
Standardisierte Geosensornetzwerke für Umweltbeobachtung in naher Echtzeit

Bernd RESCH^{1,2}

¹ Geographisches Institut · Universität Heidelberg · Berliner Straße 48 · 69120 Heidelberg

² SENSEable City Lab · MIT · 77 Massachusetts Avenue · 02139 Cambridge, USA

E-Mail: bernd.resch@uni-heidelberg.de

1 Einleitung Geosensornetzwerke

Wir sind umgeben von einer Vielzahl von miniaturisierten Sensoren, versteckt in Autos, Wohnhäusern, Energieinfrastrukturen, Mobiltelefonen u.v.m. Die daraus resultierende stark ansteigende Zahl an verfügbaren Echtzeit-Datenbeständen wie z.B. Umweltmessungen, Verkehrszählungen, Energieverbrauchsdaten oder Klimadaten, bedingt auch einen Wandel in der Wahrnehmung des Paradigmas von „allgegenwärtigen Monitoringsystemen“, d.h. der Messung und Analyse unserer Umgebung in Echtzeit unterstützt durch Geographische Informationssysteme (GIS).

Die weit reichende Vision einer Art „digitalen Haut“ (GROSS 1999) für unseren Planeten – also ein erdumspannendes Messnetzwerk – lässt für die kommenden Jahre einen starken Anstieg in Geo-Sensornetzwerk Implementierungen erwarten. Diese Entwicklung wird speziell getrieben durch die drastische Performanzsteigerung verbunden mit gleichzeitig rapide fallenden Kosten im Sensorbereich. Dies kann mittelfristig dazu beitragen, dass wir unsere Umwelt in Echtzeit sensorisch wahrnehmen und steuern können, wobei der hier verwendete Begriff „Echtzeit“ nicht für eine scharf definierte zeitliche Verzögerung steht, sondern für ein *aktuelles* Bild der Umwelt in naher Echtzeit unter Einbindung von Live-Daten.

Eine entscheidende technische Herausforderung ist derzeit allerdings, dass bestehende Sensor-Netzwerke derzeit meist in abgeschlossenen monolithischen Systemen aufgebaut sind. Dies hat zur Folge, dass Datenzugriff nur sehr eingeschränkt möglich ist, womit domänenübergreifende Nutzung von Sensormessungen verhindert wird (Resch et al. 2010). So messen z.B. regionale Verwaltungseinheiten Pegelstände und Durchflusswerte von städtischen Fließgewässern, um Hochwasserfrühwarnsysteme einzurichten, während Energieversorgungsunternehmen mit den gleichen Parametern Prognosen über die Nutzungskapazität ihrer Laufkraftwerke treffen. Durch die mangelnde Vernetzung dieser bestehenden Netzwerke auf Grund von verschiedenen Datenformaten, räumlichen Bezugssystemen, und Übertragungsprotokollen ist jedoch keine optimale Nutzung von Sensordaten möglich.

Dieser Artikel, der in großen Teilen auf RESCH (2011) basiert, skizziert in Abschnitt 2 die Notwendigkeit und den Mehrwert von Standardisierung in Geo-Sensornetzwerken, gibt in Abschnitt 3 einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und schließt in Abschnitt 4 mit einem kurzen Fazit.

2 Standardisierung als Basis für Domänenübergreifende Sensordatenverfügbarkeit

Der oben genannte Mangel an Kombinierbarkeit von Messdaten aus verschiedenen Geo-Sensornetzwerken kann potenziell durch umfassende Standardisierung auf Daten- und auf Diensteebene gelöst werden. Deshalb startete 2003 das Open Geospatial Consortium (OGC 2013) – die führende Institution für die Schaffung von Geo-Standards – die Sensor Web Enablement (SWE) Initiative (BOTTS ET AL. 2007), die auf standardisierten Datenaustausch zwischen Sensoren und Sensornetzwerken abzielt. SWE stellt eine sehr vielversprechende Initiative dar – auf Grund ihres funktionalen Umfangs, ihrer Breiten Unterstützung in der Entwicklung sowohl durch Forschungseinrichtungen als auch durch Unternehmen, ihre schnelle Weiterentwicklung und Einführung von offiziellen Standards, und ihrer weit gehenden Entwicklung, was auch den Einsatz in Produktivumgebungen ermöglicht.

Ziel von SWE ist es, Sensoren über das Internet auffindbar, abfragbar und konfigurierbar zu machen (BOTTS ET AL. 2007). Die Initiative umfasst sieben Standards, die von der Beschreibung der Sensorplattform über ein XML-Schema für die Messdatenkapselung bis hin zu verschiedenen Services (Datenabfrage, Alert, Notification etc.) reichen. Abbildung 1 zeigt, wie SWE durch die Standardisierung aller Schritte eines Monitoring-Workflows als Verbindung zwischen Geo-Sensornetzwerken, Geo-Modellierung und Systemen zur Entscheidungsunterstützung fungiert.

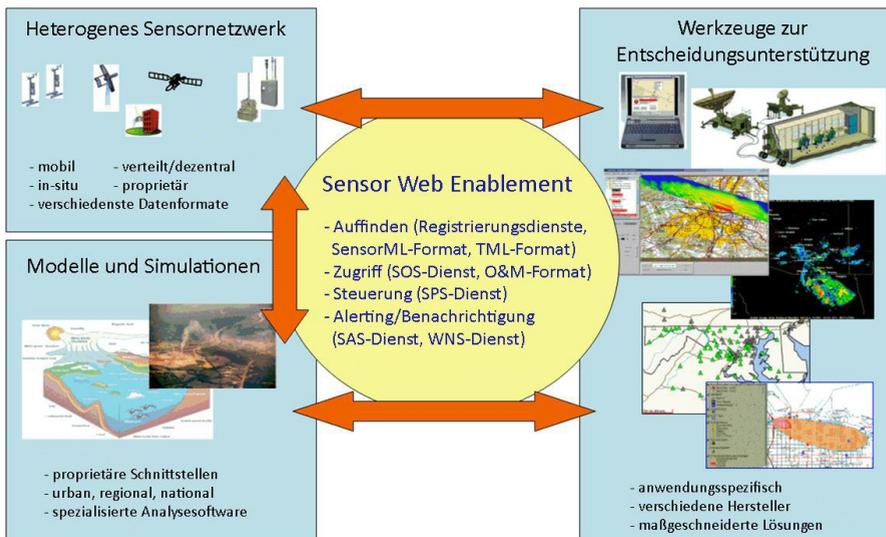


Abb. 1: SWE Standards – Konzeptionelle Funktionsweise. (nach BOTTS ET AL. 2007)

3 Ausblick – Zukünftige Entwicklungen

Herausforderungen für die mittelfristige Zukunft im Bereich Geo-Sensornetzwerke sind mannigfaltig. In der aktuellen Forschung und Entwicklung wird zunehmend das Konzept von *Geo-Sensor Webs* in den Vordergrund gestellt. Geo-Sensor Webs zeichnen sich durch drei essentielle Eigenschaften aus: Interoperabilität bezeichnet die Fähigkeit verschiedenartiger Sensoren, miteinander zu kommunizieren oder ein gemeinsames Resultat zu produzieren; Skalierbarkeit impliziert, dass neue Sensoren in existierende Sensornetzwerke eingefügt werden können, ohne schwerwiegende Umstellungen in der bestehenden Hardware- und Software-Infrastruktur zu erfordern; Intelligenz meint die Fähigkeit von Sensoren, zu einem gewissen Grad autonom „denken“ zu können. Diese Intelligenz kann von Datenfilterung nach vorgegebenen Kriterien mit Hilfe von Complex Event Processing (CEP) Mechanismen bis hin zu autonomen Softwareagenten reichen.

Technisch gesehen sind Geo-Sensor Webs mittlerweile so weit gediehen, dass Einsätze in Produktivumgebungen umsetzbar sind. Dazu muss jedoch eine Richtungsänderung in der Sensor Web Forschung geschehen, weg von hochoptimierten und vorrangig auf Miniaturisierung ausgerichteten Forschungsvorhaben, hin zur *Querintegration* von verschiedensten Technologien, Messgeräten, Systemplattformen und Datenformaten. Diese Quervernetzung kann uns helfen, ein ganzheitliches aktuelles Lagebild unserer Umwelt zu erlangen.

In diesem Kontext müssen effiziente und umfassende Mechanismen zum Auffinden von Sensoren inklusive entsprechender Registrierungsdienste geschaffen werden. Hier spielt auch die Quervernetzung zu *Linked Data* Konzepten – dem konkreten Ansatz hin zur Realisierung der Vision eines Semantic Web – eine entscheidende Rolle, um konsistente Metadatenbestände für Sensoren, Messdaten und Serviceschnittstellen möglichst automatisiert und umfassend bereitzustellen. Nur so kann M2M (Maschine-zu-Maschine) Kommunikation zwischen verschiedenen Komponenten im Workflow ermöglicht werden, um folglich manuelle Intervention in der Bereitstellung von Informationsdiensten in naher Echtzeit zu minimieren.

Darüber hinaus gewinnt durch die zunehmende Verfügbarkeit von Echtzeitdatenbeständen flächendeckende *Qualitätskontrolle* für Sensordaten an Bedeutung, unter spezieller Berücksichtigung des aktuellen Forschungstrends von „*Citizens as Sensors*“, also der Möglichkeit, subjektive Sinneseindrücke von Menschen direkt in Mess- und Analysesysteme zu integrieren. Damit rückt auch die Einbindung von mobilen Sensoren mit dynamischer raumzeitlicher Position in den Vordergrund, um die technologische Basis für die Vision von „Pervasive Geo-Sensor Webs“ unter Verwendung von Drohnen (UAV – Unmanned Aerial Vehicles), Sensor-Robotern oder verkehrstragenden mobilen Sensoren (montiert z.B. auf öffentlichen Bussen oder Taxis) zu schaffen.

Darüber hinaus werden *in Smartphones verbaute Sensoren* zukünftig eine zunehmend wichtigere Rolle spielen. Durch die stark anwachsende Verbreitung von Smartphones können integrierte Sensoren wie GPS-Empfänger, Akzelerometer, Barometer, Geräuschsensoren oder spezielle Umweltsensoren wertvolle Daten für Stadtplanung, urbane Mobilitätskonzepte oder dynamisches Verkehrsmanagement liefern. Hier spielt das „Crowd-Sourcing“-Konzept eine entscheidende Rolle, also die Informationsextraktion mit Hilfe von Schwarmintelligenz anstatt der reinen Analyse von Einzelmessungen. Informationsvisuali-

sierung wird vermehrt auch in Augmented Reality Systemen stattfinden, die digitale Informationsebenen mit der Realität überblenden, z.B. über Smartphone-basierte Technologien.

Im Bereich der Analyse von Sensordaten und in der Ergebnisvisualisierung werden zukünftig verstärkt *Web-GIS-Technologien* zum Einsatz kommen (Stichworte Web Processing Service [WPS], Web 3.0, Public Participation GIS, etc.). Grundsätzlich gibt es drei substantielle Vorteile solcher Web-basierter Ansätze gegenüber traditionellen Desktop-orientierten GIS-Systemen: a.) eröffnen sie die Möglichkeit, Echtzeitdaten über das Web in GIS-Werkzeuge zu integrieren – was bisher nicht möglich war; b.) benötigen Benutzer kein Experten-Know-how für den Einsatz von komplizierten GIS Werkzeugen, sondern können über wenige Klicks in einfachen web-basierten Anwendungen Informationen beziehen (z.B. „wie ist die derzeitige Luftqualität in meinem Stadtteil?“); c.) können komplexe Algorithmen zur Datenanalyse sehr einfach über das Internet zugänglich gemacht werden, um so verschiedenste Interessensgruppen mit Echtzeitinformation zu versorgen, wie z.B. Privatpersonen, Städteplaner, Verkehrsmanagementunternehmen oder politische Entscheider.

4 Fazit

Die stark ansteigende Zahl an verfügbaren Echtzeit-Daten wie z.B. Umweltmessungen, Verkehrszählungen, Energieverbrauchsdaten oder Klimadaten, eröffnet die Möglichkeit, unsere Welt ganzheitlicher und in naher Echtzeit zu ergründen. Dies ermöglicht es, bisher „unsichtbare“ Informationsebenen für Menschen zugänglich zu machen, und damit bislang nicht vermutete Korrelationen in naher Echtzeit sichtbar zu machen, mit Hilfe einer Sensorgetragenen „digitalen Haut“ für die Erde.

Die Realisierung dieser Vision bedingt jedoch einen hohen Grad an Interoperabilität zwischen Sensornetzwerken – sowohl auf Daten- als auch auf Diensteebene. Dies war bisher nicht möglich, weil Messinfrastrukturen traditionell in monolithischen und geschlossenen Systemen aufgebaut werden. Diesbezüglich gilt es in den kommenden Jahren, Sensorhersteller, Netzbetreiber und Forschungs-Communities für die breite Verwendung von offenen Standards zu sensibilisieren und deren Vorteile aufzuzeigen. Die Sensor Web Enablement (SWE) Initiative ist ein erster vielversprechender Schritt in diese Richtung.

Abgesehen von technischen und methodischen Entwicklungen sind die Auswirkungen von räumlich hochauflösendem ubiquitärem Monitoring auf die Bürger eine essentielle Herausforderung. Begriffe wie „Luftqualität“ oder „Schadstoffausbreitung“ sind nur Surrogate für breitere und direktere Einflüsse auf Menschen, wie z.B. Atemwegserkrankungen oder Lebenserwartung. Dieses Spannungsfeld wirft die Frage nach der optimalen Granularität von Information auf, weil hochgenaue und vollständige Informationen einschneidende Auswirkungen auf verschiedenste Bereiche wie das Gesundheitswesen, die Versicherungsbranche, den Wohnungsmarkt oder Städteplanung mit sich bringen.

Letztlich bedarf es auch einer intensiven Sensibilisierung der Bürger über ihr räumliches und soziales Umfeld und einer breiten Bewusstmachung des direkten Einflusses von Sensordaten auf Gesundheit, Ökosysteme, Energieeffizienz oder soziale Interaktion. Nur so können Monitoring-Infrastrukturen entstehen, die unsere Umwelt zu einer Echtzeitplattform der Partizipation, Interaktion und Information machen, und damit Geo-Sensornetze zu unerlässlichen Datenquellen für ubiquitäre Informationssysteme werden lassen.

Literatur

- BOTTS, M., PERCIVALL, G., REED, C., UND DAVIDSON, J. (HRSG.) (2007) OGC Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture. <http://www.opengeospatial.org>, OpenGIS White Paper OGC 07-165, Version 3, 28. Dezember 2007. (28. Dezember 2012)
- GROSS, N. (1999) 14: The Earth Will Don an Electronic Skin. <http://www.businessweek.com>, BusinessWeek Online, 30. August 1999. (12. Januar 2013)
- OGC (2013) Open Geospatial Consortium | OGC. <http://www.opengeospatial.org>, 2013. (15. Januar 2013)
- RESCH, B. (2010) Geo-sensor Web - Echtzeitmessungen für Ubiquitäre Monitoring-Systeme. HMD Journal Praxis der Wirtschaftsinformatik, vol. 276, S. 50-58.
- RESCH, B., BLASCHKE, T. UND MITTLBOECK, M. (2010) Live Geography - Interoperable Geo-Sensor Webs Facilitating the Vision of Digital Earth. International Journal on Advances in Networks and Services, 3(3&4), 2010, S. 323-332.