

GEOSENSORNETZWERKE ALS KOMPONENTE VON FRÜHWARNSYSTEMEN

A. Born, K. Walter, F. Niemeyer, R. Bill

Universität Rostock

Professur für Geodäsie und Geoinformatik - (alexander.born,kai.walter,frank.niemeyer,ralf.bill)@uni-rostock.de

ZUSAMMENFASSUNG:

Große Mengen von preiswerten und einfach auszubringenden Sensoren, die sich selbst organisieren, drahtlos miteinander kommunizieren, Messungen durchführen und auswerten können, ermöglichen eine großflächige Beobachtung städtischer Gebiete und unzugänglicher Terrains. Eine der wichtigsten Aufgaben für eine raumbezogene Auswertung ist bei der gegebenen zufälligen Ausbringung der Sensoren die Bestimmung der Position jedes einzelnen Sensorknotens. Ungenaue Eingangsgrößen wie z.B. Distanzmessungen und die sehr eingeschränkten und begrenzten Energie- und Rechenressourcen eines jeden Knotens sowie die hoch miniaturisierte Hardware und geringe Batteriekapazität erfordern die Entwicklung robuster, energieeffizienter und präziser Lokalisierungsalgorithmen. Im Zuge des DFG-Projektes *GeoSens* wurde ein Lokalisierungsalgorithmus entwickelt, der auf Basis geodätischer Ausgleichungsansätze beruht und den Berechnungsaufwand und den Energieverbrauch auf den Sensorknoten bei gleichzeitig signifikanter Erhöhung der Positionierungsgenauigkeit deutlich reduziert. Das Ziel des seit Frühjahr 2007 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Geotechnologien-Programms geförderten Verbundprojekts *SLEWS* (Sensor based Landslide Early Warning System) ist die Konzeption und prototypische Entwicklung von Methoden und Technologien für flexible und ressourceneffektive Alarm- und Frühwarnsysteme am Beispiel von Hangrutschungen. Hierbei spielen Sensorknoten mit unterschiedlichsten Funktionalitäten vom Messen bis zur Informationsverteilung eine wichtige Rolle. In *SLEWS* soll der Ablauf vom Messprozess bis hin zur Verteilung von Informationen und Warnhinweisen maßgeblich optimiert werden.

1 EINFÜHRUNG

1.1 Drahtlose Geosensornetzwerke

Drahtlose ad hoc Geosensornetzwerke (GSN) werden zukünftig aus bis zu zehntausenden winzigen, elektronischen, kostengünstigen Geräten (Sensorknoten) bestehen, die ihre Umgebung überwachen, einfache Rechenschritte ausführen und miteinander kommunizieren können (Abbildung 1). Bei den ermittelten Informationen kann es sich z.B. um Temperatur, Luft- oder Bodenfeuchte oder aber um Beschleunigungen handeln. Diese Messwerte werden dann über die direkten Nachbarn zu einer Datensinke (z.B. einem leistungsfähigen Rechner) gesendet, auf der die Daten ausgewertet werden (Akyildiz et al., 2002). Das Geosensornetzwerk konfiguriert sich unmittelbar nach Ausbringung der Knoten selbst. Jeder einzelne Knoten ist in der Lage, bei Bedarf angestoßen zu werden und solange zu arbeiten, wie seine Energiequelle ausreicht. Mittels Methoden wie Selbstheilung und Selbstorganisation reagiert das Netzwerk auf Knotenausfälle und Störungen. Als skalierbares und verteiltes System erlauben Geosensornetzwerke die automatisierte und großräumige Erfassung von Umweltphänomenen in unterschiedlichsten Umgebungen, z.B. auch schwer zugänglichen Regionen und bei sich bewegenden Objekten. Derartige Geosensornetzwerke sind zukünftig als automatisierte Datengewinnungsmethoden für verschiedenste GIS-Anwendungsfelder sehr interessant. Sie ermöglichen z.B. das rechtzeitige Detektieren von Waldbränden, die Überwachung von abrutschungsgefährdeten Hanglagen (siehe Kapitel 4) oder die Datengewinnung für die Teilflächenbewirtschaftung ('Precision Farming'). In allen diesen Anwendungsgebieten werden umfangreiche Daten gewonnen und mit aufwändigen Auswertelgorithmen analysiert. Dafür sind akkurate Positionsinformationen nötig.

Durch ihre geringen geometrischen Ausmaße von nur einigen Kubikmillimetern sind die Sensorknoten aber in Hinblick auf Prozessorleistung, Speichergröße und Energiereserven stark begrenzt. Die knappste Ressource in einem Geosensornetzwerk ist die verfügbare Energie (Min et al., 2001). Um eine lange Laufzeit des Netzwerkes zu ermöglichen, ist es erforderlich, sowohl energiesparsame Hardware als auch energieoptimierte Algorithmen einzusetzen. Diese Eigenschaften unterscheiden die hier behandelten Geosensornetzwerke auch von in breiter Anwendung befindlichen fest etablierten

Infrastrukturnetzwerken, bei denen i.d.R. Energie, Rechenleistung und Größe des einzelnen Sensors nur geringen Einschränkungen unterliegen.

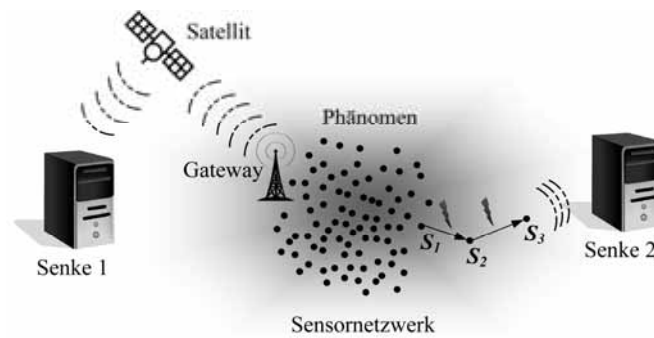


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Geosensornetzwerkes

1.2 Problemstellung

Nachdem das Geosensornetzwerk über dem Gebiet von Interesse ausgebracht wurde, verfügen die Sensorknoten noch über keinerlei Positionsinformationen. Allerdings sind aus Sensormessungen gewonnene Informationen nur sinnvoll, wenn ihre räumliche Position bekannt ist. Eine mögliche Technologie zur direkten Positionsbestimmung eines Sensorknotens ist das Global Positioning System (GPS), zukünftig ergänzt um das europäische System Galileo oder vergleichbare Systeme (Bill et al., 2004), (Gibson, 1996), (Alouini, 1996). Weitere Möglichkeiten der Positionsbestimmung sind auch heute schon in Mobilfunknetzen wie dem GSM-Netz (Global System for Mobile Communications) zur mobilen Kommunikation oder in drahtlosen Rechnernetzen (Wireless Local Area Network, WLAN) gegeben. Im Hinblick auf die miniaturisierte Größe der Knoten ist die Anwendung derartiger Positionierungsmethoden allerdings wenig sinnvoll und nur auf einigen wenigen Punkten im Geosensornetzwerk denkbar. Auch der relativ hohe Preis dieser Systeme, deren zusätzlicher Energie- und Platzbedarf sowie die z.B. bei GPS in bestimmten Bereichen (in Gebäuden oder unter Bäumen) nicht sichergestellte Verfügbarkeit machen diese Methoden für den Einsatz auf allen Knoten wenig attraktiv.

Die übliche Methodik besteht nun darin, einige wenige, energie- und rechenstärkere Knoten mit solchen existierenden Positionierungssystemen auszurüsten. Diese Knoten werden im Folgenden als Beacons bezeichnet. Nachdem diese Beacons ihre Position ermittelt haben, bestimmen die restlichen Knoten ihre Position, z.B. durch Streckenmessungen, eigenständig. Abbildung 2 zeigt eine Beispielkonstellation zur Bestimmung der Position eines Sensorknotens mittels Distanzmessungen zu fünf benachbarten Beacons.

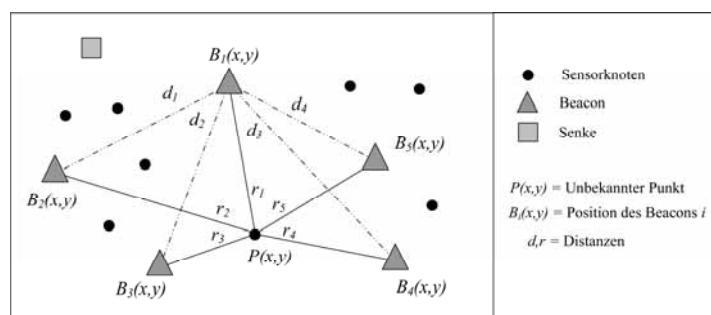


Abbildung 2: Lokalisierung eines Sensorknotens mit fünf Beacons

Informationen zu den Positionen der Sensorknoten sind aus folgenden Gründen erforderlich:

- Ermittelte Messungen ohne Positionsinformation sind bei räumlichen Phänomenen i.d.R. wenig aussagekräftig.
- Bekannte Positionen ermöglichen ein energieeffizientes geografisches Routing.
- Selbstkonfiguration und Selbstheilung sind Schlüsselmechanismen für die Robustheit und können einfacher mittels Positionsinformation realisiert werden.
- Die Administration eines Geosensornetzwerkes, bestehend aus tausenden von Sensorknoten, erfolgt durch gezieltes Ansteuern geografisch abhängiger Gruppen von Sensorknoten.
- Hindernisse in Geosensornetzwerken können ohne Mehraufwand detektiert werden.
- In vielen Anwendungen ist die Position an sich von Interesse.

2 ANFORDERUNGEN AN DRAHTLOSE AD HOC GEOSENSORNETZWERKE

Drahtlose Geosensornetzwerke stellen sehr hohe Anforderungen an die eingesetzte Hard- und Software. Einige Einsatz- und Ausbringungsarten (z.B. Ausstreuen per Flugzeug) erfordern neben Robustheit eine sehr hohe Knotendichte und damit eine hohe Anzahl von Sensorknoten. Auch ist die Wahrscheinlichkeit von Knotenausfällen (z.B. durch Hindernisse wie Bewuchs, Abdriften durch Wind etc.) bei solchen Ausbringungsprozessen erhöht. Zudem sollte die Hardware die Umwelt möglichst nicht belasten, also ökologisch verträglich sein. Im Idealfall sind sie ubiquitär, also nicht direkt wahrnehmbar.

Ein weiterer Aspekt bezieht sich auf die Wirtschaftlichkeit der Sensorknoten. Sie müssen sehr preiswert sein, um zu tausenden oder sogar zehntausenden ausgebracht werden zu können. Weiterhin sollen sie sehr klein sein, also Seitenlängen von nur wenigen Millimetern besitzen, um Anforderungen wie unbeeinflusste Messungen oder weitestgehende Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. Dazu werden miniaturisierte Sensorknoten entwickelt, die über energiesparende Rechen-, Kommunikationseinheiten und Messsensoren verfügen. Weiterhin könnten, solange keine biologisch abbaubaren Sensorkomponenten entwickelt wurden, diese nach deren Einsatz mit Hilfe der bekannten Position wieder entfernt werden.

Ein weiteres Problem bei der Entwicklung miniaturisierter Sensorknoten ist die Gewährleistung der Energieversorgung über längere Zeit. In Kapitel 2.2 werden Probleme und Möglichkeiten zu deren Lösung diskutiert. Eine allgemeine Einführung in Geosensornetzwerke geben (Stefanidis und Nittel, 2004).

Im Folgenden sind die Anforderungen an Geosensornetzwerke aufgelistet:

- Durch Methoden zur Selbstkonfiguration passt sich das Netzwerk nach der Ausbringung automatisch an die Umgebung an, initialisiert Parameter wie die optimale Kommunikationsreichweite oder ermittelt alle Nachbarknoten eines Sensorknotens.
- Falls Knoten ausfallen oder neue Knoten hinzugefügt werden, sorgt Selbstheilung für eine übergangslose Anpassung des Netzwerkes an die neue Topologie.
- Komplexere Aufgaben werden durch aktive Kooperation zwischen benachbarten Knoten gelöst.
- Der hohe Datenverkehr muss aufgrund vieler Knoten im Netzwerk rechtzeitig durch Redundanzvermeidung minimiert werden, damit nur die relevanten Daten die Senke erreichen. Dies ist beispielsweise durch Datenaggregation auf einem geographisch zentralen Knoten (Clusterhead) durchführbar.
- Die frühzeitige Bestimmung von Knotenpositionen ermöglicht kürzeste Datenwege und Hinderniserkennung. Dies kann durch Lokalisierungsmethoden erreicht werden (Reichenbach et al., 2005).
- Da die Knoten gegenüber den Netzwerkdimensionen nur sehr geringe Kommunikationsreichweiten besitzen, müssen Informationen von Knoten zu Knoten durch Multihopping weitergeleitet werden (Salzmann et al., 2007), (Handy, 2006).
- Eine effiziente Aufgabenverteilung im Netzwerk führt zu Energieeinsparungen. Vor allem in Netzwerken mit unterschiedlichen Knotenarten müssen die leistungsfähigeren Sensorknoten sinnvoll die ressourcenlimitierten entlasten (Reichenbach et al., 2007).

3 LOKALISIERUNGSVERFAHREN IN DRAHTLOSEN GEOSENSORNETZWERKEN

Der Lokalisierungsprozess in einem drahtlosen GSN basiert auf unterschiedlichen Netzwerktopologien. Wie in Kapitel 1.2 beschrieben, setzen die meisten Lokalisierungsalgorithmen einige Knoten voraus, denen ihre Position initial bekannt ist – die Beacons.

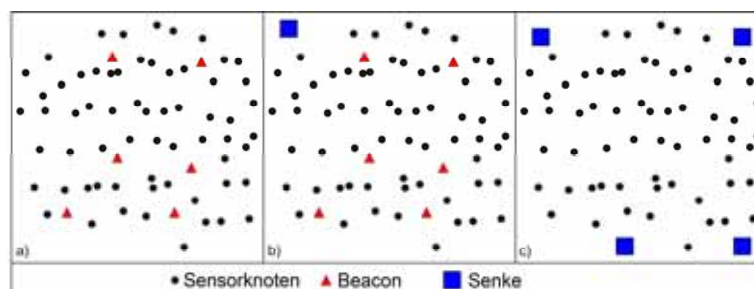


Abbildung 2: Ad hoc vernetzte Sensorknoten: a) mit Beacons, b) mit Beacons und einer festen Senke (freies Netz), c) ohne Beacons und vier Senken (Infrastrukturfall).

In dem ersten Fall (Abbildung 2a) besteht das Netz aus ad hoc vernetzten Sensorknoten und den Beacons. Hier wird der Lokalisierungsalgorithmus entweder auf allen Sensorknoten und/oder zusätzlich auf den Beacons durchgeführt. Das bringt den Vorteil mit sich, dass jeder Knoten seine Position mit dem geringsten Kommunikationsaufwand im Netz selbst bestimmt.

Im Gegensatz dazu (Abbildung 2c) senden alle Sensorknoten ihre Daten zur Senke (z.B. einem Server, PC) im Netzwerk. Die Senke übernimmt dabei alle Berechnungsschritte der komplexen Lokalisierungsalgorithmen. Die Nachteile dieser Vorgehensweise sind der extrem hohe Kommunikationsaufwand im Netzwerk sowie die Anfälligkeit bei Unerreichbarkeit der Senke durch deren Ausfall oder Blockade der Weiterleitung. Vorteil ist allerdings, dass die Senke Teil einer Infrastruktur ist, die die Bestimmung eines geodätischen Datums (Ursprung, Rotation, Translation und Maßstab eines Referenzkoordinatensystems) ermöglicht. Damit kann die Position eines einzelnen Sensorknotens in einem weltweiten Referenzsystem (z.B. WGS84) wiedergegeben werden.

Beide Techniken haben den Nachteil, dass sie entweder einen hohen Kommunikations- oder Berechnungsaufwand mit sich bringen. Im günstigsten Fall ergibt sich eine Mischtopologie (Abbildung 2b), in der der weniger komplexe Teil der Lokalisierung auf den Sensorknoten und der energieaufwändige Teil, im Hinblick auf möglichst geringe Kommunikationskosten, auf die Senke ausgelagert werden. Dieser hybride Algorithmus muss flexibel genug sein, um alle möglichen Knotenausfälle zu kompensieren und damit sowohl eine dauerhafte, verteilte als auch eine zentralisierte Berechnung zuzulassen. Dieses führt dann zu einer längeren Lebensdauer des Netzwerkes.

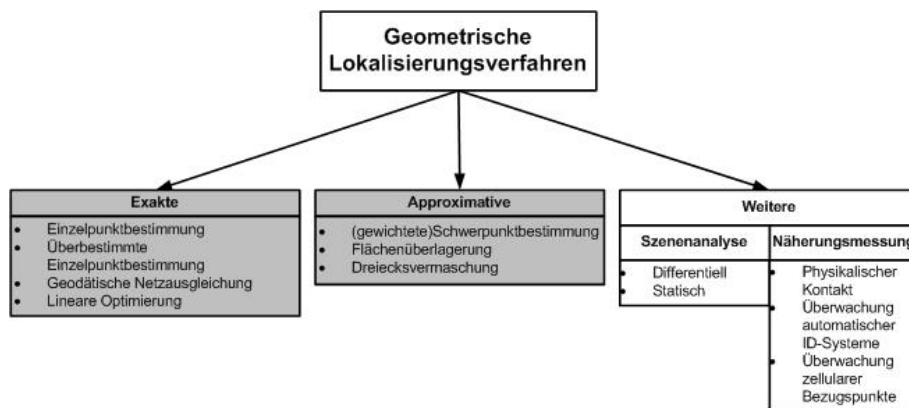


Abbildung 3: Klassifizierung üblicher Lokalisierungstechniken in Geosensornetzwerken.

In Abhängigkeit von der verwendeten Messgröße und der Netzkonstellation lassen sich alle Lokalisierungsmethoden in GSN, abhängig von der erreichten Genauigkeit und der Komplexität des jeweiligen Algorithmus, in exakte - auch als feinkörnig (Fine Grained Localization - FGL) bezeichnet - und approximative - auch grobkörnig (Coarse Grained Localization - CGL) genannt - Methoden unterteilen (Abbildung 3). Daneben gibt es aber noch weitere Methoden, die i.d.R. auf komplett anderen Annahmen beruhen. Eine Übersicht über aktuelle Lokalisierungsmethoden gibt Reichenbach (Reichenbach, 2007).

4 EINSATZ VON GEOSENSORNETZWERKEN IN FRÜHWARNSYSTEMEN

4.1 Motivation

Weltweit zeichnet sich eine erhöhte Anzahl von Naturkatastrophen mit direkten Auswirkungen auf den Menschen ab. Steigende Zahlen von nationalen und internationalen Programmen, die sich dieser Thematik annehmen, tragen diesem Problem Rechnung. Massenbewegungen wie z.B. Hangrutschungen stellen eines von vielen Beispielen dar, die sich in der direkten Gefährdung von Menschenleben und in der Bedrohung gesellschaftlicher Infrastrukturen äußern. Neben der Grundlagenforschung steht dabei vor allem die Entwicklung von Überwachungs- und Frühwarnsystemen zur direkten Risikoreduzierung im Vordergrund. Derzeit verfügbare Überwachungssysteme weisen meist eine monolithische Systemarchitektur auf, sind zwar spezialisiert und sehr leistungsfähig, jedoch gleichermaßen wenig flexibel und anpassungsfähig an andere Gegebenheiten. Sie ziehen dadurch hohe Beträge an Betriebs- und Personalkosten nach sich.

Das Ziel des seit Frühjahr 2007 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Geotechnologien-Programms geförderten Verbundprojekts SLEWS (Sensor based Landslide Early Warning System) ist die Konzeption und prototypische Entwicklung von Methoden und Technologien für flexible und ressourceneffektive Alarm- und Frühwarnsysteme am Beispiel von Massenbewegungen. Der Einsatz von kostengünstiger, zuverlässiger und massentauglicher Sensorik in Kombination mit einem selbstorganisierenden funkbasierten ad hoc-Netzwerk soll in Zukunft die Echtzeitbeobachtung von Hangrutschungsereignissen bei einem positiven Aufwands-/Leistungsverhältnis wesentlich verbessern. Darüber hinaus setzt man auf die konsequente Implementation einer offenen generischen Plattform zur adaptiven Realisierung verschiedener Anwendungsfälle. Je nach Szenario sollen Komponenten von Sensorik und Informationssystem modular skalierbar oder austauschbar sein. SLEWS reiht sich somit in aktuelle Bemühungen ein, wie sie z.B. von Projekten wie dem von der EU geförderten Projekt „Sensors Anywhere (SANY)“ betrieben werden (Havlik et al., 2006), um Sensoren und Sensornetzwerke im Bereich Umweltgefahren interoperabel und kosteneffizient nutzbar zu machen.

4.2 Sensorfusion

Um Massenbewegungen wie Hangrutschungen festzustellen, werden signifikante Stellen auf bzw. im Hang mit Sensoren instrumentiert (Abbildung 4). Sensoren erzeugen digitale Signale, die stellvertretend für eine physikalische Messgröße stehen und die an einer zentralen Stelle gesammelt und ausgewertet werden. Die Erfassung von Parametern wie Bewegungsrate, Bewegungsrichtung und Beschleunigung ist dabei, zusammen mit der Bewertung der Signifikanz eines Sensorsignals bezüglich der zugrunde liegenden geologischen Mechanismen, von zentraler Bedeutung. Hierzu sollen, im Rahmen einer optimalen Informationszusammenstellung, verschiedene Kombinationen von Detektoren zur Echtzeitüberwachung erprobt und in einem Sensornetzwerk fusioniert werden.

Für den betrachteten Fall Hangrutschung sind beispielsweise Detektoren für Feuchtigkeit (z.B. für Regenfälle), Erschütterungen (z.B. für sprunghafte Bewegungen von Felsblöcken) und Akustik (zum Lokalisieren von Bruchzonen) und Weggeber (z.B. zur Detektion von Spaltenbewegungen) einsetzbar. Für alle genannten Sensorarten stehen sowohl kostengünstige, als auch teurere Sensorversionen bereit. Durch die Kombination (Sensorfusion) verschiedener low-cost-Sensoren verspricht man sich eine gesichertere Detektierung von Massenbewegungen, eine Verbesserung der Aussagequalität und die Reduktion von Fehlalarmraten (Arnhardt et.al., 2007).

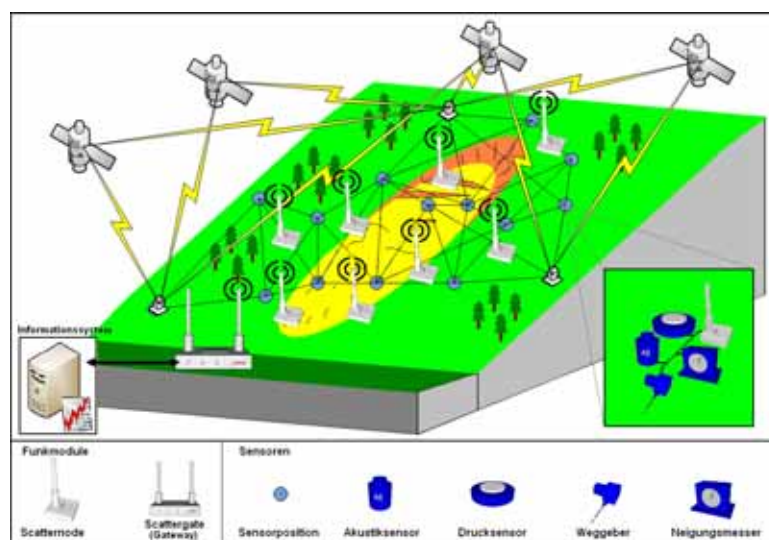


Abbildung 4: Skizzenhafte Darstellung eines drahtlosen Sensornetzwerkes auf einem rutschenden Hang

Basis einer Sensoreinheit ist ein Mote (engl. Partikel), der als Grundplattform dient und wesentliche Ressourcen wie Energieversorgung, Vernetzung und Möglichkeiten zur Vorprozessierung und Verteilung von Daten bietet. Sein Aufbau ist streng modular konzipiert und bietet offene Schnittstellen zu unterschiedlichen Sensoreinheiten an. Mehrere Detektoren werden auf einem Sensor-Mote installiert bzw. mit diesem verbunden. Als Übertragungsmedium zur Vernetzung von Motes wird funkbasierte Technologie eingesetzt. Die Ausbringung eines funkgestützten Sensornetzwerkes bietet eine gute räumliche Abdeckung in einem akzeptablen Verhältnis zum Installationsaufwand.

5 OGC – SENSORWEB ENABLEMENT INITIATIVE

Um die Sensoren und Sensorprozesse im Sensornetzwerk in einem internetbasierten Kontext formal eindeutig als Informationsressource präsentieren zu können, ist die Einhaltung gewisser Standards notwendig. Ziel ist es, Angaben zur Sensorart, dessen Aufbau und Funktionalität, unabhängig von spezifischen physischen Parametern, einheitlich zu erfassen und über das Internet zugänglich zu machen. Der stetig wachsende Bedarf an sensorgestützten Echtzeitinformationen spiegelt sich in der Spezifikationsreihe des Sensor Web Enablement des Open Geospatial Consortium (OGC SWE) wider, deren Inhalt die standardisierte Einbindung von Sensorsystemen in internetbasierte Geodateninfrastrukturen (GDI) behandelt. Die OGC SWE-Initiative erweitert das Informationsangebot einer GDI um die reibungslose Integration von Sensorbeobachtungen in Echtzeit. Das Ziel ist es, alle Arten von verfügbaren Sensoren und Instrumenten, aber auch Archive von Sensordaten über das WWW auffindbar, zugreifbar und wenn möglich auch kontrollierbar zu machen (Abbildung 5).

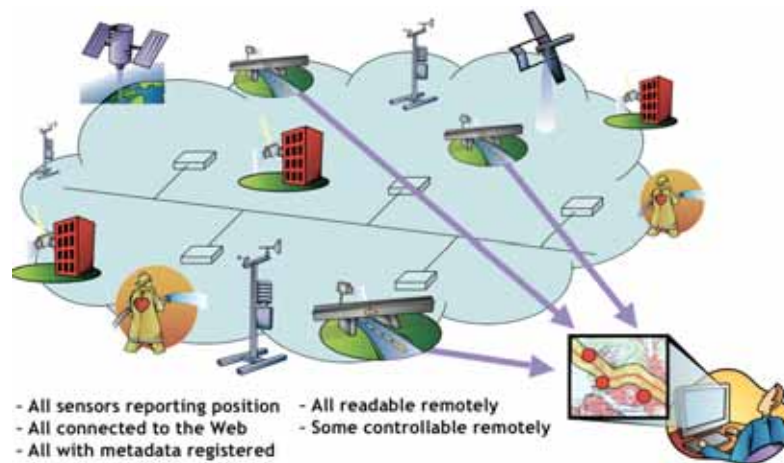


Abbildung 1: Vision der OGC-SWE Initiative Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Gängige Dienstespezifikationen und Schemata der OGC SWE-Reihe sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Spezifikationen der OGC SWE-Reihe

Spezifikation	Beschreibung
Observations & Measurements Schema (O&M)	Schema und Modelle zur standardisierten Beschreibungen von Sensordaten
Sensor Model Language (SensorML)	Schema und Modelle zur standardisierten Beschreibungen von Sensorik und Sensorprozessen
Transducer Markup Language (TML)	Schema und Modelle zur standardisierten Beschreibungen von Messwertgebern
Sensor Observations Service (SOS)	Standardisierter Dienst zur Anforderung von Sensorbeobachtungsdaten
Sensor Planning Service (SPS)	Standardisierter Dienst zur Anforderung und Planung von nutzerbasierten Datenanfragen
Sensor Alert Service (SAS)/Web Notification Services (WNS)	Standardisierte Dienste zur Übermittlung sensorbezogener Meldungen

Die formale Beschreibung des Sensornetzwerks sowie seiner Komponenten und den daraus resultierenden Prozessstrukturen erfolgt mit der hierarchischen Auszeichnungssprache SensorML (Botts, 2006). SensorML ermöglicht unter anderem die formale Erfassung der physikalischen Parameter des Sensorsystems und seiner Detektoren sowie die Beschreibung aller an der Messung

beteiligten Prozesse. Durch diese Formalisierung kann die Auffindbarkeit des Systems als Ressource über einen Verzeichnisdienst über das Internet sichergestellt werden. Weiterhin ist durch den selbstbeschreibenden Charakter von SensorML eine automatisierte Einbindung in weitere interoperable Informationssysteme möglich. Ähnlich dem Prinzip der Verkettung von Web Services ist durch diese Automatisierung die Bildung autonomer räumlich verteilter Sensornetze denkbar. Zur formalen Codierung von Messdaten kommt, analog zur SensorML, die hierarchische Auszeichnungssprache Observations & Measurements (O&M) zum Einsatz, die als Partnerspezifikation zum Dienst Sensor Observation Service (SOS) den Datenzugriff unabhängig vom Quellsystem vereinheitlicht (Botts, 2006). Ein SOS ist als Vermittlungsstelle zwischen einem beziehenden Client und der Sensorebene zu verstehen.

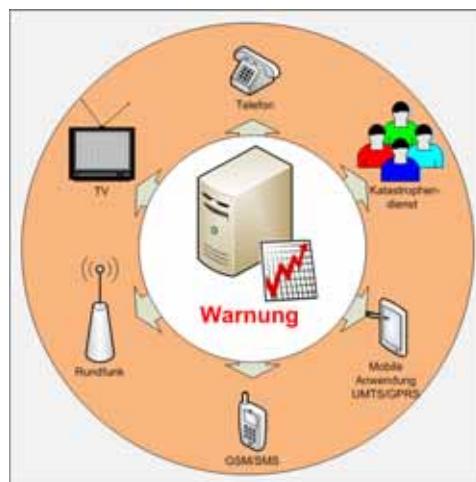


Abbildung 6: Vermittlung von Warnhinweisen in gängige Medienkanäle

Die flexible Skalierbarkeit der Benachrichtigungsdienste Sensor Alert Service (SAS) bzw. Web Notification Services (WNS) ermöglicht die situationsbedingte Informationsversorgung von Nutzern unterschiedlicher Zielgruppen aufgrund festgelegter Profile. Die Konzeption dieser Profile kann dabei theoretisch unabhängig von technischen Aspekten der Übertragungsmedien erfolgen. Die Verwendung generischer internetbasierter Standardprotokolle, wie z.B. dem Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP), erübrigt den Einbezug spezifischer Nachrichtentechnologien bei der ursprünglichen Architektur. Der Einbezug adaptiver Gateways macht die Vermittlung von Informationen in alle gängigen Medienkanäle denkbar (Abbildung 6).

6 FAZIT

Durch die fortwährende Miniaturisierung der Hardwarekomponenten und Effizienzsteigerung der Ressourcennutzung erschließt der Einsatz von GSN ein immer breiter werdendes Anwendungsfeld. Die Entwicklung ressourcensparender, präziser Lokalisierungsalgorithmen erhöhen die Skalierbarkeit und Robustheit von autonomen ad hoc Geosensornetzen. Darüber hinaus bieten sie die Basis zur Verwendung in anderen Einsatzgebieten wie z.B. der Beobachtung und Frühwarnung in katastrophengefährdeten Gebieten. Das Projekt SLEWS macht sich dies zunutze und arbeitet an der Weiterentwicklung von Technologien und Methoden für den Einsatz von Beobachtungs- und Frühwarnsystemen bei Massenbewegungen. Vorteile gegenüber klassischen monolithischen Systemarchitekturen sind vor allem in der Interoperabilität und Skalierbarkeit zu sehen sowie in der Möglichkeit zur Entkopplung von anfälligkeitsbehafteten hierarchischen Informationsstrukturen. Die Verwendung standardisierter schnittstellenoffener Technologien aus dem Bereich der räumlichen Informationsverarbeitung soll die zukünftige Integration in den Kontext nationaler und internationaler Frühwarnsysteme ermöglichen und vereinfachen.

DANKSAGUNG

Diese Projekte werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter den Förderkennzeichen BI467/17-1 und TI254/15-1 (Schlüsselwort: GeoSens) und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) der Bundesrepublik Deutschland unter dem Förderkennzeichen 03G0662A (Schlüsselwort: SLEWS) gefördert.

LITERATUR

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. und Cayirci, E., 2002. Wireless Sensor Networks: A Survey. *Computer Networks* 38(3), S. 393–422.

Alouini, M., 1996.: *Global Positioning System: An Overview*. California Institute of Technology.

Arnhardt, C.; Ash, K.; Azzam, R.; Bill, R.; Fernandez-Steeger, T. M.; Homfeld, S. D.; Kallash, A.; Niemeyer, F.; Ritter, H.; Toloczyki, M.; Walter, K. 2007: Sensor based Landslide Early Warning System - SLEWS, Development of a geoservice infrastructure as basis for early warning systems for landslides by integration of real-time sensors. In: Koordinationsbüro GEOTECHNOLOGIEN: Science Report, Early Warning Systems in Earth Management. Potsdam: Vol. 10, S. 75 – 88

Bill, R., Cap, C., Kofahl, M. und Mundt, T., 2004. Indoor and outdoor positioning in Mobile Environments – A Review and some Investigations on WLAN Positioning. *Geographic Information Sciences* 10(2), S. 91–98.

Botts, M. 2006: OGC White Paper – OGC Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture. Version 2.0. URL: <http://www.opengeospatial.org/pt/06-046r2> (rev.: 19.07.2006). OGC 06-050r2

Gibson, J., 1996. *The Mobile Communications Handbook*. CRC Press.

Handy, M., 2006. *Energieeffiziente Algorithmen und Protokolle für drahtlose Ad-hoc- und Sensornetze*. Dissertationsschrift, Universität Rostock.

Havlik, D.; Schimak, G.; Denzer, R.; Stevenot, B. (2006): Introduction to SANY (Sensors Anywhere) Integrated Project. In: ENVIROINFO 2006, Shaker Verlag, Graz, S.541-546

Min, R., Bhardwaj, M., Cho, S., Sinha, A., Shih, E., Wang, A. und Chandrakasan, A., 2001. Low-Power Wireless Sensor Networks. In: International Conference on VLSI Design.

Reichenbach, F., Bill, R. und Timmermann, D., 2005. Lokalisierungstechniken zur verteilten Berechnung in energielimitierten drahtlosen Sensornetzwerken. In: Münsteraner GI-Tage, Geosensornetzwerke - von der Forschung zur praktischen Anwendung, S. 25–37.

Reichenbach, F., Born, A., Salzmann, J., Timmermann, D. und Bill, R., 2007. DLS: A Resource-Aware Localization Algorithm with High Precision in Large Wireless Sensor Networks. In: 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, 2007. S. 247–254.

Reichenbach, F., 2007. *Ressourcensparende Algorithmen zur exakten Lokalisierung in drahtlosen Sensornetzwerken*. Dissertationsschrift, Universität Rostock.

Salzmann, J., Kubisch, S., Reichenbach, F. und Timmermann, D., 2007. Energy and Coverage Aware Routing Algorithm in Self Organized Sensor Networks. In: Proceedings of the 4th International Conference on Networked Sensing Systems, S. 77–80.

Stefanidis, A. und Nittel, S., 2004. *GeoSensor Networks*. CRC Press.