

Universität Ulm
Fakultät für Informatik
Sommersemester 2006
Proseminar Künstliche Intelligenz

- KiRo -

Tischfußball gegen den Roboter

Name: Thomas Schnattinger
Betreuer: Bernd Schattenberg

Abstract

In der Vergangenheit gab es bereits viele Projekte, in denen Roboter als selbständige Gegner in diversen Ballsportarten eingesetzt wurden, wie z.B. den RoboCup, bei dem Roboter gegeneinander eine vereinfachte Variante von Fußball spielen. Da Tischfußball ein weniger komplexes Spiel ist, muss es für einen solchen Einsatz in seinen Spielregeln nicht verändert werden, und so ist ein direkter Wettbewerb zwischen Mensch und Maschine möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Überblick über die Fähigkeiten, Strategien und Grenzen des Tischkicker-Roboters KiRo gegeben, ein System, das fähig ist, Bilder seiner Kamera zu interpretieren und daraus ein umfangreiches Spielfeldmodell zu erstellen, die Spielstärke seines Gegners zu klassifizieren und daraus stets den besten Spielzug zu wählen und auszuführen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Aufbau und Entwicklung	2
3. Modellierung	4
3.1. Bilderkennung via Farbkamera	4
3.2. Bilderkennung via Schwarzweiß-Infrarotkamera	4
3.3. Umsetzen in ein Modell	4
4. Spielzugwahl und Ausführung	5
4.1. Auswahl des richtigen Spielzugs.....	5
4.2. Auswahl der richtigen Spielfigur	6
4.3. Geschwindigkeit der Ausführung.....	6
5. Anpassung des Spiels an den Gegner.....	7
5.1. Motivation	7
5.2. Untersuchung des Verhaltens.....	7
5.3. Modellierung des Gegners	8
5.4. Konsequenzen	8
5.5. Evaluation.....	9
6. Schluss.....	10
7. Literaturverzeichnis.....	11

1. Einleitung

In der Vergangenheit wurde schon öfter der Versuch unternommen, Roboter als Mitspieler oder als Gegner in verschiedenen Ballsportarten einzusetzen. Das wohl populärste Beispiel dafür ist der RoboCup, eine Liga, in der mehrere Roboter zusammen in Teams gegeneinander Fußball spielen. Optimisten behaupten zwar, dass bis zum Jahr 2050 Roboter in der Lage sein werden, die echten, menschlichen Fußball-Weltmeister zu schlagen, in der Gegenwart ist die Entwicklung jedoch noch weit davon entfernt. Um Maschinen gegen menschliche Gegner spielen lassen zu können, müssen die Spielregeln stark vereinfacht werden, und ernsthafte Konkurrenz von den Robotern scheint dennoch unrealistisch. Eine Gruppe von Informatikern der Universität Freiburg hatte vor einigen Jahren dann die Idee, einen Roboter zu bauen, der in seiner Sportart ein ernsthafter Gegner selbst für fortgeschrittene Spieler sein sollte. In dieser Arbeit sollen nun die wesentlichen Aspekte des Tischkicker-Roboters KiRo aufgezeigt werden, einem System, das fähig ist, völlig autonom mit einer einfachen aber effektiven Strategie Tischfußball zu spielen.

Der Rest dieser Arbeit gliedert sich folgendermaßen: in Abschnitt 2 wird die Entwicklung und der Aufbau des Roboters geschildert. Abschnitt 3 beschreibt die Umsetzung der erkannten Spielumgebung auf ein abstraktes Modell. In Abschnitt 4 werden die verschiedenen Spielzüge vorgestellt und deren Auswahl erläutert. Abschnitt 5 stellt dar, wie das System seine eigene Spielstärke der seines Gegners anpasst, und Abschnitt 6 schließt diese Arbeit ab.

2. Aufbau und Entwicklung (vgl. [1,2])

Als Basis für den Bau des Prototyps von KiRo diente ein im Handel erhältlicher Tischkicker. Der Tisch besitzt eine Spielfläche von 1200 mm x 680 mm und hat vier Stangen auf jeder Seite. An jeder Stange befinden sich Figuren (1 für den Torwart, 2 für die Verteidiger, 5 für das Mittelfeld und 3 für die Angreifer), mit denen der Ball bewegt werden kann. Dieser wurde so modifiziert, dass die Bewegungen der Spielfiguren von einem gewöhnlichen PC gesteuert werden können. Dazu wurden speziell entwickelte Einheiten (siehe Abbildung 1), die aus zwei Motoren und einem Getriebe bestehen, außen am Tisch montiert, um die Stangen des Kickers zu bewegen. Des Weiteren wurde über dem Tisch eine Farbkamera installiert, die ebenfalls mit dem PC verbunden ist. Diese ist für die Erkennung des Balles und der exakten Position der Spieler zuständig.



Abbildung 1: Antriebseinheiten

Nachdem der Tischkicker-Roboter im Jahr 2002 auf verschiedenen Technik- und Spielermessen sowie im Fernsehen vorgestellt worden war, wurde er von dem Spielwarenhersteller Gauselmann AG lizenziert. Um das Gerät auf den Markt bringen zu können, waren sowohl die Robustheit als auch die Benutzerfreundlichkeit des Gerätes noch zu verbessern. So wurden die Antriebsvorrichtungen für die Spielerstangen nicht mehr komplett außen am Tisch angebracht. Die Seitwärtsbewegung der Stangen wird nun durch ein Seilzugsystem realisiert, das unterhalb des Spielfeldes angetrieben wird. Lediglich der Motor zur Drehung der Stangen befindet sich nach wie vor außen, wird jedoch von der Rückblende des Gerätes verdeckt. Jeder der Motoren wird von einem eigenen Controller gesteuert, der wiederum die absolute Position der Stangen zurück ans System liefert.

Die zweite große Neuerung an der Hardware ist die Kamera zur Beobachtung des Spielfeldes. Die Lösung, die im Prototyp realisiert worden war, war empfindlich gegen äußere Lichteinflüsse. Hier kommt nun eine Schwarzweiß-Infrarotkamera zum Einsatz, die unterhalb der für dieses Licht durchlässigen Spielfläche angebracht ist. Der Ball wird von den Wänden aus mit Infrarot-LEDs beleuchtet, und das reflektierte Licht kann von der empfindlichen Kamera aufgefangen werden. Diese neue Technik macht den Roboter zwar wesentlich unempfindlicher gegen sich änderndes Licht, es wird jedoch nur noch der Ball, und nicht mehr sämtliche Spielfiguren erkannt.

Die Firma Gauselmann AG wurde für das Projekt im November 2004 mit dem Innovationspreis der SPD ausgezeichnet [5] und vertreibt den ca. 350 kg schweren Kicker-Roboter seit Januar 2005 für rund 20.000 € [6] unter dem Namen „StarKick“. Die Software der beiden Automaten ist bis auf die Technik der Bilderkennung identisch.



Abbildung 2: Der Tischkicker-Roboter „StarKick“

3. Modellierung (vgl. [1,2])

3.1. Bilderkennung via Farbkamera

Der Prototyp „KiRo“ zeichnet das Spielgeschehen mit einer Farbkamera auf. Mit dieser Kamera, die über dem Spielfeld montiert ist, können sowohl die Ballposition, als auch die Position und der Drehwinkel der eigenen und der gegnerischen Spielfiguren bestimmt werden. Da nicht sichergestellt ist, dass die Kamera sich während des Spiels immer genau an derselben Stelle befindet, wird das System alle paar Sekunden neu kalibriert. Dabei wird der Mittelkreis des Spielfelds in die Bildmitte gerückt, und das Bild so gedreht, dass die Mittellinie das Bild vertikal halbiert. Das erhaltene Kamerabild wird mit Hilfe der CMVision-Technik überarbeitet, die das vielfarbige Eingangsbild durch großflächige Farbsegmente ersetzt, mit deren Hilfe verschiedenfarbige Objekte unterschieden werden können. Gespielt werden muss mit einem gelben Ball, da er so das einzige Objekt dieser Farbe auf dem Spielfeld darstellt. Auf diese Weise kann die Position des Balles relativ leicht bestimmt werden.

3.2. Bilderkennung via Schwarzweiß-Infrarotkamera

Durch den Einsatz der Schwarzweiß-Infrarotkamera in der kommerziellen Version „StarKick“, die das Spielfeld von unten her beobachtet, gewinnt das Bilderkennungssystem zwar an Robustheit gegenüber Störungen und äußeren Lichteinflüssen, jedoch verliert man die Möglichkeit, damit die Position der Spielfiguren zu bestimmen. Der Spielfeldrand ist gesäumt mit Infrarot-LED's, die jedes Mal, wenn ein Kamerabild aufgezeichnet wird, kurz aufleuchten. Das Spielfeld ist für dieses Licht durchlässig, und so liefert die Kamera ein stark verzerrtes Bild, auf dem der Ball als zwei helle Halbmonde erkennbar ist. Da die Größe und die Helligkeit dieser Halbmonde über das Spielfeld variiert, ist ein einfaches Thresholding-Verfahren, bei dem Objekte, die heller als ein Schwellenwert sind, erkannt werden, zur Ballerkennung nicht ausreichend. Zum Einsatz kommt eine Methode, die die Differenz aus einem Referenzbild ohne Ball und dem aktuellen Kamerabild untersucht. Dadurch, dass die Größe des Balles bekannt ist, können viele Bildfehler ignoriert werden, und die Erkennung unanfällig gegen Störungen gemacht werden.

3.3. Umsetzen in ein Modell

Die Bilderkennung läuft ständig mit einer Frequenz von 50 Hz ab. Des Weiteren senden die Motor-Controller mit ca. 15 Hz die aktuellen Positionen der von KiRo kontrollierten Stangen.

Diese Daten werden alle in ein Modell des Spielfeldes übertragen, das als Grundlage für die Auswahl von eigenen Spielzügen und für die Klassifizierung des Gegners dient. Dafür stellt es Werte wie Position, Richtung und Geschwindigkeit des Balles bereit.

4. Spielzugwahl und Ausführung

4.1. Auswahl des richtigen Spielzugs (vgl. [4])

Da man einer Maschine kein „Gefühl“ für die richtige Handlung geben kann, plant KiRo schon mehrere Züge voraus. Dieses „entscheidungstheoretische Planen“ simuliert die Auswirkungen eines jeden Spielzugs auf das aktuelle Spielfeldmodell und wählt den mit dem voraussichtlich größten Nutzen.

Dafür wird das gesamte Spiel in Unterspiele aufgetrennt. Ein Unterspiel beginnt, sobald ein Spieler den Ball erhält, und endet, wenn er ihn wieder abgibt. Der Spieler, der im Ball besitz ist, ist der Angreifer und kann über den Spielverlauf entscheiden, während der Verteidiger nicht aktiv ins Spiel eingreifen kann.

Für jedes Tupel aus möglicher Handlung und erwarteter Reaktion des Gegners wird ein neues Spielfeldmodell errechnet. Der Spielzug, der das Modell mit dem größten Nutzen hervorgerufen hat, wird gewählt. KiRo besitzt lediglich sechs verschiedene Handlungen (KickBall besitzt drei verschiedene Variationen):

- **KickBall:** Drehe die Stange um 90° , um den Ball nach vorne oder diagonal nach links oder rechts zu schlagen
- **BlockBall:** Bewege die Stange so, dass eine Figur den Ball aufhält
- **ClearBall:** Gleiche Bewegung wie BlockBall, drehe jedoch die Stange, um den Ball von hinten durchzulassen
- **StopBall:** Fixiere den Ball zwischen einer Spielfigur und dem Spielfeld

Würde man stets für alle vier Spielerstangen diese sechs verschiedenen Spielzüge vorausplanen, hätte der daraus resultierende Baum einen Verzweigungsgrad von 24. Da eine Vorausberechnung von mehreren Handlungen zu viel Berechnungsaufwand fordern würde, wird dieser Grad folgendermaßen reduziert: lediglich für die Stange, die im Ballbesitz ist, werden alle Möglichkeiten berechnet. Alle, die zwischen dem Ball und dem eigenen Tor liegen, führen BlockBall, und alle die zwischen dem gegnerischen Tor und dem Ball liegen, führen ClearBall aus. Der Verzweigungsgrad beträgt jetzt 6, falls KiRo im Ballbesitz ist, ansonsten wird eine statische Abwehrstrategie ohne Vorausplanung durchgeführt.

Bisher sieht die Strategie des „entscheidungstheoretischen Planens“ lediglich vor, dass die Handlung, die den größten Erfolg verspricht, ausgewählt und der Plan dann verworfen wird. Sie dient also mehr der Abschätzung des Nutzens einer Handlung als zur Entwicklung einer richtigen Handlungsabfolge.

4.2. Auswahl der richtigen Spielfigur

Jede Stange kann innerhalb eines bestimmten Bereichs bewegt werden. In den meisten Fällen überlagern sich die Reichweiten zweier Figuren, und folglich kann es Situationen geben, in denen zwei Figuren geeignet wären, sich zu einer spezifischen Zielposition zu bewegen. In diesen Fällen wird die Figur ausgewählt, die sich zum einen möglichst nahe am Ball befindet, und zum anderen noch ausreichend Reichweite in Richtung des Balles besitzt. Außerdem wird die Figur, die im letzten Entscheidungszyklus bereits ausgewählt wurde, bevorzugt, um ein ständiges Hin- und Herbewegen der Stange zu vermeiden.

4.3. Geschwindigkeit der Ausführung

Um ein allzu hektisches Spiel des Roboters zu vermeiden, sind Spielzüge wie "Ball blocken" in ihrer Schnelligkeit abhängig von Position und Geschwindigkeit des Balles. Ist der Ball langsam und weit entfernt, wird die entsprechende Spielfigur auch nur langsam an die Zielposition bewegt. Ist jedoch der Ball schnell und nahe der Spielerstange, ist diese Bewegung schnell. Somit wird beispielsweise der Torwart nur dann wirklich bewegt, wenn der Gegner den Ball auch in Richtung Tor schießt. Um die Reaktionszeit von KiRo zu beschränken, und somit verschiedene Schwierigkeitsstufen zu implementieren, wird die maximale Geschwindigkeit, mit der die Stangen bewegt werden, mit einem Faktor zwischen 0 und 1 multipliziert. Dieser wird aus dem spielerischen Können des Spielers errechnet. Im Allgemeinen verfolgt KiRo also eine eigene Strategie, die bis auf seine Bewegungsgeschwindigkeit nicht vom Verhalten des Gegners beeinflusst wird. Die wenigen verfügbaren Spielzüge und deren einfache Auswahl führen zu einem sehr schnellen und wirksamen Verhalten des Roboters. Die gute Abstimmung der vier Spielerreihen, und die Fähigkeit, den Ball effektiv zu Blocken, machen es dem Gegner schwer, den Ball nach vorn zu bringen bzw. den Roboter am Vorwärtsspielen zu hindern.

5. Anpassung des Spiels an den Gegner (vgl. [3])

5.1. Motivation

Durch Weiterentwicklung und Verbesserung ist es möglich, die Spielweise des Roboters immer schneller und effektiver zu gestalten, um somit irgendwann jeden menschlichen Gegner besiegen zu können. Da der StarKick jedoch in der Unterhaltungsindustrie gut vermarktet werden soll, werden an ihn weitere Ansprüche gestellt. Er soll nicht nur gut spielen können, sondern das Spielen gegen ihn soll auch noch möglichst viel Spaß machen. So ist es Wünschenswert, dass er seine Spielstärke dem jeweiligen Gegner anpassen kann, um sowohl Anfängern als auch professionellen Spielern ein ebenbürtiger Gegner zu sein. Um dies gewährleisten zu können, ist es nötig, das gegnerische Spiel zu Beobachten und mit den gewonnenen Informationen ein Modell zu erstellen, das dessen spielerisches Niveau charakterisiert. Anhand von diesem erlangten Wissen kann der Roboter seine eigene Spielweise der seines Mitspielers angleichen.

5.2. Untersuchung des Verhaltens

Da die Sensorik des Roboters lediglich die Bestimmung der Position des Balles, und nicht die Seitwärts- und Drehbewegungen der gegnerischen Spielfiguren zulässt, wird von der Tatsache, dass eine

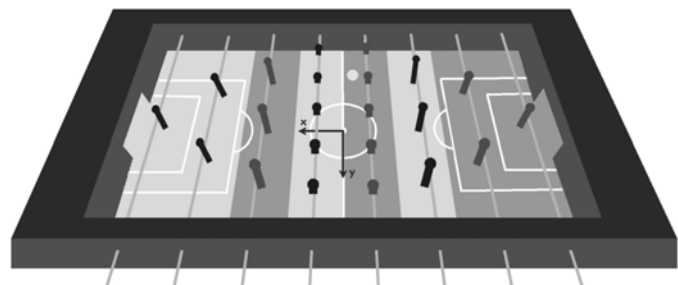


Abbildung 3: Einflussbereiche farbige markiert

Spielerstange mehrere Figuren besitzt, abstrahiert. Stattdessen gehört zu jeder Stange ein „Einflussbereich“ (siehe Abbildung 3). Eine Handlung des Gegners wird nur dadurch definiert, wie der Ball in diesen Bereich eintritt, sich darin bewegt, und wo er wie schnell wieder austritt. Es werden fünf mögliche Handlungen unterschieden:

BlockBall: Ball wird daran gehindert, sich in Richtung Tor zu bewegen

ControlBall: Ball ist bewegungslos innerhalb des Einflussbereichs

DribbleBall: Ball bleibt im Einflussbereich und bewegt sich

KickBall: Ball beschleunigt (positiv oder negativ) merkbar

YieldBall: Ball passiert den Einflussbereich ungehindert (z.B. bei gescheitertem Block)

Diese Handlungen werden für jedes Kamerabild anhand von fünf formalen Prädikaten klassifiziert, die sich aus der absoluten Position, der Geschwindigkeit und dem Winkel des Balles, und aus der Zeit des Eintritts in den Einflussbereich berechnen.

5.3. Modellierung des Gegners

Jedes Auftreten einer der in (5.2) vorgestellten Handlungen wird analysiert, und davon werden verschiedene Werte gespeichert, wie z.B. die Auftretenshäufigkeit eines bestimmten Spielzugs, Ballgeschwindigkeiten nach dem Schlagen etc. Diese Werte werden alle, um sie miteinander verrechnen zu können, auf das Intervall $[0,1]$ skaliert, und gehen, verschieden gewichtet, in die Berechnung der drei Werte $S_{block}, S_{dribble}, S_{kick} \in [0,1]$ ein, die zusammen als Vektor das Können des Gegners repräsentieren. Dieser Vektor kann nun mit Hilfe von vier vorher definierten Niveaustufen klassifiziert werden (siehe Tabelle 1).

Um während des Spiels auf einen Wechsel des Gegners und somit auch dessen Spielstärke reagieren zu können, werden die gewonnenen Werte nicht über das komplette Spiel, sondern nur über ein Zeitfenster von 60 Sekunden gemittelt. So ist gewährleistet, dass sich der Roboter nach dieser Zeit komplett auf die neue Spielsituation einstellen kann.

	S_{block}	$S_{dribble}$	S_{kick}
$O_{beginner}$	0,3	0,2	0,1
$O_{amateur}$	0,5	0,4	0,3
$O_{advanced}$	0,6	0,5	0,5
O_{expert}	0,8	0,8	0,8

Tabelle 1: Referenzwerte zur Klassifizierung

5.4. Konsequenzen

Damit das Spiel interessant bleibt, ist es ein Ziel des Roboters, seine Spielstärke der des Gegners anzugleichen. Anhand der zuvor bestimmten Klassifizierung des Gegners wird nun bestimmt, wie das Spiel gedrosselt wird. Hierzu wird die maximale Geschwindigkeit der Bewegungen der Spielerstangen mit Konstanten $f_{move}, f_{turn} \in [0,1]$ multipliziert. Verringert man die Geschwindigkeit der Seitwärtsbewegungen, wird der Roboter in der Defensive schwächer, und eine Verlangsamung der Drehbewegung wirkt sich negativ auf die Offensivstärke aus. Die Bestimmung der Konstanten kann generell auf zwei Arten entstehen. Entweder sie sind durch die zuvor bestimmte Klasse des Gegners festgelegt, oder sie werden aus den Werten $S_{dribble}, S_{kick}$ und S_{block} anhand folgender Formeln berechnet:

$$f_{move} = \frac{1}{2}(S_{dribble} + S_{kick})$$

$$f_{turn} = S_{block}$$

In Zukunft wird die Anpassung der eigenen Spielstärke noch weitergehen als nur die Reduzierung der Spielgeschwindigkeiten. Durch Hinzufügen von Spielzügen wie Dribbling oder gezielten Pässen kann das Spiel vielfältiger und interessanter werden, birgt jedoch größere Risiken des Ballverlustes, sobald sich der Gegner auf die neuen Spielzüge eingestellt hat.

5.5. Evaluation

Die Zuverlässigkeit der vorgestellten Spielzugerennung und Gegnerklassifizierung wurde in einer Testreihe evaluiert. Anhand von Logfiles und aufgezeichneten Videodaten wurde gezählt, dass der Roboter in über 90% aller Fälle die richtige Handlung des Gegners erkannt hat. Des Weiteren wurden 32 Spieler sowohl vom StarKick als auch von zwei menschlichen Tischfußballspielern beobachtet und den Klassen „beginner“, „amateur“, „advanced“ und „expert“ zugeordnet. In ca.70% der Fälle stimmten die Beurteilungen überein, die restlichen Spieler wurden jeweils eine Klasse zu hoch oder zu niedrig eingestuft.

In einer dritten Versuchsreihe spielte ein Tischkicker-Profi zwei Spiele über jeweils 8 Minuten, wobei er jeweils zwei Minuten etwa auf dem Niveau der vier vorgestellten Klassen spielte. Im ersten Spiel wurde die Spielgeschwindigkeit basierend auf den Offensiv- und Defensivfähigkeiten, und im zweiten Spiel abhängig von der erkannten Klasse des Gegners angepasst. Abbildung 4 belegt deutlich die Fähigkeit des Roboters, sich der Spielstärke seines Gegners anzupassen.

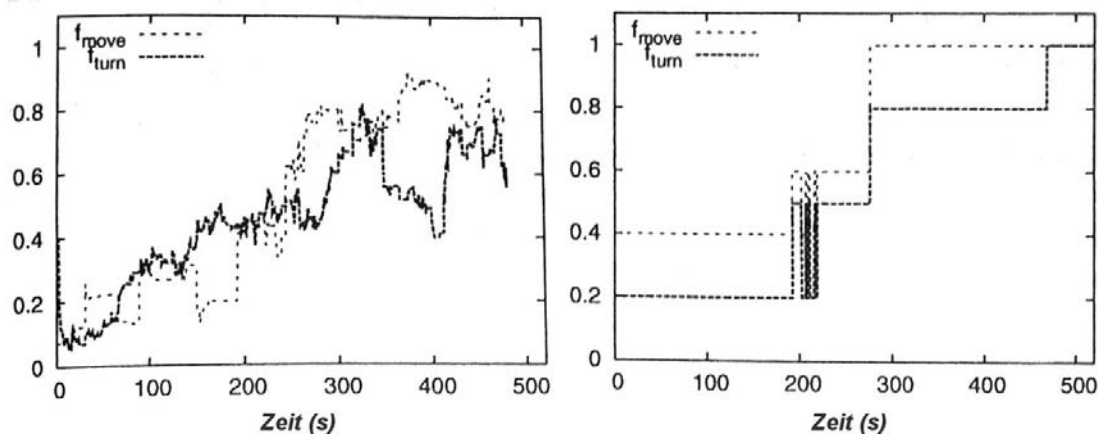


Abbildung 4: Anpassung der Spielgeschwindigkeit abhängig vom aktuell erkannten Können des Gegners (links) und der errechneten Spielklasse (rechts)

6. Schluss

In dieser Arbeit wurde beschrieben, wie aus dem Prototyp eines Roboters, der selbständig Tischfußball spielen kann, indem er sein Spielfeld mit Hilfe einer Kamera und einigen Sensoren in ein Modell überträgt, und damit die Auswahl des effektivsten nächsten Spielzugs steuert, ein marktreifes Unterhaltungsgerät wurde. Während seiner Entwicklung wurde durch mehrere Testreihen [1,2] belegt, dass sich seine Erfolgsquote durch stetige Weiterentwicklung steigern lässt. War der Prototyp im Jahr 2002 noch keine echte Herausforderung für erfahrene Spieler, so konnte er 2005 in einer neuen Testreihe bereits die meisten Gegner dieser Spielstärke besiegen.

Da es sich um ein Unterhaltungsgerät handelt, soll der Roboter nicht nur schnell und erfolgreich spielen, sondern sich während des Betriebs auf seinen Gegner einstellen und somit die Spannung des Spiels gewährleisten. Die weitere Entwicklung des Geräts sieht vor, den menschlichen Mitspieler noch mehr in die Planungs- und Entscheidungsmechanismen mit einzubeziehen, und aus Erfahrungen zu lernen. Die intelligenten Handlungsweisen, die in diesem Projekt in einem kleinen überschaubaren Rahmen entwickelt wurden, dienen als Basis für weitere Entwicklungen in der Robotik und der Künstlichen Intelligenz.

7. Literaturverzeichnis

1. Weigel, T., Nebel, B., KiRo - An Autonomous Table Soccer Player. In Proc. Int. RoboCup Symposium '02, 119-127. Springer-Verlag, Fukuoka, Japan, 2002
2. Weigel, T.: KiRo - A Table Soccer Robot Ready for the Market. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). (2005) 4277-4282
3. Weigel, T., Rechart, K., Nebel, B.: Behavior Recognition and Opponent Modeling for Adaptive Table Soccer Playing. In KI 2005: Advances in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer-Verlag, 2005.
4. M. Tacke, T. Weigel and B. Nebel, Decision-Theoretic Planning for Playing Table Soccer, in: Proceedings of the 27th German Conference on Artificial Intelligence, 213-225, Ulm, Germany, 2004
5. "Drei Unternehmen mit dem Innovationspreis 2004 ausgezeichnet", Pressearchiv der SPD, 22.11.2004, <http://partei.spd.de/servlet/PB/menu/1011224/1042134.html>
6. Duncan Graham-Rowe, "Robots invade the table football pitch", New Scientist Print Edition, September 2004