

4. GPS-Antennenworkshop

im Rahmen des 4. SAPOS[®]-Symposiums in Hannover

10:00 - 10:45	Anreise, Anmeldung, Kaffee
10:45 - 11:00	Begrüßung
11:00 - 11:25	Internationale Standards und Formate M. Rothacher und R. Schmid (TU München) Aktueller Stand zur Antennenkalibrierung beim IGS
11:25 - 11:50	HJ. Euler (Leica Geosystems) Standardkonforme Verwendung von Antennenkalibrationen mit vernetzten Referenzstationen
11:50 - 12:00	M. Spata (LVermA Nordrhein-Westfalen) Standards zur DGPS-RTK-Positionierung
	Mittagspause
13:00 - 13:20	Antennenkalibrierung im SAPOS [®] CH. Jahn und U. Feldmann-Westendorff (LGN) Zur Nutzung von Antennenkalibrierungen im SAPOS [®] Kaffeepause
13:50 - 14:05	Untersuchung von Antennenkalibrierungen verschiedener Institutionen U. Feldmann-Westendorff (LGN) und B. Sorge (LG Brandenburg) Vergleichstest von Kalibrierverfahren für GPS-Antennen
14:05 - 14:35	R. Schmid und M. Rothacher (TU München) Ergebnisse und Analyse des Vergleichstests
14:35 - 15:20	F. Menge (Uni Hannover), M. Schmitz (Geo++ GmbH), L. Wanninger (Ingenieurbüro Wanninger), J. Campbell und B. Görres (Uni Bonn) Stellungnahmen zum Vergleichstest
15:20 - 15:40	G. Wübbena und M. Schmitz (Geo++ GmbH) Weitere Aspekte zur Kalibrierung von GNSS-Systemen
15:40 - 15:50	M. Becker und C. Zeidler (Univ. der Bundeswehr, München) GPS Antenneneichung in der Absorberhalle des EMV-Testzentrums Greding
	Kaffeepause
	Kalibriarung von Umgebungsoffekten auf Peferenzstationen
16:10 - 16:20	G. Seeber (Uni Hannover) Einführung in die Referenzstationskalibrierung
16:20 - 16:40	G. Wübbena, M. Schmitz, M. Bachmann (Geo++ GmbH), G. Seeber, V. Böder, F. Menge (Uni Hannover) Zur Absoluten Kalibrierung von Referenzstationen: Grundlagen, Anwendungen und das Hannoversche Verfahren
16:40 - 17:00	V. Böder, G. Seeber (Uni Hannover), G. Wübbena, M. Schmitz (Geo++ GmbH), U. Feldmann-Westendorff, CH. Jahn (LGN) Absolute Kalibrierung der SA <i>POS®</i> -Referenzstation Hannover: Messungen, Untersuchungen und Ergebnisse
17:00 - 17:20	L. Wanninger (Ingenieurbüro Wanninger) Kalibrierung von Referenzstationen ?
17:20 - 18:00	Abschlussdiskussion
18:00 - 22:00	Get-Together-Abend







Aktueller Stand zur Antennenkalibrierung beim IGS

Markus Rothacher

Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie (FESG) Technische Universität München

Ralf Schmid

Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie (IAPG) Technische Universität München

4. GPS-Antennenworkshop in Hannover 21. Mai 2002

Inhalt

- Einführung
- Kalibriermethoden für Empfänger-Antennen
- Kalibriermethoden für Satelliten-Antennen
- Neue Entwicklungen im IGS
- Neues Antennen-File-Format ANTEX
- Empfehlungen vom IGS Workshop in Ottawa
- Schlussbemerkungen

Kalibriermethoden für die Empfängerantennen

Drei Methoden zur Kalibrierung von GPS **Empfängerantennen**-Phasenzentrumsvariationen (PCVs):

- Messungen in mikrowellentoten Kammern (anechoic chamber):
 - Absolute Kalibrierungen mit einem künstlichen GPS-Signal.
 - Mechanischer Rotationspunkt muss genau bekannt sein.
- Relative Feldkalibrierungen:
 - Bestimmung der Phasenzentrumsvariationen (PCVs) relativ zu einer Referenzantenne auf einer **kurzen**, **bekannten Basislinie**.
 - Am meisten verwendete Kalibriermethode (z.B. für IGS-Antennenwerte).
 - Rotation der Antenne: azimutale Variationen können mitbestimmt werden.
- Absolute Feldkalibrierungen:

 - Referenzantenne bleibt fix.











Problem mit globale GPS-Lösungen (lange Basislinien)

- Absolute PCVs bekannt aus Kammermessungen und aus absoluten Feldkalibrierungen (Roboter).
- Gute Übereinstimmung zwischen den zwei unabhängigen Methoden.
- Trotzdem: bisher nur **relative** Empfängerantennen-PCVs im Einsatz im International GPS Service (IGS).
- Grund: absolute Empfängerantennen-PCVs verursachen einen **Skalenfaktor** von ca. **0.015 ppm** in globalen Lösungen.
- Es gibt eine 1-zu-1-Beziehung zwischen Empfänger- und Satelliten-PCVs.
- Folgerung: **Satellitenantennen-Offsets und -PCVs** müssen bestimmt und berücksichtigt werden.

Beziehung zwischen Empfänger- und Satelliten-Antennen-Pattern

• Beziehung zwischen Zenitwinkel z der Station und Nadirwinkel z' des Satelliten:

$$\sin z' = \frac{R}{r} \sin z$$

• 1-zu-1-Abbildung zwischen Empfänger-PCVs $\Delta \phi(z)$ und Satelliten-PCVs $\Delta \phi'(z')$:

$$\Delta \phi'(z') = \Delta \phi(z)$$

- Fehler im Satellitenantennenpattern können ins Empfängerantennenpattern verschoben werden und vice versa.
- Empfänger- und Satellitenantennenpatterns (und Offsets) müssen konsistent sein.





Kalibriermethoden für die Satellitenantennen

Wenig Information über die Satellitenantennenphasenzentren vorhanden. Nur ein Wert bisher bekannt für die L1-, L2- und LC-Satellitenantennen-Offsets.

- Kalibrierung der Satellitenantennen am Boden: (Gerry Mader, NGS)
 - Bestimmung der Satellitenantennen-Offsets (L1, L2 und LC) einer Block IIA Antenne (benutzt als Empfangs- statt Emissionsantenne).
 - Verfahren sehr ähnlich wie relative Empfängerantennen-Feldkalibrierungen.
- Bestimmung von Satellitenantennen-Offsets und -PCVs: (TU München)
 - Nicht nur Satellitenantennen-Offsets sondern auch Satelliten-PCVs müssen berücksichtigt werden.
 - Bestimmung von Satelliten-PCVs aus globalen GPS-Lösungen mit der Berner GPS Software.





Schätzen von Satellitenantennen-PCVs

- Globales IGS-Netz (> 100 Stationen)
- **Tägliche** Lösungen mit Bestimmung von **Satelliten-PCVs** und allen relevanten globalen Parametern (Bahnen, Erdrotationsparameter, Troposphärenparameter, . . .).
- Globaler Massstab muss fixiert werden (Festhalten der Stationskoordinaten).
- Absolute PVCs für Empfängerantennen aus Hannover (IfE/Geo++).
- **Polygonzug** von $0^{o} 14^{o}$ mit 1^{o} -Auflösung (Nadirwinkel).
- Zusätzliche Bedingung: **Summe** aller PCV-Werte gleich **null** (kann nicht von Satellitenuhr getrennt werden).





Wiederholbarkeit der Eintageslösungen (Block IIR)

Effect of SAPCV Estimation on Troposphere Parameters (Day 245)

Helmerttransformation zwischen Satellitenbahnen (mit bzw. ohne Phasenzentrumsvariationen der Satellitenantennen)

	Tag	DX [mm]	DY [mm]	DZ [mm]	RX [mas]	RY [mas]	RZ [mas]	Maßstab [ppb]	RMS [mm]
	240	-10	-19	2	-0.01	-0.07	0.01	-0.4	49.2
	241	-12	-21	1	-0,03	-0,10	-0,02	-0,4	47,9
	242	-7	-16	0	-0,04	-0,08	-0,03	-0,3	36,5
Block II/IIA	243	-8	-19	3	-0,01	-0,04	-0,02	-0,4	40,4
(24 Sat.)	244	-8	-26	-3	0,02	-0,12	-0,11	-0,5	59,7
	245	-4	-23	-6	0,01	-0,14	-0,11	-0,4	55,1
	246	-11	-26	-6	0,01	-0,19	-0,04	-0,5	59,5
	247	-12	-27	-5	-0,02	-0,11	-0,13	-0,5	54,9
	240	1	1	-3	0,02	0,00	-0,01	0,0	15,7
	241	0	1	-1	0,03	0,00	0,02	0,0	13,9
	242	0	1	-1	0,02	-0,02	-0,01	0,0	11,9
Block IIR	243	0	1	-2	0,01	0,01	0,00	0,0	14,9
(7 Sat.)	244	1	1	-3	0,02	-0,02	-0,01	0,0	18,0
	245	-1	1	-2	0,03	-0,03	-0,01	0,0	16,8
	246	1	2	-3	0,03	-0,01	0,02	0,0	17,2
	247	2	2	-2	0,03	0,00	0,01	0,1	17,8

Neue Entwicklungen im IGS

• Antenna and Multipath Calibration System (AMCS) in Haystack

- 2 GPS-Antennen und eine 3-Meter-Parabolantenne
- Messen von Phasenzentrumsvariationen und Multipath-Einflüssen

• Phased Array Antenna/Receiver (NAVSYS)

- Digitaler "Beam-Steering Antenna Array" aus 16 Elementen um Multipath-Effekte zu detektieren und zu messen (NGS).

• GLONASS, Galileo, GPS III

- Antennenkalibrierungen nötig für neue Frequenzen (Galileo und GPS III).
- Verallgemeinerung des Formats für Antennenkorrekturen auf allen GNSS-Frequenzen.
- Möglicher Beitrag von VLBI: IVS Working Group Report
 - Studie ergibt: aus VLBI-Daten berechnete Antennenkarten f
 ür die GPS-Satelliten h
 ätten nur eine Genauigkeit von etwa 40–50 cm.

Components of the AMCS

- High-gain, multipath-free, 3-m diameter parabolic antenna
- GPS test antenna to be calibrated
- Two GPS receivers

Neues Format für Antennenkorrekturen: eine Notwendigkeit

- Heutiges Format **nicht flexibel genug** für die allgemeineren Bedürfnisse verschiedener Benutzergruppen.
- Internationale Organisationen und Institutionen möchten ein einheitliches, vom IGS definiertes Format.
- Neue Möglichkeiten im Format-Entwurf ANTEX:
 - Azimutabhängige Variationen
 - Antennen-Seriennummer zur Identifikation individueller Antennen
 - Flexibles Tabellenintervall für die Phasenzentrumsvariationen
 - Information über den Elevationsbereich
 - Information über die Kalibrierung (Institution, Anzahl Antennen, etc.)
 - Verallgemeinerung für GLONASS, Galileo und GPS III (Frequenzen, Satelliten)
 - Einbezug von Satellitenantennen-Offsets und -Variationen
 - A posteriori Fehler der Phasenzentrumskorrekturen

Empfehlungen vom IGS Workshop in Ottawa

1. Neues Format ANTEX für Antennenphasenzentren:

Überarbeitung und Einführung des neuen ANTEX-Formates für die Phasenzentrumskorrekturen von Empfänger- als auch Satellitenantennen. (angestrebtes Einführungsdatum: 1. Januar 2003).

2. Absolute Antennenphasenzentrumskorrekturen:

Einführung absoluter Antennenphasenzentrumskorrekturen für die Empfänger und neue Satellitenantennenoffsets und -variationen nach einer gründlichen Test-Kampagne (angestrebtes Einführungsdatum: 1. Januar 2003).

3. Antenna Working Group:

Es soll eine Antennen-Arbeitsgruppe gebildet werden, die sich mit Antennenproblemen im Allgemein und dem Übergang von relativen zu absoluten Antennenphasenzentrumsvariationen im Speziellen befassen soll.

4. Veränderungen am Antennen-Setup:

Wenn irgendwie möglich sollen keine Änderungen an der Aufstellung von IGS-Antennen vorgenommen werden. Wenn immer möglich sollte im Falle eines Ausfalls älterer Hardware wieder derselbe Antennentyp installiert werden.

Vorgehen und Zeitplan

1. Neues Antennen-Format ANTEX:

May 31, 2002 Neues Format definiert nach einem Review-Prozess.
Jan. 1, 2003 Neues Format offiziell einführen; das alte Format ist noch vorhanden, wird aber nicht mehr nachgeführt.

2. Neue absolute Antennenkorrekturen:

May 31 , 2002	Neue Empfänger- und Satelliten-Offsets und Patterns
	für Tests durch die IGS-Analyse-Zentren bereit.
Sep. 30, 2002	Tests der IGS-Analyse-Zentren beendet.

Jan. 1, 2003 Übergang zu den neuen absoluten Antennenkorrekturen (Empfänger und Satellit).

Absolute PCVs für Empfängerantennen (mindestens für die AOAD/M_T-Antenne) von den Roboter-Resultaten der Hannover-Gruppe. Satelliten-Antennenkorrekturen (konsistente Offsets und Patterns) von TU München und NGS (Gerry Mader).

Schlussbemerkungen

- Absolute Kalibrierungen: recht gute Übereinstimmung für AOAD/M_T (≈ ± 2 mm); noch Probleme mit anderen Antennentypen (besonders in L2).
- Feld-Kalibrierungen: absolute und relative PCVs stimmen sehr gut überein ($\approx \pm 1 \text{ mm}$).
- Satellitenantennen-Offsets und -PCVs müssen berücksichtigt werden (globaler Skalenfaktor von 0.015 ppm).
- Satellitenantennen-PCVs können aus globalen Lösungen mit 1-2 mm Genauigkeit bestimmt werden.
- IGS wird ab 2003 umsteigen auf:
 - absolute Empfängerantennen-PCVs
 - dazu konsistente Satelliten-Offsets und -PCVs
 - neues Antennen-Format ANTEX

Standardkonforme Verwendung von Antennenkalibrierungen mit vernetzten Referenzstationen

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Euler Chairman RTCM WGs Antenna Variation / Network RTK

Einleitung

- Verwendungen von Antennenkalibrierungen im RTCM SC104 Format
 - Bis Version 2.2
 - Ab Version 2.3 und zukünftige Version 3.0
- Darstellung der Kalibrierwerte
 - Relativ / Absolut
- Auswirkung einer falschen Kalibriertabelle (absolut statt relativ) auf Resultate
- Zusammenfassung

Ungereimtheiten im alten RTCM-Standard V2.2

- Keine Message zum Übertragen von konkreten Setupinformationen möglich
 - Installierte Antenne und Schutzeinrichtungen
- Behandlung des Antennenphasenzentrums (Exzentrizitäten und azimutale und elevationsabhängige Größen)
 - ist nicht definiert
 - nicht korrigieren?
 - relative Modellierung?
 - absolute Modellierung?
 - kann nicht dem Nutzer mitgeteilt werden
- Definition des Referenzpunktes im Type 22
 - L1 Phasenzentrum

- Konkrete Festlegung der Behandlung von Antennenvariationen auf der Schnittstelle zwischen Systemprovider und Benutzer
 - Keine Korrektur oder Rücktransformation auf einen Modelltypen
- Definition einer neuen Message Type 23
 - Übertragung von Beschreibung der Antennenparameter
- Definition eines mechanisch-definierbaren Punktes an der Antenne
- Definition einer neuen Message Type 24
 - Referenzposition ist definierbarer Punkt der Antenne
 - zukünftiger Ersatz für Type 3 und 22

Neuer Messagetyp 23 (skizziert)

•	PARAMETER NO. OF	BITS	<u>UNITS</u>	RANGE
•	SERIAL FLAG (SF)	1		0=No antenna serial number will follow
•				1=Antenna serial number will follow
•	# CHARACTERS (NAD	D)5	1	0 - 31
•	ANTENNA			
•	DESCRIPTOR	8 * NAD	Char	
•	SETUP ID	8	1	0=No specified setup.
				Use standard IGS model.
				1-255 specific setup number
				Look out for appropriate model values.
•	# CHARACTERS	5	1	0 – 31 CHARACTERS
•	(NAS)			
•	ANTENNA			
•	SERIAL NUMBER (AS)8 * NAS	Char	
•	FILL	8		Fill byte with binary 10101010.
				Leica

May 21, 2002 Standardkonforme Verwendung von Antennenkalibrierungen / Hans-Jürgen Euler

Neuer Messagetyp 24 (skizziert)

- ECEF X-COORDINATE, ECEF Y-COORDINATE, ECEF Z-COORDINATE
 - Length: 38 bits
 - Resolution: 0.0001
 - Range: +/- 13,743,895.3472 meter
- NH No antenna height reading is following.
 - Length: 1 bit
 - No/Yes: 1/0
- ANTENNA HEIGHT Vertical antenna height reading
 - Length: 18 bits
 - Resolution: 0.0001
 - Range: 0 26.2143 meter
- SPARE and reserved bits have to be set to 0 in order to allow a default setting assumption for latter use.

Geosystems

Nachfolgestandard RTCM Version 3.0

- Messagetypen 23 und 24 werden in ähnlicher Form übernommen.
- Handling von Antenneninformationen wie in Version 2.3
- Zur Zeit ist die Definition in einer Reviewphase mit Austausch von Datensätzen zum Überprüfen des gemeinsamen Verständnisses
- Messages zur Verteilung von Netzinformationen in Diskussion
 - Euler, Keenan, Zebhauser, Wübbena (2001)
 - Zebhauser, Keenan, Euler, Wübbena (2002)
 - Talbot, Lu, Vollath (2002)

May 21, 2002 Standardkonforme Verwendung von Antennenkalibrierungen / Hans-Jürgen Euler

Referenzstationsnetze

- 1. Generell <u>keine</u> Korrekturen von Antennenvariationen für Messages 18&20 (19&21)
- 2. Innerhalb von Referenzstationsnetzen kann/muss korrigiert werden.
 - Zur Erfüllung von 1. muss auf eine Modelltypenantenne zurück transformiert werden
 - Unabhängigkeit der Modellierung auf Systemproviderseite und Nutzerseite garantiert
 - Nullantenne könnte als eine Modelltypenantenne angesehen werden. Eine ausreichende Genauigkeit zur Elimination aller Antennenvariationen muss gewährleistet sein (<1mm)
 - Information über Antenne mit Messagetyp 23 senden

Zu Beachten

- Referenzstationsbetreiber können Modellierungsart der Antennenvariationen (relativ oder absolut) frei wählen
 - Modelle müssen für Korrektur und Rücktransformation konsistent sein
 - Virtuelle Nullantenne (Definition SAPOS)
 - bei relativer IGS-kompatibler Modellierung sind elevationsabhängige Werte vorhanden
 - bei Verwendung absoluter Modellierung entfällt Rücktransformation, da dann alle Werte 0 sind
 - ADVNULLANTENNE wurde bislang noch nicht bei IGS registriert

Zu Beachten

- Anwender müssen am Rover auch korrigieren
 - Empfang von SAPOS-kompatiblen Korrekturen bezogen auf Nullantenne
 - Relative Modellierung am Rover bedingt ebenfalls eine Korrektur für Referenzstationsantenne

Differenz relativer und absoluter Kalibrierung

Differenz relativer und absoluter Kalibrierung

Abweichung von Rotationssymmetrie

Differenz relativer und absoluter Kalibrierung

Influence of difference between relative and absolute antenna pattern mismatch

Zusammenfassung

- Neue Definitionen im RTCM V2.3
 - klären Behandlung von Antennenvariationen
 - erlauben freie Wahl der Art der Antennenmodellierung auf Betreiber- und Benutzerseite
- Punktantenne (SAPOS-Nullantenne)
 - Einführung der Nullantenne birgt einige Gefahren
 - Definition muss klar eingehalten werden
 - nur absolute Antennenvariationen einführen
 - oder richtige Rücktransformationstabelle verwenden
 - auf keinen Fall relative Kalibrierwerte als absolute ausgeben

- 1 cm Standardabweichung eines Messwertes
- 2 cm Standardabweichung der Lagebestimmung, Anforderung f
 ür das Koordinatenkataster
- 2 cm Abweichung zwischen Hin- und Rückmessung
- 3 cm Abweichung bei Nachweiswerten (Anschluss)
- 4 cm Abweichung bei geometrischen Bedingungen

Genauigkeitsangaben des SAPOS-Dienstes 100-300 cm EPS, Echtzeit 1-5 cm HEPS, Echtzeit 1 cm GPPS, Postprocessing <1 cm GHPS, Postprocessing

Manfred Spata, Landesvermessungsamt

- Part 1 Theory (IS 3/2002)
- Part 2 Levels (IS 12/2001)
- Part 3 Theodolites (IS 12/2001)
- Part 4 EDM instruments (IS 12/2001)
- Part 5 Electronic tacheometers (DIS 4/2001)
- Part 6 Rotating lasers (FDIS 11/2001)
- Part 7 Optical plumbing instruments (CD 11/2001)
- Part 8 DGPS-RTK-measurements (New CD 2003)

- Herstellerangaben
- IGS-Nomenklatur
- SAPOS-Standard (AdV-AK-Beschluss 3/2002)
- GPS-Richtlinien NRW (IM-Entwurf 3/2002)

=> DIN-Norm zur Klärung der bestehenden Inhomogenitäten

DIN-Norm 18 727 (Neu 2003) Kalibrierung von geodätischen GPS-Antennen

- Anwendungsbereich
- Normative Verweisungen
- Begriffe

•••

. . .

- Kalibrierverfahren
- Kalibrierzertifikat
- Anhang (normativ, informativ)

Manfred Spata, Landesvermessungsamt

Zur Nutzung von Antennenkalibrierungen im SAPOS®

Cord-Hinrich Jahn Uwe Feldmann-Westendorff Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen

> 4. GPS-Antennenworkshop im Rahmen des 4. SAPOS[®] -Symposiums Hannover, 21. Mai 2002

Gliederung

Der Weg zur ADVNULLANTENNA

AdV-Beschluss vom April 2002

Selbstkritik, Status und *die* offene Frage

Umsetzung für Einheitlichkeit in SAPOS®

Ausblick

ÆLG

Der Weg zur ADVNULLANTENNA

1998 Bericht der AdV-Expertengruppe GPS-RS

- Berücksichtigung von PCV auf Betreiber- und Nutzerseite
- Definition und Einführung einheitlicher Kalibrierverfahren

1999 Beginn der Reihe GPS-Antennenworkshop

- jährliche Veranstaltung der Universitäten Bonn und Hannover
- wissenschaftliche Begleitung im Bereich der Kalibrierverfahren

2000 SAPOS[®]-Techkom

- Vorschlag zur Definition Nullantenne
- Diskussion um die Einführung der Nullantenne in SAPOS[®]

21. Mai 2	002
-----------	-----

4. GPS-Antennenworkshop

Der Weg zur ADVNULLANTENNA

2000 SAPOS®-Techkom

 Empfehlung der GNSS-Hersteller zur Einführung der Nullantenne in SAPOS[®]

2000 IfE und Geo++

- Bereitstellung der Absolutkalibrierung einer AOAD/M_T Antenne zur Umrechnung zwischen IGS- und Absolutniveau
- Antrag zur Aufnahme des Typs NULLANTENNA beim IGS

2001 RTCM Meeting SC 104

• Freigabe Format RTCM 2.3 - Definition der Messages 22-24

3

& LGN

Der Weg zur ADVNULLANTENNA

2002 SAPOS®-Techkom

- Vereinbarung über den String ADVNULLANTENNA
- Antrag zur Aufnahme dieses Typs im IGS (rcvr_ant.tab)

2002 AdV-Arbeitskreis Raumbezug

 Beschluss Kalibrierung von Antennen auf SAPOS[®]-Referenzstationen zur Vorlage an das AdV-Plenum

2002 IGS Workshop

- Positionspapier u.a. zur Nutzung absoluter PCV im IGS
- Vorschlag zur Definition eines neuen PCV-Formates ANTEX

21. Mai 2002

4. GPS-Antennenworkshop

Niedersachsen

5

AdV-Beschluss vom April 2002 (110. Tagung)

zum Thema:

Kalibrierung von Antennen auf SAPOS[®]-Referenzstationen

Kernpunkte

- Offset sowie elevations- und azimutabhängige PCV L1 und L2
- PCV-Schrittweite 5° nach Möglichkeit ab 0° Elevation, mindestens jedoch ab 5° Elevation
- Nomenklatur und Vorzeichen des IGS
- Niveaufestlegung Nullantenne

ADVNULLANTENNA für SAPOS®

•	digitale Antenne
•	als Modelltypenantenne konform zu RTCM 2.3
# # Antenna Phase Center Variations # # Antenna Type: ADVNULLANTENNA	Offset und PCV = Null (fehlerfrei), sphärische Wellenfronten im ARP
# Antenna Serial Number: - # Antenna Setup ID: - # Antenna Calibration Date: - #	PCV mit bekannten Parametern überführbar auf IGS-Niveau AOAD/M_T
TYPE= ADVNULLANTENNA NO OF FREQUENCIES=2	Rover können PCV auf Relativ- oder
OFFSETS L1=0.00000 0.00000 0.00000 OFFSETS L2=0.00000 0.00000 0.00000 ELEVATION INCREMENT=5	Absolutniveau vollständig korrigieren
AZIMUTH INCREMENT=5 VARIATIONS L1= 0.00000 0.000000 0.00000 0.00000 0.00000 0. 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.	
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0. 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0. 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.	
21. Mai 2002	4. GPS-Antennenworkshop 7

Selbstkritik

Bis heute herrscht Heterogenität in der Behandlung von PCV im SAPOS[®].

Dies wurde immer wieder von den Herstellern, Kunden aber auch Betreibern festgestellt.

Gründe hierfür werden u.a. gesehen in

- der parallelen Entwicklung der Kalibrierverfahren,
- der Diskussion um die Einhaltung internationaler Standards,
- der parallelen Anpassung problemgerechter Formate,
- der Implementierung in Anwendungssoftware.

Status

Status für SAPOS[®] nach vier Antennenworkshops:

- Beschluss der AdV zu Umfang und Niveau der Kalibrierung von Referenzstationsantennen liegt vor.
- Beschluss der AdV zur Einführung des zur Nullantenne kompatiblen Korrekturdatenformates RTCM 2.3 liegt vor (*Einheitlichkeit von SAPOS-Deutschland* - Plenum 11/2001)
- IGS diskutiert die internationale Nutzung des Absolutniveaus und entwickelt ein verbessertes PCV-Format (ANTEX).

21. Mai 2002	4. GPS-Antennenworkshop	9

Niedersachsen

Offene Frage:

Festlegung der *Genauigkeitsanforderungen* an die Kalibrierverfahren für SAPOS[®]-Referenzstationen.

 \Rightarrow höchste Genauigkeit aus Betreibersicht

Zur Klärung wurde ein Vergleichstest der Kalibrierverfahren für GPS-Antennen initiiert.

Die AdV muss diese Ergebnisse bald möglich ad hoc bewerten und in einen Beschluss überführen.

&LGN

Umsetzung für Einheitlichkeit im SAPOS®

Die SAPOS[®]-Betreiber setzen die Beschlüsse der AdV zeitgerecht und konsistent um.

Die GNSS-Hersteller implementieren die ADVNULLANTENNA auf ihren Rover-Systemen.

Die Nutzer werden von den Betreibern und GNSS Hersteller für die Thematik sensibilisiert.

21. Mai 20024. GPS-Antennenworkshop11			
	21. Mai 2002	4. GPS-Antennenworkshop	11

Niedersachsen

Umsetzung - am Beispiel Niedersachsen

Aktueller Stand:

- vier verschiedene Antennentypen auf 41 Referenzstationen
- Relativkalibrierung der Antennen zur Qualitätssicherung (Typ-Konsistenz)
- Nutzung von absoluten Typmitteln (Roboter)
- Realisierung der Nullantenne durch direkte Anbringung der absoluten Typmittel an die Korrekturdaten (RTCM 2.1)
- bisher sehr gute Erfahrungen insbesondere bei der Echtzeit-Höhenbestimmung mit absolut korrigierter Roverantenne und im Postprocessing zur Bestimmung hochgenauer Normalhöhen.

Umsetzung - am Beispiel Niedersachsen

Umsetzung - am Beispiel Niedersachsen

Ziel:

- Unterstützung des Formates RTCM 2.3 ab Mitte 2002
- Weiter absolute Kalibrierung der Referenzstationsantennen (Roboter)
- Mittelfristig Übergang auf umfassende Stationskalibrierungen (PCV, Mehrwegeeffekte, ...)


Ausblick

Die Thematik Antennenkalibrierung muss für SAPOS[®] in 2002 abgeschlossen werden.

Der stationsabhängige Gesamtfehlerhaushalt (PCV, Mehrwegeausbreitung, Signalbeugung, Gebäudebewegung, ...) wird aufgebrochen werden.

Die wissenschaftliche Begleitung sollte u.a. durch die Reihe Antennenworkshop weiter gehen.

21. Mai 2002

4. GPS-Antennenworkshop

15



Vergleichstest von Kalibrierverfahren für GPS-Antennen

Uwe Feldmann-Westendorff Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen Bernd Sorge Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg

> 4. GPS-Antennenworkshop im Rahmen des 4. SAPOS[®] -Symposiums Hannover, 21. Mai 2002





Hintergrund

Nach Beschluss der AdV zur *Kalibrierung von Antennen auf SAPOS®-Referenzstationen* sind Umfang und Kalibrierniveau definiert.

Offen hingegen sind die *Genauigkeitsanforderungen* an die Kalibrierverfahren.

Abschätzungen deuten einen Wert < 1 mm für $PCV_{L1/L2}$ und Offset_{L1/L2} an, um höchsten Anforderungen zu genügen.



Initiative und Ziel

Zur Klärung der Konsistenz der im Raum von SAPOS[®] vorhandenen operationellen Kalibrierverfahren wurde 2001 seitens LGN und LGB ein Vergleichstest vorgeschlagen.

Ziel des Vergleichstests ist es wesentlich, der AdV eine verbesserte Entscheidungsgrundlage zur Fassung eines Beschlusses zur Genauigkeitsanforderung an die Kalibrierverfahren bereitzustellen.

21. Mai 2002	4. GPS-Antennenworkshop	3

Niedersachsen



Inhaltliche Aspekte

Der Vergleich soll verfahrensabhängige Vor- und Nachteile sowie systematische Differenzen zwischen den Kalibrierverfahren aufzeigen.

Aus den Ergebnissen soll der Einfluss der vorhandenen Differenzen im Positionsraum abgeschätzt werden, insbesondere bei gemischter Nutzung.

Es könnten so Kalibrieranforderungen für verschiedene Einsatzbereiche von GPS-Antennen formuliert werden.



Organisation



Ein einheitlicher Antennen- und Empfängersatz.

Erste Kalibrierung: 10/2001 - letzter PCV-Satz: 05/2002

Auswertung WaSoft/Kalib: L. Wanninger

Beobachtungen Bonn: LVermA NRW

21. Mai 2002

4. GPS-Antennenworkshop

Niedersachsen



5

Antennensatz

Hersteller	Antennentyp	Leihgeber
Leica	LEIAT303 LEIC	Leica geosystems
NovAtel	NOV503 NOKE	LG Brandenburg
Trimble	TRM33429.20+GP	LGN
Leica	LEIAT502	Leica geosystems
Trimble	TRM39105.00	LGN



Antennensatz







Perspektive

Der numerische Vergleich der Ergebnisse steht vor dem Abschluss.

Die Wirkung der Differenzen auf das Positionsergebnis muss untersucht werden.

Eine aus dem Vorhaben resultierende Empfehlung an die AdV ist für SAPOS[®] wünschenswert.

Der Antennensatz steht für weitere Kalibrierstellen bereit.

Ergebnisse und Analyse des Vergleichstests von Kalibrierverfahren für GPS-Antennen

Ralf Schmid, Markus Rothacher

Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie Technische Universität München

> 4. GPS-Antennenworkshop Hannover 21. Mai 2002

Gliederung

- Vorgehensweise
- Rein elevationsabhängige Phasenzentrumsvariationen
- Elevations- und **azimutabhängige** Phasenzentrumsvariationen
- Zusammenfassung
- Ausblick

Vorgehensweise (1)

- Vorzeichenumkehr (IGS-Standard)
- Elevationsabhängige PCVs (wenn nicht bereitgestellt) durch Mittelung über alle Azimute
- Umrechnung der PCVs auf einheitliche Offsets
- Schätzung eines **ungewichteten Mittels**, wobei für jeden PCV-Satz ein **konstanter Versatz eliminiert** wird
- Lagerung des Mittels:
 - PCV-Wert im Zenit = 0 (rein elevationsabh. PCVs)
 - Summe über alle PCV-Werte = 0 (elevations- u. azimutabh. PCVs)

Vorgehensweise (2)

Beobachtungsgleichung für die absolute Phasenzentrumsvariation $\Delta \varphi(z,a)$ der Antenne *A* im Satz *i*:

$$\Delta \varphi_{i,A}(z,a) = \Delta \varphi_A(z,a) + \left(\vec{r}_{i,A} - \vec{r}_A\right) \cdot \vec{e}(z,a) + \Delta \varphi_{0,i}$$

mit:

 $\Delta \varphi_A(z,a)$ ausgeglichene Phasenzentrumsvariation $\vec{r}_{i,A}$ Offset des Phasenzentrums im Satz i \vec{r}_A mittlerer Offset für Antenne A $\vec{e}(z,a)$ Einheitsvektor Empfänger \rightarrow Satellit $\Delta \varphi_{0,i}$ konstanter Versatz im Satz i





Antenne G3





Antenne R2



L1-Residuen für jede Kalibrierungseinrichtung [mm]



L2-Residuen für jede Kalibrierungseinrichtung [mm]





	1,92	1,96	2,17	1,39	0,88	
2,14						Antenne R2
1,66						Antenne R1
1,60						Antenne G3
1,68						Antenne G2
1,44						Antenne G1
	GIUB	םם עד	LGN	Geo++	lfE	
		[mm]	te für LC	MS-Wer	R	

	0,97	0,96	1,80	0,63	0,54	
1,40	0,91	1,62	2,26	0,72	0,66	Antenne R2
1,06	0,54	0,82	1,89	0,78	0,55	Antenne R1
1,00	0,62	0,65	1,76	0,79	0,54	Antenne G3
0,83	1,23	0,53	1,12	0,23	0,49	Antenne G2
0,95	1,21	0,59	1,50	0,42	0,41	Antenne G1
	GIUB		LGN	Geo++	lfE	
		[mm]	te für L2	RMS-Wer	ד	

	0,67	0,63	0,63	0,32	0,28	
0,69	0,94	0,82	0,66	0,45	0,37	Antenne R2
0,52	0,49	0,61	0,75	0,30	0,27	Antenne R1
0,46	0,47	0,62	0,59	0,24	0,17	Antenne G3
0,47	0,65	0,44	0,52	0,32	0,25	Antenne G2
0,45	0,57	0,49	0,52	0,25	0,30	Antenne G1
	GIUB		LGN	Geo++	lfE	
		Imml		MS-Wer	ג	

Differenz zwischen Antenne G1 und Antenne G3



Differenzen zwischen Antennen

(zur Eliminierung des Einflusses der Referenzantenne sowie systematischer Multipath-Effekte)

		RMS-V	Verte für L	.1 [mm]	
Antennen- paar	lfE	Geo++	LGN	TU DD	GIUB
G1-G2	0,40	0,49	0,13	0,17	0,77
G1-G3	0,25	0,18	0,20	0,20	0,24
G1-R1	0,49	0,37	0,46	0,28	0,79
G1-R2	0,64	0,62	0,45	0,90	1,31
G2-G3	0,35	0,53	0,23	0,27	0,65
R1-R2	0,23	0,32	0,19	0,99	0,97

		RMS-V	Verte für L	.2 [mm]	
Antennen- paar	lfE	Geo++	LGN	TU DD	GIUB
G1-G2	0,83	0,48	0,50	0,60	0,60
G1-G3	0,40	0,58	0,48	0,55	0,76
G1-R1	0,58	0,82	0,67	0,75	1,11
G1-R2	0,71	0,73	1,01	1,67	1,53
G2-G3	0,85	0,88	0,83	0,26	0,86
R1-R2	0,55	0,62	0,51	1,64	0,89









Zusammenfassung (1)

- Ergebnisse der Einzelkalibrierungen unterscheiden sich um bis zu 2 mm (L1) bzw. 4 mm (L2)
- Absolutkalibrierungen (Roboter) sind um ca. den Faktor 2 besser als Relativkalibrierungen (mit anschl. Umrechnung)
- Probleme der Relativkalibrierungen:
 - Fehler der Referenzantennen-Kalibrierung geht ein
 - ungleichmäßige Überdeckung (nur 4 Ausrichtungen)
 - niedrige und hohe Elevationen
 - Mehrwegeeinfluß wirksam

Zusammenfassung (2)

- RTK-Antennen offenbar weniger genau als Referenzstationsantennen
- Höhengenauigkeit bei Kombination unterschiedlicher Antennen im Bereich von 5-10 mm (auch mit Kalibrierungen!)

Ausblick

- Gewichtung der Einzelkalibrierungen nach den berechneten RMS-Werten
- Klärung offensichtlicher Probleme (systematischer Effekt LGN, Ausreißer)
- Relative Vergleiche von Antennenpaaren (Eliminierung der Referenz)
- Zukünftige Testkalibrierungen mit derselben Referenzantenne
- Untersuchung des Einflusses der einzelnen PCVs auf Koordinaten durch Prozessierung einer Basislinie bekannter Länge



Vergleichstest von Kalibrierverfahren für GPS-Antennen

- Analysen Institut für Erdmessung -



Falko Menge AWS2002 – 21.05.2002 Stellungnahme IfE





- Absolute PCV (Komplettmodelle)
 - Grafiken Komplettmodelle ... (alle Gruppen / Antennen / L1,L2,L0)
 - Differenzen Komplettmodelle ... (zwischen allen Gruppen / L1,L2,L0)
 - Ableitung Standardabweichungen ...
- Absolute PCV (nur elevationsabhängig)
 - Differenzen ...
- Gemischte Basislinien
 - 24h / L1,LX,L0,L0t2 / Elv. 0°-15° / alle Gruppen (+NGS-Typ, rein elevationsabhängig) und Antennen ...
 20 min / 10 min
 - 30 min / 10 min ...
- Zerobaselines
 - 24h / L1,LX,L0,L0t2 / Elv. 0°-15° / Kombinationen aller Gruppen, alle Antennen ...

Absolute PCV (Komplettmodelle)









Differenzen Absoluter PCV



Standardabweichungen



* für 0° keine signifikanten Ergebnisse relative Feldkalibrierung



• L1: Vergleich IfE-Geo++ (links) und LGN-TUD (rechts)

Differenz Komplettmodelle (vorher Umrechnung auf einen Bezugspunkt [ARP], Zenit=0) *
Ableitung Standardabweichung pro Elevationsbereich aus Differenzen über alle Azimute



* für 0° keine signifikanten Ergebnisse relative Feldkalibrierung



- L2: Vergleich IfE-Geo++ (links) und LGN-TUD (rechts)
- Differenz Komplettmodelle (vorher Umrechnung auf einen Bezugspunkt [ARP], Zenit=0) *
 Ableitung Standardabweichung pro Elevationsbereich aus Differenzen über alle Azimute
- Falko Menge

AWS2002 – 21.05.2002

Stellungnahme IfE

Standardabweichungen



7

Standardabweichungen



Sigma [mm] G2 (bis e=10°)	lfE	GEO	TUD	LGN	GIUB	Signal
		0.5	1.4	1.1	1.5	L1
lfE	-	0.8	2.1	0.9	2.7	L2
		0.7	1.5	2.6	5.5	L0
			1.1	1.4	1.6	L1
GEO	-	-	1.5	1.2	2.1	L2
			1.5	2.4	5.5	L0
				2.3	2.1	L1
TUD	-	-	-	2.4	1.6	L2
				2.8	5.9	L0
					1.8	L1
LGN	-	-	-	-	3.0	L2
					4.7	L0
GIUB	-	-	-	-	-	-

Bsp. für Größenordnung der Standardabweichung aus Differenzen (Komplettmodelle)

Falko Menge AWS2002 – 21.05.2002 Stellungnahme IfE

9

Absolute PCV (Elevationsmodell)





• Systematiken ?

- Originalbeobachtungen der individuellen Antennen (Basislinien der rel. Feldkalibrierung LGN genutzt)
-
- Gute Ergebnisse 24h-Auswertung aller Verfahren (Komplettmodelle; auch NGS-Typ-elv) für Kurzbasis
-
- Kurzzeitergebnisse (z.B. Sigma aus Differenzen dh_{NIV}):
 - NGS tlw. abfallend gegenüber Komplettmodell Individualkalibrierung
 - Rover-Antennen tlw. abfallend
 - bessere Auflösung Roboterkalibrierung zeigt sich bei Rover und für alle Antennen bei Tests mit Troposphärenmodellierung

•

Falko Menge AWS2002 – 21.05.2002 Stellungnahme IfE

Zerobaseline

- Duplizierung realer Beobachtungsdaten für beteiligte individuelle Antennen
- Nutzung verschiedener PCV-Korrekturmodelle (Mischung)
- keine Effekte durch MP etc. enthalten
- Ergebnisse zeigen reine Auswirkung PCV



11







Falko Menge AWS2002 – 21.05.2002 Stellungnahme IfE

13

Zerobaseline







Falko Menge AWS2002 – 21.05.2002 Stellungnahme IfE

15

Zerobaseline









Falko Menge AWS2002 – 21.05.2002





17

Zerobaseline







- Auswirkung Systematiken von relativer Feldkalibrierung in den Koordinatenraum
 - Systematiken nicht konstant, Differenzen in Topologie PCV
- bei Mischung verschiedener Korrekturmodelle
 - Effekte in Höhenkomponente und tlw. Lage
 - (sub)mm cm je nach Modell und Auswertestrategie
- Systematik und resultierende Effekte abhängig von
 - Verfahren (und Kalibrierungsort) und Antennentyp
 - GIUB (Bonn): noch Problem enthalten (Güte az. PCV, Lage-Offsets) ?
 - [global: Größenordnung Effekt breitenabhängig]
- nicht nur bei Mischung Relativverfahren mit Roboterkalibrierung, auch zwischen Relativverfahren
- Ursachen: Modellierung MP, Einfluss PCV Referenzantenne (FFG), systematische Einflüsse Örtlichkeit (Prüf- und Referenzantenne) in Relativverfahren

Falko Menge AWS2002 – 21.05.2002 Stellungnahme IfE





19

- generell gute Übereinstimmung verschiedener Verfahren
- Absolute Feldkalibrierung mit Roboter:
 - höchste Auflösung, bis 0° Elevation
 - Gründe: MP-Reduktion und Dichte der Beobachtungen
- höheres Rauschen Roverantennen (speziell: Relativverf.)
- Individualkalibrierung (Komplettmodell) Vorteile gegenüber rein elevationsabhängiger Typkalibrierung (speziell: Kurzzeitbeobachtungen)
- Auswertestrategie (L0, L0+trop) regionaler/globaler Netze verstärkt PCV-Probleme
- Koordinateneffekte bei Mischung verschiedener Kalibrierungsmodelle (Genauigkeitsziele?)

Analyse der Absoluten GPS Antennen PCV des AdV Benchmark

Gerhard Wübbena, Martin Schmitz, Gerald Boettcher *Geo++*^D *Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH* D–30827 Garbsen, Germany

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

AdV Antennen–Benchmark

- Vergleich absoluter elevations und azimutanhängiger PCV
- Vergleich der Kalibrier-Verfahren
- Beurteilung der Genauigkeit
- Geodätische und Rover Antennen im Vergleich
 - Wiederholbarkeit grundsätzlich schlechter für Rover Antennen
- Unterschiedliche Ansätze beim Vergleich möglich
- Differenzen numerisch gleich oder vergleichbar, aber unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten





© 2002 Geo++® GmbH

Vergleich absoluter elevationsabhängiger PCV

- direkte Differenzen der absoluten PCV (Zenit PCV=0)
 - nur elevationsabhängiger PCV-Anteil
 - Umrechnung auf einen Bezugspunkt (ARP)
 - Mittelbildung über alle Azimuthe (LGN, TUD) oder direkt geschätzt (GIB, IFE, GPP)
 - Darstellung in 2D-Grafiken
- Differenzen numerisch gleich oder vergleichbar, aber unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten







^{4.} GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



© 2002 Geo++® GmbH



Vergleich absoluter PCV im Vollmodell

- direkte Differenzen der absoluten PCV (Zenit PCV=0)
 - Vollmodell (elevations- und azimutabhängig PCV)
 - Umrechnung auf einen Bezugspunkt (ARP)
 - Darstellung in 3D-Grafiken

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

 Differenzen numerisch gleich oder vergleichbar, aber unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten





© 2002 Geo++® GmbH



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.







- kurze Basislinie
 - Korrektur mit unterschiedlichen absoluten PCV
 - nur Einfluss der PCV
 - kein Einfluss durch Multipath (duplizierte GPS-Auswertedaten)
- statische Auswertung
 - mit/ohne Troposphärenschätzung
 - 24 * 1h Blöcke
 - 1 * 24h Block

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Vergleich im Koordinatenraum- 24 * 1h Lösung



© 2002 Geo++® GmbH

Antenne G1, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung







^{4.} GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover

© 2002 Geo++® GmbH

Vergleich im Koordinatenraum- 24 * 1h Lösung



Antenne G3, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung




Antenne R1, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung



^{4.} GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

© 2002 Geo++® GmbH

Vergleich im Koordinatenraum- 24 * 1h Lösung



Antenne R2, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung





Höhenkomponente mit/ohne Troposphärenschätzung



Vergleich im Koordinatenraum – 24h Lösung



Lagedifferenzen mit/ohne Troposphärenschätzung





Raumdifferenzen mit/ohne Troposphärenschätzung



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

© 2002 Geo++® GmbH

Relative PCV Verfahren

- Ursachen f
 ür Differenz der absoluten PCV
 - systematischer Einfluss der Referenzstation
 - systematische Einfluss durch Örtlichkeit (Pfeiler, ...)
 - Modellbildung/Verfahrensprinzip
- Ursachen für größere Unsicherheiten
 - Multipath Effekte
 - Fehlerfortpflanzung durch absolute PCV "Mutterantenne"
 - Einfluss durch Uhreffekte

Absolute PCV Feldverfahren

- operationelle und hoch genaues Echtzeitverfahren
- Feldmessungen
- kalibrierter Roboter
- automatisches Messprogramm
- vollständige/redundante Abdeckung der Antennen Hemisphäre mit PCV Beobachtungen
- Trennung von PCV und MP
- absolute stationsunabhängige PCV
- hochaufgelöste präzise PCV
 - Std.abwg. L1, L2 PCV: 0.2 to 0.4 mm
 - Wiedeholbarkeit: 1 mm mean, außer Horizont

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



© 2002 Geo++[®] GmbH



Zusammenfassung

- Vergleich der PCV
 - systematische Anteile in den auf absolutem Niveau bestimmten PCV
 - verbleibender Multipath sowie weitere Effekte?
 - PCV sind abgeleitet, "Mutterantenne" immer im PCV Fehlerhaushalt enthalten?
- Vergleich im Koordinatenraum
 - Einfluss auf die Koordinate bis zu 3 cm 3D bei einer 24 h Messung
 - bei statischen Kurzzeit-Messung (60 min) teilweise größer



Qualitätskontrolle relativer Antennenkalibrierung

Lambert Wanninger Ingenieurbüro Wanninger, Dresden

4. GPS-Antennenworkshop, Hannover, 21. Mai 2002



Ingenieurbüro Wanninger

Fehlerquellen

Mehrwegeeinflüsse

- auf Referenz- und zu kalibrierende Antenne

aber

_	bei Lagekomponenten	Elimination durch Antennendrehung
_	bei aziele. Variationen	Verringerung durch
		PZV-Modellierungsansatz
_	auf Höhenkomponente	ungeminderte Auswirkung

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Messverfahren

Die relative Feldkalibrierung zur Erzeugung absoluter Korrekturwerte verwendet eine Referenzantenne, für die Korrekturwerte aus einer absoluten Kalibrierung vorliegen. Die Referenzantenne wird während der Kalibrierung nicht verändert, während aber die zu kalibrierende Antenne gedreht wird. Die Beobachtung in zwei Ausrichtungen (Nord und Süd) ermöglicht eine vollständige Erfassung der Phasenzentrumsvariationen (PZV). Sie dient auch der Verminderung der Mehrwegeeinflüsse. Bei vier Ausrichtungen liegt eine Doppelkalibrierung vor. Der dabei größere Messaufwand erhöht die Zuverlässigkeit der Ergebnisse und vermindert noch einmal die Mehrwegeeinflüsse.

Fehlerquellen

Die Hauptfehlerquelle besteht in den Mehrwegeeinflüssen auf Referenz- und zu kalibrierende Antenne. Durch die Antennendrehung werden aber die Mehrwegeeinflüsse auf die Lagekomponenten der Phasenzentrumsoffsets (PZO) eliminiert. Die Wahl des PZV-Modellierungsansatzes (Kugelflächenfunktionen von Grad 8 und Ordnung 5) führen zu einer Dämpfung der Mehrwegeeffekte auf die PZV. Nur für die Höhenkomponente gelingt die Mehrwegereduzierung kaum. Hier muss mit mehrwegebedingten Fehlern gerechnet werden.

Bestimmung von Koordinatendiff.



Vergleich von Kalibrierergebnissen auf Koordinatenniveau

Da bei der Kalibrierung im absoluten Feldkalibrierverfahren (Geo++ und IfE) Mehrwegeeinflüsse eliminiert werden, sind bei diesem Verfahren höhere Genauigkeiten zu erwarten als bei Kalibrierungen im relativen Feldverfahren. Als Ergebnis des Vergleichstests der Kalibrierverfahren wird somit im wesentlichen eine Qualitätsbeurteilung der relativen Verfahren möglich sein. Für die folgenden Vergleiche wurden die beiden Ergebnisse der absoluten Verfahren gemittelt und als "Sollwerte" für die Beurteilung der relativen Verfahren (LGN und TUDD) verwendet.

Der direkte Vergleich von PZO und PZV aus unterschiedlichen Kalibrierungen führt nur zu schwer interpretierbaren Ergebnissen. Unterschiede lassen sich besser herausarbeiten, wenn die Auswirkungen auf die Koordinaten betrachtet werden. Dafür wird ein GPS-Beobachtungsdatensatz dupliziert und zum einen mit Korrekturwerten der absoluten Kalibrierungen behandelt und zum anderen mit Korrekturwerten aus einer der relativen Kalibrierungen. Alle Koordinatenbeträge in der Basislinie zwischen beiden Datensätzen sind dann nur auf einen Einfluss zurückzuführen, nämlich auf Unterschiede in den Antennenkorrekturen.

Die folgenden Grafiken zeigen Koordinatenfehler als 24 Stunden-Mittel, also als Bias-Werte für die drei Koordinatenrichtungen. Für kurzzeitige Beobachtungen kommen noch Variationen hinzu, die als Standardabweichungen in Lage und Höhe dargestellt werden.

Koordinatendifferenzen L1



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Koordinatendifferenzen L0



Ingenieurbüro Wanninger

Koord.diff. mit/ohne tropo.



Vergleich der relativen mit den absoluten Kalibrierergebnissen

Drei Arten von Koordinatenlösungen sollen betrachtet werden: eine L1-Lösung für kurze Basislinien und Positionierungen in regionalen Referenzstationsnetzen, eine ionosphären-freie L0-Lösung für lange Basislinien und eine L0-Lösung mit Troposphären-Schätzung für Langzeitbeobachtungen auf langen Basislinien.

L1-Resultate: Alle Biaswerte der geodätischen Antennen liegen unter 1 mm. Für die RTK-Antennen fallen sie bei den LGN-Kalibrierungen größer aus. In der Höhenkomponente erreichen sie dort 3 mm. Zusätzliche Variationen für kurzzeitige Messungen liegen unter 1 mm in der Lage und bei 1 mm in der Höhe. Bei den RTK-Antennen fallen sie etwas größer aus als bei den geodätischen Antennen.

L0-Resultate: Die Lage-Biaswerte der geodätischen Antennen liegen deutlich unter 1 mm. Für die RTK-Antennen fallen sie mit bis zu 3 mm größer aus, wobei hier als Ursache eher "Antennenschwächen" als Mehrwegeeinflüsse in Frage kommen. Die Höhenbiaswerte erreichen 0 bis 5 mm für die geodätischen Antennen und erreichen für die RTK-Antennen bis zu 7 mm. Die zusätzlichen Variationen liegen im Bereich 2 bis 3 mm für die geodätischen Antennen. Für die RTK-Antennen sind sie etwas größer.

L0+tropo.-Resultate: Hier macht es nur Sinn, die Höhenkomponente der Tagesmittelwerte für L0 zu betrachten. Die Biaswerte liegen in derselben Größenordnung, ob man Troposphärenfaktoren schätzt oder nicht. Für die LGN vergrößern sich die Biaswerte z.T. ein wenig, für die TUDD werden sie z.T. kleiner. Es verbleibt hier also kein elevationsabhängiger Restfehler, der negativ auf die Troposphärenschätzung wirkt oder zusätzliche Höhenfehler erzeugt.

Ingenieurbüro Wanninger

Koor.differenzen Geo++/IfE L0



Vergleich der beiden absoluten Korrekturdatensätze

Zur besseren Einschätzung der durchgeführten Vergleiche zwischen relativen und absoluten Kalibrierergebnissen wurden zusätzlich die beiden Korrekturdatensätze aus Robotor-Messungen (Geo++ und IfE) auf Koordinatenebene verglichen. Dargestellt sind die Ergebnisse für die ionosphähren-freie Linearkombination L0.

Auch hier liegen die Lage-Biasdifferenzen der geodätischen Antennen deutlich unter 1 mm. Für dieRTK-Antennen fallen sie mit bis zu 2,2 mm größer aus. Die Höhenbiasdifferenzen erreichen bis zu 2,5 mm für die geodätischen Antennen und bis zu 4,4 mm für die RTK-Antennen. Die zusätzlichen Variationen liegen um 1 mm für die geodätischen Antennen. Für die RTK-Antennen sind sie um einen Faktor von 2 bis 3 größer.

Auch bei den Absolutverfahren ergeben sich also größere Differenzen bei der Höhenkomponente als bei den Lagekomponenten und größere Differenzen für die RTK-Antennen im Vergleich zu den geodätischen Antennen. Auch hier verbleiben Höhenbiases auf dem Niveau weniger Millimeter.

Mehrwegeempf. der Antennen

Abgeleitet aus dem Vergleich: relative / absolute Antennenkalibrierung



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Mehrwegeempfindlichkeit unterschiedlicher Antennentypen

Die Biaswerte der Höhenkomponenten lassen eine Rangfolge der Mehrwegeempfindlichkeit der unterschiedlichen Antennentypen erkennen. Es ergeben sich Unterschiede bei den geodätischen Antennen und es zeigt sich deutlich, dass die RTK-Antennen besonders mehrwegeempfindlich sind.

Bei der Interpretation muss aber auch beachtet werden, dass die Referenzantenne der LGN eine G2-Antenne und die der TUDD zumindest G2-ähnlich ist. Es ist zu vermuten, dass dadurch Mehrwegeanteile bei der G2-Kalibrierung identisch wirken und in der Basislinie zwischen Referenzantenne und zu kalibrierender Antenne herausfallen.

Andererseits kommt man auch bei dem Vergleich der Ergebnisse der beiden Robotormessungen untereinander zu einer entsprechenden Rangfolge der Antennenqualitäten. Es stellt sich somit die Frage, ob auch bei den Absolutverfahren Mehrwegereste in den Kalibrierwerten verbleiben oder ob die Ursache der Qualitätsunterschiede vielleicht doch nicht auf die Mehrwegeempfindlichkeit zurückzuführen ist.

Schlussfolgerungen

- Mehrwegeeliminierung f
 ür Lagekomponenten, aber mehrwegebedingte Restfehler in H
 öhenkomponente
- Qualität relativer Antennenkalibrierung z.T. abhängig von

Mehrwegeverhältnissen am Kalibrierort, Mehrwegeempfindlichkeit der verwendeten Antennen

 die Qualität jedes Kalibriernetzes sollte durch entsprechende Vergleichstests überprüft werden

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Schlussfolgerungen

Relative Antennenkalibrierung erzeugt mehrwegefreie Kalibrierresultate für die Lagekomponenten (Bias < 1mm für geodätische Antennen in L1 und selbst in der ionosphären-freien Linearkombination L0). Es verbleiben aber z.T. mehrwegebedingte Restfehler in der Höhenkomponente. Für die geodätischen Antennen liegen die Höhenfehler unter 1 mm in L1 und erreichen in L0 bis zu wenige mm. Auch der Vergleich der Ergebnisse der beiden Absolutverfahren untereinander läßt Differenzen in L0 bis zu wenigen mm erkennen.

Die Qualität der Kalibrierresultate ist also z.T. abhängig von den Mehrwegeeinflüssen am Kalibrierort und der Mehrwegeempfindlichkeit der verwendeten Antennen. Da aber mit entsprechenden Mehrwegerestfehlern auch im Felde an allen Mess-Standorten gerechnet werden muss, wirken sich diese Kalibrierfehler kaum auf die Höhengenauigkeit aus.

Alle Standorte für relative Antennenkalibrierungen sollten mit entsprechenden Vergleichen auf ihre Qualität hin überprüft werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn auf die Höhenkomponente besonderen Wert gelegt wird. An mehrwegearmen Standorten sind noch bessere Ergebnisse zu erwarten als bei der LGN und der TUDD, da beide Standorte recht stark mehrwegebelastet sind.

Weiterführende Literatur:

Wanninger, L. (2002): Möglichkeiten und Grenzen der relativen GPS-Antennenkalibrierung. ZfV, **127**:51-58.

Ingenieurbüro Wanninger

Analyse der Absoluten GPS Antennen PCV des AdV Benchmark

Gerhard Wübbena, Martin Schmitz, Gerald Boettcher *Geo++*^D *Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH* D–30827 Garbsen, Germany

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

AdV Antennen–Benchmark

- Vergleich absoluter elevations und azimutanhängiger PCV
- Vergleich der Kalibrier-Verfahren
- Beurteilung der Genauigkeit
- Geodätische und Rover Antennen im Vergleich
 - Wiederholbarkeit grundsätzlich schlechter für Rover Antennen
- Unterschiedliche Ansätze beim Vergleich möglich
- Differenzen numerisch gleich oder vergleichbar, aber unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten





© 2002 Geo++® GmbH

Vergleich absoluter elevationsabhängiger PCV

- direkte Differenzen der absoluten PCV (Zenit PCV=0)
 - nur elevationsabhängiger PCV-Anteil
 - Umrechnung auf einen Bezugspunkt (ARP)
 - Mittelbildung über alle Azimuthe (LGN, TUD) oder direkt geschätzt (GIB, IFE, GPP)
 - Darstellung in 2D-Grafiken
- Differenzen numerisch gleich oder vergleichbar, aber unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten







^{4.} GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



© 2002 Geo++® GmbH



Vergleich absoluter PCV im Vollmodell

- direkte Differenzen der absoluten PCV (Zenit PCV=0)
 - Vollmodell (elevations- und azimutabhängig PCV)
 - Umrechnung auf einen Bezugspunkt (ARP)
 - Darstellung in 3D-Grafiken

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

 Differenzen numerisch gleich oder vergleichbar, aber unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten





© 2002 Geo++® GmbH



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.







- kurze Basislinie
 - Korrektur mit unterschiedlichen absoluten PCV
 - nur Einfluss der PCV
 - kein Einfluss durch Multipath (duplizierte GPS-Auswertedaten)
- statische Auswertung
 - mit/ohne Troposphärenschätzung
 - 24 * 1h Blöcke
 - 1 * 24h Block

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Vergleich im Koordinatenraum- 24 * 1h Lösung



© 2002 Geo++® GmbH

Antenne G1, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung







^{4.} GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover

© 2002 Geo++® GmbH

Vergleich im Koordinatenraum- 24 * 1h Lösung



Antenne G3, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung





Antenne R1, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung



^{4.} GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

© 2002 Geo++® GmbH

Vergleich im Koordinatenraum- 24 * 1h Lösung



Antenne R2, Höhenkomponente mit Troposphärenschätzung





Höhenkomponente mit/ohne Troposphärenschätzung



Vergleich im Koordinatenraum – 24h Lösung



Lagedifferenzen mit/ohne Troposphärenschätzung





Raumdifferenzen mit/ohne Troposphärenschätzung



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

© 2002 Geo++® GmbH

Relative PCV Verfahren

- Ursachen f
 ür Differenz der absoluten PCV
 - systematischer Einfluss der Referenzstation
 - systematische Einfluss durch Örtlichkeit (Pfeiler, ...)
 - Modellbildung/Verfahrensprinzip
- Ursachen für größere Unsicherheiten
 - Multipath Effekte
 - Fehlerfortpflanzung durch absolute PCV "Mutterantenne"
 - Einfluss durch Uhreffekte

Absolute PCV Feldverfahren

- operationelle und hoch genaues Echtzeitverfahren
- Feldmessungen
- kalibrierter Roboter
- automatisches Messprogramm
- vollständige/redundante Abdeckung der Antennen Hemisphäre mit PCV Beobachtungen
- Trennung von PCV und MP
- absolute stationsunabhängige PCV
- hochaufgelöste präzise PCV
 - Std.abwg. L1, L2 PCV: 0.2 to 0.4 mm
 - Wiedeholbarkeit: 1 mm mean, außer Horizont

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



© 2002 Geo++[®] GmbH



Zusammenfassung

- Vergleich der PCV
 - systematische Anteile in den auf absolutem Niveau bestimmten PCV
 - verbleibender Multipath sowie weitere Effekte?
 - PCV sind abgeleitet, "Mutterantenne" immer im PCV Fehlerhaushalt enthalten?
- Vergleich im Koordinatenraum
 - Einfluss auf die Koordinate bis zu 3 cm 3D bei einer 24 h Messung
 - bei statischen Kurzzeit-Messung (60 min) teilweise größer



Qualitätskontrolle relativer Antennenkalibrierung

Lambert Wanninger Ingenieurbüro Wanninger, Dresden

4. GPS-Antennenworkshop, Hannover, 21. Mai 2002



Ingenieurbüro Wanninger

Fehlerquellen

Mehrwegeeinflüsse

- auf Referenz- und zu kalibrierende Antenne

aber

_	bei Lagekomponenten	Elimination durch Antennendrehung
_	bei aziele. Variationen	Verringerung durch
		PZV-Modellierungsansatz
_	auf Höhenkomponente	ungeminderte Auswirkung

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Messverfahren

Die relative Feldkalibrierung zur Erzeugung absoluter Korrekturwerte verwendet eine Referenzantenne, für die Korrekturwerte aus einer absoluten Kalibrierung vorliegen. Die Referenzantenne wird während der Kalibrierung nicht verändert, während aber die zu kalibrierende Antenne gedreht wird. Die Beobachtung in zwei Ausrichtungen (Nord und Süd) ermöglicht eine vollständige Erfassung der Phasenzentrumsvariationen (PZV). Sie dient auch der Verminderung der Mehrwegeeinflüsse. Bei vier Ausrichtungen liegt eine Doppelkalibrierung vor. Der dabei größere Messaufwand erhöht die Zuverlässigkeit der Ergebnisse und vermindert noch einmal die Mehrwegeeinflüsse.

Fehlerquellen

Die Hauptfehlerquelle besteht in den Mehrwegeeinflüssen auf Referenz- und zu kalibrierende Antenne. Durch die Antennendrehung werden aber die Mehrwegeeinflüsse auf die Lagekomponenten der Phasenzentrumsoffsets (PZO) eliminiert. Die Wahl des PZV-Modellierungsansatzes (Kugelflächenfunktionen von Grad 8 und Ordnung 5) führen zu einer Dämpfung der Mehrwegeeffekte auf die PZV. Nur für die Höhenkomponente gelingt die Mehrwegereduzierung kaum. Hier muss mit mehrwegebedingten Fehlern gerechnet werden.

Bestimmung von Koordinatendiff.



Vergleich von Kalibrierergebnissen auf Koordinatenniveau

Da bei der Kalibrierung im absoluten Feldkalibrierverfahren (Geo++ und IfE) Mehrwegeeinflüsse eliminiert werden, sind bei diesem Verfahren höhere Genauigkeiten zu erwarten als bei Kalibrierungen im relativen Feldverfahren. Als Ergebnis des Vergleichstests der Kalibrierverfahren wird somit im wesentlichen eine Qualitätsbeurteilung der relativen Verfahren möglich sein. Für die folgenden Vergleiche wurden die beiden Ergebnisse der absoluten Verfahren gemittelt und als "Sollwerte" für die Beurteilung der relativen Verfahren (LGN und TUDD) verwendet.

Der direkte Vergleich von PZO und PZV aus unterschiedlichen Kalibrierungen führt nur zu schwer interpretierbaren Ergebnissen. Unterschiede lassen sich besser herausarbeiten, wenn die Auswirkungen auf die Koordinaten betrachtet werden. Dafür wird ein GPS-Beobachtungsdatensatz dupliziert und zum einen mit Korrekturwerten der absoluten Kalibrierungen behandelt und zum anderen mit Korrekturwerten aus einer der relativen Kalibrierungen. Alle Koordinatenbeträge in der Basislinie zwischen beiden Datensätzen sind dann nur auf einen Einfluss zurückzuführen, nämlich auf Unterschiede in den Antennenkorrekturen.

Die folgenden Grafiken zeigen Koordinatenfehler als 24 Stunden-Mittel, also als Bias-Werte für die drei Koordinatenrichtungen. Für kurzzeitige Beobachtungen kommen noch Variationen hinzu, die als Standardabweichungen in Lage und Höhe dargestellt werden.

Koordinatendifferenzen L1



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Koordinatendifferenzen L0



Ingenieurbüro Wanninger

Koord.diff. mit/ohne tropo.



Vergleich der relativen mit den absoluten Kalibrierergebnissen

Drei Arten von Koordinatenlösungen sollen betrachtet werden: eine L1-Lösung für kurze Basislinien und Positionierungen in regionalen Referenzstationsnetzen, eine ionosphären-freie L0-Lösung für lange Basislinien und eine L0-Lösung mit Troposphären-Schätzung für Langzeitbeobachtungen auf langen Basislinien.

L1-Resultate: Alle Biaswerte der geodätischen Antennen liegen unter 1 mm. Für die RTK-Antennen fallen sie bei den LGN-Kalibrierungen größer aus. In der Höhenkomponente erreichen sie dort 3 mm. Zusätzliche Variationen für kurzzeitige Messungen liegen unter 1 mm in der Lage und bei 1 mm in der Höhe. Bei den RTK-Antennen fallen sie etwas größer aus als bei den geodätischen Antennen.

L0-Resultate: Die Lage-Biaswerte der geodätischen Antennen liegen deutlich unter 1 mm. Für die RTK-Antennen fallen sie mit bis zu 3 mm größer aus, wobei hier als Ursache eher "Antennenschwächen" als Mehrwegeeinflüsse in Frage kommen. Die Höhenbiaswerte erreichen 0 bis 5 mm für die geodätischen Antennen und erreichen für die RTK-Antennen bis zu 7 mm. Die zusätzlichen Variationen liegen im Bereich 2 bis 3 mm für die geodätischen Antennen. Für die RTK-Antennen sind sie etwas größer.

L0+tropo.-Resultate: Hier macht es nur Sinn, die Höhenkomponente der Tagesmittelwerte für L0 zu betrachten. Die Biaswerte liegen in derselben Größenordnung, ob man Troposphärenfaktoren schätzt oder nicht. Für die LGN vergrößern sich die Biaswerte z.T. ein wenig, für die TUDD werden sie z.T. kleiner. Es verbleibt hier also kein elevationsabhängiger Restfehler, der negativ auf die Troposphärenschätzung wirkt oder zusätzliche Höhenfehler erzeugt.

Ingenieurbüro Wanninger

Koor.differenzen Geo++/IfE L0



Vergleich der beiden absoluten Korrekturdatensätze

Zur besseren Einschätzung der durchgeführten Vergleiche zwischen relativen und absoluten Kalibrierergebnissen wurden zusätzlich die beiden Korrekturdatensätze aus Robotor-Messungen (Geo++ und IfE) auf Koordinatenebene verglichen. Dargestellt sind die Ergebnisse für die ionosphähren-freie Linearkombination L0.

Auch hier liegen die Lage-Biasdifferenzen der geodätischen Antennen deutlich unter 1 mm. Für dieRTK-Antennen fallen sie mit bis zu 2,2 mm größer aus. Die Höhenbiasdifferenzen erreichen bis zu 2,5 mm für die geodätischen Antennen und bis zu 4,4 mm für die RTK-Antennen. Die zusätzlichen Variationen liegen um 1 mm für die geodätischen Antennen. Für die RTK-Antennen sind sie um einen Faktor von 2 bis 3 größer.

Auch bei den Absolutverfahren ergeben sich also größere Differenzen bei der Höhenkomponente als bei den Lagekomponenten und größere Differenzen für die RTK-Antennen im Vergleich zu den geodätischen Antennen. Auch hier verbleiben Höhenbiases auf dem Niveau weniger Millimeter.

Mehrwegeempf. der Antennen

Abgeleitet aus dem Vergleich: relative / absolute Antennenkalibrierung



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Mehrwegeempfindlichkeit unterschiedlicher Antennentypen

Die Biaswerte der Höhenkomponenten lassen eine Rangfolge der Mehrwegeempfindlichkeit der unterschiedlichen Antennentypen erkennen. Es ergeben sich Unterschiede bei den geodätischen Antennen und es zeigt sich deutlich, dass die RTK-Antennen besonders mehrwegeempfindlich sind.

Bei der Interpretation muss aber auch beachtet werden, dass die Referenzantenne der LGN eine G2-Antenne und die der TUDD zumindest G2-ähnlich ist. Es ist zu vermuten, dass dadurch Mehrwegeanteile bei der G2-Kalibrierung identisch wirken und in der Basislinie zwischen Referenzantenne und zu kalibrierender Antenne herausfallen.

Andererseits kommt man auch bei dem Vergleich der Ergebnisse der beiden Robotormessungen untereinander zu einer entsprechenden Rangfolge der Antennenqualitäten. Es stellt sich somit die Frage, ob auch bei den Absolutverfahren Mehrwegereste in den Kalibrierwerten verbleiben oder ob die Ursache der Qualitätsunterschiede vielleicht doch nicht auf die Mehrwegeempfindlichkeit zurückzuführen ist.

Schlussfolgerungen

- Mehrwegeeliminierung f
 ür Lagekomponenten, aber mehrwegebedingte Restfehler in H
 öhenkomponente
- Qualität relativer Antennenkalibrierung z.T. abhängig von

Mehrwegeverhältnissen am Kalibrierort, Mehrwegeempfindlichkeit der verwendeten Antennen

 die Qualität jedes Kalibriernetzes sollte durch entsprechende Vergleichstests überprüft werden

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Schlussfolgerungen

Relative Antennenkalibrierung erzeugt mehrwegefreie Kalibrierresultate für die Lagekomponenten (Bias < 1mm für geodätische Antennen in L1 und selbst in der ionosphären-freien Linearkombination L0). Es verbleiben aber z.T. mehrwegebedingte Restfehler in der Höhenkomponente. Für die geodätischen Antennen liegen die Höhenfehler unter 1 mm in L1 und erreichen in L0 bis zu wenige mm. Auch der Vergleich der Ergebnisse der beiden Absolutverfahren untereinander läßt Differenzen in L0 bis zu wenigen mm erkennen.

Die Qualität der Kalibrierresultate ist also z.T. abhängig von den Mehrwegeeinflüssen am Kalibrierort und der Mehrwegeempfindlichkeit der verwendeten Antennen. Da aber mit entsprechenden Mehrwegerestfehlern auch im Felde an allen Mess-Standorten gerechnet werden muss, wirken sich diese Kalibrierfehler kaum auf die Höhengenauigkeit aus.

Alle Standorte für relative Antennenkalibrierungen sollten mit entsprechenden Vergleichen auf ihre Qualität hin überprüft werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn auf die Höhenkomponente besonderen Wert gelegt wird. An mehrwegearmen Standorten sind noch bessere Ergebnisse zu erwarten als bei der LGN und der TUDD, da beide Standorte recht stark mehrwegebelastet sind.

Weiterführende Literatur:

Wanninger, L. (2002): Möglichkeiten und Grenzen der relativen GPS-Antennenkalibrierung. ZfV, **127**:51-58.

Ingenieurbüro Wanninger

Weitere Aspekte zur Kalibrierung von GNSS–Systemen



Gerhard Wübbena Martin Schmitz

Geo++^D Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH

> D-30827 Garbsen, Germany http://www.geopp.de

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Gliederung

- Einführung
- Absolute PCV
- Problem: PCV aus Differenzbeobachtungen
- "Phase–Wind–Up" Effekt und Orientierungsbestimmung
- Carrier-to-Noise (CNO) und Orientierungsbestimmung
- Carrier-to-Noise (CNO) als Beobachtungsgröße
- Nutzung von Carrier-to-Noise (CNO)
- Standardisierung/Normierung
- Zusammenfassung

©2002 Geo++® GmbH



- Zielsetzung:
- Optimierung der funktionalen und stochastischen Modelle f
 ür die GNSS– Beobachtungen
- Verbesserung der Koordinatenergebnisse bezüglich
 - Genauigkeit
 - Erwartungstreue
- Neue Anwendungen
 - Orientierungsbestimmung mit einer Antenne (PCV Korrektur) aus
 - Wind-Up Effekt
 - Carrier-to-Noise (CNO)
 - Multipath-Modellierung über CNO (funktional, stochastisch)

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

©2002 Geo++® GmbH



Absolute PCV





- absolute PCV meint bislang:
 - unabhängig von einer Referenzantenne
 - konstanter Anteil PCV von Empfänger–Uhrfehler/Empfänger– Laufzeitverzögerung nicht trennbar
- "absolute PCV" zukünftig:
 - Forderung nach definiertem konstanten absoluten Anteil f
 ür L1 und L2 PCV (Laufzeitverzögerung)
- => Auswirkung auf absolute lonosphäre, Troposphäre, ...
- => Auswirkung auf präzise Zeitübertragung

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



©2002 Geo++® GmbH

PCV aus Differenzmessungen


Problem der PCV–Bestimmung aus Differenzmessungen



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Problem der PCV–Bestimmung aus Differenzmessungen

- direkte Bestimmung der PCV nicht möglich bei Verwendung von Differenzverfahren
- Indirekte Bestimmung durch funktionalen Ansatz (Polynome)
 - hohe Auflösung erfordert hohe Dichte und Verknüpfung der (Differenz-) Messpunkte
 - Bestimmung elevationsabhängiger PCV i.d.R. O.K. (Problem MP)
 - Bestimmung azimut– und elevationsabhängiger PCV mit wenigen azimutalen Stellungen problematisch
- Fehleranteil ist abhängig von Ort und Zeit der Messung sowie Einfluss systematischer Fehler
 - Verifikation der Ergebnisse am gleichen Ort kann aufgrund der sich wiederholenden Satellitenkonstellation nicht erfolgen (Differenzen sind korrekt repräsentiert)
- Verbesserung durch Kopplung aller beteiligten Empfänger an ein Frequenznormal und undifferenzierte Auswertung





Antennenüberdeckung: 24 Stunden Skyplot



Observations on Antenna Hemisphere - 24h Static (on MSD7)



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Antennenüberdeckung: Roboterkalibrierung







Phase Wind-Up

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Phase-Wind-Up (Wrap-Up) Effekt



- Antennenmodell: Kreuz–Dipol
- Phasenmessung abhängig von relativer Orientierung der Achsen der Sendeund Empfangsantenne
- Drehung der Empfangsantenne um 360 ° um die Z–Achse verändert die Phasenmessung um eine Wellenlänge (f
 ür alle Satelliten gleich –> Uhr)
- Kippungen der Antenne ergeben entsprechende (komplexere) Effekte
- Wind-Up Korrekturen sind Standard für Auswertung großräumiger Netze
- Antennenparameter: Orientierung der Achsen im Antennengehäuse
 - Winkel zwischen Nordmarke und X-Achse des Kreuzdipols (Alpha-0)
 - ggf. individuell für L1/L2

- Drehung der Empfangsantenne um 360 ° um die Z–Achse verändert die Phasenmessung um eine Wellenlänge
 - Effekt f
 ür alle Satelliten gleich ==> Ver
 änderung des Uhrfehlers um 1 Wellenl
 änge

Phase–Wind–Up (Wrap–Up) Effekt

- L1: 0.1903 m
- L2: 0.2442 m
- "Hardware-Delay": L2-L1: 0.0540 m
- ==> Die Laufzeitverzögerung zwischen L1 und L2 ist ein Maß f
 ür die Orientierung der Antenne
- ==> Bestimmung der Antennenorientierung aus der L1–L2

Laufzeitverzögerung (Auswertung undifferenzierter Phasenmessungen)

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Orientierungsbestimmung aus Wind-Up Effekt



03.03.2000



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.





Orientierungsbestimmung aus Wind–Up Effekt



Orientierungsbestimmung aus Wind–Up Effekt



- PCV Vollmodell (elevations und azimutabhängig)
- wünschenswert: Orientierungsbestimmung aus GPS Messungen des Rovers
- Ausnutzung des GPS Wind–Up Effektes
- Genauigkeit: ca. +/-10° (ausreichend ?)
- Probleme der absoluten Orientierungsbestimmung durch
 - ionosphärische Laufzeitdifferenzen zw. Referenz und Rover
 - Multipath
 - interne Laufzeiten im Empfänger (digitale Signalverarbeitung)
 - Antennenorientierungsparameter (Alpha 0)
 - Antennenparemeter PCV: willkürliche Verfügung über konstanten Anteil
- Zur Zeit möglich: Bestimmung der Orientierungsänderung



Signal-to-Noise Carrier-to-Noise

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

GPS Meßgrößen

- Codemessungen (C/A–Code, P–Code)
- Phasenmessungen (L1,LQ,L2)
- Dopplermessungen (D1,DQ,D2)
- Signal-to-Noise (SNR, S/N) bzw. besser Carrier-to-Noise (CNO, C/No) (S1,S2)
 - bisher wenig verwendet
 - Problem der eindeutigen Definition
 - (RINEX 1-9)
 - Hersteller unterschiedliche Definitionen (AMN,...)
 - "absolute" Meßgröße (nach Kalibrierung, kein Pseudo-CNO)
 - wichtig für MP Bestimmung / Modellierung
 - wichtig für stochastisches Beobachtungsmodell (QII)



Signal-to-Noise (S/N), Carrier-to-Noise (CNO)

- Signalstärke abhängig von:
 - Signalstärke am Satelliten
 - Abstrahlrichtung an der Satellitenantenne
 - Distanz zum Empfänger (Space Loss)
 - Atmosphäre (Elevation)
 - Mehrwegeausbreitung
 - Signalbeugung
 - Antennenempfangscharakteristik (Gain = f(Elevation, Azimut))
 - Antennenvorverstärker
 - Antennenkabel
 - Empfängerhardware (keine eindeutige Definition des CNO)
 - Empfängersoftware
 - Parametereinstellungen am Empfänger (Bandbreite der Tracking Loops)

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Carrier-to-Noise (CNO) Anwendungen

- Orientierungsbestimmung
 - Antennen mit starken Gradienten im Gain erlauben Bestimmung der Antennenorientierung aus CNO Messungen
 - Einsatz für verschiedene Satellitenmissionen getestet (ca. +/- 10 °)
- MP Modellierung funktional
 - Umwegsignale bewirken CNO-Änderungen
 - ==> CNO liefert Informationen über MP
- stochastisches Modell
 - MP und Beugungseffekte beeinflussen CNO
 - Phasenmeßrauschen als Funktion der CNO





CNO DD Analyse





4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Standardisierung/Normierung



- Effektive Nutzung der CNO Messungen setzt eine Normierung voraus
 - Bestimmung der geräteabhängigen Einflüsse
 - Antennen: "Gain Pattern"
 - Kabeleinfluß (in Echtzeit ermitteln)
 - Empfängereinfluß
 - Erstellung einer Mapping-Funktion von gemessenen CNO-Werten des Empfängers auf eine Standard CNO-Darstellung
 - Hardwareversion, Firmwareversion, Parametereinstellungen ?
 - Mapping-Funktion für den atmosphärischen Einfluss (inkl. Space Loss)
 - Kalibrierung der Satelliten aus globalen Meßdaten



©2002 Geo++® GmbH

Antennen "Gain"-Kalibrierung

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Antennen: elevations/azimutabhängiger **CNO-Abfall** TRM22020.00+GP SN: 0220033345 12 12 10 10 8 8 E IS 6 6 4 2 n 0 100 20 40 200 80 Elevation [°] 300 Azimuth [°]

Antennen: elevations/azimutabhängiger CNO–Abfall







4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.







TRM22020.00+GP L1-CNO

TRM22020.00-GP L1-CNO

PCV mit Grundplatte



TRM22020.00+GP





4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

PCV ohne Grundplatte



©2002 Geo++® GmbH







(C) Geo++/GeoSenvice, 83.12.2001

CNO Abfall: unterschiedliche Empfänger

90

80

70

60

50

40

30

20

10



80

70

60

50

46

30

20

10



TPM22020 00 + CP | 1 CNO

TRM22020.00+GP L1-CNO mit Leica SR530 TRM22020.00+GP L1-CNO mit Ashtech Z12

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Zusammenfassung

- Klarstellung/Erweiterung der Definition absoluter PCV erforderlich
- Zusätzlicher Kalibrierungsparameter: Orientierung der Antennenachsen im Antennengehäuse
- Phase Wind–Up nutzbar für Orientierungsbestimmung
- CNO Nutzung erfordert Kalibrierung von
 - "Antennen-Gain"
 - Empfänger Mapping-Funktion
- Nutzung von CNO f
 ür MP Erkennung und Modellierung (funktional, stochastisch)

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.







4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.





GPS Antenneneichung in der Absorberhalle des EMV Testzentrums Greding



Matthias Becker Carsten Zeidler Institut für Geodäsie UniBW München

GPS-Antennenworkshop, Hannover 21.5.202



- Diplomarbeit an der UniBW:
 - Relative Feldeichungen an der UniBW
 - EMV Kammereichungen bei der WTD81
 - Entwicklung von Prozeduren zur Antennenprüfung

Generelles Ziel:

- Verifikation und Genauigkeit der Eichverfahren
- Benchmark Tests f
 ür Receiver und Antenne
- Kalibrierprotokoll f
 ür GPS Systeme



Institut für Geodäsie

 $\alpha \text{ Azimut; z Zenitdistanz} \\ \text{GPS-Antennenworkshop, Hannover 21.5.202} \\$

Becker 10/00

3



Feldeichung Sept. 2001

Punkt-Nr.	2	4	3
Uni-Nr.	380	320	390
GPS Empfänger			
LEICA SR 530 SN:	4705	1096	4621
Testantennen			
LEICA AT 502 SN:	5376	1212	
Referenzantenne			
LEICA AT 504 SN:			766











AT 502 SN 1212 + 5376: In L2: Elevations- und Azimutabhängigkeit Bei $z > 75^{\circ}$





GPS-Antennenworkshop, Hannover 21.5.202



Institut für Geodäsie























Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Becker Institut für Geodäsie Universität der Bundeswehr München 85577 Neubiberg •matthias.becker@unibw-muenchen.de



Wir bedanken uns für die Unterstützung der Diplomarbeit bei der WTD81, Greding

16







Günter Seeber, Volker Böder, Falko Menge

Institut für Erdmessung (IfE), Universität Hannover D–30167 Hannover, Germany

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Gliederung

- Einführung
- Das Multipath Problem
- Absolute PCV Kalibrierung
- Multipath Dekorrelation
- Absolute Multipath Kalibrierung
- Absolute Multipath Korrekturen
- Tschebychev Polynome
- Weitere Entwicklungen
- Zusammenfassung









© 2002 Geo++[®] GmbH

- Fortschritte in präziser GPS Positionsbestimmung:
 - Hard- und Software
 - Algorithmen und Methoden
- Notwendigkeit Fehlererfassung auf 1 mm Niveau
 - Vernetzung von Referenzstationen, große Netze
 - kurze Beobachtungszeiten (z.B. RTK)
- z.Z. stationsabhängiger Multipath größter Fehleranteil
- genaue, zuverlässige, schnelle Mehrdeutigkeit- und Positionslösung

=> Multipath (MP) Kalibrierung der L1 und L2 Trägerphase

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.







- Größenordnung der Fehler auf L1–, L2– Beobachtungsgrößen
 - PCV 1 mm ... 3 cm
 - MP 1 mm ... 5 cm
- Trennung von MP und PCV
 - Vorrausetzung für absolute PCV Kalibrierung
 - Vorrausetzung für absolute MP Kalibrierung
 - Summe PCV und MP ergibt vollständigen stationsabhängigen Fehler
- Zielsetzung MP Kalibrierung
 - 1 mm Korrekturen (L1, L2 Signal)
 - absolute Korrekturen
 - keine Annahmen (Gain, PCV, MP, ...)

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Das Multipath Problem

- Multipath
 - Überlagerung von direktem und reflektiertem Signal
 - weitere Effekte: Imaging, Beugung, Scatter, ...
- MP Einfluß auf Code-, Trägerphase, Carrier-to-Noise (CN0)
- MP Fehler abhängig von
 - Satellit-Reflektor-Antennen Geometrie (Stationsabhängigkeit)
 - Reflektor (Material, Größe, Oberfläche, ...)
 - verwendeter Hard- und Software Technik
- Trägerphasen Multipath Fehler:

$$\Psi = \arctan \frac{\alpha * \sin(\theta)}{1 + a * \cos(\theta)} \qquad \qquad \theta = \frac{2\pi}{\lambda} * d$$







Beispiel MP DOY 235/236 in typischer Situation



Das Multipath Problem



- MP Reduzierung durch Integration von Beobachtungen
 - effektiv über lange Zeit für statische Messungen



- nicht anwendbar für RTK Messungen



- Kombination mit Integration
 - anwendbar auf statische bzw. gering dynamische Messungen
 - nicht anwendbar für RTK Messungen





Das Multipath Problem

- Stationsauswahl: spezielle Anforderungen ...
- Antennenauswahl: Kompromiss ...
 - Grundplatte (Form, Material, Oberfläche), Gain, Arrays,
- Empfängertechnologie: hauptsächlich Code MP ...
 - verbesserte Korrelator–Technik, Trägerphasenglättung, Kombinationen (Antennen Felder + Digitale Signalverarbeitung) ...
- Beobachtungsdaten: auch Trägerphasen ...
 - CN0 .../ adaptive Filter .../ regionale Netzte .../ Antennenfelder .../ AMCS (UNAVCO) .../ ...
- Einschränkungen/Grenzen:
 - Annahmen (Gain, PCV, MP) / nur Linearkombinationen / nur relativ ...

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Absolute PCV Kalibrierung

- Operationelles und hoch genaues Echtzeitverfahren
- Trennung von PCV und MP
- absolute stationsunabhängige PCV
- hochaufgelöste präzise PCV
 - Std.abwg. L1, L2 PCV: 0.2 to 0.4 mm
 - Wiedeholbarkeit: 1 mm mean, außer Horizont
- individuelle absolute PCV Antennenkorrekturen Vorraussetzung f
 ür MP Kalibrierung











- systematischer MP (statische Station)
- lineare Bewegung (der Antenna auf Reflektor zu)
- kreisförmige Bewegung (der Antenne)
- Roboterbewegung (pseudozufällig)
 - => Dekorrelation

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

© 2002 Geo++® GmbH

Multipath Dekorrelation

- Dekorrelation des MP zwischen zwei Stationen
- MP der bewegten Station wird "verrauscht" ("nosified/randomized")
- MP der statischen Station bleibt erhalten
- absoluter MP (bezogen auf eine Station)





- Verifikationstest
 - absolute PCV korrigiert
 - pseudo-zufällige
 Antennenbewegungen mit Robotern
 - Bereich +/- 2 Wellenlängen von zentrierter Position
 - Zentrierung der Beobachtungen mit genau bekannter Antennenposition
 - statische Messpausen
- "Verrauschen" des MP
- systematische MP Effekte eliminiert
- Dekorrelation

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.





Absolute Multipath Kalibrierung



- Antennenbewegungen mit Roboter
 - PCV korrigiert
 - "Verrauschen" des MP
 - Dekorrelation
- statische Station
 - Datenaufzeichnung
- Kalibrierung Trägerphasen MP L1
 - und L2 (Post-Processing)
 - Single Difference SD
 - Post-Processing

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

fixed reference station Frobo FCV corrected and free of MP FCV corrected and MP calibration

© 2002 Geo++® GmbH

Absolute Multipath Kalibrierung





- statischer Roboter/ statische Station
 - (L1 DD/MP 1000+robo)
- bewegter Roboter/ statische Station
 - Signal Kalibrierung (L1
 DD-MP robo)/geschätzte
 Korrektur (L1 DD/MP
 1000)
- bewegter Roboter/ kalibrierte Station (L1 DD –MP 1000+robo)

Absolute Multipath Korrekturen





^{4.} GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



Absolute Multipath Korrekturen

im Positionsraum



- Kurzzeit–Statik Test
- 60 s Positionslösung
- mit/ohne MP Korrektur
 (Roboter in Bewegung!)
- reiner MP Einfluss auf eine Station
- MP Korrekturen
- Verbesserung L1/L0

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.



- **Tschebychev Polynome**
- verbessertes Mathematisches Modell zur MP Modellierung
 - Tschebychev–Polynome
 - satellitenspurabhängige Polynome mit hoher Auflösung
 - ca. 10.000 Parameter pro Station und Signal
 - Berücksichtigung der Kreuzungsbedingung (MP (PRN) == MP (PRN))
- verbesserte Repräsentation der MP Korrekturen
 - Tschebychev-Polynome

Tschebychev Polynome



- Ergebnis (Sky–Plot)
 - absolute MP Korrektur
 - Tschebychev-Polynome (Grad 50)
 - L1 Signal
 - Satellitenspuren
 - MP als thermale Signatur
 - 48 h Beobachtungen



4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Weitere Entwicklung (1)

- Roboterbewegung
 - konstante Bewegung ohne statische Messpausen
 - kinematische GPS Datenerfassung
 - gegenwärtig Modifikation Hard- und Software (Roboter)
 - GPS Zeitsignal (PPS) für synchronisierte
 - Roboterpositionsbestimmung
- Verwendung externer Frequenznormale
- Mathematische Modelle/Repäsentation
 - Berücksichtigung von MP Unstetigkeiten
 - Tschebychev-Polynome
 - Kugelfunktionsentwicklung, Korrekturtabelle, nicht zweckmäßig





- Weitere Verifikationen, MP Wiederholbarkeit Satellitenkonstellation, Wetterabhängigkeit, ...
- Vefahren zur Detektion von MP-Änderungen/Bedingungen
- Interpolationsverfahren bei Satellitenbahnänderungen
- indirekte Kalibrierung in Netzen von Referenzstationen über einige absolut MP-kalibrierte Stationen und redundante Information/strenge Zustandsmodellierung

4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.

Zusammenfassung

- Trägerphasen MP wichtige Fehlerkomponente (e.g. RTK, Vernetzungen, ...)
- Trennung von PCV/MP notwendig
- absolute PCV Feldkalibrierung verfügbar
- neuer Ansatz f
 ür Absolute MP Kalibrierung
 - präziser Roboter, 3D (pseudo–)zufällige Bewegung, Zentrierung der Beobachtungen
 - Dekorrelation des MP, Systematiken eliminiert, keine Annahmen
- MP Trägerphasenkorrekturen bestimmbar
 - absolut, für Beobachtungsgrößen L1 und L2, keine Annahmen
- Modifikationen für "operationellen" Einsatz
 - Roboterbewegung, mathematisches Modell, ...
- Einschränkung
 - Berücksichtigung von Wetteränderungen, Aufwand, ...



Acknowledgments





 Die Arbeiten sind durch das Bundesministerium f
ür Bildung, Forschung und Technologie (BMBF) und das Deutsche Zentrum f
ür Luft– und Raumfahrt (DLR) unter der Nummer 50NA9809 gef
ördert.





4. GPS-Antennnen Workshop, 21. Mai 2002, Hannover.










Absolute Kalibrierung der SAPOS[®]-Referenzstation Hannover: Messungen, Untersuchungen und Ergebnisse

<u>Volker Böder</u>, Günter Seeber Institut für Erdmessung, Universität Hannover *Gerhard Wübbena, Martin Schmitz* Geo++ [®] GmbH *Uwe Feldmann-Westendorff, Cord-Hinrich Jahn* LGN, Landesvermessung+Geobasisinformation Niedersachsen Antennenworkshop 2002, 21. Mai 2002, Hannover

Gliederung

- Das SAPOS-Netz der LGN
- Stationsbeschreibung
- Motivation zur Stationskalibrierung
- Messungen zur Stationskalibrierung
- Auswertung
- Erste Ergebnisse
- Zusammenfassung

Das SAPOS-Netz der LGN

- 45 Stationen in Vernetzung
- Trimble-Empfänger/Antennen
- GNSMART-Software
- Absolute Antennenkalibrierungen



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002



Die SAPOS-Station Hannover

- Empfänger Trimble 4700
- Antenne Trimble TRM33429.20 + GP



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

SAPOS-Station Hannover

Rundumansicht und Identifikation der Reflektoren

Hier Filmsequenz

Motivation

Zielvorstellung:

- absolute Referenzstationsdaten
- Positionierungsgenauigkeit 16 mm (RT)
- anzustreben: mm-Genauigkeitsniveau
- ⇒ Reduzierung der Fehleranteile
 - entfernungsabhängig (Vernetzung)
 - stationsabhängig (Reduzierung, Kalibrierung)

Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002



ADSVILL MANDER IN UN DAT OU-MULTILSIAUVE HAMIVICE, ATTO 4004

Reduzierung stationsabhängiger Fehleranteile

=> Absolute Antennenkalibrierungen
=> Reduzierung der Mehrwegeeinflüsse

Maßnahmen zur Reduzierung des Multipath: Antennentechnik Begrünung des Messdaches

Absolute Stationskalibrierung

Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Messungen

Aufbau:

- Messdach der LGN mit 6 Pfeilern, 4 genutzt
- 1 permanente Station 0640
- 2 temporäre Stationen (0013, 0014)
- 1 Station mit Roboterarm
- Gegeben für alle: Absolute Antennenkalibrierungen
- Aufzeichungen mit 1s-Rate, 3 Tage im März 2002 (071-074/2002)

Vorbereitung des Roboterbetriebes

- Platte auf Pfeiler montieren
- Mit Dosenlibelle grob horizontieren
- Roboter aufsetzen, starten
- Feinhorizontierung mit Nivellier (0.15 mm)
- Orientierung mit RT-PDGPS
- ⇒ Roboterarm im lokal geodätischem System horizontiert und orientiert (etwa 0.3 mm)

Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Roboterbetrieb

- → Dekorrelation des Multipath durch Roboterbewegungen auf Hilfsstation
- → Zentrierung der bewegten Antenne auf dem Roboterarm auf einen festen Punkt: stationär zu betrachten
- → Hilfsstation ist frei von systematischen stationsabhängigen Fehlereinflüssen
- → Absolute Kalibrierung möglich

Roboterbewegung



 \rightarrow Hier Messdach des GIH

Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

MP Dekorrelation

Zu kalibrierende Station:

Normaler Betrieb, kein Eingriff notwendig, 1 Hz RINEX

Roboterarm:

- Permanent in Bewegung
- > Antenne bleibt immer horizontal und nach Norden ausgerichtet
- > absolute PCV werden in Echtzeit korrigiert => ARP
- > ARP-Position bekannt (Genauigkeit: etwa 0.3 mm)
- ARP wird auf nominalen Punkt am Roboter zentriert
- zentrierte Beobachtungen auf einem statischen Punkt, aber
 - → systematische MP Effekte eliminiert
 - → Erhöhtes Messrauschen durch dekorrelierten MP
 - → Roboterarm ,,MP-frei"

Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Weitere Messungen

- Einmessung der näheren Umgebung des LGN-Messdaches (berührungslose tachymetrische Aufnahme)
- Panorama-Ansichten
- => Identifikation möglicher Reflekoren zur Stützung des Modells

Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Auswertung

- Daten liegen im RINEX-Format vor
- Auswertung (mit Mehrdeutigkeitslösung) mit GEONAP
- Modellierung über Tschebyscheff-Polynome
- ⇒ Ergebnis: binäre Korrekturdatei

⇒ Anbringen der Datei mit Aufdatierungsmodul

Darstellung der MP-Korrekturen



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Auswertung

Evaluierung über Vergleiche im

► Beobachtungsraum (DD)

≻Positionsraum (Basis 0013 – 0014)

Ergebnisse Doppeldifferenzen L1

- Ohne Korrektur: SV17: 7 mm SV18: 9 mm
- Mit Korrektur: SV17: 3 mm SV18: 5 mm



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Ergebnisse Doppeldifferenzen L1

- Ohne Korrektur: SV06: 7 mm SV13: 9 mm
- Mit Korrektur: SV06: 3 mm SV13: 5 mm



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Ergebnisse Doppeldifferenzen L1

- Ohne Korrektur: SV15: 6 mm SV30: 7 mm
- Mit Korrektur: SV15: 2 mm SV30: 5 mm



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Ergebnisse Doppeldifferenzen L0

- Ohne Korrektur: SV15: 17 mm SV30: 21 mm
- Mit Korrektur: SV15: 6 mm SV30: 17 mm



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Ergebnisse -Positionen L0-



Absolute Kalibrierung der SAPOS-Referenzstation Hannover; AWS 2002

Zusammenfassung, Zukunft

- Erste Ergebnisse zeigen Verbesserungen für Doppeldifferenzen und für Positionen; Auswertungen noch nicht abgeschlossen
- Übertragung der Daten auf andere Epochen in Arbeit (2 Wochen bis 1-2 Jahre)
- Korrelationen mit Wetterbeobachtungen
- Identifizierung der Reflektoren
- => Verbesserung der Algorithmen

Kalibrierung von Referenzstationen ?

Lambert Wanninger Ingenieurbüro Wanninger, Dresden

4. GPS-Antennenworkshop, Hannover, 21. Mai 2002

Kalibrierung von Referenzstationen

Zwei stationsabhängige Fehlereinflüsse können auf Mess-Stationen und so auch auf Referenzstationen Probleme bereiten: Mehrwegeeinflüsse und Signalbeugung. Antennenfehler sollen in diesem Zusammenhang nicht behandelt werden, da sie vorab durch Antennenkalibrierung erfasst und korrigiert werden können.

Mehrwegeeinflüsse treten auf allen Referenzstationen in unterschiedlicher Stärke auf. Insbesondere bei Stationen auf (Flach-) Dächern können sie besonders stark ausfallen. Meistens sind keine reflektierenden Flächen oberhalb des Antennenhorizonts vorhanden, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die reflektierten Signale von Flächen unterhalb der Antenne stammen.

Signalbeugungen treten nur auf, wenn Sichthindernisse oberhalb des Antennenhorizonts existieren. Dies sollte auf Referenzstationen selten vorkommen. Signalbeugungseinflüsse können über die S/N-Beobachtungsgrößen erkannt und behandelt werden. Sie werden aber auch bei jeder Art von Referenzstationskalibrierung mit erfasst. Im weiteren wird zusammenfassend für beide Einflüsse vereinfachend der Begriff Mehrwegeeinfluss verwandt.

Die Kalibrierung von Mehrwegeeinflüssen ist ein möglicher Ansatz zur Verringerung dieser Fehlereinflüsse. Dieser und andere Ansätze werden im folgenden diskutiert.

Einflüsse der Stationsumgebung

<u>Mehrwege</u>

- mm...cm...
- frequenzabhängig
- mehr oder weniger überall
- auf Referenzstationen
 Reflektoren unterhalb des
 Antennenhorizonts
- Stationen auf D\u00e4chern oft besonders betroffen

Signalbeugung

- bis dm-Größenordnung
- frequenzunabhängig
- nur im Zusammenhang mit Signalabschattungen
- auf Referenzstationen sehr selten, sehr häufig auf anderen Stationen
- Detektierung, Beobachtungsgewichtung über S/N-Beobachtungsgröße

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Verringerung Mehrwegeeinflüsse

1. Wahl des Antennenstandortes

Voraussetzung: Mehrwegedetektierung

- verbesserte Empfängermesstechnik
 Code ja, Phase kaum
- mehrwegeresistentere Antennen kaum Fortschritte

2. Mehrwegekalibrierung

nur auf Referenzstationen

3. Multiantennensysteme

Ingenieurbüro Wanninger

Verringerung von Mehrwegeeinflüssen

Als mögliche Ansätze zur Verringerung von Mehrwegeeinflüssen kommen in Frage:

<u>1. Wahl des Antennenstandortes:</u> Hier existiert bei Referenzstationen noch ein großes Potential für Verbesserungen. Voraussetzung ist eine zuverlässige Phasenmehrwegedetektierung, wie sie in Referenzstationsnetzen auf der Basis der Phasenmessungen gelingt.

<u>- verbesserte Empfängermesstechnik:</u> In den letzten Jahren gab es Fortschritte für Code-, aber nicht für Phasenmessungen. Deutliche Verbesserungen sind kaum zu erwarten.

<u>- mehrwegeresistentere Antennen:</u> Es wurden in den letzten Jahren fast keine Fortschritte erzielt. Deutliche Verbesserungen sind kaum zu erwarten.

2. Mehrwegekalibrierung: Sie gelingt entweder mit lokalen mehrwegefreien Referenzmessungen (z.B. Referenzantenne in Bewegung oder gerichtete Parabolantenne) oder in Referenzstationsnetzen aus den Daten einer Gruppe von Referenzstationen. Mit lokalen Messungen sind höchste Genauigkeiten erzielbar, aber die zeitlich begrenzte Gültigkeit der Korrekturwerte (wie lange gültig ?, wie erkennt man Veränderungen in der Stationsumgebung ?) stellen ein Problem dar. Die durch Kalibrierung in Referenzstationsnetzen erzielbaren Genauigkeiten sind geringer (große Entfernungen zwischen den Stationen), aber die Korrekturmodelle sind immer aktuell und quasi kostenlos, da die notwendigen Messdaten sowieso vorliegen.

<u>3. Multiantennensysteme:</u> Mehrwegeelimination durch Multiantennensysteme ist ein vielversprechender Ansatz dessen Einsatz nicht auf Referenzstationen beschränkt ist.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

1. Detektierung und Lokalisierung

- aus Phasendaten eines Referenzstationsnetzes:

min. 3 Stationen, iono.-freie Linearkombination, Annahme: Signale hochstehender Satelliten mehrwegefrei (sehr wenige Ausnahmen)



– andere Verfahren:

Verwendung S/N-Beobachtungsgröße

Ingenieurbüro Wanninger

2. Mehrwegekalibrierung

Lokale mehrwegefreie Referenzmessungen



z.B. Robotor mit Antenne in Bewegung

z.B. gerichtete Parabolantenne



(HSCA, Cambridge Ma.)

(Böder, IfE, Hannover)

- nur für Referenzstationen
- gültig nur bei unveränderter Antennenumgebung

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

2. Mehrwegekalibrierung

aus den vorhandenen Messungen eines Ref.sta.netzes

Vorteile:

- keine zusätzlichen Messungen
- immer aktuell (Modell aus den Daten der jeweils letzten 7 Tagen)

Nachteile:

- nur für Referenzstationen
- Restfehler insb. durch lonosphäre (bei L₁, L₂)

Ingenieurbüro Wanninger

3. Multiantennensysteme



Beispiel 1

Typisches SAPOS-Subnetz mit fünf unbelasteten, zwei wenig belasteten und zwei stark gestörten Stationen (A und B).

Station A befindet sich in einer häufig vorzufindenden Dachsituation: montiert auf dem erhöhten Flachdach eines (Fahrstuhl)-Aufbaus. Mehrwegeeinflüsse aufgrund des oberen Daches (langperiodisch Fehler für Signale aus Westen) und des unteren Daches (kurzperiodische Fehler für Signale aus Osten).

Mehrwegekalibrierung im Referenzstationsnetz kann diese Fehlereinflüsse deutlich verringern, insbesondere für die ionosphären-freie Linearkombination und die Widelane. Fast keine Verbesserung gelingt aber in L1 und L2 aufgrund von

a) geringer Mehrwegewirkung auf diese Signale

b) verbleibenden ionosphärischen Restfehleren aufgrund der großen Stationsabstände. Kalibrierwerte sind ungültig, wenn Umgebungsbedingungen sich verändern, insbesondere bei Schnee.

Die Beobachtungsdaten der Station A können auch ohne Kalibrierung deutlich verbessert werden, wenn die Antenne um wenige Meter an die Südkante des Dachaufbaus verlegt würde. Das untere Dach hätte dann keinen Einfluss mehr. Das obere Dach befände sich dann im Norden der Antenne, also in einer Richtung aus der keine Satellitensignale eintreffen.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de



Mehrwegekalibrierung Station A





Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Verbesserungen

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Beispiel 2

SAPOS-Subnetz aus acht Stationen: zwei Stationen fast unbelastet, drei Stationen wenig belastet und drei Stationen (A, B und C) stark gestört.

Hier liegen neben den Beobachtungen der Hauptstationen auch Beobachtungen von Nebenstationen vor, die sich auf den selben Dächern befinden. Die Nebenstationen sind teilweise stärker mehrwegebeeinflusst als die Hauptstationen (A), teilweise weniger (C). Teilweise sind die Mehrwegeeinflüsse auf Haupt- und Nebenstationen unabhängig voneinander (A und B) oder sie sind z.T. hoch korreliert aufgrund identischer Geometrie zum Signalreflektor hin (C).

Durch Kombination der Beobachtung von Haupt- und Nebenstation (der primitivsten Form eines Multiantennensystems) gelingt die deutliche Verringerung der Mehrwegeeinflüsse. Aus stark gestörter Haupt- und Nebenstation wird durch Kombination der Beobachtungsdaten eine wenig belastete kombinierte Station. Selbst bei Station C ergibt sich eine deutliche Verbesserung der Beobachtungsdaten. Es verbleiben hier aber Restfehler durch den Signalreflektor, der auf die Signale der Haupt- und Nebenstation identisch wirkt.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de





Verringerung der Messfehler

Standardabweichung Einzelbeobachtung



Schlussfolgerungen

Verringerung des Mehrwegeeinflusses auf Referenzstationen

- 1. sorgfältige Wahl des Antennenstandortes (Mehrwegedetektierung)
- 2. Mehrwegekalibrierung
- 3. Multiantennensysteme

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Schlussfolgerungen

Das größte Potential zur Verringerung von Mehrwegeeinflüssen auf die Beobachtungsdaten von Referenzstationen liegt in der sorgfältigen Wahl des Antennenstandortes. Oft kann schon eine Verlagerung der Antenne um wenige Meter an eine andere Dachkante die Datenqualität beträchtlich erhöhen. Voraussetzung zur Beurteilung des Mehrwegeeinflusses ist die Mehrwegedetektierung und -lokalisierung aus den Phasenbeobachtungsdaten eines Referenzstationsnetzes.

Verbleiben Mehrwegerestfehler, so können sie durch Referenzstationskalibrierung erfasst werden. Zwei Verfahren mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen werden diskutiert:

- a) Kalibrierung mit lokalen, mehrwegefreien Referenzmessungen
- b) Kalibrierung im Referenzstationsnetz.

Beide Verfahren sind auf den Einsatz bei Referenzstationen beschränkt.

Ein anderer vielversprechender Ansatz basiert auf Multiantennensystemen. Der Einsatz solcher Systeme ist nicht auf Referenzstationen beschränkt.

Weiterführende Literatur:

Wanninger, L., Wildt, S. (1997): Identifikation von Mehrwegeeinflüssen in GPS-Referenzstationsbeobachtungen, AVN **104**:12-15.

Wanninger, L., May, M. (2000): Carrier Phase Multipath Calibration of GPS Reference Stations, Proc. of ION GPS 2000, 132-144.