

Parallele Datenverarbeitung hilft Robotik und Automation

**Der Trend geht zum Mehrprozessor-Personal-Computer auf dem Schreibtisch
/ Von Dominik Henrich**

KARLSRUHE. Das langfristige Ziel des Informatik-Anwendungsgebietes Robotik ist die Entwicklung von autonomen Systemen, welche eigenständig agieren und vorgegebene Ziele erfüllen können. Zu den Grundfähigkeiten, welche zur Unterstützung dieser Aktivitäten benötigt werden, gehören die Wahrnehmung, die Planung und die Ausführung. Sie ermöglichen einem Roboter auf Veränderungen der Umwelt zu reagieren und autonom zu handeln.

Bisher konnte der angestrebte Regelkreis der Robotik mit den Komponenten Sensorik, Planung und Aktuatorik für eine Umwelt mit sich bewegenden Hindernissen nicht geschlossen werden, da der Rechenaufwand in den jeweiligen Komponenten zu groß ist.

Damit werden die Zeitintervalle der einzelnen Regelungsdurchläufe zu groß, als daß eine sinnvolle Integration der Komponenten in einen Regelzyklus möglich wäre. Der Wunsch zur Integration ruft daher nach realen Rechnerarchitekturen mit bedeutenden Rechenleistungen.

Der Computerdurchsatz mit nur einem Zentralprozessor sind heute nur noch durch großen technologischen Aufwand zu beschleunigen, da man sich hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bereits heute den physikalischen Grenzen nähert. Solche Computer scheiden daher für einen längerfristigen Ansatz für rechenintensiven Problemstellungen aus.

Als Ausweg bietet sich der Einsatz von paralleler Datenverarbeitung an. Bei entsprechend komplexen Problemen ist mit Parallelrechnern durch Hinzunahme von weiteren Prozessoren potentiell eine beliebig große Leistungssteigerung zu erreichen. Dafür muß das Problem bewältigt werden, die vorhandene Parallelität effektiv auszunutzen.

Lösungsverfahren für verschiedene Anwendungen können unterschiedlich gut parallelisiert werden. Eine Leistungssteigerung ist allein durch Vergrößern der Prozessoranzahl nicht zu garantieren, da zum Beispiel gleichzeitig der Aufwand für die notwendige Kommunikation oder eine zusätzliche Datenverwaltung ansteigen kann.

Eine wichtige Aufgabe besteht nun darin, die bestehenden Problemlösungen in der Robotik so zu parallelisieren, daß sie für eine skalierbare Rechenparallelität geeignet sind. Zum Teil müssen für diese Probleme grundlegend neue Algorithmen entworfen werden, die die Parallelisierung überhaupt erst ermöglichen.

Durch den Einsatz von Rechenparallelität kann in der Robotik eine Verringerung der Laufzeiten bis hin zur Echtzeitfähigkeit erreicht werden. Damit wird ein weiterer Fortschritt in Richtung der Integration der bisher einzeln betrachteten Teilkomponenten der Robotik zu einem Regelkreis geschaffen. Wie kann nun die parallele Datenverarbeitung bei den Grundfähigkeiten eines Robotersystems (Wahrnehmung, Planung und Ausführung) angewendet werden?

In dem Bereich der *Wahrnehmung* ist vor allem die Auswertung von bildgebenden Sensoren interessant. Um von den Rohdaten zu der schließlich gewünschten Aussage - wie z.B. "Objekt erkannt", zu kommen - müssen mehrere Ebenen der Verarbeitung durchlaufen werden. Auf der untersten Ebene werden die einzelnen Bildelemente (Pixel) und ihre Nachbarn betrachtet. Die große Anzahl von Pixeln läßt sich unabhängig voneinander betrachten und damit sehr leicht parallel verarbeiten.

Für diese Verarbeitungsebene stehen schon spezielle Chips zur Verfügung. Die

mittlere Verarbeitungsebene reduziert dann die Bilddaten auf sogenannte Merkmale, wie zum Beispiel Linien und Flächen. Die Art der Parallelisierung ist hierbei stark von der Art des zu berechneten Merkmals abhängig. Auf der obersten Ebene gilt es schließlich mit den Merkmalen ein in der Datenbank gespeichertes Objekt zu erkennen. Dort können bekannte parallele Optimierungsverfahren zum Einsatz kommen.

Die *Planung* ermöglicht einem Roboter sich sicher in seiner Umgebung zu bewegen und die vorgegebenen Aufgaben zu erfüllen. Die für den Menschen einfache Aufgabe, sich zu bewegen ohne mit Hindernissen zu kollidieren, ist für Industrieroboter schwierig und rechenaufwendig. Einfach zu parallelisierende Ansätze wenden die zufallsbasierten Grundmechanismen der Evolution an (Selektion, Paarung, Mutation und Genaustausch). Sie verbessern dadurch schrittweise eine "Population" von möglichen Bewegungen des Roboters.

Auf parallelen Prozessoren können mehrere dieser Populationen gleichzeitig heranwachsen und eine wahrscheinlich gute Bewegung finden. Andere Ansätze garantieren dagegen, daß sie die optimale Bewegung des Roboterarms finden. Dazu betrachten sie alle möglichen Konfigurationen des Roboterarms.

Die immense Anzahl von Armstellungen wird durch Bildung von hierarchischen Strukturen wiederum stark reduziert, wobei die einzelnen Prozessoren jeweils zusammengehörende Strukturen sehr schnell parallel untersuchen können.

Bei der *Ausführung* der geplanten Aktionen durch den Roboter kommt es vor allem darauf an, daß vorgegebene Zeitbedingungen eingehalten werden. Während der Berechnung von Bewegungsbahnen werden für jeden Bahnpunkt immer die gleichen Rechenschritte ausgeführt. Um nun die Berechnung schnell genug durchzuführen, wird zunächst die Abhängigkeit der Rechenschritte untereinander analysiert. Die voneinander unabhängigen Schritte können dann von mehreren Prozessoren parallel ausgeführt

werden. Da bestimmte Berechnungen sehr häufig vorkommen, ist es u.U. rentabel dafür spezielle, sehr einfache Chips zu entwickeln.

Neben den einzelnen Komponenten ist es wichtig das parallele Gesamtsystem zu betrachten. Hierbei kann die parallele Datenverarbeitung auf verschiedenen Ebenen eingesetzt werden. Neben der parallelen Ansteuerung von mehreren Robotern ist auch die parallele Ansteuerung ihrer Hauptbestandteile (Fahrzeug, Manipulator, Greifer) möglich. Eine feinere Parallelisierungsebene betrachtet die beweglichen Teile (Armsegmente, Räder, Greiferbacken) für sich alleine.

Häufig werden dagegen nur die aufwendigsten Berechnungsverfahren parallelisiert. Eine andere Ebene der parallelen Datenverarbeitung sind die Regelungszyklen oder die vom Roboter zu erfüllenden Funktionen (Sehen, Fahren, Greifen). Insgesamt läßt sich ein autonomes Gesamtsystem auf einer Vielzahl von Ebenen parallelisieren.

Um die heutigen Probleme in Robotik und Automation aus der Industrie zu lösen, müssen die verschiedenen Anwendungsfelder der parallelen Datenverarbeitung ausgeschöpft werden. Daher hat sich das Institut für Prozeßrechentechnik und Robotik als anwendungsorientiertes Institut der Fakultät für Informatik an der Universität Karlsruhe sich die Aufgabe gestellt, paralleles Rechnen in Robotik und Automation zu untersuchen. Zur Umsetzung dieser Aufgabe wurde im Herbst 1996 am Institut ein Workstation-Cluster mit einem schnellen Kommunikations-Netzwerk in Betrieb genommen.

Um paralleles Rechnen auch für mittelständische Industriefirmen interessant zu machen dürfen gewisse Kostengrenzen nicht überschritten werden. Das Workstation-Cluster-Konzept dürfte für eine Vielzahl industrieller Aufgabenstellungen interessant sein.

Am Institut werden exemplarisch Anwendungen im Bereich der Automatisierung parallelisiert. Dazu gehört die zeitaufwendige Bewegungsplanung von Roboterarmen, die Einbausimulation in CAD-Systemen, die

Handhabung flexibler Objekte, die Bildverarbeitung und die medizinische Informatik.

Heute sind die massiv parallelen Rechner mit mehr als 1000 Prozessorelementen für klein- und mittelständische Unternehmen unerschwinglich. Doch andererseits haben die meisten Rechnerhersteller einen PC mit wenigen Prozessoren in ihrem Programm. Damit geht der Trend weg von den massiv parallelen Maschinen in den Rechenzentren zu Mehrprozessor-Computer auf dem Schreibtisch.

Der Autor dieses Beitrags, Dr. Dominik Henrich, ist Leiter der Forschungsgruppe "Parallele Robotik" an dem Institut für Prozeßrechentechnik und Robotik an der Universität Karlsruhe (Fakultät für Informatik, Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe, Fax: 0721-606740, <http://www.ipr.ira.uka.de/~dhenrich/>)