

Thema:

Theoretische Probleme des Zusammenspiels

Ausarbeitung

im Rahmen des Informatik-Seminars Roboterfußball

im Fachgebiet Informatik
am Lehrstuhl für Informatik

Themensteller: Prof. Dr. W.-M. Lippe

Betreuer: Dr. Dietmar Lammers

vorgelegt von: Stephan Dlugosz
Mühlenstraße 17
48143 Münster
(0251) 4 84 23 83
sdlugosz@uni-muenster.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Aufgaben der und Ansätze zur Koordination in Multi-Agenten-Systemen	1
3	Koordinationskonzepte für Multi-Agenten-Systeme.....	2
3.1	Joint Intentions.....	3
3.2	Shared Plans Theorie	5
3.3	Generalized Partial Global Planning	6
3.4	Flexible teamwork	7
3.5	Joint Responsibility	7
4	Umsetzungen der Koordination ausgewählter Teams	8
4.1	Middle-sized League	8
4.2	Small-sized League.....	9
4.3	Simulation League	11
5	Zusammenfassung	12
	Literaturverzeichnis	12

1 Einleitung

Ein Multiagentensystem, wie es in der Informatik benutzt wird, besteht per definitionem aus mehreren autonomen Softwarebestandteilen (Agenten), welche unter Zuhilfenahme ihrer eigenen Intelligenz mit der Umwelt interagieren. Es kann sich dabei sowohl um echt autonome Roboter mit ihren eigenen Rechnern oder auch nur um reine Software handeln. Ein einzelner Agent wird dabei durch folgende Eigenschaften charakterisiert: Autonomie, Eingebundenheit in eine bestimmte Umwelt, Reaktivität, Proaktivität und Sozialverhalten¹. Für ein Multiagentensystem ist charakterisierend: Die Agenten müssen ein gemeinsames, übergeordnetes Ziel verfolgen und zur Erreichung dieses Ziels zusammenarbeiten. Dabei sind die Agenten in ihren Fähigkeiten häufig begrenzt und besitzen nur unvollständige Informationen über ihre Umwelt. Die Kontrolle über das Systems ist dann verteilt, Daten werden zentral verwaltet und die Agenten führen ihre Berechnungen asynchron durch.²

In dieser Arbeit sollen nun einige Modelle zur Koordination der Aktionen von Agenten in einem Multi-Agenten-System (MAS) vorgestellt werden. Dazu wird zunächst eine kurze Übersicht über die Aufgaben der Koordination gegeben und anschließend einige Ansätze dazu vorgestellt, welche dann exemplarisch in ihrer Umsetzung in Teams beim Roboterfußball gezeigt werden.

2 Aufgaben der und Ansätze zur Koordination in Multi-Agenten-Systemen

Sobald mehrere Agenten zusammenarbeiten, können Interdependenzen bei den einzelnen Aufgaben auftreten, welche mit Hilfe der Koordination untereinander zu handhaben sind. Dabei lassen sich häufig größere Probleme in mehrere möglicherweise sich überlappende Teilprobleme zerlegen. In diesem Fall hat die Koordination dafür zu sorgen, dass festgelegt wird, welcher Agent wann welches der Teilprobleme löst und wie dabei die Zusammenhänge zeitlicher oder sachlicher Art zwischen den Teilproblemen aufgelöst werden können.

Damit wird deutlich, dass Koordination nur bei bestimmten Umwelteigenschaften notwendig ist: Die Umwelt ist zu komplex und unvorhersehbar, um für alle auftretenden

¹ Jennings / Sycara / Woolridge: Agent Research and Development, S. 8f.

² Jennings / Sycara / Wooldrige: Agent Research and Development, S. 17f.

Situationen eine Ideallösung sämtlichen Agenten einzuprogrammieren.³ Folgende Punkte charakterisieren kooperatives Problemlösen nach Jennings⁴:

- Die Agenten besitzen ein gemeinsames Ziel.
- Die Agenten haben sich darüber geeinigt, das gemeinsame Ziel in Kooperation zu erreichen.
- Die Agenten müssen sich auf eine Vorgehensweise zur Erreichung des gemeinsamen Ziels einigen.
- Aktionen, welche von verschiedenen Agenten durchgeführt werden, sind voneinander abhängig.
- Die Agenten müssen Konventionen besitzen, um die Realisierbarkeit ihrer gegenseitigen Zusagen zu überprüfen.

Bei der Koordination haben sich zwei Grundschema herausgestellt: schwarmähnliches und intendiertes Verhalten. Der Hauptunterschied liegt dabei in der Kommunikation, welche beim Schwarm lediglich indirekt über die Wahrnehmung des Verhaltens der anderen erfolgt, während beim intendierten Verhalten direkte Absprachen zwischen den Agenten getroffen werden können. Des Weiteren müssen bei schwarmähnlicher Koordination gleichartige Agenten⁵ vorliegen, während intendiertes Verhalten auch Spezialisierungen zulässt. Dieses basiert auf einem gemeinsamen globalen, vereinfachten Modell der Umwelt, über welches die Agenten kommunizieren und ihre Aktionen koordinieren können. Da das schwarmähnliche Verhalten keinerlei weitergehende explizite Koordination vorsieht, soll in dieser Arbeit lediglich auf das intendierte Verhalten eingegangen werden.

3 Koordinationskonzepte für Multi-Agenten-Systeme

Es gibt drei grundlegende Prinzipien zur Koordination, welche nun vorgestellt werden.⁶

Blackboard System

Bei diesem Prinzip existiert eine gemeinsame Datenstruktur, in welcher das Problem inklusive der Lösungsansätze abgelegt ist. Die Agenten können nun auf diese Daten-

³ Candea / Hu / Iocchi / Nardi / Piaggio: Coordination, S. 2.

⁴ Jennings: Commitments and conventions.

⁵ Ergo auch gleiche Programmierung!

⁶ Müller: Roboterfußball, S. 13-14.

struktur zugreifen, prüfen, ob sie zur Lösung beitragen können und diesen Beitrag in der Datenstruktur ablegen.

Contract Net Protocol

Wenn ein einzelner Agent in einem MAS ein Problem in Teilprobleme zerlegen kann, könnte er deren Lösungen anderen Agenten in dem System in Auftrag geben. Dazu wird er das Teilproblem an mögliche Problemlöser in dem Umfeld kommunizieren. Diese schicken dann ein Angebot, welches die jeweilige Einschätzung über die Möglichkeit zur Lösung des Teilproblems beschreibt. Der verteilende Agent wird sich dann das beste Angebot heraussuchen und diesem Agenten die Lösung des Teilproblems überlassen.

Bazaar Negotiation Model

Dieses Prinzip basiert auf Verhandlungen, welche häufig über mehrere Runden in denen Angebote und Gegenangebot so lange ausgetauscht werden, bis eine Einigung erzielt wurde.

Da das letztere Modell offensichtlich auf kompetitive Umgebungen zugeschnitten ist, kann es in Bezug auf das Spiel einer Mannschaft beim Roboterfußball keinen größeren Beitrag leisten.

Blackboard Systems scheinen für die Lösung der Koordinationsaufgaben bei einem Roboterfußballturnier am geeignetsten, weshalb im Folgenden einige auf diesem grundlegenden Prinzip basierende Ansätze vorgestellt werden.⁷

3.1 Joint Intentions

Eine Intention ist ein Vorhaben, welches sich ein einzelner Agent setzt. Sie sind durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet.⁸

1. Intentionen bedeuten ein Problem für den Agenten und er muss sich einen Weg überlegen, um dieses Problem zu lösen.
2. Intention schränken die Existenz weiterer Intentionen ein. Allein aus Konsistenzgründen können bestimmte Intentionen nicht gleichzeitig bestehen.

⁷ Spaan: Team play, S. 25-29.

⁸ Cohen / Levesque: Intention, S. 217f.

3. Agenten zeichnen den Erfolg während des Versuchs, das Ziel zu erreichen auf. Ihnen ist es dabei grundsätzlich egal, ob sie das Ziel erreicht haben oder nicht, sie müssen gegebenenfalls lediglich versuchen, einen anderen Weg der Zielerreichung finden.
4. Der Agent hält das Ziel grundsätzlich für erreichbar.
5. Der Agent glaubt, dass er das Ziel erreichen kann.
6. Der Agent kann unter bestimmten Bedingungen das Ziel erreichen.
7. Der Agent muss nicht unbedingt alle Seiteneffekte seiner Intention und dessen Erreichung geplant, geschweige denn intendiert haben.

Dieses Konzept lässt sich auf MAS erweitern, wenn man anstatt von einer Intention, von einer gemeinsamen Intention (Joint Intention) spricht. Diese ist eine gemeinsame Vereinbarung über eine zur erfüllende Aktion. Dabei spielt die Art und Weise, wie eine gemeinsame Intention gewonnen wird, die wesentliche Rolle:⁹

Dazu existiert ein gemeinsames Ziel p , welches die Erfüllung einer gemeinsamen Aktion symbolisiert. Es müssen folgende Bedingungen erfüllt sein, damit p von allen Teammitgliedern als zu erreichendes Ziel akzeptiert wird.

1. Alle Teammitglieder glauben gleichzeitig, dass das p zur Zeit nicht erfüllt ist.
2. Alle Teammitglieder besitzen p als ihr gemeinsames Ziel, d.h. alle wissen, dass p das Ziel des Teams ist.
3. Alle Teammitglieder glauben gleichzeitig, dass bis p allen als erfüllt, unerfüllbar oder irrelevant bekannt ist, alle anderen p ebenfalls als schwaches¹⁰ Ziel verfolgen.

Dabei hat jedes Teammitglied entweder die Aufgabe das Ziel p mit seinen Möglichkeiten zu verfolgen oder falls es allein bemerkt hat, dass p erfüllt, unerfüllbar oder irrelevant geworden ist, dieses den anderen mitzuteilen.

Nachdem eine Einigung über die gemeinsame Intention besteht, kann jeder einzelne Agent seine eigenen Intentionen danach ausrichten.¹¹

⁹ Tambe: Teamwork, S. 90ff.

¹⁰ Schwach in dem Sinne, dass es ein langfristiges Ziel ist, und von kurzfristigen, individuellen, starken Zielen überlagert werden kann, welche natürlich langfristig dem „schwachen“ langfristigen Ziel dienen.

¹¹ Spaan: Team play, S. 25.

3.2 Shared Plans Theorie

Im Gegensatz zu den gemeinsamen Intentionen basiert das Konzept der geteilten Pläne (Shared Plans) auf dem neuen Konstrukt *intending-that*, was man mit Erwartungen beschreiben kann. Während die Intention sich immer auf eigene Vorhaben des Agenten bezieht, sind *intending-thats* immer auf einen anderen kollaborativen Agenten gerichtet.¹²

Es werden Full Shared Plans (FSP) und Partial Shared Plans (PSP) unterschieden. In einem FSP gelten folgende Eigenschaften¹³:

1. Alle Mitglieder einer Gruppe GR glauben gleichzeitig, dass sie die gemeinsame Operation a innerhalb der Zeit T_a durchführen.
2. Alle Gruppenmitglieder von GR glauben gleichzeitig, dass R_a das Rezept für die Durchführung von a ist.
3. Für jeden Schritt b_i von R_a gilt:
 - a. Eine Untergruppe GR_k hat einen FSP für b_i mit dem Rezept R_{b_i}
 - b. Andere Mitglieder von GR glauben, dass es ein Rezept gibt, so dass GR_k die Aufgabe b_i erfüllen kann, und es dazu einen FSP gibt (ohne dass sie selbst das Rezept kennen müssen).
 - c. Andere Mitglieder von GR erwarten, dass (*intending-that*) GR_k die Aufgabe b_i mit Hilfe irgendeines Rezeptes erfüllen kann.

In der Realität werden derartige FSP niemals auftreten. Dafür gibt es drei Ursachen:

1. Die Rezepte sind nur teilweise spezifiziert.
2. Die Aufgabenverteilung ist unabgestimmt
3. Individuen, Untergruppen haben sich noch nicht auf ein gemeinsames Vorhaben geeinigt.

Daher treten in der Realität nur PSP auf, welche man sich als Momentaufnahmen des Systems während laufender Abstimmungsprozesse vorstellen kann.

An dieses theoretische Konzept ist die Implementierung des Systems COLLAGEN¹⁴ angelehnt. Auch wenn in diesem das Konzept der *intending-thats* nicht explizit umgesetzt

¹² Grosz / Kraus: Collaborative plans, S. 273ff.

¹³ Tambe: Teamwork, S. 92f.

¹⁴ Rich / Sidner: COLLAGEN.

wurde, basiert es auf der gleichen Idee. Der Agent wird als Black-Box betrachtet, und es werden ebenfalls hierarchische Erwartungsstrukturen mit einer Historie aufgebaut.¹⁵

3.3 Generalized Partial Global Planning

Das Generalized Partial Global Planning (GPGP) ist für kleine Gruppen von Agenten entwickelt worden.¹⁶ Die Grundidee besteht darin, dass jeder Agent grundsätzlich seine eigenen zukünftigen Aktivitäten plant und diejenigen, welche Interdependenzen mit den Aktivitäten anderer Agenten aufweisen könnten, seiner Umgebung mitteilt und gleichzeitig Mitteilungen seiner Umgebung in seine Planungen einbezieht.

Jeder Agent hält dabei folgende Daten:

1. Eine Liste seiner Ziele / abstrakten Aufgaben, welche er zu erfüllen hat oder von anderen gebeten wird zu erfüllen.
2. Eine Baumstruktur, welche mögliche Subziele zur Erreichung eines Ziels aufschlüsselt und in den Blättern direkt ausführbare Aktionen (Methoden genannt) enthält. Diese sind in ihrem Einfluss auf das Subziel über diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilungen in drei Dimensionen charakterisiert: Qualität, Kosten und Zeit.
3. Eine präzise, quantitative Bewertung jeder Aufgabe, inwieweit sie zum übergeordneten Ziel des Agenten beitragen kann beispielsweise basierend auf der Lösungsqualität, –kosten und / oder –zeit.
4. Eine Zuordnung von Aktivitäten zu Ressourcen.

Für die Koordination wird in folgenden Situationen kommuniziert¹⁷: Erweiterung der lokalen um eine nicht-lokale Sicht, Berechnungsergebnisse, Redundanzvermeidung, Handhabung von Abhängigkeiten zwischen Aktionen über min. zwei Agenten hinweg.

Die Agenten stimmen sich bei der Verarbeitung überlappender Aufgaben ab und vereinbaren Zeitpunkte, zu denen bestimmte Ergebnisse vorliegen müssen. Jeder Agent plant dann seine Aufgaben mit dem Ziel, alle Vereinbarungen einzuhalten. Das System kann auch auf zwischenzeitlich auftretende Ereignisse reagieren, da jeder Agent, falls dieser aus irgendwelchen Gründen seine Zeitvorgaben nicht einhalten kann, diese Tatsache publiziert und somit bei den anderen Agenten Plananpassungen hervorruft¹⁸.

¹⁵ Tambe: Flexible Teamwork, S. 111f.

¹⁶ Lesser: Multi-Agent Coordination, S. 98f.

¹⁷ Spaan: Team play, S. 27.

¹⁸ Jennings / Sycara / Woolridge: Agent Research and Development, S. 23.

Die Vereinbarungen zwischen den Agenten fallen in drei Kategorien: *Deadline* Vereinbarungen geben ein vordefiniertes Ende für eine Aufgabe, die dann erfolgreich abgeschlossen sein muss. *Earliest start time* legt für eine Aufgabe den frühesten Beginn fest und *do* Vereinbarungen sind zeitlich ungebunden.¹⁹

3.4 Flexible teamwork

Dieses Konzept ist im Gegensatz zu den vorangegangenen direkt umgesetzt worden und wird auch STEAM genannt²⁰. Es stellt eine Kombination der Konzepte Joint Intentions und Shared Plans dar. Die grundlegende Idee der gemeinsamen Intentionen wird verwendet, um die Agenten in direkt zusammenarbeitende Blöcke aufzuteilen, welche ihrerseits dann durch die hierarchische Zusammenstellung der Rezepte aus dem Shared Plans Konzept kollaborieren. Dabei wird die Grundidee des *intending-that* weggelassen und ausschließlich mit Joint Intentions gearbeitet.²¹

Setzt man voraus, dass das Team für längere Zeit zusammenarbeiten wird kann es sinnvoll sein, die Ressourcen aufzuteilen, um für längerfristige Ziele zur Verfügung zu stehen. Dies impliziert eine Art längerfristige Planung der Aktionen, wobei wiederum alle oder zumindest ein ausreichend großer Anteil der Agenten beteiligt ist.²²

3.5 Joint Responsibility

Auch dieses Modell ist direkt implementierbar²³ und erweitert den Joint Intentions Ansatz auf der operativen Ebene. Dazu wurde die Theorie um ausführbare Rezepte für ein bestimmtes Umfeld erweitert. Es gibt auch bei diesen Rezepten sowohl gemeinsame als auch individuelle Rezepte für jeden Agenten, wobei auch hier die Abstimmung sicherstellt, dass nur noch nicht ausgeführte, ausführbare und zielgerichtete Rezepte umgesetzt werden. Der Hauptunterschied zwischen dem Verwerfen einer gemeinsamen Intention und einem gemeinsamen Rezept liegt darin, dass durch das Verwerfen einer gemeinsamen Intention auch das Rezept verworfen wird, während beim Verwerfen eines gemeinsamen Rezepts, die gemeinsame Intention bestehen bleiben kann und entweder die gescheiterte Aktion wiederholt oder aber ein anderes gemeinsames Rezept vereinbart werden kann.²⁴

¹⁹ Spaan: Team play, S. 27.

²⁰ Tambe: Teamwork.

²¹ Tambe: Teamwork, S. 94.

²² Tambe: Teamwork in Persistent Teams.

²³ GRATE* in Jennings: Joint Intentions.

²⁴ Jennings: Joint Intentions, S: 206ff.

4 Umsetzungen der Koordination ausgewählter Teams

Auf Grund der Komplexität der Koordination ist keines der im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Konzepte in seiner Reinform für den Roboterfußball umgesetzt worden. Dennoch lassen sich bei vielen Mannschaften Ansätze aus den vorgestellten Modellen erkennen. Diese sollen nun exemplarisch für die einzelnen Ligen dargestellt werden.

Rollen

Ein sehr weit verbreitetes Prinzip ist das von Rollen. Jedem Spieler in einem Team wird eine bestimmte Rolle zugeteilt. Dies kann fest geschehen oder dynamisch während des Spiels. Eine Rolle umfasst dabei eng eingegrenzte Aufgabenbereiche, damit der Spieler seine Aktionen aus einem möglichst kleinen Entscheidungsraum wählen kann, was die Performance verbessert²⁵. Rollen an sich stellen kein Koordinationsprinzip im Sinne der im vorangegangenen Kapitel genannten dar, sondern fällt in den Bereich des Schwarmverhaltens, da die Verhaltensalternativen innerhalb der Rolle fest definiert sind.

4.1 Middle-sized League

Die Koordination in der Middle-sized League wird sehr kontrovers umgesetzt. Während einige Mannschaften völlig auf Koordination verzichten, versuchen andere ausgewählte Grundideen umzusetzen. Beispielsweise verzichten die Treckies²⁶ größtenteils auf Koordination, während das Team der Universität Amsterdam (u.a.) „Clockwork Orange“ wie auch andere grundlegende Ideen aus dem Flexible Teamwork Modell oder ein anderes Prinzip übernehmen.²⁷ Da die Middle-sized League einerseits eine im Gegensatz zur Simulation League sichere Kommunikation bei wenigen Spielern ermöglicht und andererseits keine zentrale Steuerung zulässt, wird sie auch häufig als Hauptbetätigungsfeld für ausgefeilte Koordinationsmechanismen gesehen²⁸.

Das Team CS Freiburg war 2001 Roboterfußballweltmeister, daher soll im Folgenden das Koordinationsprinzip dieser Mannschaft dargestellt werden.²⁹

²⁵ Åberg: Agent Roles, S. 7f.

²⁶ Takahashi / Ikenoue / Inui / Hikita / Asada: Trackies 2001.

²⁷ Spaan: Team play, S. 28f.

²⁸ Candea / Hu / Iocchi / Nardi / Piaggio: Coordination, S. 4f.

²⁹ Müller: Roboterfußball. Diese Quelle beschreibt zwar das Verhaltensnetzwerk aus dem Jahre 2000; dieses ist allerdings in seiner grundsätzlichen Form unverändert geblieben. Vgl. dazu auch Weigel / Gutmann / Dietl / Kleiner / Nebel: Successful Soccer Playing.

Die Koordination wird von einem Verhaltensnetzwerk basierend auf Rollen übernommen. Kommunikation wird dabei in zwei Fällen genutzt³⁰:

1. Bei der Festlegung der Rollenverteilung.
2. Bei bestimmten Spielsituationen, in denen ein vorprogrammiertes Zusammenspiel möglich wird.

Es gibt folgende Rollen: Ein Torwart, dessen Rolle feststeht (er besitzt auch statt der Ball-Handling Einheit nur eine Platte, zum abwehrenden Wegschießen). Zwei Verteidiger und ein Stürmer. In Angriffssituationen kann einer der Verteidiger zum Mittelfeldspieler werden, um den Stürmer zu unterstützen.

Die Festlegung der Rollen erfolgt dadurch, dass jeder Spieler den anderen mitteilt, welche Rolle er zur Zeit am Besten einnehmen kann. Dazu berechnet jeder Spieler mit einer vorgegebenen Formel³¹ seine Eignung für jede mögliche Rolle. Streiten sich zwei um eine Rolle, so wird derjenige diese einnehmen, der die größte Eignung dazu hat.

Um zwischen Angriff und Verteidigung zu unterscheiden wird lediglich die Position des Balles genutzt: Falls der Ball sich im vorderen Drittel des Spielfeldes befindet, wird dies als Angriffssituation interpretiert, im hinteren Drittel analog als Verteidigungssituation.

Einen Sonderfall stellen bestimmte programmierte Taktiken dar. So kann beispielsweise der unterstützende Spieler dem aktiven Spieler, seine Bereitschaft für eine taktische Option wie beispielsweise Passspiel signalisieren, welche der Angesprochene aber nicht durchführen muss.³²

Insgesamt könnte man dies als eine einfache Form von GPGP betrachten, da jeder für sich plant und dann seine „Pläne“ (Einnahme einer bestimmten Rolle, Durchführung eines bestimmten Spielzuges) mit den Mitspielern abstimmt.

4.2 Small-sized League

Die FuFighters³³ wurden im Jahr 2002 Vizeweltmeister im Roboterfußball und sollen daher hier beschreiben werden. Die einzelnen Roboter sind in ihrem Verhalten in drei Schichten aufgeteilt, wobei die unterste Schicht das Ballhandling und die einfache Steu-

³⁰ Hierbei ist natürlich nur die auf Koordination gerichtete Kommunikation gemeint. Kommunikation über das Weltmodell (Roboterpositionen, Ballposition) wird hier nicht betrachtet.

³¹ Müller: Roboterfußball, S. 64ff.

³² Müller: Roboterfußball, S. 49f.

³³ Behnke / Rojas: Reactive behaviours.

erung übernimmt. Die beiden darüber liegenden Schichten sind für das taktische bzw. das strategische Verhalten zuständig. Hinsichtlich der Koordination sind ausschließlich diese beiden Schichten von Interesse.

Die FuFighters arbeiten mit einem Rollenkonzept ohne Kommunikation zwischen den einzelnen Robotern. Damit wird keines der in Kapitel 3 genannten Koordinationskonzepte implementiert. Die Zuweisung zu den Rollen erfolgt auf der obersten Verhaltenshierarchieebene, während das Verhalten innerhalb der Rolle auf der mittleren Ebene gesteuert wird. Dabei gibt es folgende Regeln:

- Der Spieler, der dem Ball am nächsten ist, bekommt die aktive Rolle und als Ziel das gegnerische Tor.
- Jeder Spieler bekommt die Rolle, welcher (Rollen-)Position er am nächsten ist. Innerhalb der Rollen sind bestimmte Positionen auf dem Spielfeld, insbesondere relativ zum Tor vorgeschrieben. Ein Verteidiger beispielsweise hat einen gegnerischen Stürmer mit einer Manndeckung zu versehen und ein Stürmer muss sich vor dem gegnerischen Tor platzieren. Die beiden Flügelspieler bleiben auf ihrer Seite, und auf Höhe des Balls, wobei auch sie darauf achten, möglichst freies Schussfeld auf das Tor zu besitzen.
- Jeder Spieler muss dem aktiven Spieler ausweichen.
- Falls ein Spieler seine Fahrt zum Tor nicht fortsetzen kann (Eckposition, von gegnerischem Spieler geblockt o.ä.), muss er den Ball „befreien“ und möglichst Richtung Tor schießen. Dabei wird aber nicht auf mögliche „Pass“-Partner geachtet.

Explizite Pässe wurden also nicht einprogrammiert, da jedoch durch das obengenannte Verhalten in geblockten Situationen eine Ballabgabe erfolgt und auf Grund der Rollendefinition die Mitspieler strategisch sinnvolle Positionen eingenommen haben und somit den Ball übernehmen können, erscheint der Schuss als Pass.

Dieses Konzept ist damit entfernt mit der Grundidee der Shared Plans in der Hinsicht vergleichbar, dass sich die Roboter „blind“ darauf verlassen, dass die anderen ihren zugewiesenen Rollen gerecht werden. Diese werden allerdings nicht kommuniziert, sondern sind fest einprogrammiert.

4.3 Simulation League

Für diese Liga wird teilweise sogar die Auffassung vertreten, dass eine Kooperationsform ohne jegliche Kommunikation die Beste ist. Begründet wird dies mit den hohen Kosten und den relativ großen Unsicherheiten bei der Kommunikation.³⁴

Im Jahr 2002 hat in der Simulationsliga die Mannschaft TsinghuAeolus den RoboCup gewonnen. Das Koordinationsprinzip dieser Mannschaft basiert auf der Grundidee des Generalized Partial Global Planning und wird Global Planning from Local Perspective genannt.³⁵

Als erstes wird der globale Nutzen definiert und auf die einzelnen Spieler heruntergebrochen. Als nützlich wird dabei alles betrachtet, was zu der Zielerreichung „Spiel gewinnen“ beiträgt. Der Planungsprozess läuft dann in 5 Schritten ab:

1. Aufgabe zerlegen
2. Aufgabenverteilung auf alle jeweils geeigneten Agenten (mehrfach)
3. Globale Bewertung der Aufgabenzuordnungen
4. Bestimmung der Aufgabenzuordnung mit dem global größten Nutzen
5. Entgeltige Aufgabenverteilung und –ausführung

Um die Probleme bei der unterschiedlichen Wahrnehmung der Umgebung zu verringern und somit Ausfälle der Agenten zu vermeiden, sind folgende Bedingungen umgesetzt worden:

- Die Agenten haben gemeinsames Wissen über die Umgebung, d.h.
 - (a) Zwei Agenten A und B glauben an p.
 - (b) A und B glauben an (a).
- Jeder Agent kennt das Verhaltensmuster sämtlicher Mitspieler und kann so gewisse Prognosen über das Verhalten seiner Mitspieler bilden.
- Einige öffentliche Regeln werden als Normen vorgegeben, um klare Rollendefinitionen zu schaffen.

Dies ist also eine Variante des GPGP mit einem sehr geringen Kommunikationsaufwand, wobei auch Einflüsse aus dem Shared Plans Konzept vorliegen.

³⁴ vgl. bspw. Kok / Vlassis: Mutual Modelling.

³⁵ Yunpeng / Jiang / Jinyi / Shi: Global Planning.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden allgemeine Konzepte zur Koordination vorgestellt und beispielhaft an Hand von drei erfolgreichen Teams aus dem Roboterfußball in ihren Einflüssen auf die Umsetzung gezeigt. Dabei wird festgestellt, dass explizite kommunikationsbasierte Koordination lediglich in der Middle-sized League und in Teilen auch in der Simulation League eingesetzt werden, was auf die nur partiell für den einzelnen Agenten erfassbare Situation zurückzuführen ist. In der Small-sized League besitzt jeder einzelne Spieler das gleiche globale Bild, weshalb Koordination auf alleiniger Basis von Rollen und vorimplementierten Verhaltensweisen möglich ist.

Insgesamt scheint implizite Koordination, d.h. Koordination über festgelegte Rollen, vorgegebene Situationen eine kommunikationsbasierten Koordination überlegen zu sein, was in der Realität ebenfalls häufig zu beobachten ist.

Offensichtlich lohnt sich kommunikationsbasierte Koordination in kleineren Teams (wie in der Middle-sized League) mehr als in Größeren. Dennoch erscheint ein Verzicht auf Kommunikation zur Koordination als äußerst wertvoll. Beispielsweise könnten verschiedene Spieltaktiken, welche zuvor „eintrainiert“ wurden, durch Kommunikation angestoßen und durchgespielt werden³⁶.

Literaturverzeichnis

- Åberg, H. [Agent Roles]: Agent Roles in RoboCup Teams, Master's thesis, Department of Computer and Systems Sciences, Stockholm University and the Royal Institute of Technology, 1998.
- Behnke, S. / Rojas, R. [Reactive behaviors]: A hierarchy of reactive behaviors handles complexity, Proceedings of: Balancing Reactivity and Social Deliberation in Multi-Agent Systems, Workshop at ECAI 2000, 14th European Conference on Artificial Intelligence, Berlin, 2000.
- Candea, C / Hu, H. / Iocchi, L. / Nardi, D. / Piaggio, M. [Coordination]: Coordination in Multi-Agent RoboCup Teams, Robotics and Autonomous Systems 36, S. 67-86, 2001.
- Cohen, R.P./ Levesque, H:J. [Intention]: Intention is Choice with Commitment, Artificial Intelligence 42, S. 213-261, 1990.
- Grosz, B.J. / Kraus, S. [Collaborative plans]: Collaborative plans for complex group action, Artificial Intelligence 86, S. 269-357, 1996.

³⁶ Müller: Roboterfußball, S. 27f.

- Jennings, N.R. [Commitments and Conventions]: Commitments and Conventions: The foundation of coordination in multi-agent systems, *The Knowledge Engineering Review* 8(3), S. 223-250, 1993.
- Jennings, N.R. [Joint Intentions]: Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intentions, *Artificial Intelligence* 75, S. 195-240, 1995.
- Jennings, N.R. / Sycara, K. / Wooldrige, M. [Agent Research and Development]: A Roadmap of Agent Research and Development, *International Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 1, S. 7-38, 1998.
- Kok, J. / Vlassis, N. [Mutual Modelling]: Mutual Modeling of Teammate Behavior, *Intelligent Autonomous Systems Technical Report*, 2002.
- Lesser, V.R. [Multi-Agent Coordination]: Reflections on the Nature of Multi-Agent Coordination and its Implications for an Agent Architecture, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 1, S. 89-111, 1998.
- Müller, K. [Roboterfußball]: Roboterfußball: Multiagentensystem, Diplomarbeit CS Freiburg, 2000.
- Rich, C. / Sidner, C. [COLLAGEN]: COLLAGEN: When agents collaborate with people, *Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents* 1997.
- Spaan, M. [Team play]: Team play among soccer robots, Master thesis, University of Amsterdam, 2002.
- Takahashi, Y. / Ikenoue, S. / Inui, S. / Hikita, K. / Asada, M. [Trackies 2001]: Osaka University “Trackies 2001”, in Birk, A. / Coradeschi, S. / Tadokoro, S.: *RoboCup 2001*, Springer Verlag.
- Tambe, M. [Teamwork]: Towards Flexible Teamwork, *Journal of Artificial Intelligence Research* 7, S. 83-124, 1997.
- Tambe, M. [Teamwork in Persistent Teams]: Towards Flexible Teamwork in Persistent Teams: Extended Report, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 3, S. 159-183, 2000.
- Weigel, T. / Gutmann J.-S. / Dietl, M. / Kleiner, A. / Nebel, B. [Successful Soccer Playing]: CS Freiburg: Coordinating Robots for Successful Soccer Playing, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 18(5), S. 685-699, 2002.
- Yunpeng, C / Jiang, C. / Jinyi, Y / Shi, L. [Global Planning]: Global Planning from Local Eyeshot: An Implementation of Observation-based Plan Coordination in RoboCup Simulation Games, Birk, A. / Coradeschi, S. / Tadokoro, S.: *RoboCup 2001: Robot Soccer World Cup V*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2001.