
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung und Beiträge	5
1.2	Annahmen	6
1.3	Gliederung	8
2	Drahtlose Sensor- und Sensor-Aktor-Netze	9
2.1	Die Sensornetz-Vision	9
2.1.1	Anwendungsszenarien	11
2.2	Komponenten und Besonderheiten eines WSANs	14
2.2.1	Besonderheiten der Kommunikation in WSANs	17
2.3	Hardware	19
2.4	Eigenschaften und Modelle des Drahtloskanals	20
2.4.1	Einflussfaktoren auf das drahtlos übertragene Signal	21
2.4.2	Abstraktionsgrad der Modellierung	22
2.4.3	Deterministische Large-Scale-Fading Modelle	25
2.4.4	Probabilistische Modelle	29
2.5	Modellierung der Empfangswahrscheinlichkeit	35
2.5.1	Modellierung des Empfangsprozesses	35
2.5.2	Capture-Wahrscheinlichkeit unter deterministischen Modellen	37
2.5.2.1	Free-Space	37
2.5.2.2	Two-Ray-Ground	38
2.5.2.3	Bewertung der deterministischen Modelle	38
2.5.3	Capture-Wahrscheinlichkeit unter probabilistischen Modellen	39

Inhaltsverzeichnis

2.5.3.1	Allgemeine Modellierung	39
2.5.3.2	Log-Normal Shadowing	41
2.5.3.3	Rayleigh	41
2.5.3.4	Rice	42
2.5.3.5	Nakagami-m	42
2.5.4	Fazit	43
2.6	Zusammenfassung	44
3	Adressierung und Routing in WSANs	45
3.1	Formen der Adressierung	45
3.1.1	Systemzentrische Adressierung	46
3.1.2	Lokationsbasierte Adressierung	46
3.1.3	Datenzentrische Adressierung	47
3.1.4	Adressierung von Funktionalität	48
3.1.5	Bewertung und Klassifikation	49
3.2	Adressierung von Systemen	50
3.3	Adressierung von Lokation	53
3.4	Adressierung von Daten	55
3.4.1	Abstraktion der datenzentrischen Adressierung	55
3.4.2	Adressen zur datenzentrischen Adressierung	55
3.4.3	Verfahren zur datenzentrischen Adressierung	57
3.5	Adressierung von Funktionalität	59
3.6	Zusammenfassung	60
4	Die ServiceCast-Adressierung	63
4.1	Modell eines dienstbasierten WSANs	64
4.1.1	Anwendungsszenario „Autonomes Gewächshaus“	64
4.1.2	Struktur eines dienstbasierten WSANs	68
4.2	Ziele und Anforderungen	69
4.3	Komponenten der ServiceCast-Adresse	74
4.3.1	Dienst-Bezeichner: Adressierung von Inhalten	75
4.3.2	Lokation: Beschränkung der Ziel-Region	77
4.3.3	Quantifikator: Anzahl der Instanzen	79

4.3.4	Instanz-Nummer: Auflösung von Mehrdeutigkeit	80
4.4	Verwendung der ServiceCast-Adressen	81
4.4.1	Kurzschreibweise und Klassifikation der Ausprägungen	82
4.4.2	Quell- und Ziel-Adressen	82
4.4.3	Semantik der Adressierung und Zustellung	83
4.4.3.1	Dienstbasierter Unicast zu bekannter Instanz-Nummer	84
4.4.3.2	Dienstbasierter Anycast	85
4.4.3.3	Dienstbasierter Broadcast	85
4.4.3.4	Dienstbasierter Somecast	86
4.5	Modellierung des Szenarios „Autonomes Gewächshaus“	86
4.6	Zusammenfassung	88
5	Die ServiceCast-Architektur	89
5.1	Struktur eines dienstbasierten ServiceCast-WSANs	89
5.2	Aufbau eines ServiceCast-Sensor-Aktor-Systems	91
5.2.1	Komponenten und deren Aufgaben	91
5.2.2	Zusammenspiel von dienstbasierter und lokationsbasierter Weiterleitung	93
5.2.3	Codierung der ServiceCast-Adresse	95
5.2.4	Die ServiceCast-Dateneinheit	96
5.3	Verwaltung lokaler Dienste	98
5.4	Die Transceiver-Übergabe-Komponente	99
5.4.1	TTL-Anpassung	99
5.4.2	Overhearing-ARQ und Detektion von Duplikaten	100
5.4.2.1	Detektion von Duplikaten	101
5.4.2.2	Overhearing-ARQ	101
5.4.3	Nachbarschaftsverwaltung	108
5.4.4	Pflege der Spur	109
5.5	Der Dispatcher	110
5.6	Die Nutzdaten-Übergabe-Komponente	114
5.7	Dienstbasierte Weiterleitung und dienstbasierter Routing-Dienst	115
5.7.1	Dienstbasierter Broadcast (Q_ALL)	115

Inhaltsverzeichnis

5.7.2	Dienstbasierter Unicast (Q_INST)	116
5.7.3	Dienstbasierter Anycast (Q_ANY)	120
5.7.3.1	Erreichbarkeit von Diensten	120
5.7.3.2	Routing-Tabelle	124
5.7.3.3	Signalisierung	126
5.7.3.4	Regionale Beschränkung des dienstbasierten Anycast	127
5.7.4	Dienstbasierter Somecast (Q_SOME)	129
5.7.4.1	Anforderungen	129
5.7.4.2	Realisierung des Somecast	130
5.7.4.3	Verteilte Konstruktion des Zufallsbaumes . . .	131
5.7.4.4	Nutzung des OARQ durch den Somecast . . .	138
5.7.4.5	Zusammenfassung des dienstbasierten Some- cast	140
5.8	Lokationsbasierte Weiterleitung und lokationsbasierter Routing- Dienst	140
5.8.1	Der verwendete Routing-Algorithmus	140
5.8.2	Signalisierung	143
5.9	Zusammenfassung	147
6	Realitätsnahe Simulation drahtloser Sensor-Aktor-Netze	151
6.1	WSAN-Erweiterungen für das Mobility Framework	152
6.1.1	Protokolle zum Medienzugriff in WSANs	153
6.1.1.1	Relevanz WSAN-spezifischer Medienzugriffspro- tokolle	153
6.1.1.2	S-Mac	154
6.1.1.3	B- und X-Mac	155
6.1.2	Kanalmodelle	156
6.1.2.1	Relevanz realistischer Kanalmodellierung . . .	156
6.1.2.2	Neu eingeführte Kanalmodelle	157
6.2	Methode zur Parametrisierung und Bewertung der Kanalmodelle	158
6.2.1	Verwandte Arbeiten	159
6.2.2	Parametrisierung von Kanalmodellen anhand der beob- achteten Empfangsrate	162

6.2.2.1	Die Empfangsrate als beobachtetes Phänomen	163
6.2.2.2	Erhebung der Datenbasis	164
6.2.2.3	Metrik zur Bewertung der Übereinstimmung zwischen empirischen Beobachtungen und Mo- dellvorhersage	165
6.2.3	Einfluss der Modellparameter auf die analytische Emp- fangswahrscheinlichkeit	166
6.2.3.1	Einfluss der Dämpfung L' und des Pfadverlust- Exponenten α auf die Empfangswahrschein- lichkeit	167
6.2.3.2	Einfluss der Streuparameter σ , m , k auf die Empfangswahrscheinlichkeit	168
6.2.3.3	Fazit	169
6.3	Feldversuch zur Parametrisierung und Bewertung der Kanal- modelle	171
6.3.1	Erhebung der Datenbasis	171
6.3.2	Ergebnisse der empirischen Datenerhebung	175
6.3.3	Abgleich zwischen Modellvorhersage und empirischer Empfangsrate	179
6.3.4	Parametrisierung und Bewertung der Kanalmodelle . .	180
6.3.5	Fazit	189
6.4	Einfluss des Kanalmodells auf Protokolle höherer Schichten . .	190
6.4.1	Algorithmus zur verteilten Wahl eines Koordinators . . .	191
6.4.2	Szenario und Parametrisierung	192
6.4.3	Bewertung	194
6.4.4	Fazit	197
6.5	Zusammenfassung	197
7	Leistungsbewertung	199
7.1	Randbedingungen und Definitionen	199
7.1.1	Konfiguration der Simulationsumgebung	200
7.1.2	Definition der untersuchten Messgrößen	201
7.1.3	Definition der veränderlichen Parameter	204
7.1.4	Dichte des Netzes und probabilistische Nachbarschaft .	205
7.1.5	Untersuchte Topologien	209

Inhaltsverzeichnis

7.2	Bewertung der Adressierungsmodi	213
7.2.1	Definition des Basis-Szenarios	213
7.2.2	Dienstbasierter Anycast (Q_ANY)	216
7.2.2.1	Effektivität der Routing-Metrik	216
7.2.2.2	Speicherbedarf	218
7.2.2.3	Overhead	219
7.2.2.4	Latenz	219
7.2.3	Dienstbasierter Somecast (Q_SOME)	220
7.2.3.1	Abdeckung	220
7.2.3.2	Aufwand zum Erreichen einer Abdeckung	232
7.2.3.3	Speicherbedarf	236
7.2.3.4	Overhead	236
7.2.3.5	Latenz	237
7.2.3.6	Fazit	237
7.2.4	Dienstbasierter Broadcast (Q_ALL)	238
7.2.4.1	Erreichte Abdeckung	238
7.2.4.2	Speicherbedarf	240
7.2.4.3	Overhead	240
7.2.4.4	Latenz	240
7.2.5	Dienstbasierter Unicast (Q_INST)	241
7.2.5.1	Auswirkungen duplizierter Instanz- Identifikatoren	242
7.2.5.2	Zustellrate der Antworten	243
7.2.6	Erreichen der Ziel-Region	244
7.2.6.1	Wahrscheinlichkeit für das Erreichen der Ziel-Region	245
7.2.6.2	Zustellrate des lokationsbeschränkten Anycast	245
7.2.6.3	Zustellrate der Antworten auf eine lokationsbeschränkte Anfrage	247
7.3	Bewertung im Szenario „Autonomes Gewächshaus“	248
7.3.1	Modellierung des Szenarios	248
7.3.2	Auswertung des Szenarios	253
7.3.2.1	Kommunikation während eines Regel-Zyklus	254

7.3.2.2	Erfolgsrate der Anfragen und Antworten	255
7.3.2.3	Datenaufkommen	259
7.3.2.4	Speicherbedarf	261
7.4	Zusammenfassung	262
8	Zusammenfassung und Ausblick	265
8.1	Ergebnisse dieser Arbeit	265
8.2	Ausblick und weiterführende Arbeiten	267
A	Notation	269
A.1	Überblick der verwendeten Notation	269
A.2	Überblick der Parameter der Kanalmodellierung und Parameter- schätzung	270
B	Bewertung der Dichte	271
C	Ergebnisse der Feldmessung	273
D	Weitere Ergebnisse zur Leistungsbewertung des Somecast	279
	Literaturverzeichnis	283
	Stichwortverzeichnis	294