

Echtzeitnahe Risikoerkennung für Infrastrukturnetze

Franziska Hübl¹, Martin Novak² und Alfred Wieser¹

¹Fachhochschule Kärnten, Villach · franziska.huebl@edu.fh-kaernten.ac.at

²Prosoft Süd Consulting GmbH, Wien

Short paper

Zusammenfassung

Die Versorgung der Bevölkerung durch Energie-, Transport- und Infrastrukturnetze wird mit dem steigenden Lebensstandard immer bedeutender. Werden solche Infrastrukturen wie Strom- und Gasleitungen, Straßen- und Eisenbahnverbindungen beeinträchtigt oder gestört, hat dies signifikante Auswirkungen auf die Versorgung der Gesellschaft. Um das rechtzeitige Erkennen möglicher Risikofaktoren zu ermöglichen, werden Sensorsysteme eingesetzt, die gegebenenfalls Informationen an eine Infrastruktur-Leitstelle absetzen. Diese Informationen müssen aktuell, vollständig, positionsgenau und somit vertrauenswürdig sein, damit die Leitstelle schnell und effizient handeln kann. Das Sensorsystem liefert gegebenenfalls die Position eines Risikos in einem lokalen Koordinatensystem, relativ zum Montageort des Systems selbst. Diese lokale Ortsinformation muss zur weiteren Verarbeitung in ein globales Koordinatensystem abgebildet werden. Im konkreten Anwendungsfall wird das allgemein gebräuchliche GPS (Global Positioning System) mit dem geodätischen Referenzsystem WGS84 (World Geodetic System 1984) eingesetzt. Diese globalen (GPS-) Koordinaten können dann auf einem Lagebild dargestellt und den Navigationssystemen der Einsatzkräfte übermittelt werden. Diese Arbeit beschreibt den Prozess der echtzeitnahen Risikoerkennung, die Transformation der Objektposition von lokalen zu globalen Koordinaten und etwaige zu berücksichtigende Faktoren. Es wird auch gezeigt, wie die Anforderungen „unmittelbar“ und „Vertrauenswürdig“ erfüllt werden können. Die Arbeit schließt mit dem Aufzeigen des Potenzials und der Anwendungsgebiete der Methoden sowie aktueller und möglicher weiterer Forschungsansätze.

1 Einführung

Bei der Überwachung systemkritischer Infrastrukturen ist es wichtig, dass entsprechende Informationen vom jeweiligen lokalen Sensorsystem vertrauenswürdig sind. Somit werden kostenintensive Fehlmeldungen minimiert. Sensorsysteme auf Basis der Radar-Mikrowellentechnologie sind in der Lage, einen Bereich von ca. 300 m Länge und 50 m Breite zu überwachen. Erkennt ein derartiges Sensorsystem ein Risiko, so wird dessen Position relativ zum Montagepunkt des Sensorsystems gemessen.

Danach wird diese Information über drahtlose Datenkommunikation, wie z. B. das GSM-Netz (Global System for Mobile Communication) oder ein privates Datennetz, an eine Leitstelle übermittelt. Da die überwachten Infrastrukturnetze weit größer sind als die Reichweite eines einzelnen Sensorsystems, werden mehrere Systeme entlang der beobachteten Infra-

struktur (z. B. Bahnstrecke) zu einer „Sensorkette“ verknüpft. Sensible Bereiche – etwa eine Eisenbahnkreuzung – werden dabei durch mehrere sich überlappende Sensor-Detektionsbereiche parallel überwacht (siehe Abb. 1).

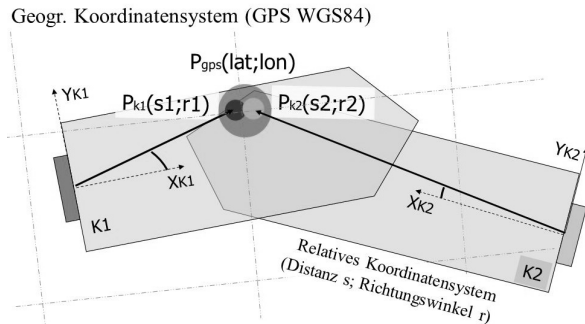


Abb. 1:
Überlappende Sensor-Detektionsbereiche und Doppelmeldung eines Objekts

1.1 Vertrauenswürdigkeit und Qualitätskriterien

Für die Leitstelle ist es wichtig, dass die Meldung eines Sensorsystems vertrauenswürdig ist, da auf dieser Information meist Entscheidungen mit weitreichenden Konsequenzen und Kosten wie z. B. die Sperrung einer Bahnstrecke, aufbauen. „Vertrauenswürdig“ bedeutet hier, dass die Qualitätskriterien „Aktualität“, „Vollständigkeit“ und „Genauigkeit“ erfüllt sein müssen (RESCH et al. 2009):

- Genauigkeit des Messelements im Sensorsystem (Radarsensor, 20 m Radius);
- aktuelle bzw. echtzeitnahe Meldung an die Leitstelle (< 30 Sekunden nach Detektion);
- Vollständigkeit bzw. Genauigkeit der Positionsmeldung (< 20 m Radius 90 % Konfidenzbereich).

Die Genauigkeit einer Position ist wesentlich bei der Evaluierung der Meldung. Speziell, wenn Sensoren mit überlappenden Detektionsbereichen sich „deckende“ Meldungen als Ergebnis liefern. Wie Abbildung 1 zeigt, sind diese Ergebnisse niemals zu 100 % „deckend“. Jedoch wird diese Überlappung zum Qualitätsparameter, da ein mehrfach erkanntes Risiko (Positions- und Zeitkoinzidenz) und eine zusätzliche Bestätigung von Drittsystemen, wie etwa Fahrplansysteme, die Wahrscheinlichkeit einer Fehlmeldung minimiert.

1.2 Anwendungsfelder

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen drei mögliche Anwendungsfelder:

1. Überwachung einer Eisenbahnkreuzung (zwei sich überlappende Sensorsysteme).
2. Monitoring einer freien Strecke (Einfachüberwachung).
3. Überwachung eines Naturgefahrenbereiches (z. B. eine Wildbachverbauung).

In der Leitstelle werden eventuelle Ereignisse (wie in Abb. 2 und Abb. 3, Blockade der Eisenbahnkreuzung) im globalen Koordinatensystem dargestellt bzw. gegebenenfalls an ein Navigationssystem der Einsatzkräfte weitergeleitet.



Abb. 2:
Beispiel für Sensorpositionen im Feld

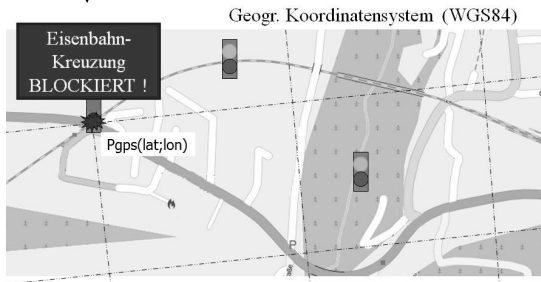


Abb. 3:
Abbildung in einem GIS (Geographisches Informationssystem) einer Leitstelle

2 Problembeschreibung aus geodätischer Sicht

Das Hauptproblem aus geodätischer Sicht liegt in der Anforderung einer Umrechnung aus dem lokalen Koordinatensystem in das globale geographische Koordinatensystem und die damit verbundene Fehlerfortpflanzung. Diese Umrechnung folgt zwar geodätischen Grundlagenformeln, ist jedoch von verschiedenen (geodätisch) nicht beeinflussbaren Faktoren abhängig. Die Fehlerkette beginnt bei der Messgenauigkeit des Sensorelements selbst und reicht bis zum Einfluss des Winkelfaktors bei der Orientierung der beiden betreffenden Koordinatensysteme zueinander. Folgende Parameter sind aus geodätischer Sicht von zentraler Bedeutung:

- Die genaue globale Position des Sensorknotens $P_0(lat;lon)$. Diese Position ist ident mit dem Nullpunkt des lokalen Koordinatensystems des Sensorknotens. Dieser lokale Nullpunkt wird durch die GPS-Einmessung vor Ort und Korrektur mithilfe von DGPS/RTK-Korrekturdaten-Diensten (wie z. B. „APOS“, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) mit einer Genauigkeit von ± 10 cm erhoben.
- Orientierung bzw. Drehung des lokalen Messgitters: Der Rotations- oder Drehwinkel α (Winkel zwischen lokaler y-Achse und Geographisch Nord) beschreibt die Drehung vom lokalen zum globalen Koordinatensystem. Die Genauigkeit eines Detektionsergebnisses kann hier durch Winkel und Entfernung zum Sensor wesentlich verschlechtert werden. Die relative Nadelabweichung N (Winkel zwischen lokaler y-Achse und Magnetisch Nord) wird nach der Installation des Sensorsystems durch entsprechende Messung vor Ort bestimmt und kann somit berechnet werden. Die Deklination δ (Winkel zwischen Geographisch und Magnetisch Nord) wird mithilfe der geographischen Lage des Sensorknotens berechnet (NOAA 2015). Die Nadelabweichung und Deklination werden zur Berechnung des Drehwinkels benötigt (siehe Abb. 5).

- Objektlage: Die Lage des Objekts im lokalen Koordinatensystem $P_{loc}(s;r)$ wird durch die Distanz s und den Richtungswinkel r von der x -Achse aus beschrieben, im globalen Koordinatensystem durch WGS84-Koordinaten $P_{gps}(\text{lat};\text{lon})$. Dieses Koordinatensystem bietet sich an, da die Sensorsysteme im selbigen eingemessen werden. Im Allgemeinen könnten auch andere Koordinatensysteme für die Berechnung verwendet werden, wie z. B. das UTM (Universal Transverse Mercator).
- $Z = 0$: Das Objekt befindet sich immer in Bodenkontakt.
- Die geodätische Höhe bleibt ebenfalls unberücksichtigt und geht nur in die Betrachtung des möglichen Fehlers ein (KAHMEN 2006, 16-35).
- Die Topografie des überwachten Gebietes wird vorerst als Ebene angenommen.

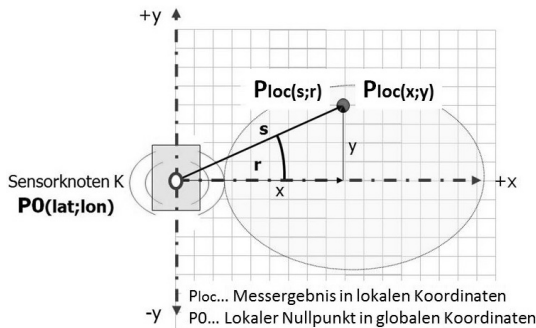


Abb. 4:
lokales Koordinatensystem eines
Sensorknotens K

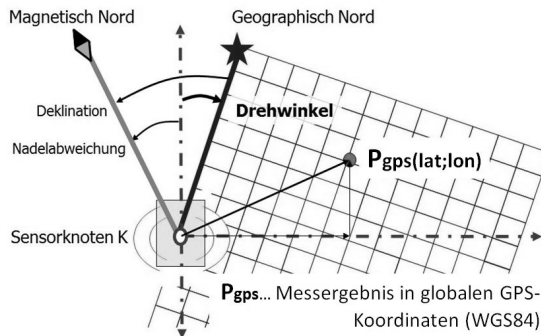


Abb. 5:
übergeordnetes bzw. globales
Koordinatensystem (WGS84)

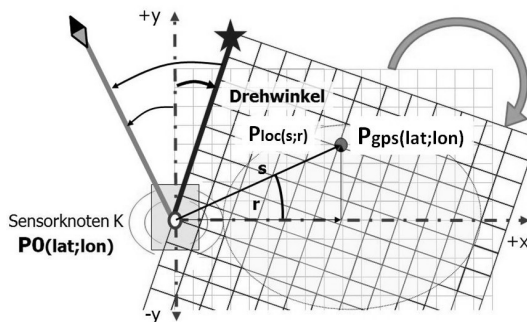


Abb. 6:
Messwertabbildung in beiden
Messgittern

3 Lösungsansätze

Im Folgenden wird nun gezeigt, wie ein Detektionsergebnis vom lokalen in ein globales Messgitter abgebildet werden kann (siehe Abb. 6).

Da das Sensorsystem unabhängig von seiner Umwelt sein soll, kann von hilfreichen Festpunkten, wie z. B. einem Triangulierungspunkt (KT), in der Nähe des Sensorsystems nicht ausgegangen werden. Jedoch sind die jeweiligen Nachbar-Sensorknoten nichts anderes als eingemessene, also bekannte Festpunkte in unmittelbarer Nähe (ca. in 200-500 m Entfernung). Somit ist eine Lösung zur Berechnung der Objektpunkte mithilfe gängiger geodätischer Methoden möglich. Es ergeben sich nun folgende Möglichkeiten zur Berechnung:

- Geodätische Lösung mithilfe der 1. und 2. Grundaufgabe (KAHMEN 2006, 217-219), mit WGS84 als Bezugssystem und Verwendung eines Nachbar-Sensorknotens als Festpunkt.
- Geometrische Lösung im WGS84 unter Berücksichtigung der Deklination, der Längen- und Breitengradabstände (Maßstabsfaktoren) ohne Verwendung eines Nachbar-Sensorknotens (KAHMEN 2006, 223-227).

3.1 Umsetzung in der Praxis

Der geodätische Ansatz ist in diesem konkreten Anwendungsfall nicht notwendig, da nur von einer „Genauigkeit“ von ± 20 m ausgegangen werden kann. Auch wären vorab die Auswahl eines Nachbarknotens für die jeweilige Berechnung und die Bestimmung des Richtungswinkels vom Sensor- zum Nachbarknoten nötig. Für diese Art von Anwendung reicht eine Variante, bei der die Höhe des Sensorknotens, die Geländehöhe und die Erdkrümmung nicht berücksichtigt werden. Bei der geometrischen Lösung wird von einer Ebene ausgegangen. Hier passiert mittels Parallelverschiebung und Drehung die Koordinatentransformation. Dabei wird vom lokalen Nullpunkt des Sensorknotens $P_0(\text{lon};\text{lat})$ ausgegangen (Parallelverschiebung). Von diesem Punkt aus wird unter Berücksichtigung des ortsunabhängigen Breitengradabstands $\Delta\varphi$ (1) und des jeweilig spezifischen Längengradabstands $\Delta\lambda$ (2) (JORDAN & EGGERT) im WGS84 (Maßstabsfaktoren in Rechts- und Hochwertichtung) um den Drehwinkel, das lokale ins globale Messgitter transformiert. Diese Berechnungsmethode (3) benötigt keine weiteren Informationen vom Umfeld des lokalen Messgitters und beschränkt sich somit auf die Informationen des jeweiligen Sensorknotens. Es ergeben sich nun folgende zu berechnende Parameter:

Tabelle 1: Formeln der Koordinatentransformation

Parameter	Kürzel und Formel	Einheit	Formel
Abstand zwischen den Breitengraden	$\Delta\varphi = \text{Erdradius} * \pi / 180 = 111.323,8716$	Meter	(1)
Spezifischer Längengradabstand	$\Delta\lambda = \cos(P_0_lat) * 2\pi * \text{große Halbachse} / 360$	Meter	(2)
Transformierte globale Messwerte des Sensorknotens	$P_{\text{gps_lat}} = P_0_lat + \sin(\alpha + r) * s / \Delta\varphi$ $P_{\text{gps_lon}} = P_0_lon + \cos(\alpha + r) * s / \Delta\lambda$	Dezimalgrad	(3)

Die Koordinatentransformation (3) muss in der Sensorlösung schließlich implementiert werden (ZIMMERMANN 2012). Die genaue Fehlerbetrachtung kann mithilfe der Fehlerrechnung und Ausgleichsrechnung erarbeitet werden (KAHMEN 2006, 16-35).

4 Fazit und Aussicht

Aktuelle und qualitätsgesicherte Informationen aus Sensornetzwerken sind Grundlagen für aussagekräftige Analysen (ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT 2005) in Entscheidungsunterstützungssystemen. Derzeit besteht eine große Herausforderung darin, das Qualitätsmerkmal „Aktualität“ für räumliche Ressourcen in der geographischen Modellierung und Analyse zu erfüllen. Mit dem meist hohen Pre-Processing Aufwand für die Einbindung von geographischen Daten in Geographische Informationssysteme (GIS) können zwar die beiden Qualitätskriterien „Vollständigkeit“ und „Genauigkeit“ von Geodaten erfüllt werden, gleichzeitig leidet allerdings das Kriterium „Aktualität“ darunter (RESCH et al. 2009). Um eine performante Echtzeitintegration dieser Messdaten in unterschiedliche Folgeprozesse sicherzustellen, ist eine automatisierte Aufbereitung der rohen Messwerte notwendig. Die Anwendung der oben vorgestellten Methodik und deren Implementierung in kleine autarke Detektionssysteme eröffnet ein weites Anwendungsfeld im Bereich des Monitorings kritischer Infrastrukturnetze und -einrichtungen. Kostengünstige, schnell und einfach zu montierende und energieautark operierende Sensorsysteme können so auch größere Infrastrukturnetze überwachen. Deren Meldungen können zu einem übergeordneten Lagebild zusammengeführt und gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit der Netze und damit Versorgung der Bevölkerung mit Energie und Waren eingeleitet werden. Neben den sicherheitsrelevanten Anwendungsbereichen ergeben sich noch weitere Anwendungen im Agrarbereich, in der Wettermesstechnik und Naturgefahrenerkennung. Die vorgestellte Methodik wird im Rahmen eines Pilotprojekts getestet und implementiert.

Literatur

- JORDAN, W. & EGGERT, O. (1939), Handbuch der Vermessungskunde. Dritter Band, erster Halbband, Anhang 7, 45 f. Stuttgart.
- KAHMEN, H. (2006), Angewandte Geodäsie: Vermessungskunde. 20. Auflage, 16-35 (Fehlerrechnung und Ausgleichsrechnung), 217-219 (Rechtwinklige Koordinaten, Polarkoordinaten), 223-227 (Ähnlichkeitstransformation). Berlin.
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (Hrsg.) (2005), Geographic information – Quality Principles (ISO 19113:2002). Wien, 1. April 2005.
- RESCH, B. (2009), Live Geography – Standardised Geo-Sensor Networks for Real-time Monitoring in Urban Environments. PhD Thesis, Salzburg University, Austria and Massachusetts Institute of Technology, Boston MA, USA, December 2009.
- ZIMMERMANN, A. (2012), Basis-Modelle der Geoinformatik. München.