

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Verwendung von Maxima	7
2.1	Erste Schritte in Maxima	8
2.2	Listen in Maxima	9
2.2.1	Listen erstellen und auf Elemente zugreifen	9
2.2.2	Listenverarbeitung	10
2.3	Lineare Algebra mit Maxima	11
2.3.1	Erstellen von Vektoren und Matrizen	12
2.3.2	Operieren mit Vektoren und Matrizen	13
2.4	Erstellen eigener Funktionen	14
2.4.1	Winkel im Grad- und Bogenmaß	14
2.4.2	Berechnung des Hauptwerts	16
2.4.3	Bestimmung der Differenznorm	16
2.4.4	Die Funktion <code>check_t()</code>	17
2.5	Anlegen einer Makrobibliothek	18
3	NAVSTAR GPS	21
3.1	Die Anfänge	21
3.2	Das Prinzip und die Probleme	24
3.2.1	Verwendete Frequenzen	24
3.2.2	Satellitendaten	26
3.2.3	Datencodierung	27
3.2.4	Die Ortsbestimmung	30
3.2.5	Eliminierung des Laufzeitproblems	34
3.2.6	Das Intermezzo der Selective Availability	36
3.2.7	Satellitenbahnen	37
3.3	Das NAVSTAR-System	38

4	Zeitangaben im GPS	41
4.1	Zeitmessung	41
4.1.1	Eine kleine Uhrengeschichte	41
4.1.2	Das Funktionsprinzip einer Atomuhr	44
4.2	Das julianische Datum	46
4.3	Die GPS-Zeit	50
5	Datenübertragung und Entfernungbestimmung	53
5.1	Datenstrom von den Satelliten	53
5.1.1	TLM und HOW	55
5.1.2	Rahmen und Unterrahmen	56
5.2	Code-Multiplex-Verfahren	58
5.3	Generierung des PRN-Codes	58
5.3.1	Erzeugung von Gold-Codes	59
5.3.2	Simulation in Maxima	62
5.4	Laufzeiten feststellen durch Korrelation	68
5.4.1	Das Prinzip der Autokorrelation eines Signals	68
5.4.2	Autokorrelation mehrerer Signale	69
5.4.3	Autokorrelation zweier Signale in Maxima	71
5.4.4	Autokorrelation mehrerer Signale in Maxima	76
5.4.5	Korrelation der G2-Codes	79
5.5	Zweck der Autokorrelation	81
6	GPS-Empfänger und Rohdaten	83
6.1	Hardware	83
6.2	Software	85
6.2.1	Vorarbeiten	85
6.2.2	Das Programm u-center	85
6.2.3	Datenanzeige	86
6.2.4	Datenaufzeichnung	88
6.2.5	Festhalten des Aufnahmeorts	89
6.2.6	Speicherung des Almanachs	89
6.2.7	Das RINEX-Format	91
6.2.8	teqc	91
6.2.9	Beispiel für eine RINEX-Navigationsdatei	94
6.2.10	Beispiel für eine RINEX-Beobachtungsdatei	96
6.3	RINEX-Dateien in Maxima einlesen	97
6.3.1	Einlesen der Navigationsdatei	98
6.3.2	Einlesen der Beobachtungsdatei	100
7	RINEX-Daten in Maxima einbinden	103
7.1	Navigationsdaten konvertieren	103
7.1.1	Ephemeriden-Datensatz auslesen	105

7.2	Beobachtungsdaten konvertieren	107
7.2.1	Überprüfung der vorhandenen GPS-Satelliten.	107
7.2.2	Pseudoentfernung auslesen	110
7.2.3	GPS-Zeit auslesen	111
7.2.4	Beobachtungsliste erstellen	112
7.2.5	Daten automatisiert einlesen	114
7.3	Zugriff auf einzelne Daten der Beobachtungsdatei	117
8	Beschreibung von Satellitenbahnen.	121
8.1	Kepler-Gesetze.	122
8.2	Beziehungen an der Ellipse	123
8.2.1	Definition	123
8.2.2	Herleitung der Ellipsengleichung.	123
8.2.3	Lineare und numerische Exzentrizität	127
8.2.4	Der Formparameter p	128
8.2.5	Die Ellipse als affines Bild des Kreises	129
8.3	Ellipsen als Planetenbahnen.	131
8.3.1	Anomalien der Planetenbahn	131
8.3.2	Polargleichung der Planetenbahn.	132
8.3.3	Zusammenhang zwischen wahrer und exzentrischer Anomalie	134
8.3.4	Die mittlere Anomalie M	136
8.3.5	Herleitung der Kepler-Gleichung.	138
8.4	Ephemeriden	141
8.5	Ephemeriden in Maxima darstellen	145
9	Bestimmung der Satellitenposition	149
9.1	Benötigte Konstanten.	150
9.1.1	Der Gravitationsparameter.	150
9.1.2	Die Rotationsgeschwindigkeit der Erde.	153
9.2	Bestimmung der für die Kepler-Gleichung benötigten Werte	153
9.3	Lösung der Kepler-Gleichung	156
9.4	Berechnung der wahren Anomalie.	157
9.5	Korrekturen anbringen.	160
9.6	Kartesische Koordinaten der Satellitenposition.	161
9.7	Länge des aufsteigenden Knotens bestimmen	162
9.8	ECEF-Koordinaten bestimmen	163
9.8.1	Geozentrisches Koordinatensystem	163
9.8.2	Satellitenort in ECEF-Koordinaten	164
9.9	Maxima-Funktion zur Bestimmung des Satellitenorts	168
9.10	Bahndaten überprüfen	170

10	Der Almanach	175
10.1	Einlesen des Almanachs in Maxima	176
10.2	Positionsbestimmung mit dem Almanach	181
10.2.1	Veränderung der Funktion satpos()	181
10.2.2	Vergleich der Ergebnisse	183
10.3	Verteilung der Satelliten	183
10.3.1	Erste Darstellung der Satellitenpositionen	185
10.3.2	Umrechnung von ECEF-Koordinaten in Polarkoordinaten	186
10.3.3	Darstellung der Satellitenpositionen in der Ebene	189
10.3.4	Überprüfung der Satellitenbahnen	191
10.4	Parameterdarstellung von Kreisen	193
10.4.1	Parameterdarstellung von Kreisen in der Ebene	193
10.4.2	Parameterdarstellung von Kreisen im Raum	194
10.5	Affine Abbildungen und Abbildungsmatrizen	196
10.5.1	Kartesisches und affines Koordinatensystem	197
10.5.2	Berechnung affiner Koordinaten	199
10.5.3	Spezielle Abbildungsmatrizen	201
10.5.4	Die Drehmatrix	201
10.6	Darstellung aller Satellitenbahnen	203
11	Positionsbestimmung mit vier Satelliten	207
11.1	Entfernung vom Empfänger zu den Satelliten	207
11.2	Taylor-Reihen	210
11.2.1	Erste Näherung	211
11.2.2	Zweite Näherung	213
11.2.3	Dritte Näherung	215
11.2.4	Vierte Näherung und Verallgemeinerung	215
11.2.5	Anwendungen	216
11.2.6	Taylor-Reihen in Maxima	218
11.2.7	Taylor mehrdimensional	223
11.3	Linearisierung	226
11.4	Rechnerische Bestimmung mit vier Datensätzen	230
11.4.1	Überprüfung der Daten	230
11.4.2	Eine erste Funktion zur Positionsbestimmung	231
11.5	Berechnung mit den Daten anderer Satelliten	234
11.5.1	Variation durch Veränderung der Schleife	234
11.5.2	Darstellung der Position in Google Maps	235
11.5.3	Auswertung aller Satellitenkombinationen	236
12	Verbesserte Zeitbestimmung	241
12.1	Aussendezeit des Signals	241
12.2	Gangabweichung der Satellitenuhr	243

13 Die Methode der kleinsten Quadrate	249
13.1 Grundlagen	249
13.1.1 Geometrischer Ansatz	250
13.1.2 Rechnerische Bestimmung bei einer Proportionalität	251
13.1.3 Grafische Bestimmung bei einer Linearität	254
13.1.4 Bestimmung der Lösung mit Excel	255
13.1.5 Berechnung der Lösung	256
13.1.6 Bestimmung mit Maxima	260
13.1.7 Näherung mithilfe der linearen Algebra	261
13.2 Rechnerische Durchführung	269
14 Verbesserung des verwendeten Erdmodells	273
14.1 Die Erde als Rotationsellipsoid	273
14.2 Das Newton'sche Näherungsverfahren	275
14.2.1 Prinzip	275
14.2.2 Iteration	277
14.2.3 Wurzelbestimmung mit dem Newton-Verfahren	279
14.2.4 Die mehrdimensionale Newton-Näherung	281
14.2.5 Newton mit Maxima	287
14.3 Anwendung des Newton'schen Näherungsverfahrens	288
14.4 Erzielte Verbesserung	290
15 Berücksichtigung der Erddrehung	293
15.1 Ausmaß der Erddrehung	293
15.2 Korrektur der Erddrehung	294
16 Relativistische Korrektur	299
16.1 Kurzer Einschub zur Relativitätstheorie	299
16.1.1 Spezielle Relativitätstheorie	300
16.1.2 Allgemeine Relativitätstheorie	302
16.1.3 Berücksichtigung der relativistischen Effekte	303
16.2 Relativistische Korrektur	304
16.3 Auswertung aller Beobachtungszeitpunkte	306
17 Skyplot	309
17.1 Skyplot-Grundlagen	309
17.1.1 Bestimmung der Elevation	311
17.1.2 Bestimmung des Azimuts	311
17.2 Ein Skyplot in Maxima	312
17.2.1 Vorarbeiten	312
17.2.2 Berechnung der Elevation	314
17.2.3 Berechnung des Azimuts	315
17.2.4 Maxima-Funktion für Azimut und Elevation	316
17.2.5 Darstellung des Satellitenorts	318

Bisher erschienene Bände der Reihe Mathematik

Primarstufe und Sekundarstufe I+ II 323

Literatur. 325

Stichwortverzeichnis. 329