

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 98 (2000)

Heft: 7

Artikel: Permanente und autonome Erdrutschüberwachung mit GPS

Autor: Manetti, L. / Knecht, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235663>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Permanente und autonome Erdrutschüberwachung mit GPS

Die heutige Technologie erlaubt eine automatische Überwachung von Objekten wie Brücken oder Staudämme aber auch von erdrutschgefährdeten Gebieten mittels Low-Cost-GPS-Empfängern. Auf dem Markt erscheinen zunehmend Empfängermodule mit den passenden Konstruktionsmerkmalen, womit in Quasi-Echtzeit subzentimetrische Genauigkeiten erreicht werden können. Es wird ein an der Fachhochschule Manno/Lugano (SUPSI) entwickeltes System vorgestellt, welches in weitgehender Autonomie die Bewegungen in einem Netzwerk von Punkten erfasst und überwacht.

L'attuale tecnologia permet une surveillance automatique d'objets tels que ponts ou barrages, mais aussi de régions menacées par des glissements de terrain à l'aide de récepteurs GPS low-cost. Le marché offre de plus en plus de modules de réception avec des caractéristiques de construction adéquates permettant d'atteindre des précisions subcentimétriques quasiment en temps réel. Ci-après est présenté un système développé par la HES Manno/Lugano (SUPSI) qui saisit et surveille, de façon largement autonome les mouvements dans un réseau de points.

La tecnologia odierna permette una sorveglianza automatica – tramite ricettori GPS a basso costo – di oggetti come ponti o dighe ma anche di aree esposte al pericolo di frane. Sul mercato sono sempre più numerosi i moduli di ricezione, con le caratteristiche adeguate, che permettono di ottenere in tempo quasi reale delle precisioni inferiori al centimetro. In questo articolo è presentato il sistema sviluppato presso la SUPSI di Lugano-Manno che, con una grandissima autonomia, rileva e sorveglia i movimenti su una rete di punti.

L. Manetti, A. Knecht

Einführung

Einer der Vorteile bei der Benutzung von GPS-Empfängern in der Vermessung ist, dass die Sichtbarkeit zwischen den zu messenden Punkten nicht mehr gewährleistet sein muss. Es folgt, dass Messungen auch bei schlechtem Wetter (Nebel, Schnee, Regen) und in der Nacht durchgeführt werden können. Auch bei der Planung der Netzkonfiguration muss die Sichtbarkeit zwischen den Punkten nicht mehr berücksichtigt werden.

Mit den traditionellen Messinstrumenten (Laser, Theodolite, total Stations) hängt die Frequenz, mit der die Lage der Punkte bestimmt werden kann, naturgemäss von der Frequenz der Messungen ab. Je nach Typus des zu überwachenden Objektes (Erdrutsch, Brücke, Damm) und je nach dem Zweck der Überwachung

spricht man von einigen Messungen pro Jahr bis mehreren Messungen pro Woche. Es bestehen trotzdem Situationen, in denen eine Überwachung nur sinnvoll ist, wenn die Messungen mit einer weit höheren Frequenz durchgeführt werden können. Denken wir zum Beispiel an Überwachungen zur Erdbeben- oder Vulkaneptionsvoraussage, an Staumauern oder generell an gefährliche Zonen, wo das Schadenpotenzial eines Erdrutsches eine ständige Überwachung der Situation rechtfertigt.

Eine ideale Lösung für die oben beschriebenen Situationen stellt ein Netz von mit GPS ausgerüsteten Messstationen, die in der Lage sind, ihre eigene Position zu bestimmen und zu übertragen.

An der Fachhochschule der italienischen Schweiz (SUPSI) wurde vom CIM-Institut (ICIMSI), in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Bau- und Landwesen (DCT), ein Überwachungssystem entwickelt, das

sich auf ein Netz von Low-Cost-GPS-Empfänger stützt, völlig autonom arbeitet und subzentimetrische Genauigkeiten in Quasi-Echtzeit erreicht.

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (BBT), Kommission für Technologie und Innovation (KTI) mitfinanziert und hat anfangs 1999 mit einer technischen und kommerziellen Machbarkeitsstudie begonnen. Da die erreichten Resultate als sehr befriedigend zu bewerten sind, wird das Projekt nun im Laufe des Jahres 2000 mit der Realisierungsphase fortgesetzt, wobei erste Pilotsysteme im Tessin und in Norditalien in Betrieb genommen werden sollen.

Systembeschreibung

Das System MDS (Movement Detection System) besteht aus mehreren Messstationen, die auf das gesamte Erdrutschgebiet bzw. die zu überwachende Struktur verteilt installiert werden. Dazu werden ein oder mehrere zusätzliche Empfänger auch ausserhalb der zu überwachenden Zone aufgestellt und als Referenzstationen benutzt.

Eine Basisstation, die möglicherweise auch selbst als Referenzstation benutzt werden kann, steuert via Funk das Ein- und Ausschalten der Messstationen.

Während einem Messintervall sammeln die Empfänger gleichzeitig ungefähr 20 Minuten Trägerphase-Daten. Die gesammelten Daten werden dann über einen Funkkanal der Basisstation übermittelt. Diese berechnet dann in einem Lauf alle Lösungen, und als Resultat steht die relative Lage jeder Messstation bezogen auf die Referenzstation(en). Es kann zusätzlich eine Netzausgleichung durchgeführt werden, wobei die Referenzpunkte als Fixpunkte angenommen werden.

Die Resultate werden dann über GSM und/oder Internet dem für die Überwachung verantwortlichen Amt bzw. Person zur Verfügung gestellt. Ein typischer Fall ist das für das Sperren eines gefährdeten Strassenabschnitt zuständige Strassenbauamt. Die Basisstation kann so konfiguriert werden, dass die letzten Resultate jeweils mit den vorhergehenden ver-

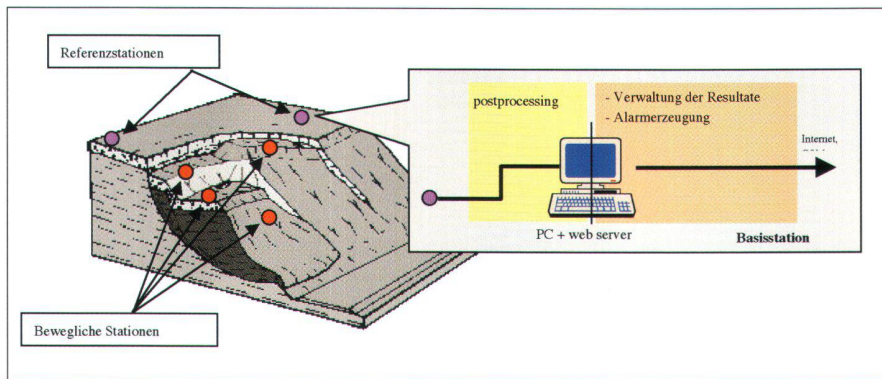


Abb. 1: Systemaufbau MDS.

Max. Länge der Basislinie	20 km
Genauigkeit	10...3 mm
Messintervall	20...90 min
Abmessungen Messstation	~12*20*20 cm
Gewicht Messstation	~5 kg
Temperatur	-35...+70°C
Antenne	CRGP L1

Tab. 1: Technische Hauptmerkmale.

glichen werden und bei Überschreiten einer vordefinierten Toleranzschwelle automatisch eine Alarmmeldung ausgelöst wird.

Die Kommunikation zwischen Basisstation und Messstationen ist wie gesagt durch ein Funkmodem gewährleistet. Wo keine Verbindung zum Elektrizitätsnetz vorhanden ist, wird jede Messstation mit einem Solarmodul und einem Akkumulator ausgerüstet. Diese Lösung garantiert, dass Messwerte und Alarmmeldungen auch dann übermittelt werden, wenn das Stromnetz aus irgendwelchem Grund ausser Betrieb ist.

Solarmodul und Akkumulator werden so projiziert, dass die Messstation für längere Zeit auch bei extremen Wetterbedingungen autonom arbeiten kann.

Static Carrier Phase DGPS und Postprocessing

Das beispielsweise in den Bereichen Navigation und Flottenüberwachung ver-

wendete GPS-Messprinzip betrachtet im Wesentlichen die dem Satellitensignal aufmodulierten Informationen und liegt auch den meisten portablen Low-Cost-Empfängern zugrunde. Leider ist die erreichbare Genauigkeit um ein Vielfaches zu schlecht, um damit eine sinnvolle Überwachung von Verschiebungen im Zentimeter- oder Millimeterbereich zu erreichen. In der Tat ist die Stand-alone Positionsbestimmung mittels Code-Phase mit einem Fehler in der Grössenordnung von ± 100 m behaftet; auch beim Einsatz von sogenannten Code Differential Techniken werden kaum Genauigkeiten von 20 cm erreicht.

Um die Genauigkeit der Messungen bedeutend zu erhöhen, wird das Konzept der *Trägerphasenmessung* eingesetzt. In diesen Fall werden nebst der dem Satellitensignal aufmodulierten Informationen zusätzlich die physischen Merkmale des Trägers selbst betrachtet.

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, wird die Entfernung (Basislinie) zwischen zwei

Empfängern bestimmt, indem der Phasenunterschied zwischen den empfangenen Signalen betrachtet wird (Abb. 2a). Somit werden mehrere Fehlerfaktoren ausgeschieden, die bei der normalen Code-Messung die Lösung behaften. Die mit der Trägerphasenmessung erreichbare theoretische Genauigkeit der Lösungen beträgt etwa 1/1000 der Wellenlänge des Satellitensignals ($\lambda_{L1, L2} = \sim 19$ cm).

Nebst der Komponenten der Basislinie dX , dY und dZ ist eine der Unbekannten in der Berechnung die Anzahl der Phasenzyklen des Signals zwischen jedem einzelnen Empfänger und jedem Satellit. Dieser ganzzahlige Wert wird mit *initial integer ambiguity* bezeichnet und bedarf zu seiner Bestimmung einer Betrachtungszeit des Trägerphasenverlaufs von einigen Minuten.

Wurde eine erste statische Lösung gefunden, werden sich spätere, relative Bewegungen zwischen zwei Empfängerantennen als Phasenverschiebungen zeigen. (Abb. 2b).

Erreichte Resultate

Mit den ersten Versuchen, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführt worden sind, konnten die erreichbare Genauigkeit des Systems sowie die Beiträge der wichtigsten Fehlerquellen bestimmt werden.

Ohne besondere Nachbearbeitung und ohne Berücksichtigung der Satellitenkonstellation zur Festlegung der günstigsten Messintervalle beträgt die erreichte Genauigkeit für eine Basislinie von 2–3 km

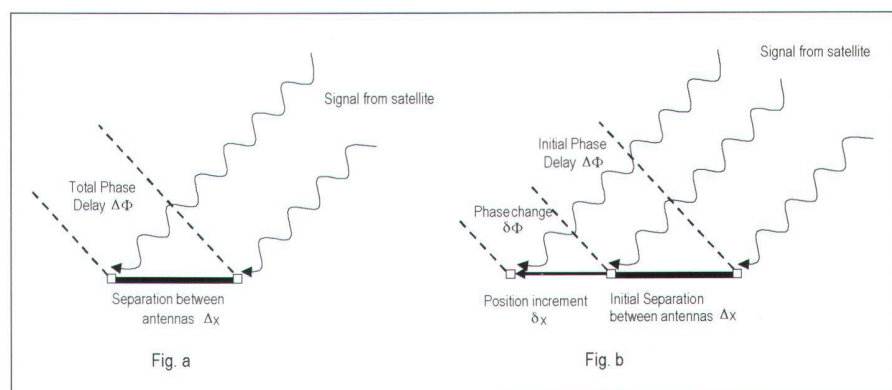


Abb 2: Messprinzip mit Trägerphase.

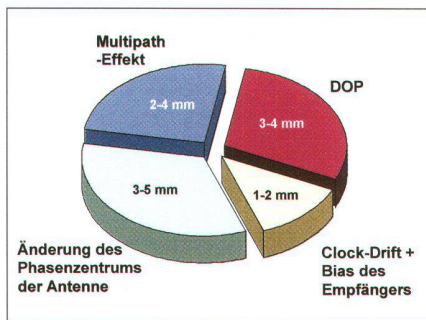


Abb. 3: Fehlerquellen.

zwischen 10–15 mm. Die wichtigsten Fehlerquellen und deren Beitrag am gesamten Fehlerbudget sind in Abbildung 3 zu sehen.

Die Genauigkeit von GPS Messungen hängt generell von folgenden Faktoren ab:

- Bei längeren Basislinien (mehr als 10–20 km) wird der Einfluss von Troposphäre und Ionosphäre auf die Signalverbreitung bedeutend und muss sorgfältig modelliert und betrachtet werden. Für solche Anwendungsfälle werden vorzugsweise Zweifrequenzempfänger (L1+L2) eingesetzt.

In den typischen Anwendungsgebieten des MDS-Systems werden selten Basislinien über 1–2 km Länge auftreten, so dass der Einfluss der Troposphäre und Ionosphäre vernachlässigt werden kann. Aus diesem Grund können im MDS-System bedenkenlos Einfrequenzempfänger (L1) eingesetzt werden, welche weniger Strom verbrauchen und wesentlich preiswerter sind. Somit tragen sie wesentlich dazu bei, die Kosten des Systems niedrig zu halten. Auch die eingesetzten Antennen sind gegenüber der Zweifrequenzausführung konstruktiv einfacher und daher preiswerter.

- Die Stabilität bzw. Genauigkeit der internen Taktfrequenzquelle des Empfängers beeinflusst die Genauigkeit der Messungen. Der Einfluss dieser Fehlerquelle kann bis zu einem gewissen Grad durch Verlängern der Messintervalle ausgeglichen werden.
- Während einer Messung beeinflusst die Sichtbarkeit und die Geometrie der benutzten Satellitenkonstellation di-

rekt ihre Qualität. Da in vielen Anwendungsfällen der exakte Zeitpunkt einer Messung unwichtig ist, kann das MDS-System innert gewissen Grenzen autonom den besten Zeitpunkt bestimmen. Dies wird durch die Basisstation vorgenommen. Zu diesem Zweck werden die aktuellen Daten über die Umlaufbahnen aller GPS-Satelliten (Ephemeriden) gesammelt und dazu benutzt, die günstigsten Zeitpunkte für das Ein- und Ausschalten der Messstationen im Voraus zu bestimmen.

Da die Verfügbarkeit von mehr Satelliten direkten Einfluss auf die zu erwartende Genauigkeit hat, kann der Einbezug alternativer Konstellationen (z.B. Glonass) durchaus sinnvoll sein, vor allem in Berggebieten mit eingegengtem Horizont. Entsprechende Empfänger sind erhältlich und es ist eine Frage der Zeit und der Kosten, bevor auch dem MDS-System zwei Satellitensysteme zur Verfügung stehen werden.

- Die Variation des Phasenzentrums der GPS-Empfangsantennen ist konstruktionsbedingt und äussert sich darin, dass die Phasenmessungen von der Lage des Satelliten (Azimuth und Elevation) abhängen. MDS kompensiert den Einfluss dieses Faktors dadurch, dass intern per Software die rohen Phasenmessungen mittels einer dem Antennenmodell spezifischen Korrekturtabelle angepasst werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass subzentimetergenaue Messungen auch mit Low-Cost-GPS-Empfängern erreichbar sind. Dies kann erreicht werden durch Einsatz der differenziellen Trägerphasenmessung, in Verbindung mit einer geeigneten Software zur Nachbearbeitung (Post-Processing) der rohen Messergebnisse. Bei der Nachbearbeitung kommen u.a. auch Integration und spezielle Filter zum Einsatz. Eine Voraussetzung ist daher das Vorhandensein von rohen Messdaten in ausreichender Menge (mindestens 20 Minuten). Es folgt, dass das

MDS als *near real-time* System bezeichnet werden kann.

Obschon das MDS-System die Messresultate nicht in Echtzeit liefert, können die Reaktionszeiten in vielen Anwendungsgebieten als genügend kurz bewertet werden. Für ein Netz von beispielsweise fünf Punkten (neun Basislinien) kann eine Lösung alle 30–40 Minuten zur Verfügung gestellt werden.

Die Einsatzmöglichkeiten von MDS sind vielfältig und die Überwachung von erd-rutschgefährdeten Gebieten ist nur ein Beispiel. Auch z. B. im Bauwesen besteht ein Bedarf nach einfach zu bedienenden Systemen zur Überwachung von Bewegungen im Millimeterbereich (Brücken oder Dämme, Gittermaste, einsturzgefährdete Bauten usw.).

Die inhärenten Vorteile des MDS Systems sind seine Installations- und Benutzerfreundlichkeit sowie die Fähigkeit zum autonomen und permanenten Betrieb auch bei schlechten Wetter- und Umweltverhältnissen.

Bibliographie:

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (1997). GPS Theory and Practice. Springer Verlag, Wien New York, fourth, revised edition.

Seeber, Günter (1993). Satellite Geodesy. Foundations, Methods, and Applications. Walter Gruyter, Berlin New York.

Leick, Alfred (1995). GPS Satellite Surveying. John Wiley and Sons, Inc., New York Chichester Brisbane Toronto Singapore, 2nd edition.

PMos: A real time precise DGPS continuous deformation monitoring system. Adam Lowry, Roderick McLeod, 1997.

Luca Manetti
 Alfredo Knecht
 SUPSI-ICIMSI
 Istituto CIM della Svizzera italiana
 Galleria 2
 CH-6928 Manno (Lugano)
 e-mail: aknecht@cimsi.cim.ch
 e-mail: lmanetti@cimsi.cim.ch
<http://www.dct.supsi.ch/frana/descr.htm>