

## Wir brauchen mehr Platz

### Raul Rojas über die schnellen Roboter in der Small Size League

Raul Rojas ist Professor für Informatik an der Freien Universität Berlin und Teamleiter der FU-Fighters, die in der Small Size League mehrmals die Vizeweltmeisterschaft gewonnen haben.



**FRAGE:** Herr Rojas, Sie haben vor einigen Jahren eine Tagung zur Geschichte des Computers organisiert. Daher möchte ich Sie zuerst fragen, ob Sie dem Jahr 1997 in der Computergeschichte besondere Bedeutung beimessen?

**ROJAS:** Ja, aber weniger wegen der ersten RoboCup-Weltmeisterschaft, die in dem Jahr stattfand. Wichtiger war das Schachturnier zwischen dem damaligen Weltmeister Gari Kasparow und dem Computer »Deep Blue«, das vom Computer gewonnen wurde. Schach war über viele Jahre ein leitendes Problem der Forschungen zu Künstlicher Intelligenz (KI). Im Jahr 1956 war noch vorausgesagt worden, dass Computer innerhalb von zehn Jahren in der Lage sein würden, den Schachweltmeister zu schlagen. Daraus sind dann über 40 Jahre geworden. Die Einlösung dieses Versprechens macht 1997 daher zu einem besonderen Jahr. Damit verlor das Schachspiel seine magische Anziehungskraft und die KI-Gemeinde konnte sich anderen Fragen zuwenden.

**FRAGE:** Ein anderes Ereignis, das in diesem Zusammenhang gelegentlich genannt wird, ist der Marsrover »Sojourner«, der in diesem Jahr als erster mobiler Roboter auf einem anderen Planeten seine Runden drehte.

**ROJAS:** Es wurde eben deutlich, wie auch durch den RoboCup, dass die spannenden Fragestellungen sich nicht einfach aus der Software ergeben, sondern aus mobilen Robotern, aus Maschinen, die mit der Welt

interagieren müssen. Man hatte eine Etappe abgeschlossen und orientierte sich in eine neue Richtung. Allerdings waren die Roboter bei der ersten RoboCup-WM noch sehr gewöhnungsbedürftig. Ich war selbst nicht dabei, habe aber auf Videoaufnahmen gesehen, wie langsam sie sich bewegten und wie schlecht ihre Orientierung war. Das hat sich seitdem radikal geändert.

FRAGE: War 1997 auch eine bestimmte Auffassung von Intelligenz an einen End- oder zumindest Wendepunkt gekommen?

ROJAS: Es gab immer zwei Varianten von Künstlicher Intelligenz: die symbolische KI und die konnektionistische KI. Beide befassen sich mit abstrakten Denkproblemen. Die symbolische KI etwa fragt: Wie kann ich aus tausenden von Alternativen die beste ermitteln? Ein typisches Problem der konnektionistischen KI dagegen lautet: Wie kann ich in verschiedenen Mustern ein Gesicht erkennen? Erst ab den siebziger Jahren setzte sich dann nach und nach die Erkenntnis durch, dass Intelligenz nicht quasi im Reagenzglas geschaffen werden kann, sondern sich entwickeln muss. Rodney Brooks schlug damals vor, Künstliche Intelligenz an den Bau von Robotern zu koppeln und zog damit viele Anfeindungen auf sich. Er brach dadurch ja mit der Tradition, die bis dahin Intelligenz von oben nach unten, sich an den Gesetzen der Logik orientierend, hatte erschaffen wollen. Diesem Top-Down-Ansatz setzte er den Bottom-Up-Ansatz entgegen: Ausgangspunkt sollte eine Maschine mit einfachen Reflexen sein, die sich von dieser Ausgangsbasis zu komplexeren Verhaltensweisen und schließlich zu Intelligenz hinentwickelt.

### Nach dem Computerschach

FRAGE: Dann hat der Sieg eines Computers über den Schachweltmeister wohl auch den Weg für diesen neuen Ansatz frei gemacht?

ROJAS: Er hat auf jeden Fall die KI-Gemeinde von einer Obsession befreit. Es gibt immer noch Computerschach-Turniere, aber es gehen nur noch wenige Leute hin. Die KI-Forscher haben sich anderen Gebieten zugewandt.

FRAGE: Dafür kommen immer mehr Zuschauer zu den RoboCup-Veranstaltungen. Wie haben Sie eigentlich vom RoboCup erfahren?

ROJAS: Anfang 1997 während einer Zugfahrt nach Halle, wo ich damals eine Professur hatte. Ein Kollege von der Freien Universität Berlin, der mit mir im Zug saß, erzählte mir von der Ausschreibung für den RoboCup. Wir vereinbarten, an der FU Berlin, zu der ich kurz darauf selber wechselte, ein Seminar dazu zu veranstalten. Als wir im Sommersemester 1998 dann unsere Seminare zu mobilen Agenten und Robotern anboten, dachten wir eigentlich daran, in der Simulationsliga des RoboCup teilzunehmen. Nachdem die Studenten aber Videoaufnahmen vom letzten Turnier gesehen hatten, wollten sie viel lieber mit realen Robotern arbeiten.

FRAGE: Das ist für reine Informatiker aber eine ganz schöne Herausforderung.

ROJAS: Ich habe Mathematik studiert. Mit elektrotechnischen Apparaten wie Motoren und Batterien hatte ich bis dahin nie zu tun gehabt. Aber angesichts der hohen Motivation der Studenten schien es mir den Versuch wert zu sein. Damals war auch noch ein Student dabei, der zuvor Elektrotechnik studiert hatte. Der sollte als Diplomarbeitenaufgabe den Steuerungsrechner bauen. Wir drückten ihm die Elektronik, die Kamera und was alles dazu gehörte in die Hand – und sahen ihn nie wieder.

FRAGE: Hätte das ein Roboter für die Middle Size League werden sollen?

ROJAS: Nein, für die Small Size League. Für eine andere Liga hätten wir nicht genug Geld gehabt. Nach diesem Reifall fand sich dann aber doch eine Gruppe von Studenten zusammen, die sich in ihren Fähigkeiten sehr gut ergänzten. Einer kannte sich gut mit Elektronik aus, ein anderer mit der Mechanik, es gab jemanden, der sehr gut Videokameras programmieren konnte, während wieder andere gute Ideen bei der Programmierung des Verhaltens der Roboter einbrachten. So konnten wir bereits 1999 an unserer ersten Weltmeisterschaft teilnehmen. Am Tag unserer Abreise hatten wir allerdings erst einen funktionierenden Roboter und hatten noch nie ein Spiel mit allen fünf Robotern durchgeführt. Das komplette Roboterteam hatte erst beim Eröffnungsspiel seine Premiere.

FRAGE: Wissen Sie noch, wie dieses Spiel ausgegangen ist?

ROJAS: Wir haben gewonnen. Unser Gegner waren die J-Stars, das Team von Hiroaki Kitano, dem damaligen Präsidenten der RoboCup Federation. Wir galten in unserer Gruppe als Außenseiter, Favoriten

waren die J-Stars und der damalige Asienmeister Lucky Star aus Singapur. Aber auch gegen Lucky Star konnten wir uns durchsetzen. Und so ging es weiter, bis wir im Endspiel auf Big Red von der Cornell University trafen. Das war das erste Mal, dass wir gegen Big Red verloren.

### Ein hoch verdientes Abendessen

FRAGE: Das sollte sich in den kommenden Jahren noch einige Male wiederholen ...

ROJAS: Ja, aber damals waren wir mit der Vizeweltmeisterschaft hochzufrieden. Vor dem Turnier hatte ich den Studenten versprochen, sie alle zum Essen einzuladen, wenn wir nur ein Spiel gewinnen würden. Mit viel mehr hatte ich überhaupt nicht gerechnet.

FRAGE: Was sind die Hauptmerkmale der Small Size League?

ROJAS: Wir hatten uns zum einen aus Kostengründen für diese Liga entschieden, aber auch weil die Roboter hier schneller sind. Eine Kamera über dem Spielfeld erfasst deren Positionen und gibt sie an den Steuerungsrechner, der sie wiederum an die Roboter funkt. Bei den Middle-Size-Robotern muss dagegen jeder einzelne mit Hilfe der bordeigenen Sensoren den Ball finden und die eigene Position bestimmen. Das kostet Zeit. Diese so genannte »global vision« ermöglicht in der Small Size League eine elegantere Spielweise. Bei den Kosten zeigt sich in letzter Zeit allerdings eine Tendenz zur Verbilligung bei den Middle-Size-Robotern und zur Verteuerung bei den Small-Size-Robotern. Das ist auch ein Grund, weswegen ich die Zukunft in der Verschmelzung beider Ligen sehe.

FRAGE: Wenn es darum geht, mit dem RoboCup Robotiktechnologien für vielfältige Anwendungsbereiche zu erproben, sollte man die Small Size League aber nicht vorschnell abschaffen. Die Konstellation mit der »global vision« entspricht ja zum Beispiel Verkehrsleitsystemen, die auf Informationen von Satellitennavigationssystemen zugreifen.

ROJAS: Die Roboter sind für das kleine Spielfeld aber einfach zu schnell geworden. Wir spielen jetzt auf einem 240 mal 280 Zentimeter großen Feld, das sich schon um etwa 20 Prozent gegenüber dem früheren Tischtennisplattenformat vergrößert hat. Aber es ist immer noch nicht groß genug. Bei der letzten Weltmeisterschaft in Fukuoka konn-



Small Size League in Melbourne 2000. In der Bildmitte ein automatischer Kommentator.

ten wir unsere Roboter schon nicht mehr auf Höchstgeschwindigkeit bringen. Andere Teams wiederum können sich mit sehr simplen Strategien in der Defensive behaupten, zum Beispiel indem sie eine Abwehrmauer aus drei Robotern vor dem Tor positionieren. Auf dem kleinen Feld gibt es daran kein Vorbeikommen. Solche Strategien, die ich auch in der Middle Size League beobachtet habe, dienen aber nicht der Entwicklung intelligenten Verhaltens. Beim Spiel mit kleineren Robotern auf einem größeren Feld bieten sich dafür ganz andere Möglichkeiten. Da hätten wir den nötigen Platz, um schnelle Spiele zu zeigen, Strategien zu entwickeln und wirkliches Kombinationsspiel zu erproben.

### Die Anforderungen verschärfen

FRAGE: Von der Programmierung her ist es aber doch ein grundlegender Unterschied, ob Sie mit »global vision« oder »local vision« arbeiten?

ROJAS: Natürlich. Aber ich will die Probleme auch nicht vereinfachen, im Gegenteil. Wir müssen beim RoboCup die Anforderungen von Jahr zu Jahr verschärfen. Schließlich betreiben wir keinen Volkssport und

wollen nicht in erster Linie das Publikum unterhalten wie bei »Robot Wars« und ähnlichen Veranstaltungen. Es geht auch nicht darum, möglichst viele teilnehmende Teams zu haben. Das könnten wir nur durch eine Herabsetzung der Maßstäbe erreichen. Besser ist es, wenn wir statt mit 200 nur mit 20 Teams spielen, dafür aber an wirklich relevanten Problemen arbeiten.

FRAGE: Werden die Roboter in der Small Size League zentral durch einen Rechner gesteuert? Oder gibt es für jeden einzelnen Roboter ein separates Programm?

ROJAS: So weit ich weiß, arbeiten alle Teams mit einer zentralen Steuerung. Man könnte aber auch jedem Roboter ein parallel arbeitendes Programm zuordnen und diese Programme untereinander kommunizieren lassen. Damit wären wir dichter an der Middle Size League. Dort agieren die Roboter auch jeder für sich, kommunizieren aber miteinander.

FRAGE: Da steht dann aber auch jeder einzelne Roboter vor der Aufgabe, aus den selbst wahrgenommenen und den mitgeteilten Daten ein Weltbild zu konstruieren.

ROJAS: Nein, in der Regel läuft es so, dass die Daten an den Rechner am Spielfeldrand übermittelt werden. Der setzt daraus das Weltmodell zusammen und sendet es zurück an die Roboter.

FRAGE: Ich wusste gar nicht, dass das zulässig ist. Dann ist der Computer ja wie ein Trainer, der vom Spielfeldrand Anweisungen gibt.

ROJAS: Viel mehr als ein Trainer. Es sind eigentlich Multirobotersysteme, die wie eine einzige Maschine agieren. Ich denke, das ist auch der Sinn der Sache. Bei realen Anwendungen spielt Kommunikation eine immer wichtigere Rolle und die Computer der Zukunft werden fast alle miteinander vernetzt sein.

### Reflexe statt Raffinesse

FRAGE: Wie werden in der Small Size League die Aktionen der Spieler ausgewählt? Rechnet der Computer verschiedene Kombinationen durch, ähnlich wie beim Schach?

ROJAS: Nein, so etwas machen wir gar nicht. Unsere Roboter handeln reaktiv. Sie verfügen nur über einfache Reflexe, mit denen sie auf bestimmte Situationen reagieren. Wenn ein Verteidiger zum Beispiel

den Ball vor sich sieht, wird er versuchen, ihn nach vorne zu schieben. Der Verteidiger auf der anderen Seite wird dann mit nach vorne gehen. Wenn der Spieler mit dem Ball am Ende des Spielfeldes angekommen ist, reagiert er darauf, indem er sich dreht und den Ball dadurch in die Mitte des Feldes zu befördern versucht. Im Idealfall rollt der Ball dann direkt vor den Verteidiger, der mitgegangen ist und diese Gelegenheit nun für einen Torschuss nutzt. Das sieht dann aus wie ein raffiniertes Kombinationsspiel, aber tatsächlich sind die einzelnen Roboter nur ihren Reflexen gefolgt. Die Kunst besteht darin, die Reflexe so zu programmieren, dass sich das Zusammenspiel von selbst daraus ergibt.

FRAGE: Wenn es darum geht, gezielt Pässe zu spielen, stoßen Sie rasch auf das erwähnte Problem des zu kleinen Spielfeldes. Dribbeln können die Small Size Roboter dagegen schon. Ich glaube, es war das Team Big Red, das auf die Idee kam, die Roboter vorne mit einer rotierenden Gummiwalze auszustatten, die den Ball in eine Drehbewegung zum Spieler hin versetzt.

ROJAS: Ich habe da gesplittene Gefühle, weil dieser Dribbler das Problem der Steuerung vereinfacht. Beim letzten Turnier setzten schon neun Teams diese Technik ein und alle folgten der gleichen Spielweise: Den Ball mit dem Dribbler annehmen und losfahren oder ihn gegebenenfalls auch erstmal verstecken. Ich glaube, wir sollten beim RoboCup keine spezifischen Fußballlösungen anstreben, sondern Lösungen, die sich auch in andere Bereiche übertragen lassen.

FRAGE: Dann deuten solche Lösungen aber auch auf Lücken in den Spielregeln hin.

ROJAS: Ein Reiz des RoboCup liegt nun mal im Wettbewerb. Aber weil die Leute gewinnen wollen, nutzen sie solche Lücken natürlich aus.

FRAGE: Das gilt wohl auch für das Philips Team, das mit einem extrem starken Schussapparat die German Open 2002 in der Middle Size League gewonnen hat.

ROJAS: Ja, das ist ein gutes Beispiel. Das Verhalten dieser Roboter bestand darin, den Ball anzunehmen, sich zu drehen und zu schießen, sobald das Tor in Sicht war, aus jeder Position und jedem Winkel. Das geht gegen den Geist des RoboCup. Bei dieser Strategie mussten die Roboter überhaupt nicht wissen, wo sie sich gerade befanden. Es war auch deutlich zu erkennen, dass sie es nicht wussten. Sie haben

nur nach etwas Blauem gesucht und geschossen, manchmal war es das Tor, manchmal aber auch nur die Jeans von einem Zuschauer. Damit haben sie zwar das Turnier gewonnen, aber wenig an Erkenntnis über die Konstruktion mobiler Roboter. Das ist für mich ein negatives Beispiel dafür, wohin es führt, wenn man sich zu stark am Wettbewerb orientiert. Um dem entgegenzuwirken, habe ich vorgeschlagen, einen Preis nicht nur für den Turniersieger auszusetzen, sondern auch für das Team, das den größten Erkenntnisgewinn erzielt hat.

FRAGE: Das ist natürlich schwieriger zu entscheiden.

ROJAS: Dafür braucht man eine Jury. Aber meistens gibt es darüber nicht so viele Diskussionen. Big Red hat zum Beispiel bei der WM 2001 nur den dritten Platz erreicht, hätte aus meiner Sicht aber den Preis für den schönsten Roboter verdient. Beim gleichen Turnier hatten wir in der Small Size League erstmals Roboter mit »local vision« spielen lassen. Damit konnten wir natürlich nicht gewinnen, aber es waren die ersten Roboter dieser Art, die überhaupt wettbewerbsfähig waren und sogar ein Unentschieden herausspielen konnten. Die hätte ich auch für preiswürdig gehalten, weil sie eine technologische Hürde überwunden haben.

FRAGE: Welche Rolle spielt der RoboCup in Ihrer Lehr- und Forschungstätigkeit? Gelingt es Ihnen da, Impulse aufzugreifen oder auch umgekehrt Erfahrungen aus anderen Bereichen in den RoboCup einzubringen?

ROJAS: Konkret hat der RoboCup bewirkt, dass wir an unserem Institut jetzt Robotikkurse und ein Robotiklabor haben. Ich halte eine Robotikvorlesung und es gibt Robotikpraktika, die sehr gut angenommen werden. Der RoboCup gibt da eine gute Richtung vor und wirkt sehr motivierend. Robotikkurse, die ich zum Beispiel in den USA gesehen habe, waren dagegen vergleichsweise trocken.

FRAGE: Wer sind die derzeit führenden Teams in der Small Size League?

ROJAS: Das sind im Wesentlichen drei: Big Red von der Cornell University, Lucky Star aus Singapur und wir, die FU Fighters. Diese drei Teams sind seit 1999 immer unter den ersten vier gewesen. Big Red ist dreimal Weltmeister geworden, Lucky Star einmal. Wir sind dreimal Vizeweltmeister geworden, haben Lucky Star zweimal geschlagen und zweimal gegen sie verloren.





Spiel in der Small-Size League, Fukuoka, 2002

**FRAGE:** Welches waren bisher für Sie die bewegendsten oder aufregendsten Momente beim RoboCup?

**ROJAS:** Das war vor allem unser zweites Spiel bei der Weltmeisterschaft 1999, als wir gegen Lucky Star gewannen. Das war für mich einfach unfassbar. Aufregend war auch das Endspiel, aber dieser erste Sieg über Lucky Star war sicherlich der größte Moment. Da haben wir gezeigt, dass wir eine gute Mannschaft sind.

**FRAGE:** Halten Sie es für realistisch, dass bis zum Jahr 2050 humanoide Roboter die Fußball-WM gegen Menschen gewinnen können?

**ROJAS:** Nein, das glaube ich nicht. Es ist in der Informatik sehr schwierig, weiter als bis zu zehn Jahre in die Zukunft zu schauen. Alles, was darüber hinausgeht, gilt als Science Fiction. Die Sachen, die man prognostiziert hat, treten nicht ein, dafür kommen Dinge, die niemand vorausgesehen hat. Wir wissen, dass die physikalische Grenze für die Produktion von Computerchips bis zum Jahr 2014 noch nicht erreicht wird. Mindestens bis dahin wird sich ihre Leistungsfähigkeit also wie bisher etwa alle 18 Monate verdoppeln. Aber was danach kommt, wissen wir nicht. Für den Bau humanoider Roboter, die sich so gut wie Menschen bewegen, brauchen wir außerdem noch ganz andere Kenntnisse. Das Energieproblem ist zum Beispiel noch völlig

ungelöst. Menschen haben ein verteiltes System der Energieproduktion, für Maschinen gibt es bislang nichts Vergleichbares. Auch Probleme der Wahrnehmung, Bewegung und Koordination müssen gelöst werden. Ich glaube, wir neigen dazu, das, was uns noch fehlt, zu unterschätzen. Die langfristige Zielsetzung hat für mich daher eher metaphorische Bedeutung. In unserem Team ist wahrscheinlich niemand, der bei der Arbeit an den konkreten Robotern das Jahr 2050 im Kopf hat.



Verfolgung des Geschehens in der Small Size League am Monitor.  
FU-Fighters (Berlin) im Finale Melbourne 2000.