

CorA: Eine Koordinationsarchitektur für Kollaboration unter mobilen Benutzern

Manfred Bortenschlager

Salzburg Research
Jakob Haringer Strasse 5/III, 5020 Salzburg
manfred.bortenschlager@salzburgresearch.at

Abstract: Trotz wesentlicher Fortschritte in vielen Bereichen der Informationstechnologie (IT) sind die gegenwärtigen Unterstützungsmöglichkeiten für kollaborative Tätigkeiten mobiler Benutzer unzureichend. Eine adäquatere Unterstützung würde allerdings die Prozesse – beispielsweise bei der Kollaboration von mobilen Einsatzkräften im Notfallmanagement – wesentlich verbessern. Dabei ist Kollaboration maßgeblich von der Koordination abhängig. In diesem Beitrag wird der Ansatz vorgestellt, Mechanismen aus der Koordinationstheorie explizit in einer IT-Infrastruktur zur Unterstützung der Kollaboration mobiler Benutzer umzusetzen. Es wird gezeigt, wie sowohl bestehende Prozesse verbessert, als auch neue Möglichkeiten eröffnet werden können.

1 IT Unterstützung für Kollaboration mobiler Benutzer

Jüngste Entwicklungen und Fortschritte in verschiedenen technologischen Bereichen wie Hardware, Kommunikationstechnologie, Architekturen für mobile Informationssysteme, eingebettete Systeme, Sensortechnologie und Mensch-Maschine-Interaktion erlauben mehr und mehr ein allgegenwärtiges Anbieten von Informationen und Diensten [Gar08]. Dies resultiert in zahlreichen Möglichkeiten, den Zugang zu Informationen und Diensten zu verbessern und zu vereinfachen – zu jeder Zeit, an jedem Ort und auf jegliche Art und Weise. Vor allem sollte dieser Zugang nicht nur in statischen Umgebungen ermöglicht werden, sondern sollte Mobilität unterstützen. In vielen Anwendungsfällen, in denen Benutzer mobil sind (zum Beispiel im Notfallmanagement), ist das Anbieten und der Austausch von Informationen vor Ort und zu jedem beliebigen Zeitpunkt wesentlich, um Benutzer in ihren kollaborativen Tätigkeiten kontextabhängig dienlich sein zu können.

Unter *Kollaboration* sind gemeinsame Aktivitäten von mobilen Benutzern mit der Intention, gemeinsame Ziele effektiver zu erreichen, zu verstehen. Unter *pervasiven Umgebungen* verstehen wir die Konfiguration an Benutzern und deren mobiles Umfeld, welches ihnen Bewegungsfreiheit im Raum erlaubt. Durch entsprechende IT-Systeme (Pervasive Computing Systeme) können Menschen in ihren kollaborativen Aktivitäten in pervasiven Umgebungen unterstützt werden [Sat01]. Die Herausforderung von derartigen Systemen

besteht darin, Benutzern ein vielfältiges Set an Möglichkeiten und Diensten mit möglichst gleich bleibender Qualität zu bieten, sodass ständige Ortswechsel (=Mobilität) idealerweise keinen Einfluss auf die Arbeitsweise haben [Kle00].

Koordination ist ein Schlüsselement bei der Kollaboration [CS99, Kle96, BS00]. Nach [Kle96] kann erst durch koordinierte Aktivitäten Kollaboration verbessert werden. Die *Koordinations-theorie* nach Malone und Crowston [MC94] definiert Koordination als das ideale Auflösen von Abhängigkeiten. Es gibt grundsätzlich fünf Koordinationsentitäten: Akteure, Aktivitäten, Ressourcen bzw. Einschränkungen, Ziele und Abhängigkeiten. Die Arbeiten im Bereich der Koordinationstheorie beschäftigen sich mit dem Entwurf und der Formulierung von Konzepten und Mechanismen, um Koordinationsaktivitäten zu optimieren. Unter Berücksichtigung der Koordination der fünf Entitäten können Kollaborationsapplikationen wesentlich verbessert werden. Die in dieser Arbeit untersuchte Hypothese wurde daher so formuliert, dass *durch eine explizite Einbindung der Koordinationstheorie in die Entwicklung von kollaborativen Anwendungen für pervasive Umgebungen die Effektivität und Effizienz von mobilen Benutzern verbessert werden kann*.

Dieser Beitrag beschreibt die Methodik zur Verifikation dieser Hypothese und gibt einen Überblick über die Forschungsergebnisse. Im Detail werden die resultierende Referenzarchitektur für ein Koordinationssystem für pervasive Umgebungen (CorA), deren Anwendung im konkreten Fall von Kollaboration im Notfallmanagement, die Evaluierung auf mehreren Ebenen (System-, Entwickler- und Benutzer-Ebene) und künftige Initiativen vorgestellt.

2 Die Koordinationsarchitektur CorA

Die Entscheidungen für das Design der Koordinationsarchitektur CorA basierten auf einer Anforderungsanalyse, bei der mehrere anerkannte Szenarien mit mobilen Benutzern in pervasiven Umgebungen untersucht wurden¹. Als Ergebnis wurde die Funktionalität, die CorA bieten soll, entsprechend sechs Abstraktionsschichten modelliert, die in Abbildung 1 visualisiert sind. Zwischen diesen Schichten werden Programmierschnittstellen (Application Programming Interfaces, API) zur Verfügung gestellt. Die folgende Auflistung gibt Details zu den jeweiligen Schichten.

Factual Data Schicht

Eine wichtige Anforderung an pervasive Computing Systeme ist die *physische Integration* [KF02]. Diese beschreibt technische Mechanismen für eine nützliche Integration der virtuellen Welt (wie Computertechnologie oder das Internet) in die reale, physische Welt. Die relevanten Daten aus beiden Welten werden in CorA als *facts* bezeichnet und in dieser Schicht verarbeitet (z.B. Verarbeitung von Sensordaten).

¹Für Details zu dieser Untersuchung soll auf [BCRZ08] verwiesen werden.

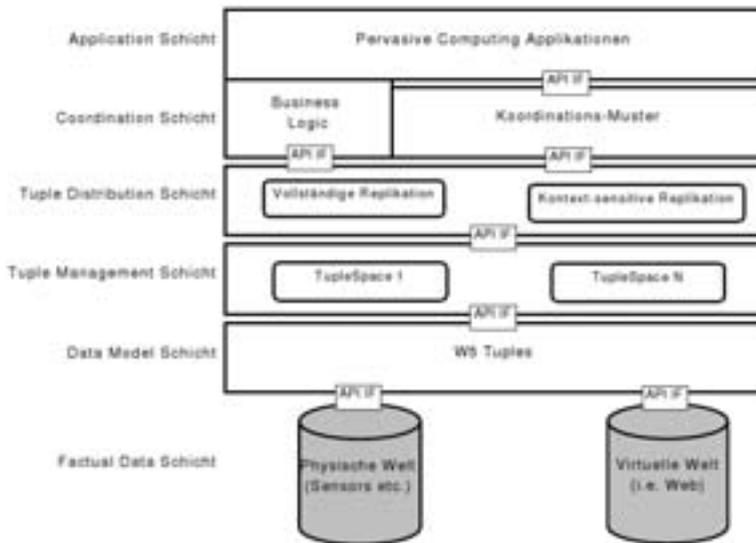


Abbildung 1: Übersicht über die Schichtenarchitektur von CorA

Data Model Schicht

Durch die Notwendigkeit der physischen Integration ergibt sich eine Vielzahl an unterschiedlichsten Daten und Datenkombinationen. Man benötigt ein Datenmodell, welches so flexibel ist, dieser Anforderung zu genügen. Anwendungsszenarien für mobiler Benutzer (wie Kollaboration in pervasiven Umgebungen) sind sehr stark vom Kontext abhängig. Die zwei wichtigsten Kontextfaktoren sind Ort und Zeit [ADB⁺99]. Das entwickelte W5 Datenmodell (WHO, WHAT, WHERE, WHEN, WHATABOUT) adressiert diese Kontextfaktoren, in dem es facts aus der unteren Schicht zu W5-Tuples modelliert: "Jemand oder etwas (WHO) war oder ist mit einer Aktivität (WHAT) an einem bestimmten Ort (WHERE) zu einer bestimmten Zeit (WHEN) beschäftigt." WHATABOUT ist reflexiv und bietet die nötige Meta-Information, um ein W5-Tuple zu beschreiben, was u.a. für die Informationsverteilung im mobilen Netzwerk ausgenutzt wird.

Tuple Management Schicht

Pervasive Umgebungen sind einer hohen Dynamic mit ständigen Kontextänderungen unterworfen. Um trotzdem den Benutzern ein akzeptables Service zu bieten, wurde in [KF02] das *Volatility Principle* definiert. Es besagt, dass pervasive Computing Systeme derart entworfen werden sollten, dass man davon ausgeht, dass sich die Konfiguration an beteiligten Benutzern, Hard- und Software sich ständig ändern kann und dass entsprechende Mechanismen im Systemdesign vorgesehen werden sollten. In CorA wird dem Rechnung getragen, indem die Informationsverteilung entkoppelt und opportunistisch durchgeführt wird,

wie das auch in anderen Arbeiten (wie [MCE02]) empfohlen wurde. Entkoppelt bedeutet, dass Informationsverteilung auch stattfinden kann, wenn die Kommunikationspartner nicht zur gleichen Zeit am gleichen Ort verfügbar sind. Mit opportunistisch meint man, dass die Informationsverteilung so wenig wie möglich von der Konnektivität zwischen Knoten beeinflusst sein sollte.

Daher erschienen für CorA asynchrone, Daten-orientierte Kommunikationsansätze als geeignet. Tuple Space Systeme [Gel85] sind Repräsentanten solcher Ansätze. Die Tuple Management Schicht in CorA wurde daher als voll-verteilte Tuple Space Architektur umgesetzt. Es handelt sich dabei um ein dezentrales, Peer-to-Peer Netzwerk, das gänzlich ohne der Abhängigkeit von einem zentralen Server betrieben werden kann. Jeder Knoten bzw. Peer im Netzwerk verwaltet lokal mindestens einen Tuple Space und interagiert nur mit diesem (=liest, schreibt oder löscht Tuples). Die Tuple Verteilungs- und Replikationsmechanismen sind in der nächsthöheren Schicht gekapselt.

Tuple Distribution Schicht

Grundsätzlich stehen zwei unterschiedliche Mechanismen für die Verteilung von Tuples im Netzwerk zur Verfügung: (1) vollständige, oder (2) Kontext-sensitive Replikation. Die erste Strategie ist Ressourcen-aufwändiger und sollte nur für Information, die leichtgewichtig und für alle Knoten zu allen Zeiten notwendig ist (wie beispielsweise Adressinformation), eingesetzt werden. Bei einer rasch ansteigenden Zahl an Knoten könnten schnell die Skalierbarkeitsgrenzen erreicht werden. Bei der zweiten Strategie können die vier Kontextfaktoren bedarfsorientiert ausgewählt werden, die im W5 Modell gekapselt sind (Akteur, Aktivität, Ort und Zeit). Somit können Tuples gezielt und effizienter verteilt werden, wodurch die Netzwerkressourcen geschont werden. Zusätzlich kann jede der zwei Strategien entweder im “pull” (=on-demand) oder “push” (=event-based) Modus betrieben werden.

Coordination Schicht

Diese Schicht beschäftigt sich entsprechend der Koordinationstheorie mit der essentiellen Aufgabe von Koordination: dem Auflösen von Abhängigkeiten. Die relevante Funktionalität kann entweder in der Business Logic einer Anwendung umgesetzt, wodurch sie stark mit Anwendung verknüpft ist, oder explizit als wiederverwendbares Koordinationsmuster definiert werden. Viele Koordinationsprobleme weisen hohe Ähnlichkeit auf. Somit ist es empfehlenswert funktionierende Lösungen – im Sinne von Auflösungen von Abhängigkeiten – zu kapseln und zu abstrahieren, um sie für ähnliche Probleme wiederverwendbar zu machen. Solche Standardlösungen werden als *Muster* bezeichnet. Auf dieser Schicht bietet CorA eine Laufzeitumgebung, die es erlaubt neue Muster zu entwickeln und einzubinden, oder bestehende Implementierungen von Mustern bedarfsorientiert zu verwenden. Beispiele für Koordinationsmuster sind [BKR06]: ortsbasierte Koordination, Supervisor/Worker, Meeting oder das Negotiating Muster.

Application Schicht

Die oberste Abstraktionsschicht repräsentiert die Schnittstelle zum Benutzer und beschreibt, wie Applikationen und Dienste für pervasive Umgebungen die Funktionalität von CorA ausnutzen können. Somit können aufbauend auf CorA etwa eine Vielzahl an unterschiedlichen Endgeräten eingesetzt werden, wie Mobiltelefone, Personal Digital Assistants (PDA), Wearables², Sensoren oder einfache Tags wie RFID³. In der Umsetzung von CorA wurden bisher Mobiltelefone, PDAs und SunSPOT Sensoren⁴ verwendet.

3 Anwendung und Evaluierung von CorA

Ein typisches Anwendungsfeld mobiler Kollaboration ist Notfallmanagement. Notfallmanagement umfasst das strukturierte Vorgehen und die Koordination unterschiedlicher Einsatzorganisationen mit dem Ziel, Katastrophen und anderen Notfällen effektiv zu begegnen und Schäden zu beheben. Einsatzorganisationen sind in ihren Organisationsstrukturen in der Regel zweigeteilt. Einerseits leisten mobile Einsatzkräfte vor Ort Hilfe und andererseits werden diese von Zentralen und Kommandozentren unterstützt – beispielsweise durch zusätzliche und aktuelle Informationen.

Der Fokus diese Arbeit liegt auf den mobilen Einsatzkräften vor Ort. Diese sind in jeder Organisation hierarchisch in Einheiten gegliedert. Mobile Kollaboration findet vor allem innerhalb der Gruppen statt. Der gegenwärtige modus operandi ist, per Funk zu kollaborieren – also per Sprache über einen Broadcast-Kanal. Diese Art der Kollaboration birgt allerdings erhebliche Nachteile, denn viele Anforderungen an einen effektiven Hilfseinsatz können nicht erfüllt werden. Bei mobiler Kollaboration ist es wesentlich, dass den Benutzern Information angemessen zugänglich gemacht wird, die über Sprachkommunikation hinausgeht.

Beispielsweise wissen derzeit in der Regel Einsatzkräfte nicht, wo sich Kollegen zu einer bestimmten Zeit genau aufhalten. Diese Information wird über einen expliziten Funk-spruch erhoben. Als Antwort erhält man eine wörtliche Beschreibung des Aufenthaltsortes, dessen Genauigkeit maßgeblich davon abhängt, welche sprachlich beschreibbaren, markanten Punkte in der Nähe sind. Hätte man das Wissen über Position und Zustand von relevanten Personen und Objekten zu jeder Zeit entsprechend aufbereitet verfügbar, könnte die Kollaboration weitaus effektiver organisiert werden.

Im EU-Projekt WORKPAD⁵ wird ein Kollaborations-System für Notfallmanagement entwickelt. WORKPAD verfolgt das Ziel, eine innovative Softwareinfrastruktur zu entwickeln, welche die Zusammenarbeit von mobilen Einsatzkräften im Notfallmanagement unterstützt. In WORKPAD ist jedes Teammitglied mit einem portablen Gerät ausgestattet und übt spezifische, zugewiesene Aufgaben aus bzw. arbeitet an unterschiedlichen Prozessen, die zu einer möglichst schnellen Zielerreichung führen sollten. Dabei werden sie

²Wearables bezeichnen Computersysteme, die in die Kleidung integriert sind.

³RFID steht für Radio Frequency Identification Technology

⁴Siehe <http://www.sunspotworld.com/>.

⁵Siehe <http://www.workpad-project.eu/>, FP6-2005-IST-5-034749.

von einer Ansammlung von Software Werkzeugen unterstützt, die über mobile ad hoc Netzwerke kommunizieren und durch eine kontextsensitive Prozesssteuerung adaptiv koordiniert werden. Eines dieser Werkzeuge ist ein Geographisches Informationssystem für mobile Endgeräte (mobiles GIS), welches im Abschnitt 3.2 vorgestellt wird.

Die Referenzarchitektur für Kollaboration in pervasiven Umgebungen CorA, die in Abschnitt 2 vorgestellt wurde, wurde in WORKPAD eingesetzt. Die Ergebnisse wurden auf System-, Entwickler- und Benutzer-Ebene evaluiert und werden in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

3.1 Evaluierung auf System-Ebene

In einer Laborumgebung wurde der Informationsverteilungsmechanismus über den dezentralen Tuple Space Ansatz, wie er in Abschnitt 2 dargestellt wurde, getestet. Das Systemverhalten wurde auf Basis von zwei essentiellen Metriken für verteilte Systeme gemessen [TvS02, Jal94]: *Skalierbarkeit* und *Konsistenz*. Skalierbarkeit beschreibt die Systemeigenschaft, welche besagt, dass Hinzufügen oder Entfernen von Ressourcen den Rest des Systems kaum merklich beeinflusst. Diese Metrik ist maßgeblich von der Anzahl, der im System präsenten Knoten, deren Typs und den Anwendungsanforderungen abhängig. Konsistenz beschreibt den internen Status unterschiedlicher Knoten eines verteilten Systems. In einem 100% konsistenten System haben alle Knoten zu allen Zeiten den gleichen internen Status.

Es wurden zwei Testfälle mit unterschiedlichen Set-ups jeweils zwei Mal durchgeführt. Zu spezifischen Zeiten wurde der Status der Tuples in allen verteilten Tuple Spaces ausgelesen und verglichen. Zu dem wurde die Konsistenz-Zeitspanne gemessen; also jene Zeitspanne, die im Mittel verging, bis wieder alle Tuple Spaces konsistenten Status aufwiesen. Abbildung 2 gibt die Details zu den Tests. Die Kombination der Testergebnisse resultiert in eine Standardabweichung von 2.43 Tuples über alle Tuple Spaces zu einem Zeitpunkt (bei einem Mittelwert von 26.3 Tuples pro Space). Die durchschnittliche Konsistenz-Zeitspanne betrug 6.12 Sekunden. Daraus ergeben sich im Schnitt 0.4 inkonsistente Tuples pro Sekunde. Das bedeutet wiederum, dass alle 2.5 Sekunden ein inkonsistentes Tuple entsteht, wobei im Mittel etwa 350 Tuples in dieser Zeitspanne verarbeitet werden⁶.

Basierend auf den Anforderungen von Kollaboration in Kleingruppen (wie im Notfallmanagement gefordert) und den Ergebnissen der Evaluierung auf System-Ebene kann festgehalten werden, dass die essentiellen Metriken Skalierbarkeit und Konsistenz für die Zielanwendung ausreichend sind. Somit bietet CorA die notwendigen Grundvoraussetzungen für einen Einsatz als zugrunde liegende Koordinationsarchitektur für die Informationsverteilung in pervasiven Umgebungen.

⁶Diese Angabe bezieht sich auf einen Testfall mit 8000 Tuples pro Space innerhalb 600s mit zehn Knoten.

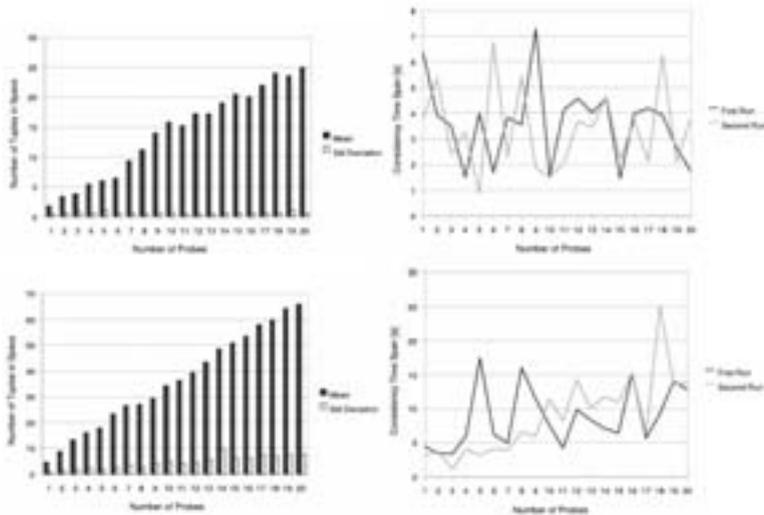


Abbildung 2: Ergebnisse der System Tests: erster Testfall (obere Zeile) und zweiter Testfall (untere Zeile)

3.2 Evaluierung auf Entwickler-Ebene

Als eines der Werkzeuge für mobile Einsatzkräfte aus WORKPAD wurde das mobile GIS umgesetzt. Es erlaubt den Benutzern, geographische Information auf ihren mobilen Endgeräten zu visualisieren und zu bearbeiten. Die Software bietet digitale Karten oder Ortho-Photos von den Einsatzgebieten und ermöglicht das Einfügen und Bearbeiten von relevanten Objekten und eine entsprechende Verteilung dieser Information an die Kollegen in Echtzeit. Abbildung 3 zeigt die mobile GIS Anwendung beispielhaft. Diese Funktionen bieten einen erheblichen Mehrwert zum gegenwärtigen modus operandi – nämlich Informationsverteilung lediglich per Sprachkommunikation – wie im nächsten Abschnitt 3.3 aus Benutzersicht beschrieben wird.

Die Schichtenarchitektur von CorA wurde als zugrunde liegende Infrastruktur für die Umsetzung des mobile GIS in WORKPAD verwendet. Aus Entwicklersicht war dieser Einsatz von CorA einfach und komfortabel, da lediglich die Programmierschnittstellen (API) – wie in Abschnitt 2 beschrieben und in Abbildung 1 dargestellt – je nach Bedarf aufgerufen werden müssen. Die jeweilige Funktionalität ist hinter den APIs gekapselt.

Durch den Schichtenansatz kann CorA auch flexibel nur schichtenweise zum Einsatz kommen. Ein Entwickler entscheidet sich nur für jene Schichten, deren Funktionalität er auch tatsächlich braucht. Die Schichten können je nach Bedarf ausgetauscht oder wiederverwendet werden.

Speziell für das mobile GIS aus WORKPAD wurde das W5 Modell eingesetzt, um Position und Status zu bestimmten Zeiten von relevanten Objekten (wie Einsatzkräfte oder



Abbildung 3: WORKPAD Mobiles GIS: Map View (links) und Kontext Menü (rechts)

-fahrzeuge) zu modellieren. Diese W5 Tuples wurden über den dezentralen Tuple Space Mechanismus an alle teilnehmenden Knoten verteilt. Wenn Beispielsweise eine Person den Standort wechselte, wurde das über den Informationsverteilungsmechanismus von CorA in Echtzeit an alle interessierten Benutzer direkt verteilt und auf deren digitalen Karte visualisiert.

Durch den Einsatz von CorA wird dem Entwickler eines Informationssystems für pervasive Umgebungen bereits viel an Funktionalität geboten, wodurch wiederum die Programmiereffizienz erhöht werden kann.

3.3 Evaluierung auf Benutzer-Ebene

WORKPAD wurde in Zusammenarbeit mit Einsatzorganisationen entwickelt, um von Beginn der Systementwicklung an die Anforderungen der Benutzer an das System zu berücksichtigen. Die im Projektverlauf entwickelten Prototypen wurden in verschiedenen Entwicklungsstadien mit Benutzern getestet.

Bei Benutzertests ist zu beachten, dass Benutzer nur das evaluieren können, was sie unmittelbar sehen und erleben. Somit wird hauptsächlich die (graphische) Benutzerschnittstelle evaluiert. Andere Faktoren, die im Zuge der Evaluierung ebenfalls bewertet wurden (wie beispielsweise Antwortzeiten), lassen implizit Rückschlüsse auf die zugrunde liegende Softwarearchitektur zu. Das Gesamtsystem ermöglicht, wie mehrere Benutzer bestätigten, die Nutzung neuartiger Ansätze zur elektronischen Unterstützung mobiler, kollaborativer Tätigkeiten. Beispielsweise kann mit Hilfe der mobilen geographischen Anwendung die

Position von Kollegen sofort eingesehen werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass alle TesterInnen bestätigten, dass eine mobile geographische Anwendung hilfreich ist, um Teile ihrer typischen (kollaborativen) Tätigkeiten zu unterstützen. Es wurde angemerkt, dass sich für sie neuartige Möglichkeiten ergeben und eine Optimierung in vielen Bereichen realistisch ist – vor allem im Bereich der Koordination von Aktivitäten, bei der Entscheidungsfindung und bei der Kommunikation von Entscheidungen zu anderen Teammitgliedern. Kritisch angemerkt wurde, dass ein derartiges System zuverlässig funktionieren muss und im prototypischen Status keinesfalls eingesetzt werden darf. Der Benutzer muss sich – gerade im Notfallmanagement – auf die angebotene Information verlassen können. Falls eine Information unzuverlässig, möglicherweise falsch oder ungenau sein sollte, dann muss das dem Benutzer unmissverständlich klar gemacht werden – beispielsweise durch entsprechende Visualisierung. Auch Systemabstürze sind inakzeptabel.

4 Zusammenfassung und zukünftige Herausforderungen

Die Fragestellung mit der sich dieser Beitrag beschäftigte war, ob sich der explizite Einsatz von Mechanismen aus der Koordinationstheorie eignet, um Effektivität und Effizienz von mobilen Benutzer in kollaborativen Tätigkeiten in pervasiven Umgebungen zu verbessern. Aus den Ergebnissen der Evaluierung auf drei unterschiedlichen Ebenen lässt sich folgern, dass eine Optimierung der gegenwärtigen Prozesse möglich ist. Darüber hinaus ergeben sich durch den gewählten und implementierten Ansatz der Koordinationsarchitektur CorA neuartige Möglichkeiten, wie das von Benutzern im Zuge der Evaluierung bestätigt wurde.

Die aus den vorgestellten Arbeiten resultierende IT Infrastruktur für mobile Benutzer wird derart weiter ausgebaut, dass generell Informationssysteme für pervasive Umgebungen schnell umgesetzt werden können. Ein Schwerpunkt wird dabei weiterhin auf geographische Information gelegt werden, da räumliche Information für mobile Benutzer (über orts-basierte Dienste) einen Mehrwert darstellen.

Literatur

- [ADB⁺99] Gregory D. Abowd, Anind K. Dey, Peter J. Brown, Nigel Davies, Mark Smith und Pete Steggles. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In *HUC '99: Proceedings of the 1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, Seiten 304–307, London, UK, 1999. Springer-Verlag.
- [BCRZ08] Manfred Bortenschlager, Gabriella Castelli, Alberto Rosi und Franco Zambonelli. A Context-sensitive Infrastructure for Coordinating Agents in Ubiquitous Environments. *Special Issue on Engineering Environments for Multiagent Systems of International Journal on Multiagent and Grid Systems*, 2008.
- [BKR06] Manfred Bortenschlager, Gabriele Kotsis und Sigi Reich. A Generic Coordination Architecture as an Enabler for Mobile Collaborative Applications. In *Distributed and Mobile Collaboration (DMC 2006) Workshop - WETICE, Manchester, UK, 2006*.

- [BS00] Uwe M. Borghoff und Johann H. Schlichter. *Computer-Supported Cooperative Work: Introduction to Distributed Applications*. Springer, 2000.
- [CS99] Peter H. Carstensen und Kjeld Schmidt. Computer Supported Cooperative Work: New Challenges to Systems Design. In *In K. Itoh (Ed.), Handbook of Human Factors*, Seiten 619–636. Publishing Company, 1999.
- [Gar08] Gartner Group, The. Hype Cycle for Wireless Devices, Software and Services, 2008.
- [Gel85] David Gelernter. Generative Communication in Linda. *ACM Trans. Program. Lang. Syst.*, 7(1):80–112, 1985.
- [Jal94] Pankaj Jalote. *Fault Tolerance in Distributed Systems*. Prentice Hall, 1994.
- [KF02] Tim Kindberg und Armando Fox. System Software for Ubiquitous Computing. *IEEE Pervasive Computing*, 1(1):70–81, 2002.
- [Kle96] Mark Klein. Coordination Science: Challenges and Directions. In *Coordination Technology for Collaborative Applications*, Seiten 161–176, 1996.
- [Kle00] Leonard Kleinrock. On some principles of nomadic computing and multi-access communications. *Communications Magazine*, 38(7):46–50, 2000.
- [MC94] Thomas W. Malone und Kevin Crowston. The Interdisciplinary Study of Coordination. *ACM Comput. Surv.*, 26(1):87–119, 1994.
- [MCE02] Cecilia Mascolo, Licia Capra und Wolfgang Emmerich. Mobile Computing Middleware. In *Advanced Lectures on Networking*, Seiten 20–58. Springer-Verlag, 2002.
- [Sat01] Mahadev Satyanarayanan. Pervasive Computing: Vision and Challenges. *IEEE Personal Communications*, Seiten 10–17, August 2001.
- [TvS02] Andrew S. Tanenbaum und Maarten van Steen. *Distributed Systems: Principles and Paradims*. Prentice Hall, 2002.



Manfred Bortenschlager absolvierte das Doktorat an der Johannes Kepler Universität Linz und an der Oxford Brookes University mit Auszeichnung. Er führte im Rahmen der Dissertation mehrere Auslandsaufenthalte bei relevanten Forschungsgruppen (Universität von Modena und IBM Center for Advanced Studies) durch, woraus sich nachhaltige Zusammenarbeit ergab. Im Laufe des Dissertationsprojektes generierte er 20 Publikationen (darunter Journalartikel und Buchbeiträge) und ist als Reviewer für Konferenzen und Journals tätig. Er etablierte einen wissenschaftlichen Workshop im Rahmen der WETICE Serie

zu Kollaborationstechnologien und editierte einen Special Issue des Ubiquitous Computing and Communication Journals zum Thema *Coordination in Pervasive Environments*. Eine Patentanmeldung wird gegenwärtig geprüft. Zur Zeit ist Manfred Bortenschlager wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Salzburg Research und ist dort für Forschungsprojekte verantwortlich, wie das in diesem Beitrag vorgestellte EU Projekt WORKPAD oder das MobilityLab Center-of-Excellence rund um Location-based Services. Er ist zertifizierter Qualitätsmanagement Beauftragter und besitzt ein kleines Patent. 2003 erhielt er den Würdigungspreis des österreichischen Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur als Auszeichnung für eine der drei besten Diplomarbeiten des Landes.