

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	5
2.1	Koordinatensysteme	5
2.2	Notation	6
2.3	Lagedarstellung	6
2.4	Strapdown-Algorithmus	7
2.5	Das Kalman-Filter	9
2.6	Der Least-Squares-Schätzer	12
3	<i>IndoorGuide</i> Hardware	15
3.1	Literatur: Sensoren in der Personal Navigation	15
3.2	Dual IMU Hardwarekonzept	18
3.3	Sensorik	19
3.3.1	Inertialsensorik	19
3.3.2	Magnetfeld-Kompass	22
3.3.3	GNSS Empfänger	22
3.3.4	Barometrischer Höhenmesser	22
3.3.5	UWB Messsystem	23
3.3.6	Laserentfernungsmesser	24
3.3.7	Navigationsplatinen für Torso und Fuß	25
3.3.8	Missionsrechner	25
3.3.9	Missionsüberwachung	27
3.4	Kalibration	27

3.4.1	Kalibration Inertialsensoren	27
3.4.2	Kalibration Magnetfeldsensoren	28
3.5	IMU Misalignment	33
4	Navigationssysteme	41
4.1	Literatur	41
4.2	Strategien zur Schritterkennung	44
4.2.1	Schritterkennung - Lokales Minimum(Torso)	44
4.2.2	Schritterkennung - Gleitende Varianz (Fuß)	46
4.3	Algorithmen Torsomontage	49
4.3.1	Torso Lagefilter	49
4.3.2	Verfahren zur Schrittlängenschätzung	54
4.3.3	Schrittlängenkalibration	56
4.3.4	Torso Navigationsfilter	57
4.4	Algorithmen Fußmontage	59
4.4.1	Navigationsfilter mit Strapdown	59
4.4.2	Das <i>Zero Velocity Update (ZUPT)</i>	60
4.4.3	Ergebnisse Fußmontage	61
4.5	Dual IMU Konzept	63
4.5.1	Konzept	63
4.5.2	Ergebnisse Dual-IMU Konzept	65
4.6	Fazit	65
5	Simulationsumgebung zur Personal Navigation	67
5.1	Der <i>Random Walk</i> Generator am Fuß	68
5.2	Navigationsfilter	70
5.3	Monte-Carlo-Simulationsumgebung	70
5.4	Simulationsergebnisse	72
5.5	Der <i>Random Walk</i> Generator am Torso	74
5.6	Fazit	74

6	Infrastrukturbasierte Lokalisierung	75
6.1	Methoden der Lokalisierung	76
6.1.1	Received Signal Strength Indicator (RSSI)	76
6.1.2	Angle of Arrival (AoA)	77
6.1.3	Time of Arrival (ToA)	77
6.1.4	Time Difference of Arrival (TDoA)	77
6.1.5	Dekorrelation von Messwerten	79
6.2	Positionierungsalgorithmen	81
6.2.1	Gauß-Newton-Verfahren	81
6.2.2	Levenberg-Marquardt-Verfahren	84
6.2.3	<i>Trust-Region-</i> und <i>Line-Search-Algorithmen</i>	84
6.2.4	Interior-Point-Algorithmus	84
6.2.5	Bancroft-Algorithmus	85
6.2.6	Vergleich der Positionierungsalgorithmen	88
6.3	Dilution of Precision (DOP)	90
6.4	Integration mit Inertialsystemen	91
6.4.1	Systemmodell des Navigationsfilters	92
6.4.2	<i>Loosely Coupled</i> Integration	93
6.4.3	Tightly Coupled Integration (TDoA)	94
6.4.4	Tightly Coupled Integration (ToA)	96
6.5	GNSS	99
6.5.1	GNSS Messgrößen und Fehlerquellen	99
6.5.2	GNSS/INS Integration	99
6.5.3	GNSS/INS Integration Ergebnisse	101
6.5.4	Fazit	105
6.6	<i>Ultra-Wide-Band</i> Funksystem	106
6.6.1	Literatur	106
6.6.2	UWB Funksystem	106
6.6.3	Tightly Coupled UWB/INS Navigationsfilter	108
6.6.4	Szenarien mit Ergebnissen	108

6.6.5	Fazit	112
7	Laser OrthoSLAM	117
7.1	SLAM-Methoden	117
7.2	Laserentfernungsmesser	119
7.3	Linienextraktion	119
7.3.1	Incremental Line Extraction	119
7.3.2	Split-And-Merge Algorithmen	119
7.3.3	Adaptive Line Extraction Algorithm	120
7.4	Datenassoziation	121
7.4.1	Datenassoziation Nearest-Neighbour	122
7.4.2	Datenassoziation: Maximum-Likelihood	122
7.4.3	Joint Compatibilty Branch and Bound	122
7.5	SLAM-Verfahren	123
7.5.1	EKF-SLAM	123
7.5.2	FastSLAM	125
7.5.3	Thin Junction Tree Filters	125
7.5.4	Square Root Smoothing and Mapping	125
7.5.5	Graphical SLAM	126
7.5.6	OrthoSLAM	126
7.6	Graphical OrthoSLAM in der <i>Personal Navigation</i>	128
7.6.1	Grundlagen von Graphical OrthoSLAM	129
7.6.2	Der Graph	131
7.6.3	<i>GraphicalSLAM</i> -Ablauf	131
7.6.4	Korrektur von Pitch- und Rollwinkel	132
7.6.5	Linienextraktion	132
7.6.6	Winkelschätzung	132
7.6.7	Linienrepräsentation	133
7.6.8	Definition des SLAM-Graphen	133
7.7	Verarbeitung der Messwerte	135

7.7.1	Datenassoziation	135
7.7.2	Relaxation des Graphen	136
7.8	<i>GraphicalSLAM</i> für orthogonale Linien	137
7.8.1	Merkmalsrepräsentation	137
7.8.2	Relaxation von Positionsknoten	137
7.8.3	Relaxation von Linienknoten	138
7.9	Ergebnisse GraphicalOrthoSLAM	141
7.10	Performance	141
7.11	Fazit	143
8	<i>Map Matching</i>	145
8.1	<i>Map Matching</i> in der Literatur	146
8.2	Partikel Filter	148
8.3	Kartenrepräsentation	150
8.4	Ablauf <i>Map Matching</i>	152
8.5	<i>Map Matching</i> in der Simulation	155
8.6	<i>Map Matching</i> mit realen Daten	156
8.7	Echtzeit-Implementierung	156
8.8	Fazit	158
9	Pfadplanung	159
9.1	Literaturübersicht Pfadplanung	159
9.2	Auswahl Pfadplanungsalgorithmus	160
9.3	Algorithmen zur Graphensuche	163
9.4	Ergebnisse Pfadplanung	164
9.5	Fazit	165
10	Realisierung des <i>IndoorGuide</i> als Echtzeit-System	167
10.1	Das Echtzeit-System <i>IndoorGuide</i>	167
10.2	<i>IndoorGuide</i> im realen Einsatz-Szenario	168
10.3	Fazit	174

11 Zusammenfassung**177****Literatur****181**