

Sensorbasierte Datenerfassung im Dienst der Gesellschaft

Matthias Wetter

Departement für Informatik, ETH Zürich

wetterma@student.ethz.ch

Zusammenfassung

Computer werden immer kleiner und leistungsfähiger. Immer mehr Personen tragen kleine Geräte auf sich, welche mit diversen Sensoren ausgestattet sind. Sensoren erlauben es, Daten aus der Umwelt des Menschen zu sammeln, welche dann über sogenannte Sensornetze zusammengeführt und analysiert werden können. Die Mobilisierung von Sensorknoten eröffnet neue, bisher noch nie dagewesene Perspektiven für die Beschaffung von Informationen. Mit den allgegenwärtigen Mobiltelefonen und deren Netzen ist bereits eine Infrastruktur vorhanden, auf welcher aufbauend diverse Applikationen implementiert werden könnten. In dieser Arbeit werden Anwendungen beleuchtet, die einen Nutzen für die Gesellschaft erbringen. Dienste aus verschiedensten Gebieten - vom Gesundheitswesen bis zur Stadtplanung - sind denkbar. Tsunami-Frühwarnsysteme, die Beobachtung von Umweltverschmutzung oder die Kontrolle von Verkehrsströmen sind nur einige Anwendungen, welche sich die Möglichkeiten der Sensornetze zu Nutze machen.

1 Einführung

Drahtlose Sensornetze erlauben die Beobachtung von Vorgängen in der realen Welt. Sogenannte Sensorknoten können Erscheinungen aus der Umwelt erfassen, verarbeiten und an andere Sensorknoten oder an eine zentrale Instanz weiterleiten. Mittels verschiedenster Sensoren können physikalische Werte wie zum Beispiel Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Zusammensetzung der Luft, Magnetfelder oder Eigenschaften von Objekten wie Geschwindigkeit, Ausrichtung und Grösse gesammelt werden [6]. Erfassbar sind auch akustische und visuelle Eindrücke. Diverse Applikationen, welche auf Sensornetzen basieren sind denkbar und werden teilweise bereits eingesetzt. Im Kapitel 1.2 des Buches “Algorithms for Sensor and Ad Hoc Networks” [6] von Dorothea Wagner und Roger Wattenhofer werden einige solche Applikationen betrachtet. Unter anderem werden Anwendungen aus den Bereichen der Überwachung von Lebensräumen, der Überwachung von Patienten im Gesundheitswesen und Applikationen aus der Industrie sowie Anwendungen zu militärischen Zwecken genannt. Wie diese Beispiele zeigen, lag das Augenmerk der Forschungsarbeiten im Gebiet von Sensornetzen bisher vor allem auf Überwachungssystemen, welche vorwiegend zu Forschungszwecken und in der Industrie zur Überwachung von Produktionsprozessen eingesetzt werden.

Im Kontrast zu diesen klassischen Anwendungsbereichen werden in dieser Arbeit Applikationen beleuchtet, welche einen Nutzen für die allgemeine Bevölkerung haben. Ein Beispiel eines statischen Sensornetzes, wo Daten im Dienst der Gesellschaft erhoben werden, ist ein Tsunamifrühwarnsystem. Im folgenden Abschnitt wird der Aufbau dieses Systems genauer erläutert.

Im Kapitel 3 wird dann der Fokus auf neuartige Anwendungen gelegt, wo der Mensch im Prozess der sensorbasierten Datenerfassung eine zentrale Rolle einnimmt. Insbesondere wird der Einsatz von Mobiltelefonen als Sensorknoten diskutiert. An Hand einiger Beispiele wird die grosse Vielfalt an Möglichkeiten aus diesem Bereich aufgezeigt.

Im Abschnitt 4 werden die technischen Herausforderungen, die Systeme dieser Art erfordern, beleuchtet. Mit CarTel wird ein System etwas detaillierter vorgestellt und aufgezeigt wie man den Anforderungen an ein mobiles Sensornetz, welches Daten im Dienst der Gesellschaft erfasst, gerecht werden kann.

2 Tsunamifrühwarnsystem - Ein Beispiel für ein statisches Sensornetz zur Datenerfassung im Dienst der Gesellschaft

Bei einem Tsunamifrühwarnsystem werden eindeutig Daten gesammelt, welche im Dienst einer breiten Bevölkerung verwendet werden. Nach der Tsunamikatastrophe Ende Dezember 2004 wurde das Deutsche GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) mit dem Entwurf und der Implementierung einer Komponente für ein neues Tsunamifrühwarnsystem beauftragt [12]. Es handelt sich dabei um die Komponente Seismologie, welche die echtzeitnahe automatische Erkennung von tsunamigenen Erdbeben zur Aufgabe hat [9]. Innerhalb kürzester Zeit müssen Stärke und Ort von Tsunamis bestimmt werden können. Das Projekt läuft unter dem Namen "German-Indian Ocean Tsunami Warning System" (GITEWS).

An dieser Stelle wird ein Beispiel eines Systems für sensorbasierte Datenerfassung vorgestellt, welches bereits seine Dienste für die Gesellschaft leistet. Das Tsunamifrühwarnsystem GITEWS wurde Ende 2008 in Betrieb genommen.

Im Projekt GITEWS wird explizit auf die besonderen Umstände im Indischen Ozean vor Indonesien Rücksicht genommen. Bisherige Tsunamifrühwarnsysteme waren nämlich für diese Region ungeeignet. Die Wellenfront von Tsunamis, welche durch Erdbeben die entlang dem Sundagraben - einer Subduktionszone vor Indonesien - entstehen, ausgelöst werden, benötigen im Extremfall gerade einmal 20 Minuten bis sie die Küste erreichen [8].

Innert kürzester Zeit müssen also über verschiedenste Sensoren Daten erfasst und verarbeitet werden, auf Grund deren Warnungen abgegeben werden sollen. Selbstverständlich muss das System nicht nur schnell Prognosen erstellen können, sondern es soll auch einen hohen Grad an Zuverlässigkeit bieten. In jüngster Vergangenheit wurden durch andere Tsunamifrühwarnsysteme vermehrt Fehlwarnungen verbreitet.

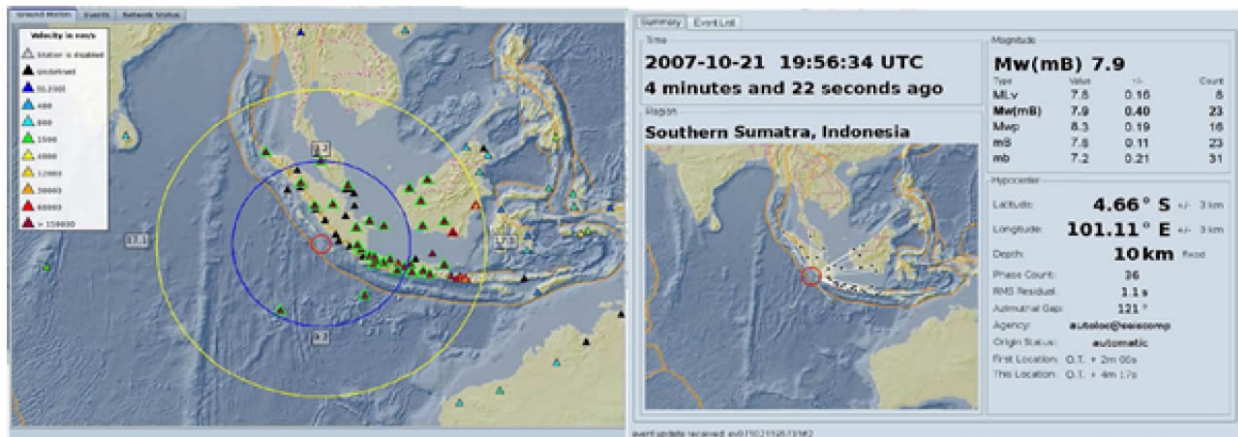


Abbildung 1: Im Warnzentrum für Tsunamis in Indonesien generierte SeisComp 3.0 am 13. September 2007 während des Bengkulu-Erdbebens die abgebildeten Bildschirmaufnahmen [12].

Eine wichtige und für die erfolgreiche Funktionalität des Systems entscheidende Komponente ist die Software. Die am GFZ entwickelte Software SeisComp 3.0, ist fähig Lokalität und Stärke von Erdbeben, welche Tsunamis auslösen könnten, zu erkennen. SeisComp 3.0 beinhaltet die generalisierte Datenerfassung, die Kontrolle der Qualität von erfassten Daten und ein Echtzeit-Datentransferprotokoll. Ausserdem ist die Software mit ausgefeilten Warnungs- und Visualisierungstools ausgestattet. Nebst der Anforderung, dass die Daten in Echtzeit ausgewertet sein sollten, ist das Zusammenführen der verschiedensten Messdaten eine Herausforderung. Aussergewöhnliche Messdaten werden in einem Warnzentrum in Indonesien mit zuvor berechneten Tsunami-Simulationen abgeglichen. In Abbildung 1 sind zwei Bildschirmaufnahmen von SeisComp 3.0 abgebildet.

Mit einem Prototyp dieser neuen Software war es im Jahr 2007 möglich einen Tsunami innerhalb von 5 Minuten vorherzusagen [12].

In Abbildung 2 ist das Tsunamifrühwarnsystem bildlich dargestellt. Zu den Sensoren des Frühwarnsystems gehören Erdbebenmessstationen, Positionsbestimmungs-Messstationen (GPS), Küstenpegel und GPS-Ozeanbojen sowie Druckmessgeräte.

Im Raum um Indonesien sind rund 120 seismologische Messstationen im Einsatz [9]. Über Satelliten werden die gesammelten Daten in ein Warnzentrum in Jakarta transferiert [12]. Über das Internet werden mehrere lokale Netze für die Erkennung von Tsunamis miteinander vernetzt. So besteht etwa das globale virtuelle Netz des Deutschen GFZ aus über 500 Stationen.

Weitere interessante Details zum GITEWS Projekt, insbesondere zur genauen Funktion einzelner Sensoren, sind der Broschüre “Das Tsunami-Frühwarnsystem für den Indischen Ozean” [7] zu entnehmen.

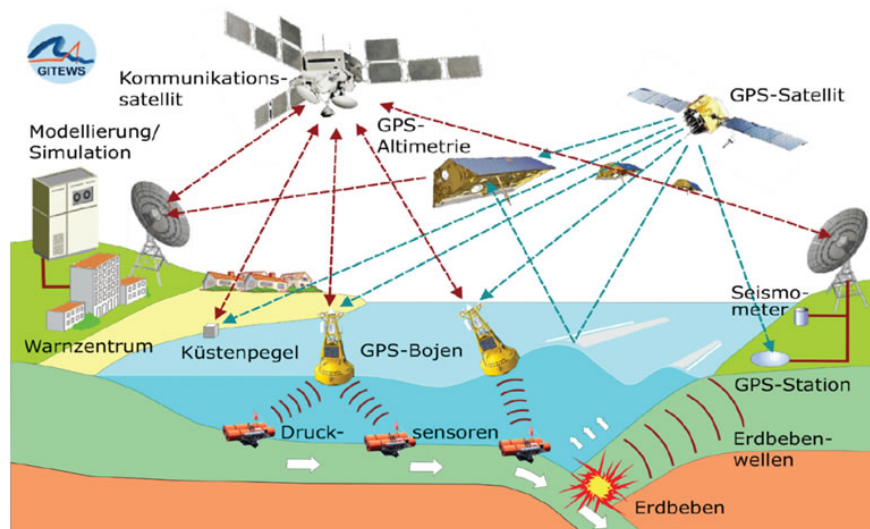


Abbildung 2: Die Komponenten des Tsunamifrühwarnsystems von GITEWS [8].

3 Urban Sensing - mobile Datenerfassung im Dienst der Gesellschaft

In diesem Abschnitt wird auf Projekte und Projektideen eingegangen, in denen der Mensch im Zentrum der sensorbasierten Datenerfassung steht. Unter dem Begriff "Urban Sensing" ist genau dieses Phänomen zu verstehen. "Urban Sensing"-Systeme ermöglichen den Nutzern Informationen aus nächster Umgebung zu sammeln, zu analysieren und untereinander zu teilen. Im Gegensatz zu den klassischen Sensornetzen, welche auf statisch platzierten Sensorknoten beruhen, wird hier die Mobilität des Menschen ausgenutzt. Der Mensch bzw. dessen Fahrzeuge werden als Trägermedium von Sensorknoten in Systeme eingebunden. Durch dieses Konzept können Sensoren Daten dort erfassen, wo sich das Leben des Menschen abspielt. Für Anwendungen, die Daten im Dienst der Gesellschaft erfassen sollen, scheint diese Herangehensweise förderlich zu sein. Eine grosse Anzahl von Personen kann nun Daten auf bisher unmöglichen Wegen und vor allem in einem sehr umfangreichen Gebiet sammeln.

Unter dem Begriff "Participatory Sensing" wird das Sammeln von Daten mittels mobiler Sensorknoten in Zusammenarbeit mit dem Besitzer des Gerätes verstanden. Hier ist der Mensch im Prozess der Datenerfassung voll involviert und entscheidet bewusst und aktiv über den Input in ein System. Doch das Sammeln von Informationen allein bringt der Gesellschaft noch nichts. Die Möglichkeit die gesammelten Daten mit anderen Benutzern zu teilen, Daten zusammenzuführen und zu analysieren eröffnen neue Perspektiven.

Wie gewillt der Mensch ist, zum Beispiel auf Anfragen aus dem Sensornetz zu reagieren und mittels seines Sensorknotens die angeforderten Daten zu erfassen, ist eine zentrale Frage, welche auch im Paper "Urban Sensing Systems: Opportunistic or Participatory?" [11] gestellt und ansatzweise beantwortet wird.

In diesem Paper wird als Gegenpol zu "Participatory Sensing" das Konzept "Opportunistic Sensing" erwähnt. Das Letztere beschreibt die Erfassung von Daten aus der Umwelt des Besitzers, ohne dass derjenige sich genau bewusst ist, wann welche Daten gesammelt werden. Natürlich muss der Besitzer die Möglichkeit haben, das System so zu konfigurieren, dass ein gewisser Grad an Transparenz und Privatsphäre gewährleistet ist. Im Vergleich zur ersten Methode mischt sich der Nutzer der Applikation aber nicht aktiv in den Datenbeschaffungsprozess ein.

Vor- und Nachteile dieser Methoden liegen auf der Hand: Beim Einsatz von "Participatory Sensing" muss der Besitzer seinen persönlichen oder wirtschaftlichen Nutzen klar erkennen können. Für die Sammlung von Informationen für Forschungsprojekte, welche einer ganzen Gesellschaft dienlich sein werden, wäre es wohl eher zu viel verlangt, wenn eine Person ständig auf Anfragen eines Systems reagieren müsste.

3.1 Mobiltelefone als Sensorknoten

Ein Leben ohne Mobiltelefone kann man sich in der heutigen Zeit kaum mehr vorstellen. Laut der Berliner Morgenpost waren nach Hochrechnungen der Internationalen Telekommunikations-Union Ende des Jahres 2008 rund 4 Milliarden Menschen mit einem Mobiltelefon versorgt [1]. Diese mobilen Geräte werden immer kleiner und leistungsfähiger. Sie dienen längst nicht mehr nur als drahtlose Telefone im ursprünglichen Sinn.

Vermehrt werden Mobiltelefone mit verschiedensten Sensoren ausgestattet mit Hilfe deren Informationen erfasst werden können. Eine eingebaute Kamera ist bereits Bestandteil vieler Mobiltelefone. Über das Mikrofon können Töne aus der Umgebung aufgenommen oder einfach der Lärmpegel gemessen werden. Neuere Generationen dieser allgegenwärtigen Geräte sind auch mit Empfängern des Globalen Positionsbestimmungssystems (GPS) ausgestattet. Beispiele solcher Mobiltelefone sind das iPhone von Apple oder das N95

von Nokia. Über Kommunikationskanäle wie zum Beispiel Bluetooth können weitere Sensoren mit dem Mobiltelefon verbunden werden. Die Erfassung der Umwelt an sich ist noch nicht von grossem Nutzen. Die Geräte sind auch leistungsstark genug um die gesammelten Informationen zu verarbeiten und weiterzuleiten. Aus der Tatsache heraus, dass Informationen individuell erfasst und mit anderen geteilt werden können, entstehen Möglichkeiten Wissen zu generieren, das bisher kaum oder nur mit hohem Aufwand zugänglich war.

Die soeben geschilderten Voraussetzung legen nahe, dass Mobiltelefone als Sensorknoten in Systemen genutzt werden, welche das Ziel verfolgen Daten im Dienst der Gesellschaft zu erfassen. Mobiltelefone sind immer da, wo sich der Mensch aufhält und dadurch immer an der Quelle, wo der Mensch mit seiner Umgebung in Kontakt kommt und mit ihr interagiert. Die Ausstattung der Mobiltelefone mit Sensoren bietet hervorragende Möglichkeiten Daten aus der Umwelt des Menschen zu erfassen.

Eine wichtige Funktion ist, dass immer mehr Geräte ihren Standort und somit den Aufenthaltsort ihres Besitzers selbst in Erfahrung bringen können. Damit können Daten im Kontext eines Ortes und der Zeit gesammelt werden. Diese beiden Fakten sind von entscheidender Bedeutung. Für die Glaubwürdigkeit der gesammelten Daten sind sie mindestens so wichtig wie die Identität des Sammlers [10].

In den folgenden Unterkapiteln werden einige Projekte vorgestellt, wie Mobiltelefone dazu genutzt werden um nach dem Prinzip von "Urban Sensing" Daten zu erfassen, verarbeiten, auszutauschen und zu analysieren. Dabei handelt es sich nicht um Applikationen, die im grossen Stil eingesetzt werden. Die vorgestellten Anwendungen werden an Universitäten entworfen und teilweise implementiert und im kleinen Rahmen ausprobiert. Federführend in der Forschung im Bereich von "Participatory Sensing" ist das Cens-Institut (Center for Embedded Networked Sensing) der Universität von Kalifornien (UCLA).

3.2 Anwendungen und Anwendungsideen

Ein erstes Anwendungsbeispiel soll aufzeigen, wie durch "Participatory-Sensing" zur Verbesserung der Qualität von Fussgängerzonen beigetragen werden kann. Nutzer einer solchen Applikation erfassen zum Beispiel Bilder des Zustandes von Gehwegen und dokumentieren diese mit einem Text oder einer Tonaufnahme. Die gesammelten Daten werden automatisch mit Angaben zum aktuellen Ort und der Zeit ergänzt. Das Mikrophon kann auch dazu eingesetzt werden um den Lärm an einer Strasse zu erfassen und so zum Beispiel das Verkehrsaufkommen abzuschätzen. Stadtplaner können die generierten Informationen als Input für ihre weitere Arbeit gebrauchen [5].

Ein weiteres Szenario: Während eines Lauftrainings kann mittels GPS die Route aufgezeichnet werden. Auch die Geschwindigkeit ist ermittelbar. So kann zum Beispiel eine Route auf einem Portal visualisiert werden und mit anderen, ebenfalls durch Nutzer gesammelten Daten, wie zum Beispiel der Luftqualität, verglichen werden. An dieser Stelle sei auf ein Video, welches vom CENS-Institut veröffentlicht wurde, hingewiesen [3]. Es beinhaltet eine gute Einführung in die Visionen des "Participatory-Sensing", sowie eine etwas detailliertere Beschreibung des oben angedeuteten Anwendungsszenarios.

Ein weiteres Beispiel: Verschiedenste Einflussfaktoren wie die Luftqualität, Verkehr und Unfälle können die Qualität einer Velofahrt von Pendlern in einer Stadt beeinflussen. Gewisse Wege sind zum Beispiel durch Baustellen temporär nicht befahrbar. Unter dem Namen "cyclesense" lancierte die Universität von Kalifornien ein Projekt, in dem Pendler ihre Veloroute mittels GPS festhalten und auf dieser weitere Daten erheben. Velofahrer dokumentieren zum Beispiel gefährliche Stellen auf ihrer Route. Neben Fotos werden Sensordaten wie Beschleunigung und Ton automatisch aufgezeichnet. Erfasst werden zum Beispiel Fahrt-

unterbrüche, wie im obigen Beispiel die Qualität der Fahrwege, Tonaufnahmen und Fotos von Hindernissen. Über ein Webinterface werden die gesammelten Informationen unter den Teilnehmern des Systems ausgetauscht. Diese an der UCLA entworfene Applikation soll auf Mobiltelefonen lauffähig sein. Eine solche Applikation kann den Pendlern nun täglich ein Feedback über die Qualität und Sicherheit der Route geben und allenfalls Routenänderungen oder andere Zeitpunkte für die Abfahrt vorschlagen [4].

Im Gesundheitswesen gibt es einige Möglichkeiten, wie “Participatory Sensing” sinnvoll eingesetzt werden kann. Teilnehmer eines Projektes könnten zum Beispiel Daten aus der Umwelt erfassen, um Ursachen von chronischen und umgebungsbedingten Krankheiten analysieren zu können.

Ärzte können Patienten behandeln, ohne dass diese andauernd die Arztpraxis aufsuchen müssen. Verschiedene Inputs seitens der Patienten sind hier denkbar: Über Bluetooth können Informationen von anderen Geräten gelesen werden, der Patient kann einen Text verfassen oder Eingaben können über das Mikrofon getätigt werden.

4 Anforderungen an eine Softwarearchitektur

Damit Applikationen, wie sie oben beschrieben wurden, möglichst einfach umsetzbar sind, ist der Einsatz einer spezifisch auf die Bedürfnisse dieser Anwendungen zugeschnittene Softwarearchitektur unabdingbar. Anforderungen an eine solche Softwarearchitektur werden in diesem Kapitel aufgezählt und beschrieben.

Glaubhaftigkeit und Qualität der Daten, die Gewährleistung der Privatsphäre und die Möglichkeit Daten einfach im Netz zu teilen sind Merkmale, die ein System, auf welchem “Urban Sensing” betrieben wird, erfüllen sollte. Die automatische Erfassung von Ort und Zeit trägt bereits einen wesentlichen Teil zur Authentizität der Daten bei [10]. So können zum Beispiel bereits erfasste Daten durch eine erneute Erhebung der Daten am selben Ort bestätigt werden. Damit die Daten in kontrollierter Weise geteilt werden können, sind entsprechende Protokolle notwendig. Die Netzarchitektur soll auch elementare Qualitätsüberprüfungen vornehmen. Ausserdem sollen Kernmerkmale von verteilten Systemen unterstützt werden. Aufbauend auf eine solche Architektur sollen möglichst einfach Applikationen zum Sammeln, Analysieren und Austauschen von Daten implementiert werden können.

Eine Architektur, welche die obigen Anforderungen erfüllt, wurde an der Universität von Kalifornien unter dem Namen Partisan entwickelt. Partisan bietet Kernmechanismen für verteilte Systeme sowie Mechanismen, die den Anforderungen einer “Participatory Sensing”-Umsetzung gerecht werden, wie zum Beispiel die Verifikation von Orten. An der UCLA wurde ausserdem ein Framework entwickelt, das die Programmierung von Applikationen im Bereich des “Participatory Sensing” vereinfacht. Das CENS beschäftigt sich mit dem Konzept des “Participatory Sensing” und dem Einsatz von Mobiltelefonen zu diesem Zweck [10]. Im Folgenden wird auf ein Projekt einer anderen Universität eingegangen, welches speziell Autos als Trägermedium der Sensorknoten vorsieht.

4.1 CarTel

CarTel ist ein mobiles Sensornetz welches im “Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory” des “Massachusetts Institute of Technology” entwickelt wurde. Die Systeminfrastruktur beinhaltet sowohl Software als auch Hardware. Auch in diesem System geht es darum Daten zu sammeln, zu verarbeiten, unter einander auszutauschen, zu analysieren und zu visualisieren. Eine Komponente des Systems sind die Sensorknoten, welche mit verschiedensten Sensoren ausgestattet werden können. Eine entscheidende Eigenschaft von Sensorknoten ist, dass auf ihnen Daten bereits lokal verarbeitet werden können. Das System ist darauf ausgerichtet die Daten von mobilen Geräten zusammen zu führen. Beispielsweise können sie in Autos installiert oder von Menschen getragen werden. Damit wird wiederum erzielt, dass die Umwelt flächenmässig in grösserem Ausmass erfasst werden kann.

Eine weitere Komponente ist das Portal. Dies ist ein zentraler Server, wo die Applikationen die auf CarTel laufen, gespeichert sind. An dieser Stelle werden Konfigurationen für das System getätigt. Hier fließen auch alle Daten, welche von den Sensorknoten gesammelt und versendet werden zusammen [2].

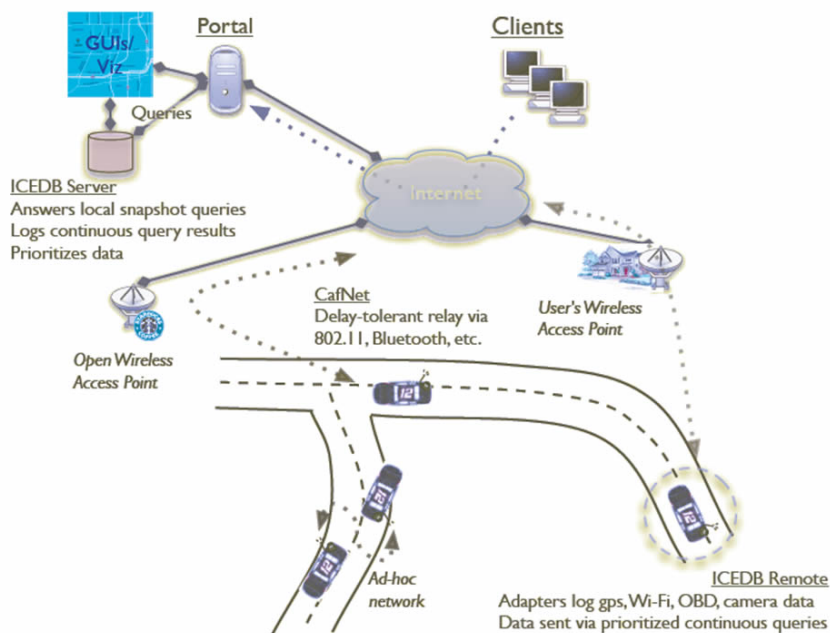


Abbildung 3: Die verschiedenen Komponenten der CarTel Systemarchitektur. Während einer Fahrt sammeln die auf Autos platzierten Sensorknoten Daten und speichern diese in ihren lokalen ICEDB-Komponenten. Sobald eine Verbindung verfügbar ist, werden die Daten über CafNet zum Portal gesendet. Hier können die Daten von Benutzern durchsucht und visualisiert werden [2].

CarTel Applikationen benutzen weiter die Komponenten ICEDB (intermittently connected database) und CafNet (carry-and-forward network), um festzulegen, wie die Sensorknoten die Daten sammeln, bearbeiten und ausliefern sollen. Bei der Komponente ICEDB handelt es sich um einen Anfrage-Prozessor. Hier wird spezifiziert, wie die mobilen Knoten die Daten zusammenfassen, filtern und priorisieren sollen. Applikationen übermitteln ihre Anfragen an die ICEDB. Ausserdem bietet die ICEDB einen Mechanismus zur Hand-

habung der heterogenen Datentypen. Jeder Sensor besitzt einen sogenannten Adapter, ein Programmstück, das für die Konvertierung der jeweiligen Datentypen ins ICEDB Datenmodell verantwortlich ist. CafNet bietet eine nachrichtenorientierte Übertragungs- und Empfangs-API. In Abbildung 3 sind die Komponenten von CarTel schematisch dargestellt.

Zwei Aspekte sollen an dieser Stelle besonders hervorgehoben werden. Einerseits ist es Tatsache, dass die Verbindung zwischen den Sensorknoten und dem Portal nur zeitweise besteht. CarTel bietet verschiedene Mechanismen um dieser Erscheinung entgegen zu wirken. Zum Beispiel werden die Anfragen vom Portal so spezifiziert, damit der Sensorknoten genau weiss, wann er welche Daten wie senden soll. Falls nötig können die von den Sensoren erfassten Informationen auf dem lokalen Rechner zuerst bearbeitet werden.

Eine weitere Herausforderung ist, dass die von den Sensoren gesammelten Daten in den verschiedensten Datenformaten vorliegen können. CarTel bietet daher ein eigenes Datenmodell an. Im CarTel-System können einfach neue Sensoren hinzugefügt werden [2].

Aufbauend auf der Infrastruktur von CarTel wurden verschiedene Projekte initiiert.

5 Schlussfolgerungen

In dieser Arbeit wurde mittels einiger Beispielanwendungen aufgezeigt, wie durch Sensoren erfasste Daten dazu eingesetzt werden können, um einer Gesellschaft zu dienen. Mit dem Tsunamifrühwarnsystem des Deutschen GeoForschungsZentrum wurde ein statisches System näher betrachtet, welches bereits im Einsatz ist.

Neue Möglichkeiten eröffnen sich, wenn man die Mobilität des Menschen dazu ausnutzt Daten zu sammeln. Insbesondere der Einsatz von Mobiltelefonen als Sensorknoten ermöglicht Anwendungen, welche Beobachtungen von Phänomenen zulassen, die bisher nur schwierig oder gar nicht wahrnehmbar waren. Der Mensch wird somit ins Zentrum des Datenerfassungsprozesses gestellt. Er konsumiert nicht mehr nur Informationen, sondern trägt auch aktiv etwas dazu bei, dass aus gesammelten Daten aus der Umwelt Informationen generiert werden können, welche für die Gesellschaft einen Wert haben.

Es ist schwierig abzuschätzen, welche Applikationen sich in Zukunft durchsetzen können und ob es Anwendungen geben wird, die nicht mehr wegzudenken sind und Auswirkungen auf die Gesellschaft haben werden. Wichtige Aspekte in dieser Hinsicht sind wohl die Gewährleistung der Privatsphäre, des Datenschutzes und die einfache Bedienung solcher Applikationen.

Literatur

- [1] Vier Milliarden Menschen telefonieren mit Handys. http://www.morgenpost.de/ratgeber/technik/article896635/Vier_Milliarden_Menschen_telefonieren_mit_Handys.html. [Stand: 21. Mrz 2009].
- [2] B. Hull, V. Bychkovsky, Y. Zhang, K. Chen, M. Goraczko, A. Miu, E. Shih, H. Balakrishnan and S. Madden. CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System. Technical report, MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory.
- [3] Center for Embedded Networked Sensing, University of California, Los Angeles. Participatory Sensing. <http://urban.cens.ucla.edu/vision/>. [Stand: 21. Mrz 2009].
- [4] Center for Embedded Networked Sensing, University of California, Los Angeles. Urban Sensing : Projects : Cyclesense. <http://urban.cens.ucla.edu/projects/cyclesense/>. [Stand: 21. Mrz 2009].
- [5] Center for Embedded Networked Sensing, University of California, Los Angeles. Urban Sensing: Projects. <http://urban.cens.ucla.edu/projects/>. [Stand: 21. Mrz 2009].
- [6] D. Wagner and R. Wattenhofer. *Algorithms for Sensor and Ad Hoc Networks*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [7] Deutsches GeoForschungsZentrum. Das Tsunami-Frhwarnsystem fr den Indischen Ozean. http://www.gitews.de/fileadmin/documents/content/press/GITEWS_Broschuere_DE_08.pdf. [Stand: 21. Mrz 2009].
- [8] Deutsches GeoForschungsZentrum. GITEWS: Konzept. <http://www.gitews.de/index.php?id=22&L=0&type=1>. [Stand: 21. Mrz 2009].
- [9] Deutsches GeoForschungsZentrum. GITEWS: Seismologie. <http://www.gitews.de/index.php?id=21&L=0&type=1>. [Stand: 21. Mrz 2009].
- [10] J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy and M. B. Srivastava. Participatory Sensing. Technical report, Center for Embedded Networked Sensing, University of California, Los Angeles.
- [11] N. D. Lane, S. B. Eisenman, M. Musolesi, E. Miluzzo and A. T. Campbell. Urban Sensing Systems: Opportunistic or Participatory? Technical report, Computer Science, Dartmouth College Hanover New Hampshire, USA and Eletrical Engineering, Columbia University New York, New York, USA.
- [12] W. Hanka, J. Saul, B. Weber, J. Becker and GITEWS Team. Timely Regional Tsunami Warning and Rapid Global Earthquake Monitoring. *Orfeus Newsletter*, 8:16 – 25, Juni 2008.