

Martin Bauer, Lamine Jendoubi, Kurt Rothermel, Engelbert Westkämper

Kurzfassung

Die rasch fortschreitende Entwicklung kleiner mobiler Geräte sowie mit eingebetteter Sensorik und Aktorik versehener Alltagsgegenstände ermöglicht eine Vielzahl neuartiger Anwendungen. Die Fähigkeit zur drahtlosen Kommunikation und zur Positionsbestimmung bereitet die Basis lokations- und kontextbezogener Systeme, die seit einigen Jahren im Projekt Nexus an der Universität Stuttgart untersucht werden. Der Einsatz dieser Technologien im produktionstechnischem Umfeld, z.B. der hier vorgestellten dezentralen Betriebsmittelverwaltung, eröffnet dabei ein vollkommen neues Anwendungsgebiet.

Stichworte

Smart Factory, Ubiquitous Computing, Räumliche Umgebungsmodelle

EINLEITUNG

Die Entwicklung miniaturisierter Computer- und Sensortechnik, die in Alltagsgegenstände integriert werden können, stellt die technologische Basis dar, um Weisers Vision des „Ubiquitous Computing“ [1] Wirklichkeit werden zu lassen. Dabei verschwinden die Computer in der Umgebung. Somit sind überall Computer verfügbar und werden trotzdem, oder gerade deswegen, nicht mehr als solche wahrgenommen. Es kommt zu einer Verschmelzung von realer und virtueller Welt.

Um die Benutzer in einer solchen Umgebung unterstützen zu können, benötigen Softwareanwendungen ein detailliertes Wissen über den aktuellen Kontext, z.B. den Zustand von Geräten. Dieser Kontext kann in Form eines Umgebungsmodells zur Verfügung gestellt werden. Man spricht daher auch von kontextbezogenen (context-aware) Anwendungen. Das Projekt Nexus [2] an der Universität Stuttgart beschäftigt sich seit einigen Jahren mit Konzepten und Methoden zur Erstellung und Verwaltung von Umgebungsmodellen. Im Januar 2003 wurde dazu ein interdisziplinärer Sonderforschungsbereich mit mehr als 30 Forschern eingerichtet. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs wird eine Plattform entwickelt, die es einer Vielzahl verschiedener Anwendungen erlaubt, gemeinsam Umgebungsmodelle zu nutzen.

Während viele prototypische „Ubiquitous Computing“-Anwendungen im Freizeit-, Haushalts- oder Bürobereich angesiedelt sind, sehen wir außerdem ein großes Potenzial im produktionstechnischen Umfeld. Daher wird im Rahmen des Projekts Nexus eine „Smart Factory“-Anwendung entwickelt, die im Folgenden näher vorgestellt werden soll.

Der Artikel ist wie folgt strukturiert: Zunächst sollen die wichtigsten technologischen Grundlagen eingeführt werden. Nach der allgemeinen Einführung der Nexus-Plattform wird detaillierter auf den Anwendungsbereich „Smart Factory“ eingegangen, bevor der Artikel mit einer kurzen Zusammenfassung schließt.

TECHNOLOGISCHE GRUNDLAGEN

Drahtlose Kommunikation

Drahtlose Kommunikation stellt eine Grundvoraussetzung dar, damit mobile Geräte miteinander bzw. mit einer Infrastruktur kommunizieren können. Zu unterscheiden sind hier Mobilfunktechnologien wie GSM, HSCSD, GPRS und aktuell UMTS, die eine breite geographische Abdeckung, aber geringe (GSM 9,6 kBit/s) bis mittlere Übertragungsraten (UMTS, theoretisch bis maximal 2 MBit/s) bieten. Höhere Übertragungsraten (aktuell zwischen 11 und 54 Mbit/s) haben drahtlose Local Area Networks (WLANs), die aber meist nur in lokal sehr eingeschränkten Bereichen verfügbar sind. Für lokale ad hoc

Kommunikation zwischen mobilen Geräten spielt auch der Bluetooth Standard (maximal 1 Mbit/s) eine wichtige Rolle.

Lokationsbestimmung

Positionsinformationen sind essentiell notwendig um lokationsbezogene Anfragen zu stellen. Generell können drei Positionierungsmethoden [3] unterschieden werden:

- **Triangulation & Trilateration:** Diese Methode nutzt die Eigenschaften geometrischer Formen, um die Position eines Gegenstandes zu errechnen. So kann über die Laufzeit der Signale von mehreren sichtbaren Sattelliten (GPS) oder empfangbaren Mobilfunk- bzw. WLAN-Antennen die eigene Position berechnet werden.
- **Szenenanalyse:** Objektmaße in der Ferne entsprechen nicht ihren realen geometrischen Abmessungen. Man kann daraus die Gegenstandposition errechnen, indem man die relativen Maße bezüglich der Umgebung berücksichtigt.
- **Proximierungsprinzip:** Physikalische Phänomene haben eine begrenzte Ausdehnung, wodurch man schließen kann, wann ein Objekt nah oder fern ist. So wird über die Signalstärke eines Senders auch eine Aussage über die Distanz zum Empfänger möglich.

Je nach Positionierungsmethode können verschiedene Genauigkeiten erreicht werden. GPS erreicht im Außenbereich eine Genauigkeit von 5-10 Meter, im Innenraum gibt es zum einen Systeme, die eine raumgenaue Positionierung erlauben, zum anderen sehr genaue Systeme, z.B. auf Basis von Ultraschalltechnologie, mit denen eine Genauigkeit im Zentimeter- bis Millimeter-Bereich möglich ist.

Identifikation

Neben den Positionsdaten spielt die Erfassung – also die Identifikation – der Objekte eine entscheidende Rolle. Hier dominieren derzeit industriell zwei Verfahren:

- **Optische Verfahren,** wie etwa Identifikation mittels Barcodes, Laserscanning oder Formenerkennung durch Kamerasysteme,
- **Transpondertechnologien** zur sogenannten Radio Frequency Identification (RFID)

Die Miniaturisierung von RFID Einheiten und ihr steigender Marktanteil führten zu kostengünstigen Lösungen. Der entscheidende Vorteil dieser Systeme liegt darin, auch Gegenstände ohne Sichtlinie zwischen Leser und Objekt identifizieren zu können. Zudem können RFIDs Informationen speichern und bieten so eine ideale Basis dynamische Informationen Objekt gebunden zu verwalten. RFID Einheiten sind in mannigfaltigen Formen erhältlich und haben, je nach Einsatzort, Abmessungen zwischen 100 mm³ bis hin zu Folien mit Dicken unter einem Millimeter. Niederfrequenzsysteme zwischen 30 und 500 KHz, verlangen nicht nach speziellen Materialien oder Schaltungen, was sie kostengünstig in der Produktion werden lässt. Es sind jedoch auch Hochfrequenzsysteme zwischen 850 - 950 MHz und 2.4 - 2.5 GHz oder sogar darüber erhältlich, welche hohe Interaktionsabstände von über 30 m sowie kurze Leselatenzen bieten.

DIE NEXUS-PLATTFORM

Nachdem im vorherigen Abschnitt einige wesentliche technologische Grundlagen vorgestellt wurden, welche kontextbezogene Anwendungen erst ermöglichen, soll in diesem Abschnitt die Nexus-Plattform vorgestellt werden, die Informationen in integrierter Form den Anwendungen zur Verfügung stellt.

Jede kontextbezogene Anwendung braucht ein räumliches Modell ihrer Umgebung. Dieses Modell kann sehr einfach und implizit in der Anwendungslogik integriert sein. Je komplexer die Anwendung wird, desto komplexer muss auch das zugrundeliegende Modell sein und desto teurer wird die Erstellung. So mag eine Navigationsanwendung für Fahrzeuge noch mit einem relativ einfachen Straßenmodell auskommen. Wenn dagegen die Navigation für Blinde

unterstützt werden soll, ist ein sehr genaues und vor allem aktuelles Modell nötig, das z.B. auch aktuelle Baustellen enthält. Daher liegt es nahe, ein explizites Umgebungsmodell zur Verfügung zu stellen, das von verschiedenen Anwendungen genutzt werden kann. Mittels dieses Umgebungsmodells wird insbesondere auch die Interoperabilität zwischen den Anwendungen erleichtert.

Im Nexus-Projekt wird dazu eine Plattform entwickelt, die es Anwendungen ermöglicht, in einheitlicher Weise auf Umgebungsmodelle zuzugreifen. Die Annahme, dass es ein einziges, homogenes Modell geben wird, ist aber unrealistisch. Niemand wird in der Lage sein, die ganze Welt vollständig und im Detail zu modellieren. Vielmehr wird es viele Teilmodelle geben, die sich in Detaillierungsgrad und abgedecktem geographischen Bereich unterscheiden. Diese Teilmodelle werden durch eine Föderationskomponente integriert, so dass die Anwendungen eine weitgehend homogenisierte Sicht auf ihre Umgebung bekommen, wobei die Informationen aus allen verfügbaren Umgebungsmodellen berücksichtigt wurden. In Bild 1 wird dies verdeutlicht. Anwendungen fragen die Föderation an, die dann alle Server ermittelt, auf denen relevante Umgebungsmodellldaten liegen. Diese werden jeweils einzeln angefragt, die zurückgelieferte Information wird integriert und an die Anwendungen zurückgegeben.

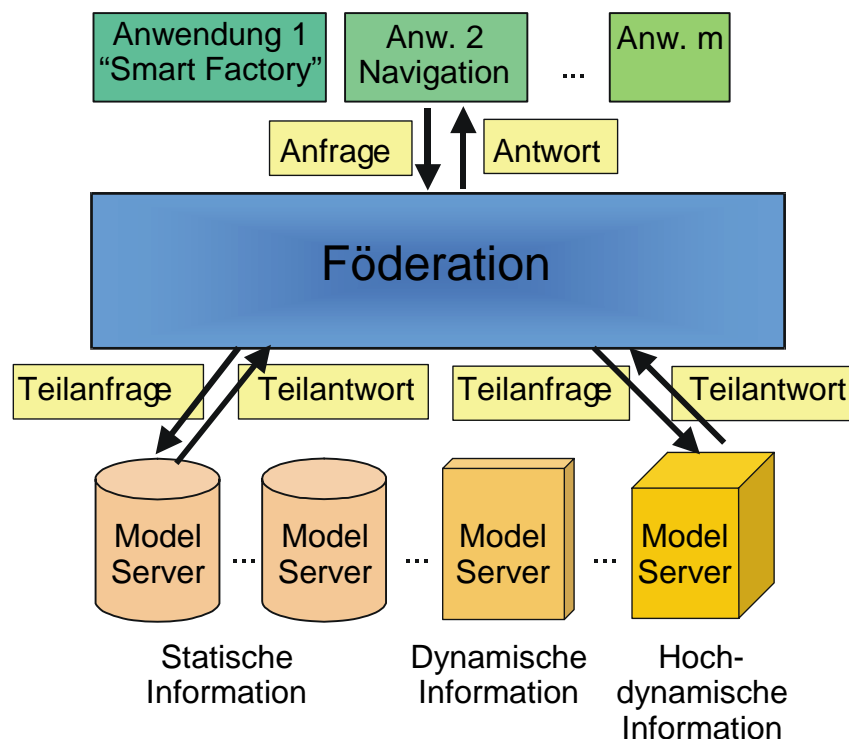


Bild 1: Nexus Plattform

Auf der Basis von föderierten Umgebungsmodellen wird eine Vielzahl von neuartigen Anwendungen sowohl im Innenraum, als auch im Außenraum möglich. Die Szenarien reichen von Touristenführern [4] über Navigations- und Flottenmanagementanwendungen zu speziell ausgestatteten „Smart Environments“, in denen der Benutzer direkt mit seiner Umgebung interagieren kann [5] oder in der die Umgebung sich an die gegebene Situation anpassen kann.

Die Modelldaten unterscheiden sich darüber hinaus stark in Größe und Dynamik. So kann das Umgebungsmodell einerseits eine komplexe Modellierung einer Werkzeugmaschine in Form eines CAD-Modells enthalten, also eine sehr statische Information, andererseits auch dynamische Informationen, wie ein Werkstück, das durch Sensoren ermittelt wird. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristiken können diese Informationen auf verschiedenen Servern gespeichert werden, die hierfür jeweils optimal geeignet sind. Für die Anwendung ist diese

Aufteilung des Umgebungsmodells vollständig transparent, da die Informationen durch die Föderationskomponente bei Bedarf integriert werden.

Im Nexus-Projekt soll eine Anwendung im produktionstechnischen Umfeld näher untersucht und prototypisch implementiert werden. Hier soll der Fokus zunächst auf dem Betriebsmittelmanagement in einer „Smart Factory“ liegen, was im nächsten Abschnitt näher betrachtet wird. Hierfür reicht zunächst ein räumlich eingeschränkteres Modell aus, dessen Daten sich aber sehr wohl in ihrer Dynamik und Größe unterscheiden werden und daher auf verschiedenen Servern gespeichert werden. In späteren Phasen ist aber auch an die Ausdehnung auf weitere Bereiche gedacht, die dann auch Zulieferer, Kunden und die zugehörige Logistik mit einschließen kann und für diese Integration werden globale Modelle benötigt.

SMART FACTORY

Problematik heutiger Betriebsmittelsysteme

Kürzer werdende Planungshorizonte üben einen steigenden Druck auf die Produktionsplanung aus. Gleichzeitig können viele Herstellungsprozesse nicht auf einen spezifischen Arbeitsplatz festgelegt werden, sondern entstehen erst durch das komplexe Zusammenspiel vieler Peripheriesysteme. Folglich ist das Management, der für die Produktion benötigten Betriebsmittel (Transportsysteme, Lager, Maschinen und Messinstrumente etc.) und die Kontrolle ihres Verbrauches ein zentrales Element des Fabrikmanagements, mit hohen Auswirkungen auf die Produktivität und Flexibilität.

Schon heute erreichen statische Betriebsmittelverwaltungsprogramme Einsparungen von ca. 30% der eingesetzten Werkzeuge. Jedoch führt eine unzureichende Versorgung mit Betriebsmitteln in produzierenden Unternehmen letzten Endes zu Gewinnverlusten.

Werkzeugwarenbestände sind bezüglich Anzahl und Art nicht genau bekannt, was dazu führt, dass Werkzeuglager aufgrund möglicher Lieferschwierigkeiten zu groß dimensioniert werden. Ein Geschäftsbericht der Betriebsmittelverwaltung gehört im Allgemeinen nicht zum Standard, so dass der Zustand einiger Betriebsmittel innerhalb des Fertigungssystems unbekannt bleibt und folglich eine Über- bzw. Unterdeckung der Lagerbestände wahrscheinlich ist.

So werden für die gleiche Fertigungsaufgabe unterschiedliche Werkzeuge benutzt, was letzten Endes zu differenten Bearbeitungsergebnissen führen muss. Es kommt in diesem Zusammenhang vor, dass Werkzeuge nachbestellt werden, obwohl die Fertigung des relevanten Produktes bereits annulliert wurde. Prozess- bzw. produktspezifische Werkzeuge erhöhen weiter die Komplexität der Betriebsmittelverwaltung. Gegen den Trend der Wissenschaft hin zu dezentralen, intelligenten Kommunikationsstrukturen bildet in heutigen Produktionsbetrieben die zentralisierte Betriebsmittelverwaltung den Standard. Produktionen und dazugehörige Betriebsmittel werden durch zentrale Leitstände organisiert, welche sich Aufgaben wie Logistik und Lagerbestandsanalysen etc. teilen.

Betriebsmittelmanagement in der Smart Factory

Die beschriebenen Symptome zeigen, dass zentralisierte Strukturen nicht in der Lage sind, die flexiblen, dynamischen Betriebsmittelzustände und Prozesse heutiger Produktionen zu handhaben.

Um zuverlässige Informationen über Zustandsdaten der Betriebsmittel zu erhalten, wird eine Umgebung geschaffen, welche Informationen, sobald diese erforderlich sind, an die entsprechende Stellen liefert, in der erforderlichen Tiefe und dieses ohne Beschränkungen der drahtgebundenen Kommunikation oder zusätzlichen organisatorischen Aufwand der Mitarbeiter. Im Folgenden werden generell zwei Arten von Betriebsmitteln unterschieden, unbewegliche (stationäre) und bewegliche (mobile) Betriebsmittel. Bewegliche Betriebsmittel können wiederum in niedrigmobile und hochmobile Objekte unterteilt werden. Als

niedrigmobile Einheit werden solche definiert, welche ihre Position während der Lebensdauer nicht häufig ändern, aber generell die Fähigkeit dazu besitzen, z.B. NC-Maschinen, Fertigungszentren etc. In hohem Grade bewegliche Betriebsmittel sind z.B. tragbare Vorrichtungen und Werkzeuge. Zustand und Lage verändern sich dynamisch und lassen Schätzungen über Ort und Zustand damit nach kurzer Zeit beliebig ungenau werden. Diese Betriebsmittel bereiten demnach die größten Planungsprobleme und sind damit Hauptursache der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Symptome.

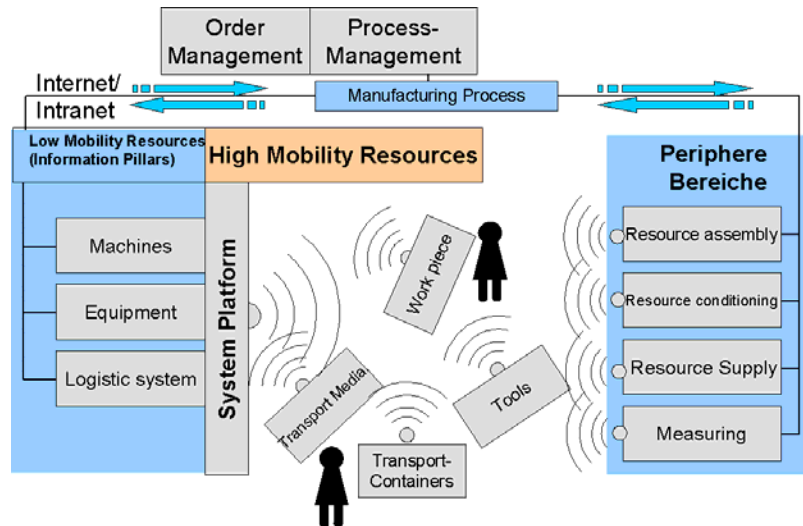


Bild 2 „Smartes“ Betriebsmittelmanagement

Um das Ziel einer in hohem Grade flexiblen parallelen Produktivität zu erreichen, wird die reaktive in eine aktive Betriebsmittelverwaltung umgewandelt (Bild 2). Dies heißt Daten, welche direkt den Werkzeugfluss innerhalb des Unternehmens betreffen, müssen verwendet werden um den zukünftig Bedarf zu prognostizieren.

Dabei werden die benötigten Datenbestände der Dienste durch die Nexus Föderation zusammengeführt und den Anwendungen verfügbar gemacht. Über eine Anfrage an die Föderation kann sich ein Mitarbeiter schnell einen Überblick über die für ihn relevanten Werkzeugdaten verschaffen. Position und Zustand der Betriebsmittel werden über integrierte Sensorik erfasst, welche dann in ein Gesamtbild zusammengeführt und an den Benutzer weitergeleitet werden.

Hinzu kommt die Möglichkeit Simulationsmodelle effizienter anzupassen. Betrachtet man heutige Fabrikmodelle fällt auf, dass aufgrund des hohen Aufwandes versäumt wird, diese regelmäßig bzgl. ihrer Konfiguration zu aktualisieren, was zu Ineffizienzen führt. Mittels eines sich selbst modifizierenden Umgebungsmodells wird diese Aufgabe automatisiert und stellt so der Planung stets aktuelle Daten zur Verfügung [6].

Durch zusätzliche Einbeziehung der Produktions- und Arbeitspläne hat dies einen direkten Einfluss auf Arbeitseinsatz und Lagervolumen der Werkzeuge. Die ehemalige Zentralsteuerung löst sich in dezentrale Strukturen auf, wobei die Dienste in der Lage sind Informationen zu speichern und über kabellosen Datentransfer auf Partnermodule und -objekte zu übertragen. Selbstverständlich ist es heute technisch und ökonomisch noch nicht möglich große Menge an Information und Verarbeitungsleistung auf einem Werkzeug zu speichern. Die Betriebsmittelverwaltung wird durch die angesprochenen Innovationen in die Lage gebracht sich selbst zu organisieren und geeignete Benutzerschnittstellen anzubieten. Dadurch werden menschliche Arbeitskräfte entlastet und in die Lage versetzt, sich auf produktive Kernprozesse zu konzentrieren.

ZUSAMMENFASSUNG

Das „Ubiquitous Computing“ Paradigma ermöglicht eine Vielzahl neuartiger Anwendungen. Die dafür benötigten Kontextinformationen können in Form von Umgebungsmodellen zur Verfügung gestellt werden, deren Erstellung, Verwaltung und Management im Nexus-Projekt an der Universität Stuttgart erforscht wird. Das Anwendungsgebiet „Smart Factory“ hat ein hohes Potenzial, da auf Basis der entwickelten technologischen Grundlagen die Dynamik einer modernen Fabrik erfasst werden kann. So können Prozesse optimiert und Entscheidungen aufgrund der tatsächlichen aktuellen Situation getroffen werden. Dadurch wird die Produktivität weiter erhöht und die Kosten gesenkt.

LITERATUR

- [1] Weiser, M: The Computer for the 21st century;. In: Scientific American 1993, S. 94-100.
- [2] Hohl, F., Kubach, U., Leonhardi, A., Rothermel, K., Schwehm, M.: Next Century Challenges: Nexus - An Open Global Infrastructure for Spatial-Aware Applications. In: Proc. of MobiCom 1999, ACM Press, S. 249-255.
- [3] Hazas, M., Ward, A.: A Novel Broadband Ultra Sonic Location System. In: Proc. of Ubicomp 2002, Springer Verlag, S. 264-280.
- [4] Cheverst, K., Davies, N., Mitchell, K., Friday, A., Efstratiou, C.: Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences. In: Proc. of CHI 2000, Amsterdam, 2000.
- [5] Addlesee, M., Curwen, R., Hodges, S., Newman, J., Steggle, P., Ward, A., Hopper, A.: Implementing a Sentient Computing System. In: IEEE Computer Magazine, 34 (2001) 8, S. 50-56.
- [6] Westkämper, E.: Reorganisation des Werkzeugwesens. In: Industrie Anzeiger 1999, S. 1700-1703.

Die Autoren werden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 627 – „Nexus – Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme“ durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Martin Bauer wird außerdem von Microsoft Research, Cambridge, im Rahmen des Kooperationsprojekts „Event Management for Mobile Users“ gefördert.

Title

Foundations of Ubiquitous Computing Systems and their Application in a “Smart Factory”

Abstract

The proliferation of small mobile devices and everyday objects with integrated sensors and actuators provides the basis for a large variety of novel applications. With capabilities for wireless communication and determining the own position, these devices are ideally suited for location- and context-aware systems that are the focus of research in the Nexus project at the University of Stuttgart. The use of these technologies in a factory environment, e.g. a decentralized manufacturing resource management system as presented in this article, opens up a totally new application area.

Keywords

Smart Factory, Ubiquitous Computing, Spatial World Models

Kurzbiographien

Dipl.-Inf. Martin Bauer

Studium der Informatik an der Universität Stuttgart (Diplom 2000) und der University of Oregon (Master of Science 1998). Seit September 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Parallele und Verteilte Systeme an der Universität Stuttgart. Forschungsinteressen: Verteilte Ereignis-basierte Systeme, Kontext-bezogene Systeme und räumliche Modelle für Kontext-bezogene Anwendungen.

Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart, Universitätsstraße 38, D-70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. Lamine Jendoubi

Studium des Maschinenwesens an der Universität Stuttgart mit dem Schwerpunkte der Automatisierungstechnik und Betriebsorganisation. Seit 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF). Seine Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf das Life Cycle Management, Wissensmanagement in der Produktion und ubiquitäre Computersysteme zur Unterstützung der Fertigungsorganisation.

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Universität Stuttgart, Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart

Prof. Dr. Kurt Rothermel

Diplom und Promotion im Fach Informatik an der Universität Stuttgart; 1986-87 Forschungstätigkeit am IBM Almaden Research Center in San Jose, USA. 1987-90 Tätigkeit bei der IBM Deutschland. Seit 1991 Professor für das Fachgebiet Informatik am Institut für Parallele und Verteilte Systeme an der Universität Stuttgart. Hauptarbeitsgebiete: Verteilte Systeme, Kommunikationsnetze und Mobile Computing.

Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart, Universitätsstraße 38, D-70569 Stuttgart

Prof. Dr. Engelbert Westkämper

Promotion im Fach Maschinenwesen an der RWTH Aachen, 1977. Tätigkeiten im deutschen Luftfahrt- und Elektroniksektor. Direktor des Institutes für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig 1988-1995. Seit 1995 Direktor des Institutes für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) und Geschäftsführender Leiter des Fraunhofer-Institutes für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart.

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Universität Stuttgart, Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart