nach dieser initialisierenden Einplanung wird der C:P-Agent zur Optimierung vom System angestoßen oder startet die Optimierung anschließend selber.

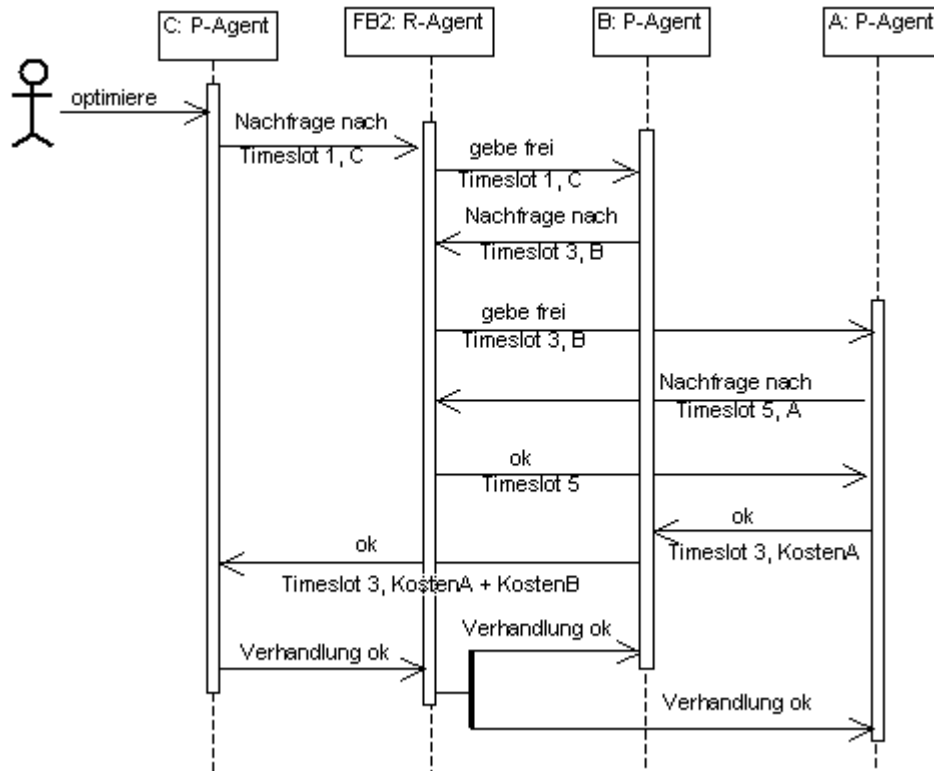


Abbildung 7: Szenario einer Optimierung

Die Abbildung 7 zeigt ein mögliches Szenario des Kommunikationsablaufs. Angestoßen zu einer Optimierung wendet sich der C:P-Agent an den für den Funktionsbereich FB2 zuständigen Agenten FB2:R-Agent. Der C:P-Agent verwendet den Kommunikationsakt (CA) „Nachfrage nach“ mit den Parametern „Timeslot 1“ und „C“. Die Parameter bezeichnen den angefragten Timeslot und den Urheber-Agenten der Nachfrage. Der FB2:R-Agent überprüft in seiner Reservierungstabelle, welcher P-Agent den Timeslot 1 belegt und fordert anschließend den B:P-Agenten mit dem CA „gebe frei“ dazu auf, die Ressource FB2 an den C:P-Agenten abzugeben. Der B:P-Agent wird jetzt nach einem anderen Behandlungstermin suchen. Ein späterer Behandlungstermin bedeutet für ihn zusätzliche Kosten. Zu den Kosten, die direkt bei dem B:P-Agenten entstehen, werden zusätzlich Kosten weiterer, an diesem Umbuchungsvorgang beteiligter Agenten addiert. So versucht der B:P-Agent den Timeslot 3, zu bekommen. Um das zu realisieren, wendet er sich an den FB2:R-Agenten. Dieser überprüft in seiner Reservierungstabelle, wer den Timeslot 3 belegt und wendet sich an den A:P-Agenten. Der A:P-Agent versucht, den nächsten Timeslot zu nehmen. Seine Nachfrage wird direkt von dem FB2:R-Agenten mit CA „ok“ bestätigt. Infolgedessen kann der A:P-Agent seine Zustimmung und die anfallenden Kosten dem B:P-Agenten mitteilen. Die

Gesamtkosten können jetzt dem Urheber des Optimierungsvorgangs, d.h. dem C:P-Agenten, mitgeteilt werden.

Um die Komplexität der Darstellung zu reduzieren, wurden in der Abbildung 7 nicht alle Kommunikationsvorgänge dargestellt. Ausgelassen wurde die Kommunikation mit dem FB1:R-Agenten. Mit dem FB1:R-Agenten wird eine ähnliche Folge von CAs ausgetauscht, die von dem B:P-Agenten gestartet wird. Der Grund für die Umplanung bei der Funktionseinheit FB1 ist, dass der Patient B nicht gleichzeitig von den beiden Funktionseinheiten behandelt werden kann. Da der B:P-Agent seinen Termin in dem FB2 auf Timeslot 3 verlegen möchte, muss er gleichzeitig einen neuen Termin bei FB1 suchen. Die Kosten, die durch die Umplanung bei der Funktionseinheit FB1 entstehen, werden von dem B:P-Agenten kumuliert und am Ende dem C:P-Agenten für die Entscheidung vorgelegt.

Der C:P-Agent hat jetzt die Möglichkeit, eine Entscheidung darüber zu fällen, ob der Optimierungsvorgang mit Erfolg abgeschlossen wird. Seinen Nutzen kann der C:P-Agent intern berechnen. Der Nutzengewinn des C:P-Agenten wird mit der ihm mitgeteilten Summe der Mehrkosten anderer beteiligter Agenten verglichen. Da durch den vorgeschlagenen Tausch die Gesamtkosten des Systems gesenkt werden, wird der Optimierungsvorgang erfolgreich abgeschlossen. Der C:P-Agent versendet die CA-Mitteilung „Verhandlung ok“ an den FB2:R-Agenten. Dieser fixiert die Änderungen in seiner Reservierungstabelle und informiert ebenfalls mit „Verhandlung ok“ alle übrigen beteiligten P-Agenten. In der Abbildung 7 wurde nicht visualisiert, dass zu diesem Zeitpunkt auch eine Bestätigung von dem B:P-Agenten an den FB1:R-Agenten abgeschickt wird.

FB \ t	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FB1	B 0,68	B 0,68	A 2,71	A 2,71	C 10,82	C 10,82			
FB2	C 0,68	C 0,68	B 2,71	B 2,71	A 10,82	A 10,82			

Abbildung 8: Patientenagenten nach der Umplanung

Die Abbildung 8 zeigt das Ergebnis der Umplanung. Die Gesamtkosten des Systems wurden durch die Umplanung reduziert, wodurch der Behandlungszeitplan der Patienten verbessert wurde.

6. Modellierung eines Protokolls

Die Visualisierung der Kommunikationsvorgänge zwischen den beteiligten Agenten mit Sequenzdiagrammen ermöglicht die Erlangung eines besseren Verständnisses der beschriebenen Kommunikationsabläufe. Die grafische Sprache der AUML bietet eine plastische Darstellung, welche eine präzise Verständigung und Diskussion erleichtert. Sie hilft ebenfalls, generelle Überlegungen über die Kommunikationsabläufe anzustellen. So kann anhand der Abbildung 7 ein Versuch unternommen werden, ein *Kommunikationsprotokoll* zu entwerfen. Die Abbildung 9 stellt ein AIP dar, das die Optimierungsvorgänge nach dem MedPaCo-Konzept unterstützt. Aus dieser Darstellung ist es ersichtlich, dass dieses Protokoll sich selbst rekursiv benutzt. Diese Art der Darstellung von Rekursion in Protokollen stellt einen Vorschlag zur Erweiterung von AUML dar. Durch die Benutzung der Rekursion wird deutlich gemacht, dass beliebig viele Instanzen der P- und R-Agenten an einem

Optimierungspfad beteiligt sein können. Die alternativen Ausführungspfade werden mit dem entsprechenden AAML Symbol kenntlich gemacht.

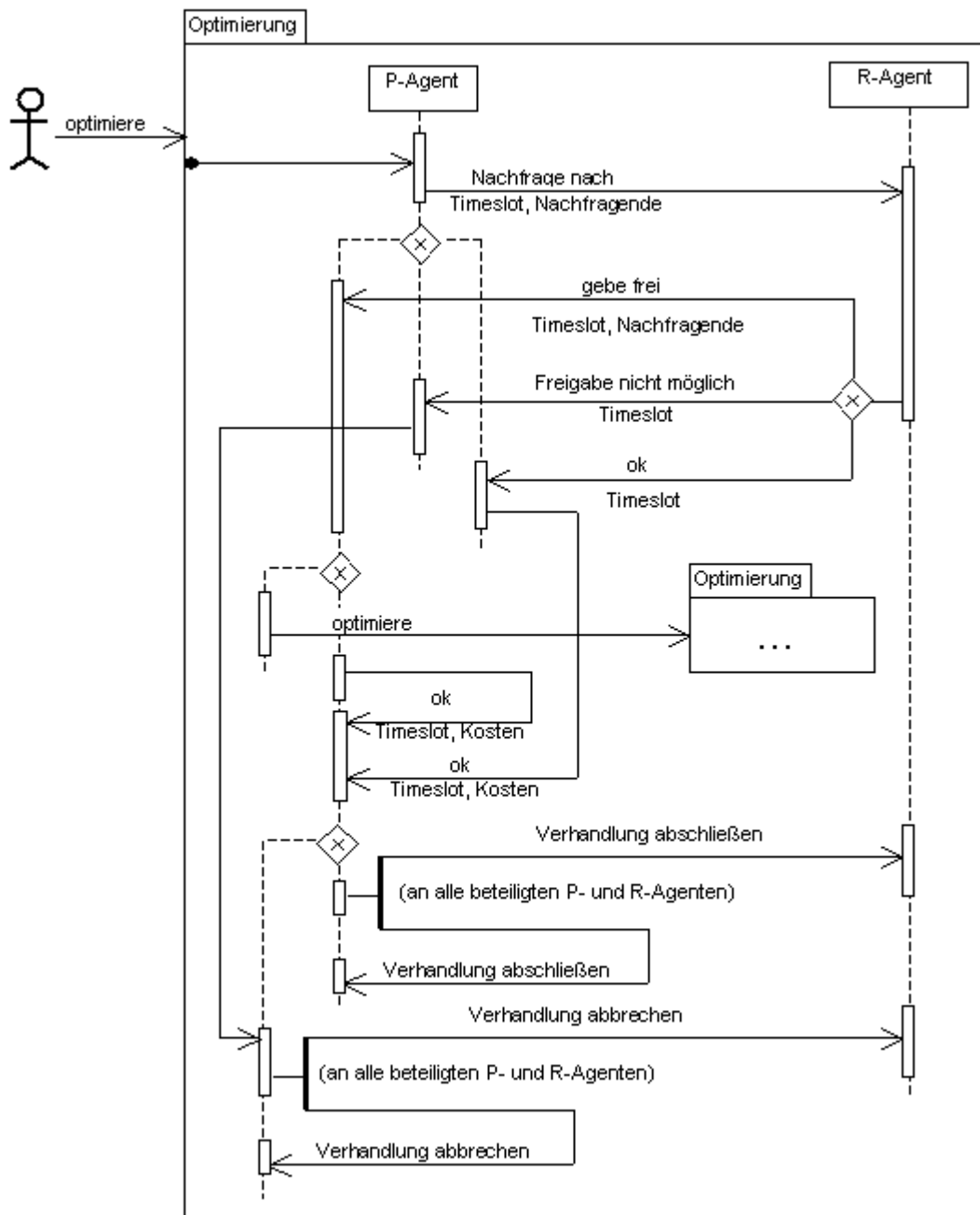


Abbildung 9: Optimierungsprotokoll nach MedPaCo

Das in Abbildung 9 dargestellte Protokoll stellt einen ersten Entwurf dar, der in einem nächsten Schritt – im Rahmen von MedPage – konzeptionell weiterentwickelt und evaluiert wird.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Das Paradigma der autonomen Softwareagenten kann dazu angewendet werden, die Vorgänge der verteilten Koordination zu unterstützen. Konform zur einer gewählten

Koordinationsstrategie (hier MedPaCo) müssen die Agenten entsprechende Interaktionsprotokolle verwenden. AUML ermöglicht Ablaufsequenzen der Kommunikation zwischen den Agenten anschaulich graphisch darzustellen und zu analysieren. Diese agentenorientierte Erweiterung von UML stellt auch Mittel zur Verfügung, um wiederverwendbare Protokolle für Agenteninteraktionen zu modellieren.

AUML befindet sich jedoch am Anfang der Entwicklung und existiert momentan nur auf dem Papier als eine Reihe von Vorschlägen. Die fehlende Werkzeugunterstützung für die Zeichnung von AUML-Diagrammen schränkt die praktische Anwendbarkeit dieser Sprache momentan noch ein.

Im weiteren Verlauf des MedPage-Projektes werden die Reservierungs- und Optimierunginteraktionen unter dem Aspekt der Kommunikationsvorgänge analysiert, mit AUML modelliert und konform zur FIPA-Spezifikation [FIPA] als AIP formuliert. Als nächster Schritt ist eine prototypische Implementierung dieser Protokolle auf einer FIPA-Softwareplattform vorgesehen. Auf dieser Plattform sollen die ersten Reservierungs- und Optimierungsexperimente durchgeführt werden, die eine Entscheidung über die weitere Verwendung von FIPA ACL (Agent Communication Language) ermöglichen werden.

Literaturverzeichnis

- [Bau00] Bauer, B.: *Extending UML for the Specification of Interaction Protocols*, eingereicht zu ICMAS 2000, 2000.
- [FIPA] Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://www.fipa.org>
- [Fow98] Fowler, M.; Scott, K.: *UML konzentriert*, Addison-Wesley-Longman, Bonn, 1998.
- [Ode00] Odell, J.; Parunak, H. van Dyke; Bauer, B.: *Extending UML for Agents*, In: AOIS Workshop at AAAI, 2000.
- [Pau01] Paulussen, T. O.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.: *Konzeption eines Koordinationsmechanismus zur dezentralen Ablaufplanung in medizinischen Behandlungspfaden (MEDPACO)*, eingereicht zu WI-IF 2001, Universität Bayreuth, 2001.
- [UML99] OMG: *OMG Unified Modeling Language Specification*, Version 1.3, <http://www.omg.org/>, 1999.