

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	4
1.3	Gliederung	6
2	Grundlagen zur kooperativen relativen Lokalisierung	9
2.1	Koordinatensysteme	9
2.1.1	ECEF	10
2.1.2	LLA	10
2.1.3	ENU	12
2.1.4	Fahrzeugkoordinatensystem	13
2.2	Satellitennavigation	15
2.2.1	Navstar GPS	15
2.2.2	Aufbau des GPS-Signals	15
2.2.3	Navigationsnachricht	17
2.2.4	GPS-Rohdaten	18
2.2.5	Berechnung der Position eines GPS-Satelliten	18
2.2.6	Berechnung der Empfänger-Position	19
2.2.7	Azimut und Elevation eines GPS-Satelliten	21
2.2.8	Fehlerursachen	22
2.3	Car2X-Kommunikation	23
2.4	Relative Lokalisierung mit Pseudoranges	25
2.4.1	Pseudorange-Messungen	26
2.4.2	Pseudorange-Einzeldifferenzen	28
2.4.3	Sichtlinien-Einheitsvektoren	28
2.4.4	Pseudorange-Doppeldifferenzen	30
2.4.5	Verwendung eines Referenzsatelliten	31
2.4.6	Berechnung eines relativen Positionsvektors	31

3	Bekannte kooperative Lokalisierungsverfahren	33
3.1	Stand der Technik	33
3.2	CPOS	40
3.3	Funktionsweise von CPOS	41
3.4	APD	42
4	Innovatives neuartiges kooperatives Lokalisierungsverfahren CGPS	45
4.1	Ein neuer Ansatz	45
4.2	Funktionsweise von CGPS	46
4.3	CGPS-CS	47
4.4	CGPS-IS	48
4.5	Berechnung der Kovarianzmatrix	48
4.6	Vorteile von CGPS	51
4.7	Zusammenfassung	51
5	Entwicklung eines Evaluierungsverfahrens	53
5.1	Umrechnung von GPS-Zeit nach UNIX-Zeit	54
5.2	Definition des Bezugspunkts im Fahrzeug	55
5.3	Lokalisierung mit Infrastruktureinheiten	57
5.4	Ergänzung von Ergebnissen	60
5.5	Vergleich der Ergebnisse mit Referenzwerten	60
5.6	Verwendung einer digitalen Karte	61
5.7	Analyse von ENU-Koordinaten	62
5.8	Vorgehensweise bei der Auswertung	63
5.9	Ein neues 3D-Evaluierungsprogramm	64
5.10	Zusammenfassung	68
6	Implementierung des bekannten CPOS-Verfahrens	69
6.1	Versuchsträger	69
6.2	Hardware-Komponenten	70
6.3	Aufbau des Gesamtsystems	73
6.4	Cooperative Localization Message	74
6.5	Struktur des Frameworks	75
6.6	Kooperativer Algorithmus	76
6.7	Benutzerschnittstelle	79
6.8	Offline-Simulation von Testfahrten	80
6.9	Ausgabedaten	80
6.10	Zusammenfassung	81

7	Ergebnisse für das bekannte CPOS auf Basis einer PC-Hardware	83
7.1	Szenariobeschreibung	83
7.2	Testfahrt 1	84
7.2.1	Genauigkeit der Referenzdaten	85
7.2.2	Verteilung der Satelliten	85
7.2.3	Pseudorange-Doppeldifferenzen	88
7.2.4	Fahrtverlauf	88
7.2.5	Ausschnitt Versuchskreuzung	91
7.2.6	Genauigkeit von CPOS	91
7.3	Testfahrt 2	95
7.3.1	Genauigkeit der Referenzdaten	95
7.3.2	Verteilung der Satelliten	95
7.3.3	Pseudorange-Doppeldifferenzen	97
7.3.4	Fahrtverlauf	97
7.3.5	Ausschnitt Versuchskreuzung	100
7.3.6	Genauigkeit von CPOS	103
7.4	Zusammenfassung	105
8	Implementierung von CPOS und CGPS auf einem Embedded-System	107
8.1	Herausforderungen	107
8.2	Hardware-Komponenten	108
8.3	Aufbau des Gesamtsystems	111
8.4	Eine neue Hardware-Abstraktionsschicht	112
8.5	Struktur des neuen Frameworks	113
8.6	Verbesserung von CPOS	114
8.7	Implementierung von CGPS	115
8.8	Benutzerschnittstelle	115
8.9	Test-Aufbau im Labor	116
8.10	Simulation von Testfahrten auf einem PC	117
8.11	Zusammenfassung	117
9	Messergebnisse für CPOS und CGPS und Analyse deren Leistungsfähigkeit	119
9.1	Szenariobeschreibung	119
9.2	Gedächtnis für Pseudorange-Doppeldifferenzen	121
9.3	Testfahrt 3	124
9.3.1	Genauigkeit der Referenzdaten	124
9.3.2	Verteilung der Satelliten	124

9.3.3	Pseudorange-Doppeldifferenzen	128
9.3.4	Fahrtverlauf	128
9.3.5	Gesamtfehler von CPOS und CGPS	130
9.3.6	Genauigkeit von CPOS	132
9.3.7	Genauigkeit von CGPS-CS	134
9.3.8	Genauigkeit von CGPS-IS	137
9.3.9	Mittelwerte von CPOS und CGPS	137
9.4	Testfahrt 4	140
9.4.1	Genauigkeit der Referenzdaten	140
9.4.2	Verteilung der Satelliten	140
9.4.3	Pseudorange-Doppeldifferenzen	143
9.4.4	Fahrtverlauf	146
9.4.5	Gesamtfehler von CPOS und CGPS	146
9.4.6	Genauigkeit von CPOS	148
9.4.7	Genauigkeit von CGPS-CS	150
9.4.8	Genauigkeit von CGPS-IS	153
9.4.9	Mittelwerte von CPOS und CGPS	153
9.5	Zusammenfassung	156
10	Analyse von CPOS und Vergleich mit CGPS	159
10.1	Genauigkeit der berechneten GPS-Positionen	159
10.2	Synchronisierung von Car2X-Nachrichten	162
10.3	Strategie zur Auswahl eines Referenzsatelliten	163
10.4	Ursachen für fehlende Relativvektoren	166
10.5	Schwächen und Grenzen des Systems	167
10.6	Zusammenfassung	168
11	Fazit und Ausblick	169
A	UTC-Offsets	173