

Prozessorganisation in eingebetteten, ubiquitären Rechnersystemen

Dissertationsvorhaben Christian Decker

Moderne Kleinstrechnersysteme werden in unserem Alltag ubiquitär und treiben eine umfassende Informatisierung der Umwelt voran. Zukünftig werden diese vernetzten Geräte in ad-hoc Verbänden vielfältige Informationen erfassen und effizient verarbeiten. Eingebettete, ubiquitäre Rechnersysteme sind extremen Leistungsbeschränkungen etwa hinsichtlich Energie und Speicher unterworfen. Dennoch sind die zu verarbeitenden Prozesse der Datenakquise, -verarbeitung, -interpretation und -kommunikation sehr vielschichtig und weisen ein komplexes Zusammenwirken auf.

Die daraus resultierenden unterschiedlichen Anforderungen an die Organisation der Datenverarbeitung ist eines der grundlegenden Probleme ubiquitärer Rechnersysteme. Diese Arbeit zeigt, dass auf Kooperation und Kollaboration basierende Verfahren geeignete Instrumente der effizienten und anforderungsgerechten Datenverarbeitung in ubiquitären Rechnersystemen sind.

Aus der Literatur sind Koordinationsmechanismen bekannt, welche die Zusammenarbeit zwischen Prozessen steuern können. Meine Arbeit formuliert erstmals grundlegend die Inhalte und Funktionen von Kooperation und Kollaboration für ubiquitäre Rechnersysteme. Die allgemeine Modellierung und das darauf aufbauende technische Systemdesign sind die beiden Kernprobleme, mit denen sich die vorliegende Arbeit befasst:

- Kooperation und Kollaboration sind grundlegende Mechanismen arbeitsteilig operierender Prozesse. Es ist ein Modell zu finden, welches auf alle Prozessabläufe in den betrachteten ubiquitären Systemen anwendbar ist. Dieses Schema soll die kooperative und kollaborative Arbeitsweise der Rechnersysteme verallgemeinern.
- Ubiquitäre Rechnersysteme müssen verschiedene Prozessklassen unterstützen. Für jede Klasse sind geeignete Parameter als Steuerungsgrößen für die Prozesskooperation und -kollaboration zu identifizieren. Das Systemdesign des Rechnersystems ist so zu gestalten, dass diese Parameter zur Laufzeit beeinflussbar sind.

Zur Arbeit

Die Arbeit wendet die Mechanismen von Kooperation und Kollaboration für Prozesse in ubiquitären Rechnersystemen an. Die Prozessausführung ist in einen Regelkreis eingebettet, der die Eigenschaften von Kooperation und Kollaboration auf ein abstraktes Budget abbildet. Das Verfahren ist geschlossen mathematisch darstellbar und garantiert ein optimales Systemverhalten.

Für die einzelnen Prozessklassen nehmen Budget und Regelkreis jeweils eine spezifische Bedeutung an. Budgets wie Energievorrat und Füllstände von Datenpuffern werden während der Laufzeit durch Anpassung von jeweils spezifischen Parametern wie Prozessabfolge (Schedule), Kommunikationsdauer, Periodizität und Abschaltzyklen geregelt. Diese Separation der Laufzeiteigenschaften und Prozessfunktionen erlaubt es, von internen Abläufen und Zuständen der Prozesse zu abstrahieren. Im Ergebnis kann immer ein optimales kooperatives und kollaboratives Systemverhalten erreicht werden.

Implikationen für Prozessklassen

Für ubiquitäre Rechnersysteme wurden vier Prozessklassen identifiziert: Prozesse werden eingeteilt in periodische, aperiodische, Echtzeit- und verteilte Prozesse. Der Einsatz von ubiquitären Rechnersystemen bei minimaler Administration in unterschiedlichen Szenarien verlangt Garantien bei der Abarbeitung von Aufgaben in den Prozessklassen. Die begrenzten Rechnerressourcen erfordern zudem eine möglichst optimale Arbeitsweise, um Ressourcen wie Speicher, Prozessorzeit, Sensorik und Energiereserven bestmöglich zu nutzen. Dem Energiemanagement kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

Der regelungstechnische Ansatz für Kooperation und Kollaboration unterstützt jeweils spezifisch die Anforderungen in den Prozessklassen. Alle Reglerverfahren sind theoretisch hergeleitet, mit Simulationen verifiziert und exemplarisch durch Implementierung auf einer Sensorknotenplattform nachgewiesen.

Periodische Prozesse

Periodische Prozesse sind typisch für repetitive Aufgaben, z.B. das Auslesen von Sensorwerten. Hier ist die zeitnahe Informationsverarbeitung, sogenannte Datenechtzeit, entlang der Verwertungskette, wichtig. In meiner Arbeit werden Datenechtzeit-Parameter als Eingabe in den Regler für periodische Prozesse verwendet. Durch dieses kooperative Verfahren wird eine gleichmäßige zeitnahe Datenverarbeitung für alle Prozesse erreicht.

Aperiodische Prozesse

Unregelmäßig auftretende Ereignisse, z.B. Unterbrechungen, werden als aperiodische Prozesse dargestellt. Die Unvorhersehbarkeit des Auftretens zusammen mit den begrenzten Ressourcen, insbesondere den Puffern, führt deshalb zu einer Auslassung der Ereignisbehandlung. Das hier vorgestellte System ermöglicht durch Schätzung und Nachregelung eine Garantie bzw. Minimierung der Auslassungswahrscheinlichkeit zu geben.

Echtzeitprozesse

Echtzeitprozesse mit Zeitschranken können eingesetzt werden, um ein zeitlich gleichmäßiges Auslesen von Sensoren zu gewährleisten. Kollaboration zwischen diesen Prozessen ist notwendig, um den Datenfluss zwischen Echtzeit- und Nicht-Echtzeit, datenorientierten Prozessen zu koordinieren. Der hier vorgestellte Regler erreicht durch Periodenanpassung der Echtzeitprozesse eine gleichmäßige Datenpufferung zwischen Echtzeit- und datenorientierten Prozessen. Im Ergebnis wird der Datenfluss maximiert, was zur bestmöglichen Nutzung der Systemressourcen durch die Prozesse führt.

Verteilte Prozesse

Die Zusammenarbeit mehrerer lose gekoppelter Rechnersysteme über ein Netzwerk führt oft zu einer Dominierung von Systemen mit hoher Kommunikationsrate, falls keine a-priori Festlegung der Kommunikationsraten vorliegt. Der hier vorgestellte Regler flexibilisiert und optimiert die Zusammenarbeit durch die Einführung der Kommunikationszeitanpassung basierend auf den Zwischenpuffern der beteiligten Systeme. Im Ergebnis zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Durchsatzes und eine Reduktion der Latenz des Nachrichtentransportes sowie eine Egalisierung des Energieverbrauchs.

Dem Energiemanagement batteriebetriebener ubiquitäre Rechnersysteme kommt eine besondere Bedeutung zu. Methoden des Online- und Offline-profiling des Energieverbrauchs von Prozessen sind

für ubiquitäre Rechnersysteme wegen der beschränkten Speicherressourcen nicht anwendbar. Nicht beobachtbare interne Zustände und der Einsatz von peripheren Komponenten wie Sensoren und Aktuatoren, führen zu unzuverlässigen Vorhersagen. Der in dieser Arbeit eingeführte Kooperationsmechanismus regelt dynamisch die Länge der Abschaltzyklen, um die Reduktion des Energievorrates entlang einer Ideallinie des Energieverbrauchs zum Erreichen der geforderten Betriebsdauer zu ermöglichen.

Anwendung und Ergebnisse

Der Nutzen von Kooperations- und Kollaborationsmechanismen wurde in mehreren Bereichen ubiquitärer Rechnersysteme nachgewiesen:

1. Es wird ein neuartiges Betriebssystem vorgestellt, das Kooperation und Kollaboration für periodische Prozesse und Echtzeitprozesse ermöglicht. Das Betriebssystem minimiert global die Verzögerung bei der Datenverarbeitung für alle Prozesse. Gleichzeitig werden Ressourcen hochgradig effizient genutzt, da vorgehaltene Datenpuffer minimiert und die Systemauslastung maximiert werden können.
2. Die kooperative Regelung des Energievorrates der Rechnersysteme gewährleistet die optimale Energienutzung aller Prozesse. Das System erreicht bestmöglichst eine vorgegebene Betriebsdauer. Umfangreiche Messreihen bestätigen experimentell die vorhergesagten Eigenschaften.
3. Kooperation und Kollaboration führen zu außergewöhnlichen Leistungssteigerungen verteilter und aperiodischer Prozesse. Simulationen zeigen für verteilte Prozesse ohne explizite Periodensynchronisation Leistungssteigerungen bis Faktor 10 für den Durchsatz und eine Verringerung der Latenzzeiten von ca. 30%. Aperiodische Prozesse maximieren durch Kooperation die Rate der Ereignisbehandlung.

Die Arbeit ist praxisrelevant und bietet Lösungen für grundlegende Probleme beim Einsatz ubiquitärer Rechnersysteme. In den Anwendungen Collaborative Business Item (CoBIs) und electronic seal (eSeal) werden sowohl die verteilte Prozessorganisation wie auch das Energiemanagement unmittelbar durch Kooperation und Kollaboration adressiert. Es konnten über 40 Publikationen international veröffentlicht werden.