

Technologische Herausforderungen für kontextsensitive Geschäftsanwendungen

Martin Werner, Moritz Kessel, Florian Gschwandtner, Michael Dürr, Kevin Wiesner, Thomas Mair

Abstract. Der Einfluss der Informationstechnologie auf die Wirtschaft nimmt ständig zu. Der geschickte Einsatz von Information und Kommunikation kann wesentlich zum Erfolg eines Unternehmens beitragen. Die ständig wachsende Leistungsfähigkeit von mobilen Endgeräten ermöglicht durch den Einsatz von Kontextinformationen wie dem Aufenthaltsort des Endgerätes revolutionäre Anwendungen. In diesem Artikel erläutern wir, wie Geschäftsanwendungen mit Kontextinformationen umgehen können und weshalb sich dennoch der Einsatz von Kontext in Geschäftsanwendungen noch nicht durchgesetzt hat. Darüber hinaus zeigen wir aktuelle Entwicklungen und Trends im Umgang mit mobilen Endgeräten und Kommunikation auf, die sich schließlich zu einem Software-Ökosystem kombinieren lassen, welches die derzeitigen Probleme überwinden kann.

1 Einführung

Die Informationstechnologie durchläuft in dieser Zeit eine rasante Entwicklung, die das Verhältnis von Menschen und Maschinen revolutioniert. Zu Beginn der Informatik gab es im Wesentlichen einzelne Großrechenanlagen, die von vielen Personen genutzt wurden. Diese Phase wird häufig als Mainframe-Ära bezeichnet. Durch die Einführung des Personal Computers (PCs) veränderte sich die Beziehung zwischen Person und Gerät. Nun verwendete durch die Einführung des PCs nur eine einzige Person einen Computer. Dieses Modell war so erfolgreich, dass mittlerweile fast jeder Haushalt über (mindestens) einen PC verfügt. Derzeit stehen wir vor einem neuen Umbruch im Verhältnis von Person und Computer. Wir sind umgeben von vielen mobilen Computern, die miteinander kommunizieren. Jede Person wird in Zukunft eine ganze Menge an Computern besitzen. Darüber hinaus werden diese auch zunehmend miteinander kommunizieren.

Martin Werner, Moritz Kessel, Florian Gschwandtner, Michael Dürr, Kevin Wiesner, Thomas Mair
Ludwig-Maximilians-Universität München, E-mail: Vorname.Nachname@ifi.lmu.de

Aber nicht nur das Verhältnis von Computern zu Personen ist in einem dramatischen Umbruch, auch die Ausstattung und Bedienung unterliegt derzeit einer enorm rasanten Entwicklung. War es bis vor wenigen Jahren noch üblich, dass ein Computer über eine Maus und eine Volltastatur gesteuert wird und ein Handy über eine 12-Tasten-Tastatur verfügt, so kann man heute alle Kombinationen in der Realität antreffen: Manche Handys werden nur über einen Touch-Screen bedient, andere besitzen eine bei Bedarf ausfahrbare Voll-Tastatur, einige moderne PCs und insbesondere Software-Entwickler setzen auch auf den Einsatz von Touch-Screen-Technologie zur Steuerung und erste Expertensysteme lassen eine Bedienung per Sprache oder per Gesten zu.

In dieser Zeit ist es auch für die Geschäftswelt von wesentlichem Interesse, wie sie auf diese Entwicklungen reagieren kann beziehungsweise wie sie diese Entwicklung nutzen kann, um sich einen Wettbewerbsvorteil durch die intelligente Nutzung von Informationstechnologie zu erarbeiten oder auszubauen. Alle Anwendungen, welche direkt oder indirekt dem Zweck dienen, einen Wettbewerbsvorteil zu erarbeiten, werden in diesem Text als Geschäftsanwendungen aufgefasst. In diesem Sinne können auch Anwendungen für Kunden Geschäftsanwendungen sein, insbesondere dann, wenn durch diese Anwendungen ein Alleinstellungsmerkmal erarbeitet wird. Eine klare Unterscheidung von Geschäfts- und Privatanwendungen gestaltet sich allerdings schwierig. Der wichtigste Unterschied zwischen Geschäfts- und Privatanwendungen liegt in den Anforderungen, die an Zuverlässigkeit und Korrektheit gestellt werden müssen.

Der Einsatz von Kontextinformation für die Steuerung von Unternehmensabläufen kommt in den letzten Jahren so langsam in Fahrt. Durch die stets sinkenden Kosten für Rechenleistung und Speicherplatz und die Durchdringung des täglichen Lebens durch digitale und vernetzte Geräte besteht die Möglichkeit, aus einer immensen Masse an Informationen Wertschöpfung zu erlangen. So könnte zum Beispiel ohne viel Aufwand der Aufenthaltsort und mit einiger Ungenauigkeit auch die derzeitige Tätigkeit von Mitarbeitern bestimmt werden. Für Informationen dieser Art gibt es selbstverständlich unendlich viele Möglichkeiten des Einsatzes. So kann die telefonische Verfügbarkeit einer Person automatisch anhand solcher Informationen bestimmt und die Anzahl störender Unterbrechungen verringert werden. Bei Arbeiten, bei denen der Wert einer aufwändigen Dokumentation der Arbeitsschritte die berechtigten Datenschutzinteressen übersteigt, kann und wird ein solches System zur Reduktion von Produktionsfehlern verwendet werden [1].

Natürlich gibt es in dieser noch sehr jungen Forschungsrichtung noch viele Herausforderungen, denen sich die Wissenschaftler aller Disziplinen in den nächsten Jahrzehnten stellen müssen. Aus gesellschaftlicher und juristischer Sicht gibt es schwerwiegende Probleme, die die Verwendung von Kontextinformation in der Geschäftswelt behindern. So ist auf der einen Seite die massive Verwendung von Informationen über das Verhalten von Mitarbeitern sehr wertvoll für eine Firma, und diese Informationen sollten deshalb nach Möglichkeit erfasst werden, um Prozesse zu optimieren. Auf der anderen Seite gefährdet eine umfassende Datensammlung die individuellen Freiheiten der Mitarbeiter, insbesondere das Recht auf informationelle Selbstbestimmung. Darüber hinaus ist ein Missbrauch durch die Erfasser oder

Dritte in der Regel nicht auszuschließen. Der jüngste Skandal über Datendiebstahl bei Sony [2] belegt dies eindrücklich.

Ein wesentliches Problem im Hinblick auf die Sammlung von Daten liegt in der Tatsache, dass der Wert der Erfassung solcher Daten wegen der statistischen Unsicherheit erst aus der Retrospektive korrekt bewertet werden kann. Ob also signifikante Verbesserungen und sinnvolle Entscheidungen mit Verfahren des maschinellen Lernens abgeleitet werden können, ist leider nicht im Vorhinein bewertbar und kann daher nicht verwendet werden, um für die Akzeptanz der Sammlung von Daten zu werben.

In diesem Artikel wollen wir uns hauptsächlich auf diesen Bereich konzentrieren und zunächst die Anforderungen an kontextabhängige Prozesse in der Geschäftswelt diskutieren. Danach geben wir einen Überblick über mögliche Quellen für Kontextinformation und über die Modellierung von Kontext. In Abschnitt 4 diskutieren wir, welche besondere Situation sich daraus ergibt, wenn Kontextinformation mit Hilfe von mobilen Endgeräten gesammelt wird. Im Abschnitt 5 beschreiben wir grundlegende Methoden, um in einer Menge von Daten einen bestimmten kausalen Zusammenhang zu finden und auf Grund von unstrukturierten Daten Voraussagen und Entscheidungen zu treffen. Abschließend diskutieren wir im Abschnitt 6 über den Einfluss von neuen Kommunikationsparadigmata auf die Entwicklung mobiler, kontextabhängiger Geschäftsanwendungen.

2 Kontexterkenkung: Spezielle Anforderungen der Geschäftswelt

Betrachtet man die derzeitige Situation, in der Privatkunden mit ihren privaten Mobiltelefonen sehr freigiebig mit persönlichen Daten umgehen, so stellt sich die Frage nach den Gründen, weshalb diese wertvolle Informationsquelle in der Geschäftswelt bisher weitgehend ungenutzt bleibt. Wie bereits in der Einleitung erwähnt gibt es viele Gefahren und Risiken, die zwar im privaten Raum eingegangen werden können, aber keinesfalls durch eine Firma von den eigenen Mitarbeitern gefordert werden können. Wir wollen in diesem Kapitel die wesentlichen Anforderungen an eine kontextabhängige Unternehmensanwendung zusammenstellen, die – unserer Meinung nach – den größten Einfluss in der Abgrenzung zu Anwendungen für die private Nutzung haben.

2.1 Kosten

Die Kosten eines kontextabhängigen Systems sind in der Regel kaum seriös zu beziffern. Der Betrieb der notwendigen Hard- und Software ist hier in der Regel nur ein kleiner Faktor. Die Betreuung der Daten durch Experten im Hinblick auf mögliche Auswertung und Ergebnisse, also die Weiterverarbeitung der gewonnenen

en Daten zu belastbaren Grundlagen für Entscheidungen, kann beliebig komplex ausfallen. Aber auch die Betreuung der Mitarbeiter im Hinblick auf den Datenschutz, die Kosten für die Erfüllung von Auskunftspflichten über den Bestand der gespeicherten Daten und deren Verwendung, ist selten kalkulierbar. Dieses neue betriebliche Risiko wird sicherlich oft falsch eingeschätzt. Zusammenfassend für die Abgrenzung zwischen privater und geschäftlicher Nutzung ist vielleicht zu sagen, dass die Verwendung von Geschäftsanwendungen in der Regel in einem Unternehmen vorgeschrieben wird und damit im Allgemeinen höhere Kosten für die datenschutzrechtliche Behandlung entstehen, als für ein freiwilliges System, welches wesentlich liberalere Datenschutzklauseln in den Allgemeinen Geschäftsbedingungen durchsetzen kann.

2.2 Zuverlässigkeit

Für einen Einsatz in Geschäftsanwendungen ist die zuverlässige Funktionsweise unerlässlich. Systeme müssen die ihnen auferlegte Aufgabe in der geplanten Art und Weise erledigen. Für kontextabhängige Systeme bedeutet dies, dass, falls ein bestimmter Kontext vorliegt, dieser auch erkannt werden soll. Zuverlässigkeit bedeutet hierbei auch, dass solche Systeme zu jeder Zeit und auf jeden bestimmten Kontext in geeigneter Weise reagieren können.

2.3 Dokumentierbarkeit und Erklärbarkeit

Falls nun ein kontextabhängiges System eine Empfehlung ausspricht, wie verhält es sich dann mit der Nachvollziehbarkeit und Dokumentierbarkeit von Entscheidungen? Ist immer noch der Entscheidungsträger allein verantwortlich oder ist vielmehr ein Experte, der die Voraussagen mit Daten zu belegen glaubte, in der Verantwortung? Kann und wird ein solches System vielleicht durch Einspielen gefälschter Daten attackiert?

In der Praxis werden gerade wegen dieser Probleme häufig nur sehr einfache Wissensabstraktionen (einfache und prägnante Regeln) verwendet. Diese lassen sich dann dokumentieren, mit Daten belegen und sind trotzdem häufig auch intuitiv verständlich. Allerdings kann dadurch nur selten die volle Leistungsfähigkeit von künstlicher Intelligenz ausgenutzt werden. Hier ist die Berechnung eines finanziellen Risikos einer Entscheidung wünschenswert um eine Abstufung in der Verantwortlichkeit zu ermöglichen.

2.4 Akzeptanz

Vielleicht die wichtigste Anforderung an eine kontextabhängige Geschäftsanwendung liegt in ihrer Akzeptanz. Um diese zu erreichen, muss sehr genau zwischen den Interessen der Mitarbeiter und denen der Firma abgewogen werden.

Aus Sicht des Mitarbeiters hängt die Akzeptanz einer Geschäftsanwendung zum einen von der Art der verwendeten Kontextinformationen, zum anderen von der Einfachheit der Kommunikation, also von der Transparenz der zugrunde liegenden Kommunikationsmedien ab. Aus Sicht der Firma selbst hängt die Akzeptanz hingegen im Wesentlichen von der Integrierbarkeit, der Zuverlässigkeit sowie der Sicherheit der Kontextinformationen und der verwendeten Kommunikationsmedien ab. Gerade im Hinblick auf die Integration neuartiger sozialer Kommunikationsmedien muss daher streng darauf geachtet werden, dass sowohl die Interessen der Mitarbeiter, als auch die Interessen der Firma bei der Umsetzung einer kontextabhängigen Geschäftsanwendung gewahrt bleiben.

3 Modellierung von Kontext

Wenn über kontext- und situationsabhängige Software geschrieben wird, besteht meist eine enorme Unsicherheit in der Frage, was Kontext eigentlich ist. Die wohl anerkannteste Definition, die wir für unseren Beitrag verwenden wollen, stammt von Dey und definiert Kontext (in freier Übersetzung) wie folgt [3]:

“Kontext ist jegliche Information, die geeignet ist, die Situation einer Entität zu charakterisieren. Eine Entität ist eine Person, ein Ort oder ein Objekt, das als relevant für die Interaktion zwischen Nutzer und Applikation – inklusive Nutzer und Applikation selbst – betrachtet wird.”

Üblicherweise besteht der tatsächlich vorliegende Kontext aus Sensordaten über Ort, Zeit und direkte Umgebung sowie aus Daten des Terminkalenders oder aus Daten von Geschäftsanwendungen wie Customer-Relationship-Managementsystemen.

Eine zentrale Eigenschaft von Kontextinformationen ist die örtlich sowie zeitlich eingeschränkte Bedeutung eines einzelnen Kontextwertes. Mit zeitlicher sowie räumlicher Entfernung von einer tatsächlichen Kontextmessung nimmt die Relevanz des Wertes natürlich ab.

Darüber hinaus spielt die Qualität der Sensoren gerade bei der Unterstützung von Geschäftsprozessen eine große Rolle. Um Aussagen über die Verlässlichkeit eines kontext-sensitiven Systems zu treffen, muss die Verlässlichkeit jeder Kontextinformation bekannt und besser sein als eine globale Mindestanforderung.

Naheliegende Beispiele für Kontextquellen sind Uhren, GPS-Empfänger, Systeme zur Indoor-Positionierung, Beschleunigungssensoren, Mikrofone, Thermometer, Barometer und ähnliche Sensoren, mit denen der Zustand der individuellen Umgebung beobachtet werden kann.

Darüber hinaus bieten noch Werkzeuge zur Zeitplanung und Kommunikation sinnvolle Kontextquellen. So kann beispielsweise der Kalender Aufschluss über Tä-

tigkeiten, Termine und Aufgaben geben oder das Email-System Kommunikationswege und Bekanntschaften offenlegen.

Gerade das Ableiten bestimmter Kontext-Informationen aus Sensorik, das Erzeugen sogenannter höherwertiger Kontext-Informationen, spielt eine wichtige Rolle zur Entscheidungsfindung. Da die Verarbeitung von primärem Kontext genauso wie die Verwaltung von abgeleitetem sekundären Kontext für den Erfolg einer Anwendung entscheidenden Einfluss haben kann, hat die Forschung bereits seit einiger Zeit versucht, Kontext-Informationen so zu modellieren, dass eine gewisse Allgemeingültigkeit und Flexibilität entsteht und so Algorithmen und Systeme wiederwendbar werden.

Im Folgenden werden zunächst einige Aspekte der Modellierung formuliert und anschließend die gängigsten Modelle erläutert [4]:

Einer der wichtigsten Aspekte ist die Modellierung von Datenheterogenität. So unterliegen z.B. Sensoren bei Messungen immer auch Ungenauigkeiten, die einen erheblichen Einfluss bei der Interpretation der Werte haben können. Im Vergleich zu Sensoren liefern andere Kontext-Quellen wie die oben erwähnte Zeitplanung präzise Informationen, die auch nur geringer oder gar keiner Interpretation bedürfen. Aus diesem Grund muss ein Kontext-Modell in der Lage sein, den verschiedensten Arten von Kontext-Quellen zu genügen und auf deren Stärken und Schwächen einzugehen. Zusätzlich zur Heterogenität ist es durch die Mobilität von Sensoren und des Nutzers notwendig, dass das Modell in der Lage ist, auch mit wechselnden Kontext-Quellen und fehlenden Werten beliebiger Kontextquellen umzugehen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Modellierung von Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Arten von Kontext-Informationen. So kann die Gesamtheit der Messwerte unterschiedlicher Quellen eine höherwertige Information liefern als jede Quelle einzeln. Gerade bei Änderungen an bestimmten Messwerten muss die Gültigkeit der höherwertigen Information überprüft werden. Diese höherwertige Information muss als Entscheidungsgrundlage genutzt werden können und damit neben ihrem tatsächlichen Wert auch einen Indikator für Verlässlichkeit haben.

Um eine sinnvolle und richtige Nutzung des Modells zu gewährleisten ist es zudem wichtig, dass eine einfache Abbildung der Realität in das Kontext-Modell möglich ist. Dadurch wird die Bereitstellung kontextabhängiger Anwendungen erleichtert und die Interpretation der Kontext-Informationen durch Anwendungen verbessert.

In der Forschung auf dem Gebiet haben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Ansätze etabliert, wie Kontext modelliert werden kann. Neben ursprünglichen Modellierungsverfahren, die auf Schlüssel-Wert-Paaren basieren oder Markup-Sprachen verwenden [5], wird immer stärker auch auf strukturierte Verfahren wie Objekt-Rollen-basierte Modelle, räumliche Modelle und Ontologie-basierte Modelle umgeschwenkt [4, 5]. Diese eignen sich auch insbesondere, um spezielles Domänenwissen in Verfahren des maschinellen Lernens (vgl. Abschnitt 5) zu integrieren.

Object Role Modeling (ORM) beschreibt ein Verfahren, um das Design von Datenbanken und die Abfragen darauf bereits auf konzeptioneller Ebene zu planen und durchzuführen. Aufbauend auf diesen Verfahren kann auch ein Modell für Kontext-Informationen angelegt werden. Analog zu den oben genannten Anforde-

rungen muss dabei jedoch das Modell erweitert werden, um zum Beispiel Werte mit einer gewissen Unsicherheit beschreiben zu können oder um die Spezifikation von komplexen Bedingungen zu ermöglichen. Ist dies erreicht, so besticht ORM besonders mit der Möglichkeit, durch eine grafische Notation das Design und das Verständnis stark zu vereinfachen.

Ein Nachteil von ORM ist jedoch die flache Hierarchie der Kontext-Arten. Diese wirkt sich besonders dann aus, wenn eine Kontext-Art besonders bei der Verarbeitung hervorsticht. Handelt es sich hierbei zum Beispiel um den Kontext Ort, welcher heutzutage sehr häufig verwendet wird, so bietet sich der Gebrauch von räumlichen Modellen an. Diese verwenden den physikalischen Ort zur Organisation der Kontext-Informationen. Der Ort kann dabei die Position eines Objektes darstellen, die durch den Kontext beschrieben wird, oder aber die Position eines Sensors darstellen, der zur Kontext-Generierung verwendet wird. Darüber hinaus können virtuelle Objekte mit einer Position versehen werden und so einen örtlichen Kontext erhalten. Der Ort kann dabei vordefiniert sein oder aus irgendwelchen anderen Informationen abgeleitet werden. In den in diesem Artikel beschriebenen mobilen Verfahren ist es jedoch wahrscheinlicher, dass der Ort über ein beliebiges Positionierungssystem bestimmt wird und dass die sonstigen Messwerte und Kontextdaten sich direkt auf diesen Ort beziehen. Räumliche Modelle erlauben es, Anfragen über den Ort und über räumliche Beziehungen effizient auszuführen. Besonders verbreitet sind hier Anfragen nach den nächstgelegenen Nachbarn. Doch leider tendieren räumliche Modelle dazu, den Ort in Bezug auf nicht ortsabhängige, höherwertige Kontextinformation überzubewerten. So können Zusammenhänge zwischen Orten und Zuständen hergestellt werden, die nur zufällig entstehen.

Ontologie-basierte Modelle beruhen auf der Ausdruckskraft logischer Sprachen und der Unterstützung von automatisierten Schlussfolgerungen in Beschreibungslogiken. Dabei können durch die Logik auch komplexe Kontextdaten einfach modelliert werden und verschiedenartige Kontext-Informationen aus unterschiedlichen Quellen anhand einer formalen Semantik einbezogen werden. Ein weiterer Vorteil von Ontologie-basierten Modellen ist die einfache Modellierung von Abhängigkeiten. Die Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Messwerten können anhand von Verfahren der Knowledge-Discovery (Abschnitt 5) aufbauend auf der Beschreibungslogik automatisch in höherwertige Kontext-Informationen überführt werden. Ebenso lässt sich die Konsistenz von Kontext-Informationen automatisch überprüfen. Ontologie-basierte Modelle eignen sich also vor allem bei einer großen Heterogenität von Kontext-Quellen und hohen Anforderungen an Interoperabilität zwischen verschiedenen Endgeräten, wie sie gerade im geschäftlichen Umfeld bestehen. Allerdings müssen noch Mechanismen erforscht werden, welche die zeitliche und örtliche Relevanz von Kontextdaten in Ontologie-basierten Modellen flexibel hervorheben können.

4 Mobiles, nutzerzentrisches Sensing

Da mobile, kontextabhängige Geschäftsanwendungen in der Regel vorhandene Smartphone-Infrastrukturen verwenden sollen, wollen wir in diesem Kapitel ein wenig auf die speziellen Eigenschaften von Kontextdaten eingehen, wenn diese verteilt mit den Mobiltelefonen der Nutzer gesammelt werden. Dabei kann man die Menge an Mobiltelefonen, die für eine kontextabhängige Anwendung kooperieren, als eine spezielle Art Sensornetz begreifen und Verfahren aus diesem Bereich anwenden.

Eine Erfassung von Sensordaten mit Hilfe mobiler Endgeräte wird oft als mobiles, nutzerzentrisches Sensing („People-Centric Sensing“ [6], „Mobile Phone Sensing“ [7]) bezeichnet. Dieser Forschungsbereich ist dem der kabellosen Sensornetze, sog. „Wireless Sensor Networks“ (WSN) sehr nahe, bei den (meist stationären) Sensorknoten über funkbasierte Kommunikation gemessene Sensordaten austauschen und verbreiten. Jedoch gibt es einige wichtige Unterschiede von mobilen Sensornetzwerken (MSN) im Vergleich zu WSNs [8]:

- **Energie:** Im Gegensatz zu stationären Sensorknoten kann bei mobilen Endgeräten, die ebenfalls sehr begrenzte Energiekapazitäten besitzen, davon ausgegangen werden, dass diese regelmäßig vom Nutzer wieder aufgeladen werden.
- **Verbreitung:** Die großflächige Verbreitung von Mobiltelefonen bietet auf der einen Seite eine große Menge von Sensorknoten, diese messen allerdings auch nur in den von Menschen besuchten Gegenden.
- **Sensordiversität:** Durch die große Anzahl an verschiedenen Endgeräten gibt es typischerweise auch eine Vielzahl verschiedener Sensoren, wohingegen WSNs meist aus einer eher homogenen Sensormenge bestehen.
- **Privatsphäre:** Da Mobiltelefone von ihren Nutzern mitgeführt werden, können diese auch viel über die Aktivitäten des Nutzers verraten, was einen effektiven Schutz der Privatsphäre nötig macht.

MSNs und darauf aufbauende Anwendungen kann man auf der einen Seite nach Nutzungsfokus kategorisieren, also ob die Messungen und Daten für einzelne Personen, Gruppen oder eine Gemeinschaft gedacht sind [7], auf der anderen Seite auch nach der Art und Weise, wie die Nutzer die Daten beitragen, hierbei wird zwischen aktiv und passiv (opportunistisch) teilnehmenden Nutzern unterschieden [9].

In der Forschung gibt es bereits einige Arbeiten und Projekte [10, 11, 12, 13], die sich mit dieser Thematik beschäftigen. Als typische Einsatzszenarien werden neben der Messung von Umweltdaten wie beispielsweise Luftverschmutzung oder Temperatur auch die Bestimmung der Umgebungslautstärke oder Straßengegebenheiten genannt. Gerade im Geschäftsumfeld bietet diese neue Art, Daten und Informationen zu erhalten, viele neue Möglichkeiten, da kostengünstig großflächige und aktuelle Daten geliefert werden können. In industriellen Anlagen und Fabriken könnten diese auf Mobiltelefonen basierenden Sensorknoten zur Überwachung der Sicherheit und Gesundheit der Arbeiter eingesetzt werden. So könnte beispielsweise auf den Austritt gefährlicher Gase oder auf eine dauerhafte Schadstoffbelastung umgehend reagiert werden und falls nötig automatisch in die Steuerung von Prozessen und Maschinen eingegriffen werden. Weitere Einsatzszenarien sind die Nutzung

in Krankenhäusern oder als Echtzeit-Informationsplattform in Städten zur Optimierung des öffentlichen Transports und des Energiemanagements.

Die größten Herausforderungen um mobiles, nutzerzentrisches Sensing im geschäftlichen oder industriellen Umfeld zu nutzen, liegen in der Sicherstellung und Bewertung von Zuverlässigkeit (vgl. Abschnitt 2.2) und Qualität. Die Qualität der Daten wird zum einen durch die in der Regel relativ geringe Qualität der eingebauten Hardware, zum andern auch durch die Heterogenität der Endgeräte negativ beeinflusst. Eine wichtige Herausforderung besteht daher in der automatischen und verteilten Kalibrierung mobiler Sensoren, um auf diese Weise die Qualität der Daten zu erhöhen und gleichzeitig eine Möglichkeit für die Qualitätsbewertung des Gesamtdienstes zu erhalten. Es gibt bereits erste Ansätze zur Selbstkalibrierung [14], allerdings in der Regel ohne eine Bewertungsmöglichkeit der Qualität von gemessenen Werten. Dies ist jedoch essentiell notwendig, um die Vertrauenswürdigkeit der Information einzuschätzen. Auch die Lage des mobilen Endgeräts ist entscheidend bei der Erfassung von Daten. Mobiltelefone werden beispielsweise die meiste Zeit in Taschen getragen und können dort nur bedingt sinnvolle Messungen durchführen. Erste Ansätze versuchen durch Bestimmung der Lage des Geräts [15] oder durch Mehrfachmessungen [8] damit umzugehen. Ein weiteres Problem für die Zuverlässigkeit besteht darin, dass durch die dynamische Verteilung eine gleichmäßige und vollständige Abdeckung eines Einsatzgebietes nicht erreicht wird. Zudem können mobile Knoten durch Ausschalten, ob manuell oder aufgrund eines leeren Akkus, auch temporär ausfallen.

Ein weiterer, entscheidender Aspekt liegt in der Tatsache, dass die nutzerzentrisch erhobenen Daten ganz klar als persönliche Daten einzuschätzen sind und daher Mechanismen zur Anwendung kommen sollten, die eine Abwägung zwischen dem berechtigten Schutz der Privatsphäre [8, 11] und der Nachweisbarkeit und Lokalisierbarkeit von Fehlfunktionen und Angriffen ermöglichen.

5 Knowledge Discovery im geschäftlichen Einsatz

Wie kann jetzt aber eine kontextabhängige Anwendung die Masse an Rohdaten – seien es Rohdaten, die von vielen Nutzern opportunistisch beigetragen werden oder seien es längere Messreihen in fest definierten Umgebungen – verwenden, um aus neu ankommenden Messungen sinnvolle Schlüsse zu ziehen? Das Erkennen von Mustern in größeren Datenbanken ist ein großes und altes Forschungsfeld. Im Wesentlichen wird hier eine algorithmische Abstraktion der Begriffe „Information“, „Wissen“, „Lernen“ und „Begründen“ definiert und mit Leben befüllt.

Im Folgenden wollen wir die grundlegenden Strukturen erläutern, mit denen aus größeren Datenmengen ein Modell abgeleitet wird, welches zur Vorhersage zukünftiger Ereignisse geeignet ist. Hierzu werden die vorhandenen Daten in der Regel durch Vorbereitungsalgorithmen, häufig unter Verwendung von speziellem Domänenwissen, in eine Menge von Attributen organisiert. Attribute können binär sein, zum Beispiel ob ein bestimmter Kunde eine bestimmte Leistung in Anspruch ge-

nommen hat, oder numerisch, so wie der Stand des Zeitkontos eines Mitarbeiters. Darüber hinaus gibt es noch die Möglichkeit, diskrete mehrwertige Attribute einzuführen. So kann zum Beispiel das Wetter in die Klassen „sonnig“, „bewölkt“ und „regnerisch“ unterteilt werden. Derzeitige industrielle Anwendungen umfassen häufig mehrere tausend verschiedene Attribute. So könnte zum Beispiel ein System zum Börsenhandel die Kurse aller Aktien an allen deutschen Märkten und deren aktuelle Handelsvolumina umfassen.

Sobald alle Kontextinformationen als Attribute in einer einheitlichen Form dargestellt werden können, benötigen wir eine Möglichkeit, unterschiedliche Datensätze zu speichern. Hierbei ist eine Instanz eine Zusammenstellung der Werte aller Attribute zu einem bestimmten Zeitpunkt. Instanzen müssen dabei nicht unbedingt vollständig sein, einzelne Werte können auch unspezifiziert bleiben. Darüber hinaus müssen nicht immer alle verfügbaren Instanzen verwendet werden. Man kann auch nur die Instanzen in einem bestimmten Zeitraum verwenden oder insbesondere um Trends zu erkennen, eine Vorhersage auf Grund aller Instanzen bis zum aktuellen Zeitpunkt mit der Vorhersage auf Grund aller Instanzen bis zu einem (vergangenen) Referenzzeitpunkt vergleichen.

Die grundlegende Vorgehensweise zum Erkennen von Mustern in großen Datensätzen fängt damit an, dass man einen Satz von Trainingsdaten erstellt. Trainingsdaten haben die Eigenschaft, dass für die einzelnen Datensätze das Ergebnis welches man später für neue Datensätze voraussagen will, schon bekannt ist. Aus den Trainingsdaten wird mit sogenannten Lernalgorithmen ein Modell trainiert, welches die Muster in den Trainingsdaten analysiert und die Parameter des Modells an die Vorgaben der Trainingsdaten anpasst. Das Training des Modells findet normalerweise in einer Offline-Phase statt, da es sich meist um zeitaufwändige Algorithmen handelt. Das durch einen Lernalgorithmus erstellte Modell wird anschließend für die Voraussage von Datensätzen mit unbekanntem Ergebnis verwendet. In manchen Situationen ist es auch sinnvoll, das Modell nachträglich mit neuen Daten anzureichern. Dies ermöglichen sogenannte Online-Algorithmen. Sie integrieren neue Trainingsdatensätze in das Modell ohne auf die alten Trainingsdaten zurückzugreifen. In der Anwendungsphase werden für Datensätze, für welche kein Ergebnis bekannt ist, mit Hilfe des trainierten Modells Voraussagen getroffen.

Die Erstellung eines Modells zur Vorhersage von Ergebnissen mithilfe der Trainingsdaten und die Auswahl eines geeigneten Lernalgorithmus ist stark von der Struktur der Trainingsdaten und der vorauszusagenden Ergebnissen abhängig. So gibt es beispielsweise Modelle, welche nur diskrete Klassen vorhersagen können, oder spezielle Modelle für numerische Voraussagen. Um ein bestimmtes Modell zu trainieren, benötigt man auch einen speziell auf das Modell angepassten Lernalgorithmus. Je nach Art der vorhandenen Trainingsdaten gibt es drei generelle Arten von Lernalgorithmen. Existiert für jeden Trainingsdatensatz ein Ergebnis, so verwendet man Methoden des Supervised-Learning. Dabei optimiert man das Modell darauf, für so viele Datensätze wie möglich die in den Trainingsdaten vorhandenen Ergebnisse richtig vorauszusagen. Manchmal besteht auch die Notwendigkeit, aus Daten, zu denen keine Ergebnisse vorhanden sind, Korrelationen zu extrahieren. Dies nennt man Unsupervised-Learning. Oft sind aber auch nur für manche

Trainingsdatensätze Ergebnisse bekannt und für andere wiederum nicht. Für diese Situation gibt es die Verfahren des Semisupervised-Learning, welche die Daten mit Ergebnissen geschickt mit denen ohne Ergebnisse kombinieren und dadurch bessere Ergebnisse erzielen, als wenn nur die Daten mit bekanntem Ergebnis verwendet worden wären [16].

Wichtig bei allen Methoden zur Erstellung eines Modells ist es, darauf zu achten, dass das Modell nicht zu sehr an die Daten angepasst wird (sogenanntes Overfitting). Dabei trifft das Modell für die vorhandenen Trainingsdaten optimale Voraussagen. Allerdings beruhen diese zu einem großen Teil nur auf speziellen, oft zufälligen Eigenschaften der Trainingsdaten und nicht auf einer inhaltlichen Grundlage. Voraussagen für neue, nicht im Trainingsdatensatz enthaltene Daten sind dann oft falsch. Zur Vermeidung dieses Phänomens werden die Modelle am Ende der Lernphase analysiert und vereinfacht. Meist besteht diese Phase darin, jene Teile des Modells zu identifizieren, welche wenig zur Ergebnisfindung beitragen, und sie aus dem Modell zu entfernen. Insbesondere die Analyse des tatsächlichen Informationsgewinns, also im Wesentlichen die Frage, wie viel Information mit einer Regel subsumiert wurde, ist an dieser Stelle eine geeignete und viel verwendete Technik.

Im Folgenden wollen wir uns nun den verschiedenen Modellen, welche die Lernalgorithmen aus den Trainingsdaten erzeugen, zuwenden. Jedes Modell erfordert einen speziell auf das Modell angepassten Lernalgorithmus. Ein einfaches, aber sehr verständliches Modell sind Entscheidungsbäume. Entscheidungsbäume sind hierarchische Strukturen, welche von oben nach unten durchlaufen werden. Dabei wird an jedem Knoten eine Entscheidung basierend auf einem Attribut eines Datensatzes getroffen. Der wesentliche Vorteil von Entscheidungsbäumen liegt darin, dass die Entscheidungsfindung verständlich und leicht nachvollziehbar ist. Entscheidungsbäume werden nicht nur von Lernalgorithmen berechnet, sondern zum Beispiel auch von Experten zur Diagnose von Krankheiten von Hand erstellt. Ein weiteres Modell sind neuronale Netze. In neuronalen Netzen werden Zusammenhänge zwischen Eingabe- und Ausgabeattributen in einer gewichteten Graph-Struktur modelliert. Die Gewichte werden dabei durch Erfahrung (d.h. Trainingsdaten) angepasst. Genau wie im menschlichen Gehirn werden Verbindungen zwischen Knoten gestärkt, wenn passende Trainingsdaten vorliegen und geschwächt, wenn dies nicht der Fall ist. Durch geschicktes Training mit Beispielen entsteht so ein System, welches korrekte Entscheidungen treffen kann. Leider sind die dabei entstehenden Strukturen im Gegensatz zu Entscheidungsbäumen kaum verständlich, da sie nicht von einzelnen Attributen abgeleitet wurden, sondern sich aus der Gesamtheit der Daten herausbilden. Ein weiteres Modell aus dem Bereich der Statistik sind Bayes'sche Netze. Sie beschreiben kausale Zusammenhänge zwischen bedingten Wahrscheinlichkeiten von Zufallsvariablen als gerichtete Graphen. Bayes'sche Netze eignen sich sehr gut um Unsicherheit zu modellieren. Häufig sind aber auch fast triviale Modelle viel erfolgreicher. So kann gelegentlich das Ergebnis auch einfach als gewichtete Linearkombination der Attribute vorhergesagt werden.

Es gibt viele Belege für den Erfolg von maschinellem Lernen in Geschäftsanwendungen [17]. In dieser Arbeit führt Langley etwa die folgenden Anwendungen im geschäftlichen Umfeld auf:

In einem frühen Beispiel hat American Express die Vergabe von Krediten an Personen mit Methoden des maschinellen Lernens verbessert [18]. In einer eher überraschender Anwendung verwendete der industrielle Versicherer „Hartford Steam Boiler“ eine Menge an automatisch erzeugten Regeln, um Ausfälle von ölgefüllten elektrischen Transformatoren vorherzusagen. Dazu wurden allein gaschromatografische Untersuchungen des Öls der Transformatoren verwendet [19]. In einer aktuellen Anwendung aus dem letzten Jahr wird ein Teil eines industriellen Fertigungsprozesses allein mit Positionssensoren mit sehr großem Erfolg überwacht [1].

6 Kontextabhängige Kommunikationsparadigmen

Gerade im Bezug auf mobile Geschäftsanwendungen stellen sich in Zukunft ganz neue Herausforderungen an die Kommunikation. Dabei spielt insbesondere das Wissen um den Nutzerkontext eine wesentliche Rolle.

Betrachtet man die gegenwärtige Entwicklung im privaten Umfeld, so erkennt man einen klaren Trend, weg von den herkömmlichen Kommunikationskanälen wie SMS, Chat oder Email, hin zur Verwendung sozialer Medien. Getrieben von den Entwicklungen rund um das Web 2.0 bieten soziale Medien ganz neue Möglichkeiten der Kommunikation, Kollaboration und des Wissensmanagements über multimediale Inhalte und vereinfachen damit die alltägliche Korrespondenz enorm. Im privaten Umfeld werden vor allem Weblogs, Microblogging, Instant Messaging und Foren als Technologie für soziale Medien eingesetzt. Eine Sonderstellung nehmen hier soziale Netze ein, deren Nutzung zuletzt ein nahezu exponentielles Anwachsen verzeichnete. Vertreter sozialer Netze wie Facebook, Twitter, MocoSpace, Google Latitude, Foursquare oder Flickr erlauben das Versenden privater oder öffentlicher Nachrichten, das Veröffentlichen persönlicher Kontextinformationen wie z.B. den gegenwärtigen Aufenthaltsort, das Publizieren und Teilen von multimedialen Inhalten wie z.B. Bildern oder Videos sowie das Kommentieren, Bewerten und Empfehlen solcher Inhalte.

Die enorm wachsende Zahl von Smartphone-Nutzern sowie die Verfügbarkeit entsprechender Anwendungen zur mobilen Nutzung sozialer Medien verstärkt diesen Trend.

Offensichtlich bietet die Verwendung mobiler sozialer Netze zum Austausch von Nachrichten, Kommentaren, Meinungen, Inhalten und allen erdenklichen Kontextinformationen einen enormen Mehrwert für die Nutzer, weswegen sich der Ruf nach sozialen Netzen in der Geschäftswelt nahezu aufdrängt.

Bisher hat eine Integration bzw. Adaption der Kommunikationsmöglichkeiten sozialer Medien in der Geschäftswelt jedoch kaum stattgefunden. So reduziert sich deren Einsatz primär darauf, ein Unternehmen und seine Mitarbeiter nach außen hin zu repräsentieren. Im Vordergrund stehen hier Online Marketing und Vertrieb [20] oder die Personalanalyse [21]. Zum Teil lässt sich dies auf eine mangelnde Nutzerakzeptanz zurückführen, die mit steigendem Alter der Mitarbeiter abnimmt [22]. So beschränkt sich die interne Nutzung sozialer Medien oft darauf, dass Mitarbeiter

ihre Nutzerkonten dazu verwenden, ihre Kontaktdaten und Adressbücher komfortabel zu pflegen [23]. Zudem existieren in den meisten Unternehmen berechnete Sicherheitsbedenken gegenüber dem Einsatz solcher Dienste: Zum einen besteht die Angst, dass Profildaten über Mitarbeiter oder firmeninterne Geheimnisse in den Besitz nicht autorisierter Dritter gelangen könnten. Zum anderen drohen Gefahren durch die Ausnutzung fehlerhafter Softwarekomponenten, die Attacken wie Cross-Site Scripting oder SQL-Injection ermöglichen.

Die Notwendigkeit zur Einbettung sozialer Medien in derzeitige Unternehmensstrukturen und der damit einhergehende Bedarf zur Integration mobiler Endgeräte verlangt nach passenden Lösungen und Konzepten.

Um von den positiven Effekten sozialer Medien in Bezug auf Kommunikation, Kollaboration und Wissensmanagement zu profitieren, müssen einige Anforderungen in Betracht gezogen werden, die sich für eine geschäftsorientierte Adaption bzw. Integration sozialer Medien ergeben.

Einige dieser Anforderungen wurden zum Teil auch schon früher vorgeschlagen, um soziale Netze im privaten Umfeld sicherer zu machen und die Privatsphäre seiner Nutzer zu stärken [24].

Einen wesentlichen Gesichtspunkt bei der Integration bzw. Adaption sozialer Netze in das Geschäftsumfeld stellt die Zuverlässigkeit eines verwendeten Kommunikationskanals dar. Hier dominieren derzeit asynchrone pull-basierte Verfahren. Um die Anforderungen moderner Anwendungen im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit zu erfüllen, bedarf es der Aggregation der unterschiedlichsten Kommunikationskanäle wie SMS, Email, Chat oder Twitter.

Die stark divergierende Verwendung herkömmlicher und sozialer Medien zur Kommunikation bewirkt schon heute eine starke Segmentierung in der Art der Informationsverbreitung. Diese Divergenz begründet sich primär in der unzureichenden Akzeptanz neuer Medien bei älteren Mitarbeitern. Eine wesentliche Anforderung an die Integration neuer Kommunikationskanäle besteht im Erreichen einer umfassenden Transparenz.

Die Bereitstellung einer medienübergreifenden Transparenz des Kommunikationsmodells impliziert die Notwendigkeit einer generischen Integrierbarkeit neuartiger Technologien. Um neue Medien nachträglich zu integrieren, sollte die Entwicklung mobiler Geschäftsanwendungen möglichst keine Abhängigkeiten zu einem bestimmten Kommunikationsmodell aufweisen.

Gerade im Bezug auf die Verwendung sozialer Medien hat sich in jüngster Vergangenheit immer wieder gezeigt, dass sich ausreichende Datensicherheit hier nur schwer garantieren lässt. Die Risiken drohen insbesondere durch fehlerhaft implementierte Benutzerschnittstellen, aber auch durch unverantwortliches Verhalten der Mitarbeiter selbst. Im Hinblick auf die Einbindung mobiler Geschäftsanwendungen werden diese Risiken zusätzlich verstärkt, da sowohl der Wert der Information gezielte Hackerangriffe wahrscheinlicher macht und kaum Sicherungsmechanismen im mobilen Umfeld umgesetzt werden können. Auch in diesem Rahmen werden in Zukunft Kontextinformationen wie Benutzeridentität, Aufenthaltsort, Konnektivität oder Geheimhaltungsrichtlinien stark dazu beitragen, die Sicherheit der Kommunikation mobiler Geschäftsanwendungen zu erhöhen.

In Zukunft wird die Integration mobiler Geschäftsanwendungen das Kommunikationsverhalten im Unternehmensumfeld stark beeinflussen. Dabei spielt insbesondere die Einbindung sozialer Medien für die interne Nutzung im Unternehmensumfeld eine besondere Rolle. Um die Nachhaltigkeit eines Konzepts zur Integration sozialer Medien in mobilen Geschäftsanwendungen zu gewährleisten, müssen zukünftige Lösungen sich stark an den eben skizzierten Anforderungen orientieren. Zum einen stehen hier die kontextsensitive Aggregation, transparente Bereitstellung und nachträgliche Integrierbarkeit herkömmlicher und neuartiger Kommunikationskanäle im Vordergrund. Zum anderen liegt der Fokus auf einer kontextbestimmten Absicherung der Kommunikation. Dies beinhaltet sowohl die Gewährleistung der Datensicherheit, als auch die Einhaltung der Richtlinien zur informationellen Selbstbestimmung der Mitarbeiter.

7 Fazit

Um die Leistungsfähigkeit von kontextabhängigen, mobilen Anwendungen für die Wirtschaft zugänglich zu machen, sind einige Hürden zu überwinden. Zunächst müssen die rechtlichen, sozialen und persönlichen Bedenken ausgeräumt werden. Dies kann zum Beispiel durch Pilotprojekte und eine ergebnisoffene Diskussion in Feldversuchen unter Beteiligung möglichst repräsentativer Anwendergruppen erreicht werden. Denn wenn es gelingt, Mitarbeiter von den Vorteilen der Verwendung von Kontextinformation zu überzeugen und den Arbeitsalltag nachhaltig zu vereinfachen, ist auch die Skepsis in Bezug auf die Verwendung der Daten nicht mehr groß. Ist allerdings der Sinn und Zweck der Sammlung irgendwelcher Daten den Mitarbeitern nicht klar, so entsteht Angst und Ablehnung. Die informationstechnologischen Grundlagen für kontextabhängige Anwendungen sind mittlerweile relativ gut erforscht und können ohne großen Aufwand im Tagesgeschäft eingesetzt werden. Eine völlig neue Dimension von Kontextinformation, die sicherlich auch zu neuen Verfahren im gesamten Forschungsgebiet führen wird, besteht in der Zunahme sozialer Informationen in den Datenbeständen. Je mehr die Mitarbeiter über soziale Netzwerke kommunizieren, desto mehr Information lässt sich einer bestimmten sozialen Gruppe zuordnen. So wird es erstmals möglich, nicht auf eine Person zu personalisieren, sondern auf eine soziale Umgebung, d.h. eine Person mitsamt ihren engsten geschäftlichen Kontakten. Für die Erklärbarkeit von kontextabhängig getroffenen Entscheidungen liegt hierin eine große Chance, weil nicht die speziellen Wünsche und Vorlieben einer einzelnen Person, sondern tatsächlich die Anforderungen eines Haupttätigkeitsbereiches durch kontextabhängige Applikationen unterstützt werden.

Zusammenfassend wollen wir festhalten, dass für den Einsatz von kontextabhängigen Systemen im Geschäftsumfeld und insbesondere für die Verwendung von mobilem Kontext aus Smartphones die wesentlichen Probleme in den Bereichen der Nutzerakzeptanz, des Datenschutzes und der Verlässlichkeit liegen. Hier werden wir

eine spannende Entwicklung sehen und vielleicht schon sehr bald flächendeckend kontextabhängige Systeme verwenden.

Literaturverzeichnis

1. A. Zinnen, C. Wojek, and B. Schiele, "Multi activity recognition based on bodymodel-derived primitives," *Location and Context Awareness*, pp. 1–18, 2009.
2. N. Bilton, "Hackers claim to have playstation users' card data." [Online]. Available: <http://bits.blogs.nytimes.com/2011/04/28/hackers-claim-to-have-playstation-users-card-data/>
3. A. Dey and G. Abowd, "Towards a better understanding of context and context-awareness," in *CHI 2000 workshop on the what, who, where, when, and how of context-awareness*, vol. 4. Citeseer, 2000, pp. 1–6.
4. C. Bettini, O. Brdiczka, K. Henricksen, J. Indulska, D. Nicklas, A. Ranganathan, and D. Riboni, "A survey of context modelling and reasoning techniques," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 6, pp. 161–180, 2010.
5. T. Strang and C. Linnhoff-Popien, "A context modeling survey," in *International Workshop on Ubiquitous Computing*.
6. A. T. Campbell, S. B. Eisenman, N. D. Lane, E. Miluzzo, R. A. Peterson, H. Lu, X. Zheng, M. Musolesi, K. Fodor, and G.-S. Ahn, "The rise of people-centric sensing," *IEEE Internet Computing*, vol. 12, pp. 12–21, 2008.
7. N. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury, and A. Campbell, "A survey of mobile phone sensing," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 48, no. 9, pp. 140–150, 2010.
8. K. Wiesner, M. Dürr, and M. Duchon, "Private Pooling: A Privacy-Preserving Approach for Mobile Collaborative Sensing," in *Proceedings of 3rd International ICST Conference on Security and Privacy in Mobile Information and Communication Systems (MOBISec 2011)*, Aalborg, Denmark, 17-19 May 2011.
9. N. D. Lane, S. B. Eisenman, M. Musolesi, E. Miluzzo, and A. T. Campbell, "Urban sensing systems: opportunistic or participatory?" in *Proceedings of the 9th workshop on Mobile computing systems and applications*, ser. HotMobile '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 11–16. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1411759.1411763>
10. S. B. Eisenman, N. D. Lane, E. Miluzzo, R. A. Peterson, G. seop Ahn, and A. T. Campbell, "Metrosense project: People-centric sensing at scale," in *In WSW 2006 at Sensys*, 2006.
11. M. Shin, C. Cornelius, D. Peebles, A. Kapadia, D. Kotz, and N. Triandopoulos, "AnonySense: A system for anonymous opportunistic sensing," *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 7, pp. 16–30, February 2011.
12. T. Abdelzaher, Y. Anokwa, P. Boda, J. Burke, D. Estrin, L. Guibas, A. Kansal, S. Madden, and J. Reich, "Mobiscopes for human spaces," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 6, pp. 20–29, 2007.
13. T. Das, P. Mohan, V. N. Padmanabhan, R. Ramjee, and A. Sharma, "Prism: platform for remote sensing using smartphones," in *MobiSys '10: Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*. New York, NY, USA: ACM, 2010, pp. 63–76.
14. E. Miluzzo, N. Lane, A. Campbell, and R. Olfati-Saber, "Calibree: A self-calibration system for mobile sensor networks," in *Distributed Computing in Sensor Systems*, ser. Lecture Notes in Computer Science, S. Nikolettseas, B. Chlebus, D. Johnson, and B. Krishnamachari, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, 2008, vol. 5067, pp. 314–331.
15. E. Miluzzo, M. Papandrea, N. D. Lane, H. Lu, and A. T. Campbell, "Pocket, Bag, Hand, etc.-Automatically Detecting Phone Context through Discovery," <http://www.cs.dartmouth.edu/~miluzzo/papers/miluzzo-phonesense10.pdf>.
16. S. Russell and P. Norvig, *Artificial intelligence: a modern approach*, ser. Prentice Hall series in artificial intelligence. Prentice Hall, 2010.
17. P. Langley and H. Simon, "Applications of machine learning and rule induction," *Communications of the ACM*, vol. 38, no. 11, pp. 54–64, 1995.

18. D. Michie, "Problems of computer-aided concept formation," *Applications of expert systems*, vol. 2, pp. 310–333, 1989.
19. C. Riese, "Transformer fault detection and diagnosis using rule-master by radian," *Radian Corp., Austin, TX, Paper*, 1985.
20. W. G. Mangold and D. J. Faulds, "Social media: The new hybrid element of the promotion mix," *Business Horizons*, vol. 52, no. 4, pp. 357 – 365, 2009. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681309000329>
21. P. Cyganski and B. H. Hass, *Potenziale sozialer Netzwerke für Unternehmen*. Springer Berlin Heidelberg, 2008, vol. 17, no. 02, pp. 101–120. [Online]. Available: <http://www.verlag-hanshuber.com/zeitschriften/doi.php?doi=10.1024/1012-5302.17.2.105>
22. G. C. Onyechi and G. Abeysinghe, "Adoption of web based collaboration tools in the enterprise: challenges and opportunities," *2009 International Conference on the Current Trends in Information Technology (CTIT)*, pp. 1–6, 2009.
23. A. Back, N. Gronau, and K. Tochtermann, "Web 2.0 in der Unternehmenspraxis," 2009. [Online]. Available: <http://www.scientificcommons.org/52918195>
24. M. Dürr, M. Werner, and M. Maier, "Re-Socializing Online Social Networks," in *Proc. of GreenCom-CPSCoM'10*. IEEE, Dec 2010.