

Energiemanagement Ethernet-basierter Fahrzeugnetze

Norbert Balbierer



Universitätsverlag Ilmenau

2018

Inhaltsverzeichnis

1	Effizienzsteigerung in der Automobilindustrie	1
1.1	Europas Klimapolitik	1
1.1.1	Vereinbarte Ziele	1
1.1.2	Rolle des Europäischen Straßenverkehrs	1
1.1.3	Auswirkungen auf die Automobilindustrie	3
1.2	Ansätze zur Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Emissionen	4
1.2.1	Optimierung an vielen Stellen	4
1.2.2	Der Wert eines Watts	6
2	Energiebedarf im Bordnetz	9
2.1	Die elektrische/elektronische Architektur eines Fahrzeugs	9
2.1.1	Funktionale Bereiche	10
2.1.2	Vernetzung im Automobil	11
2.1.3	AUTomotive Open System ARchitecture (AUTOSAR)	17
2.2	Energiebedarf der E/E-Architektur	18
2.2.1	Klassifikation von Steuergeräten	19
2.2.2	Abschätzung der Leistungsaufnahme	20
2.2.3	Einfluss auf Schadstoffemission und Verbrauch	21
2.2.4	Senkung des Leistungsbedarfs	21
3	Energy Efficient Ethernet im Bordnetz	23
3.1	Energieeffizientes Ethernet	23
3.2	Energiebedarf klassischer Bussysteme	25
3.2.1	Controller Area Network	25
3.2.2	FlexRay	26
3.2.3	Media Oriented Systems Transport	27
3.3	Energiebedarf von Ethernet	28
3.4	Energy Efficient Ethernet	30

3.5	Lohnt sich Energy Efficient Ethernet im Bordnetz?	33
3.5.1	Kriterien für die Wirksamkeit von EEE	34
3.5.2	Beispiele	34
3.5.3	Fazit	36
4	Abschalten vernetzter Steuergeräte	39
4.1	Teilnetzbetrieb – Entstehung und verwandte Arbeiten	39
4.2	Voraussetzungen für Teilnetzbetrieb	40
4.3	Netzwerkmanagement bei Fahrzeug-Bussystemen	42
4.3.1	Aufgaben des Netzwerkmanagements	42
4.3.2	Betriebszustände des Netzwerks und der Steuergeräte	43
4.3.3	AUTOSAR-Netzwerkmanagement	44
4.4	Teilnetzbetrieb bei AUTOSAR	50
4.5	Weckfähiger CAN-Bus	51
4.5.1	Busweites Wecken durch Busaktivität	52
4.5.2	Selektives Wecken bei CAN-Teilnetzbetrieb	52
5	Teilnetzbetrieb bei Ethernet	55
5.1	Voraussetzungen	55
5.2	Unterschiede zu CAN-Teilnetzbetrieb	55
5.3	Selektives Wecken von Ethernet-Steuergeräten	56
5.3.1	Weckleitung	56
5.3.2	Wake-on-LAN	57
5.3.3	Wake-on-Link	58
5.3.4	Wecken über Erkennung von Link-Aktivität	59
5.4	Überlegungen zur Koordination der Knoten und Teilnetze	63
5.4.1	Wer weckt wen?	64
5.4.2	Zentrales und dezentrales Netzwerkmanagement	64
6	Energy-Detect-Modul: Selektives Wecken über Ethernet	67
6.1	Weckempfänger für Basisband-Leitungssignale	68
6.2	Eigenschaften des Ethernet-Leitungssignals	69
6.2.1	100BASE-TX Fast Ethernet	71
6.2.2	1000BASE-T Gigabit Ethernet	72
6.2.3	100BASE-T1 Single Twisted Pair Ethernet	73
6.2.4	Signalanforderungen für das EDM	73

6.3	Aufbau und Schaltungskonzept	74
6.3.1	Architektur	74
6.3.2	Hochfrequenzschalter	74
6.3.3	Greinacher-Kaskade	75
6.3.4	Ausgangstreiber	76
6.3.5	Gleichtaktunterdrückung	77
6.4	Charakteristik des Weckempfängers	77
6.5	Systemintegration	78
6.6	Prototypische Realisierung	79
6.6.1	Test des Prototypen	80
6.6.2	Testergebnisse	82
6.7	Einsatz auf einem Teststeuergerät	84
6.8	Wertung	84
7	Zentral gesteuerte Umsetzung von Teilnetzbetrieb	87
7.1	Teilnetzbetrieb durch zentrales Netzwerkmanagement	87
7.2	Architektur	87
7.2.1	Simple Network Management Protocol	88
7.2.2	SNMP als Basis für zentralen Teilnetzbetrieb	89
7.3	Implementierung	90
7.3.1	Systemarchitektur	90
7.3.2	Switch	91
7.3.3	SNMP-Agent	92
7.3.4	Zentraler Manager	94
7.4	Demonstratoren	94
7.5	Zusammenfassung und Diskussion	96
7.5.1	Robustheit gegenüber Ausfällen und Paketverlusten	97
7.5.2	Zentrale Entscheidung über Steuergeräte-Zustände	97
7.5.3	Integrierbarkeit in heterogene Fahrzeugarchitektur	98
7.5.4	Fazit	98
8	Multinet: Eine verteilte Middleware zur Umsetzung von Teilnetzbetrieb	99
8.1	Übersicht	99
8.2	Multinet im Netzwerk	100
8.3	Zustandskoordination und nachbarweises Wecken	101
8.4	Wachhalten von Teilnetzen	102
8.4.1	Zyklische Keepalive-Botschaft	102

8.4.2	Arbitrierungsverfahren	104
8.4.3	Zykluszeit, Erkennungsfenster und TTL	105
8.4.4	Betrachtung der Netzwerklast	106
8.5	Aufwecken von Teilnetzen	107
8.6	Einschlafen von Teilnetzen	109
8.6.1	Problem der Netzseparation	109
8.6.2	Offline-Betrieb von Knoten	111
8.7	Zustandsdiagramm	111
8.8	Verhalten in Fehlerfällen	114
8.8.1	Verlust einer zyklischen Botschaft	114
8.8.2	Verlust einer asynchronen Botschaft	114
8.8.3	Linkverlust oder Ausfall	115
8.8.4	Irrtümliches Aufwachen	115
8.9	Partitionierung von Teilnetzen	115
8.9.1	Verteilung der Verantwortlichkeit	116
8.9.2	Granularität	117
8.9.3	Aufstellen der Teilnetztafel	119
8.10	Einfluss von Dienstgüte und Auslastung	119
8.10.1	Weiterleitung der <i>Keepalive</i> -Botschaften	119
8.10.2	Priorisierung	121
8.10.3	Bandbreitenreservierung	121
8.10.4	Zeitgesteuertes Netzwerk	122
8.10.5	Fazit	123
8.11	Multinet und AUTOSAR	123
8.12	Zusammenfassung	124
9	Implementierung von Multinet	125
9.1	Übersicht	125
9.2	Kernkomponente (Core)	126
9.2.1	Behandlung empfangener MPDUs	126
9.2.2	Behandlung von Timern	126
9.2.3	Behandlung von Aufrufen durch Anwendungen	127
9.2.4	Aktivierung und Deaktivierung von Teilnetzen	127
9.2.5	Zustandsautomat	128
9.3	Teilnetzverwaltung (Networks)	128
9.4	Timerverwaltung (Timers)	128

9.5	Netzwerkschnittstellen (Interfaces)	129
9.6	Kommunikationsmodul (Com)	130
9.7	Laufzeitumgebung (Runtime)	131
9.8	Anwendungsschnittstelle (API)	131
10	Simulation von Multinet	133
10.1	Übersicht	133
10.2	Das Simulationsframework OMNeT++	133
10.2.1	Modellierung von Netzwerken und Protokollen	134
10.2.2	Simulationen	135
10.2.3	Grafische Oberfläche	135
10.3	Einbindung von Multinet	135
10.3.1	Das OMNeT++-Modul MultinetNode	136
10.3.2	Konfiguration der Teilnetztafel	137
10.3.3	Simulierte Anforderung und Freigabe von Netzwerken	137
10.3.4	Visualisierung	138
10.4	Aufzeichnung und Darstellung von Daten	139
10.5	Simulationen	140
10.5.1	Anfordern und Freigeben eines Teilnetzes	140
10.5.2	Anforderung mit schlafendem Knoten B	143
10.5.3	Wachhalten durch mehrere Knoten gleichzeitig	145
10.5.4	Wecken eines größeren Teilnetzes	146
10.5.5	Zusammenwachsen zweier Teilnetze	147
10.5.6	Anfordern eines entfernten Teilnetzes	148
10.6	Zusammenfassung	148
11	Evaluation von Multinet im Testfahrzeug	151
11.1	Übersicht	151
11.2	Ziele und Anforderungen	151
11.3	Systemarchitektur des Testfahrzeugs	153
11.3.1	Integration von Ethernet	153
11.3.2	Gigabit-Ethernet-Modul	157
11.3.3	Verwendete Steuergeräte, Topologie und Simulation	160
11.3.4	Mechanischer Aufbau	162
11.4	Softwarearchitektur und Integration von Multinet	163
11.4.1	Client-Software und Anforderungsbedingungen	163
11.4.2	Wecken und Abschalten der CAN-Steuergeräte	166

11.4.3 Botschaftssimulation	167
11.4.4 Integration ins Netzwerkmanagement des Fahrzeugs	168
11.5 Datenaufzeichnung	169
11.6 Messfahrt von Regensburg nach Fürth	170
11.7 Vorstellung des Fahrzeugs	172
12 Zusammenfassung und Ausblick	173
A Simulationsdaten des Energy Detect Moduls	179
A.1 SPICE-Netzliste	179
A.2 Simulierter Schaltplan	181
B Definitionen der Multinet-Nachrichten	183
B.1 Query	183
B.2 Keepalive	184
B.3 Heartbeat	184
C Parametrierung der Multinet-Software	185
D Simulationsprotokolle	187
D.1 Wecken und Freigeben eines Teilnetzes	187
D.2 Wecken eines Teilnetzes bei schlafendem Verzweigungsknoten	188
D.3 Wachhalten durch mehrere Knoten gleichzeitig	189
D.4 Wecken eines größeren Teilnetzes	190
D.5 Zusammenwachsen zweier Teilnetze	191
D.6 Anfordern eines entfernten Teilnetzes	192
Literaturverzeichnis	193
Eigene Veröffentlichungen	201
Patente und Patentanmeldungen	203
Betreute studentische Arbeiten	205
Abbildungsverzeichnis	207
Tabellenverzeichnis	211
Abkürzungsverzeichnis	213