

Dipl.-Ing. Thomas Müller, Düsseldorf

# **Korrekturdatenübertragung für Differentielle Satelliten- navigation mit hoher Genauigkeit**

Reihe **10**: Informatik/  
Kommunikationstechnik    Nr. **434**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1 Differentielle Satellitennavigation</b>	<b>2</b>
1.1 Globale Satellitennavigationssysteme . . . . .	2
1.1.1 NAVSTAR GPS . . . . .	2
1.1.1.1 Signalstruktur . . . . .	3
1.1.1.2 Funktionsprinzip eines Satellitennavigationsempfängers . . . . .	4
1.1.1.3 Fehler der Beobachtungsgrößen . . . . .	5
1.1.1.4 Einfluß der Satellitengeometrie . . . . .	7
1.1.2 GLONASS und ziviles GNSS . . . . .	10
1.2 Differentialverfahren . . . . .	10
1.3 Anwendungen . . . . .	13
1.4 Frequenzalternativen . . . . .	15
1.5 Datenformate . . . . .	17
1.5.1 RTCM–SC 104 . . . . .	17
1.5.1.1 Pseudorangekorrekturen . . . . .	18
1.5.1.2 Real–Time Kinematic- (RTK-) Telegramme . . . . .	21
1.5.2 SCAT–I (RTCA–SC 159) . . . . .	25
1.5.3 DGON–Format . . . . .	27
<b>2 Anforderungen an die Korrekturdatenübertragung</b>	<b>30</b>
2.1 Abschätzung der erforderlichen Datenrate . . . . .	30
2.2 Zulässige Übertragungsverzögerung . . . . .	32
2.3 Datensicherheit . . . . .	33
2.3.1 Integrität . . . . .	34
2.3.2 Verfügbarkeit . . . . .	34
2.3.3 Anforderungen im Luftfahrtbereich . . . . .	35

<b>3</b>	<b>Funkkanalmodellierung</b>	<b>38</b>
3.1	Schwundkanäle im VHF- / UHF-Band . . . . .	38
3.2	Systemtheorie . . . . .	39
3.2.1	Stationärer Anteil . . . . .	40
3.2.2	Programmtechnische Realisierung . . . . .	41
3.2.3	Lognormalanteil . . . . .	42
3.3	Modellparameter für Luftfahrtanwendungen . . . . .	43
3.3.1	Landeanflug (Approach) . . . . .	44
3.3.2	Landung . . . . .	46
3.3.3	Rollführung . . . . .	47
3.4	Mittlere Funkfelddämpfung . . . . .	48
3.4.1	Formeln von Hata/Okumura . . . . .	49
3.4.2	Erweiterung des Hata-Modells für den Frequenzbereich 1.5–2 GHz . . . . .	50
3.4.3	Luftfahrtanwendungen . . . . .	51
3.5	Schwund- und Verbindungsdauer . . . . .	52
3.5.1	Mittlere Schwund- und Verbindungsdauer . . . . .	54
3.5.2	Verteilung der Verbindungsdauer . . . . .	56
3.5.3	Verteilung der Schwunddauer . . . . .	57
<b>4</b>	<b>Bandbreiteneffiziente Übertragung</b>	<b>59</b>
4.1	Modulation . . . . .	59
4.1.1	Spektrale Eigenschaften . . . . .	60
4.1.2	Verarbeitung im Empfänger und Fehlerverhalten . . . . .	62
4.1.3	Trägersynchronisation . . . . .	64
4.1.3.1	Phasenregelkreise . . . . .	64
4.1.3.2	Schätzverfahren . . . . .	65
4.2	Mehrfachnutzung von Frequenzen . . . . .	65
4.2.1	Mögliche Senderanzahl je Kanal . . . . .	65
4.2.2	Sonstige Gesichtspunkte . . . . .	66

<b>5</b>	<b>Kanalcodierung</b>	<b>68</b>
5.1	Kombinierte Fehlerkorrektur und Fehlererkennung mit verketteten Codes . . . . .	70
5.1.1	Fehlererkennung . . . . .	71
5.1.2	Fehlerkorrektur . . . . .	72
5.2	Fehlerkorrektur für Landanwendungen . . . . .	73
5.2.1	Systeme mit Interleaver . . . . .	74
5.2.1.1	Kombination mit binären BCH-Codes . . . . .	78
5.2.1.2	Kombination mit Faltungscodes . . . . .	78
5.2.2	Reed–Solomon–Codes . . . . .	80
5.2.2.1	Kurze Reed–Solomon–Codes . . . . .	81
5.2.2.2	Lange Reed–Solomon–Codes . . . . .	81
5.2.2.3	Zusätzliche Fehlererkennung . . . . .	85
5.2.3	Büschelfehler korrigierende Binärcodes . . . . .	87
5.2.4	Verkettung von Faltungscodes und Reed–Solomon–Code . . . . .	87
5.2.4.1	Soft–Decision–Decodierung eines Faltungscodes mit DQPSK . . . . .	88
5.2.4.2	Telegrammfehlerwahrscheinlichkeit bei Soft–Decision Decodierung . . . . .	89
5.2.4.3	Telegrammfehlerwahrscheinlichkeit bei Hard–Decision Decodierung . . . . .	91
5.3	Codierung des Headers . . . . .	93
5.3.1	Separate Codierung des Headers mit einem Blockcode . . . . .	94
5.3.2	Codierung des Headers mit Faltungscodes und RS–Code . . . . .	95
5.4	Fehlerkorrektur für Luftfahrtanwendungen . . . . .	97
5.4.1	Frequenzmultiplex . . . . .	97
5.4.1.1	Modell "Landung" . . . . .	97
5.4.1.2	Modell "Approach" . . . . .	99
5.4.1.3	Modell "Rollführung" . . . . .	99
5.4.2	Zeitmultiplex . . . . .	102
<b>6</b>	<b>Schlußfolgerungen für das Gesamtsystem</b>	<b>104</b>
6.1	Codeauswahl . . . . .	104
6.2	Stationärer Empfänger . . . . .	105
6.3	Abschätzung des Versorgungsbereichs . . . . .	108
6.3.1	Landanwendungen . . . . .	108
6.3.2	Luftfahrt . . . . .	109
6.4	Erreichbare Datensicherheit . . . . .	112

<b>Zusammenfassung</b>	<b>114</b>
<b>A Anhang</b>	<b>115</b>
A.1 Herleitung: Verteilung der Schwunddauer . . . . .	115
A.2 Verzeichnis im Text verwendeter Abkürzungen . . . . .	120
<b>Literatur</b>	<b>122</b>