



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung - Anwendungen 2 - SS 12

Fabian Kempf

Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im
Automobil

Fabian Kempf

Thema der Ausarbeitung - Anwendungen 2 - SS 12

Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im Automobil

Stichworte

Echtzeit Ethernet, TTEthernet, Bussysteme, Automotive Anwendungen, Evaluation

Kurzzusammenfassung

Backbonesysteme im Automobil werden immer komplexer. Um die immer größer werdende Anzahl von elektronischen Steuereinheiten miteinander zu verknüpfen, ist eine Evaluierung von neuen Designentscheidungen notwendig.

In dieser Arbeit werden Paper vorgestellt, in denen es um die Evaluierung von Netzwerktopologien geht. Dabei wird auf das Mittel der Simulation und der analytischen Lösung eingegangen. Zudem wird anhand eines Benchmarks gezeigt, welche Anforderungen an ein Netzwerk gestellt werden und wie dies für zukünftige Topologien verbessert werden soll.

Betreuende Prüfer

Prof. Dr. Kai von Luck, Prof. Dr. Gunter Klemke

Betreuer

Prof. Dr. Franz Korf

Title of the paper

Evaluation of intelligent Backbonesystems in automobiles

Keywords

Real-time Ethernet, TTEthernet, Bussystems, Automotive Applications, Evaluation

Abstract

Backbonesystems in automobiles become more and more complex. An evaluation of new design decisions is essential to link the growing number of electrical control moduls. In this document, papers, which attend to deal with the evaluation of network topologies will be presented. In doing so reliability of simulation and analytic solutions are explained in detail. Furthermore it got revealed by means of a Benchmark, which demands are made of networks and how they could be improved for future topologies.

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einführung** **1**
- 1.1 Problemstellung 1

- 2 Verwandte Arbeiten** **2**
- 2.1 Ethernetbasierte Simulation 2
- 2.1.1 Voraussetzungen und Metriken 2
- 2.1.2 Kostenoptimierte Architektur 3
- 2.1.3 Performanceoptimierte Architektur 4
- 2.1.4 Daisy-Chain basierte Architektur 5
- 2.1.5 Ergebnisse der Ethernetsimulation 5
- 2.2 Worst-Case Analyse 6
- 2.2.1 Topologie 6
- 2.2.2 Ergebnisse der Worst-Case Analyse 7
- 2.3 Kommunikationsbenchmark 9
- 2.3.1 SAE Benchmark 9
- 2.3.2 PSA Benchmark 9
- 2.3.3 Benchmark aus heutiger Sicht 10

- 3 Abgrenzung und Fazit** **11**
- 3.1 Abgrenzung 11
- 3.2 Fazit 11

- Literaturverzeichnis** **12**

1 Einführung

Aufgrund der hohen Anzahl elektronischer Komponenten sind moderne Kraftfahrzeuge zu komplexen, verteilten Systemen herangewachsen. Diese dedizierten Kleincomputer, auch Steuergeräte genannt, von denen sich bis zu 70 in einem Automobil befinden, überwachen Funktionen des Fahrzeugs und unterstützen den Fahrer durch Assistenzsysteme (vgl. Saad (2003), S.03). Durch die unterschiedlichen Anforderungen im Fahrzeug, die sich von einfachen Schaltern bis hin zu sicherheitsrelevanten, bandbreitenintensiven Anwendungen erstrecken, gibt es für jeden Bereich verschiedene Bussysteme im Automobil. In Zukunft werden die Anzahl der Daten und die Größe der einzelnen Pakete noch weiter ansteigen. Allerdings werden Bandbreite und Zuverlässigkeit heutiger Bussysteme wegen der hohen Komplexität in Zukunft wohl nicht mehr ausreichen (Badstübner (2008)).

Somit ist man auf der Suche nach neuen Bussystemen, die als sichere Alternative im Automobilbackbone eingesetzt werden können und die ein garantiertes, deterministisches Nachrichtenverhalten tragen. Ethernet bezeichnet den am weitesten verbreiteten Standard für lokale Netze (vgl. Institute of Electrical and Electronics Engineers (2005)). Sowohl die technische Planung, als auch die Instandhaltung sind im Gegensatz zu anderen Bussystemen vergleichsweise kostengünstig (vgl. GE Fanuc Intelligent Platforms (2009)). Allerdings fehlt Ethernet das deterministische Verhalten. Diese Echtzeitfähigkeit erlangt Ethernet durch die Time-triggered Ethernet (TTE) (vgl. Steiner (2008)) Erweiterung, wodurch vorbestimmte Zeiten eingehalten werden können. Hierbei werden drei verschiedene Nachrichtenklassen definiert, die über das gleiche Netzwerk mit unterschiedlicher Priorität laufen (vgl. Mikolasek u. a. (2008)).

1.1 Problemstellung

Um das bisherige Backbone mit einem ethernetbasierten Netzwerk ersetzen zu können, müssen Designalternativen ausgearbeitet werden, die den neuen Backboneansatz zulassen. Dazu gilt es, neben einem flachen Netzwerk mit reinem Ethernetverkehr auch Topologien mit lokalen Gateways zu finden, über die ältere Bussysteme Anschluss finden. Anschließend bedarf es verschiedener Möglichkeiten eine Topologie zu evaluieren. Auf den folgenden Seiten wird die Evaluierung durch Simulation und die Evaluierung durch Analyse vorgestellt. Hierbei wird besonders auf die eingesetzten Topologien eingegangen, um diese in zukünftigen Arbeiten berücksichtigen zu können. Um solche Topologien überhaupt erstellen zu können, wird ein brauchbares Modell von Endgeräten und ihren Signalen benötigt. Dies kann in Form eines Benchmarks geschehen, in dem alles definiert wird, was für ein Netzwerk in Frage kommt.

2 Verwandte Arbeiten

Im folgenden Kapitel werden drei Möglichkeiten zur Evaluierung von Backbonesystemen im Automobil vorgestellt. Im ersten Paper wird mit Hilfe einer ethernetbasierten Simulation in der OMNeT++ Simulationsumgebung die Eignung des Ethernetprotokolls getestet. Hierbei soll festgestellt werden, inwiefern dieses erweitert werden muss, um sicherheitskritischen Datenverkehr zulassen zu können. Im zweiten Paper wird eine weitere Möglichkeit vorgestellt diese Eigenschaften zu evaluieren. Anhand einer Worst-Case Analyse findet eine Berechnung in einer automobiltypischen Topologie statt. Hiermit soll das End-to-End Delay errechnet werden und gezeigt werden, welche Möglichkeiten in einem Switched-Ethernet gegeben sind. Das dritte Paper handelt von der Modellerstellung, die als Grundlage zur Evaluierung durch Simulation oder Berechnung dient. Hierbei werden zwei bekannte Automotive Benchmarks überprüft und mit heutigen Standardkomponenten erweitert.

2.1 Ethernetbasierte Simulation

Mit einer ethernetbasierten Simulation beschäftigt sich die BMW Group aus München. Mit Hilfe der Simulationsumgebung OMNeT++ wird hier nach der Frage geforscht, inwieweit sich das Ethernetprotokoll dazu eignet, im Fahrzeug eingesetzt zu werden, und welche Veränderungen notwendig sind, um den sicherheitskritischen Anforderungen im Fahrzeug zu genügen. In dem Paper „Performance Evaluation of the Inter-Domain Communication in a Switched Ethernet Based In-Car Network“ (Lim u. a. (2011)), das 2011 auf der jährlichen IEEE Konferenz in Bonn vorgestellt wurde, findet ein Topologievergleich drei verschiedener Systemarchitekturen statt. Ziel hierbei ist, die performanteste Lösung zu finden und den Einfluss von Prioritäten zu messen.

Um den Traffic in den drei Netzwerkarchitekturen zu generieren, werden fünf Master Electronic Control Units (ECU) verwendet. Jede umfasst eine Anzahl an Generatoren und Senken, um Last im Netzwerk zu generieren. Der Aufbau der fünf ECUs ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

2.1.1 Voraussetzungen und Metriken

Die in dem Paper beschriebene Simulation beruht auf einem 100Base-TX Ethernet. Durch teure Abschirmung der Kabel und Anschlüsse stellt das Gigabit Ethernet keine Option dar. Dabei

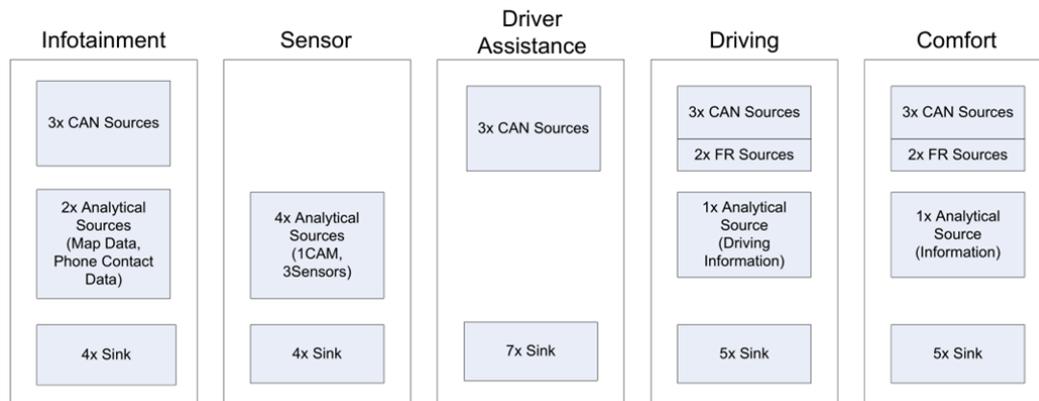


Abbildung 2.1: 5 Master Electronic Control Units (ECU) dienen zur Lastgenerierung.

bekommen die Switches eine Verarbeitungszeit von $3\mu s$ (Bruckmeier (2010)), wobei maximal 100 Pakete zwischengespeichert werden können. Um in den folgenden drei Netzwerktopologien eine Performanceevaluation durchführen zu können, wurden folgende Metriken aufgestellt:

- *End-to-End Delay:* Beschreibt die Zeit, die ein Paket von Source zu Sink benötigt
- *Packet Loss Rate (PLR):* Benennt die Rate, von gesendeten zu verlorenen Paketen
- *Throughput:* Bezeichnet die Linkauslastung zwischen zwei Switchen
- *Jitter:* Ist die Varianz, mit der ein Paket um das End-to-End Delay herum eintrifft

Diese Metriken wurden in einem Netzwerk mit und auch ohne Priorisierung gemessen, wobei die Linkauslastung durch zusätzlich erzeugten „cross-traffic“ erhöht wurde. Das maximale End-to-End Delay wurde dabei in zwei Anforderungen unterteilt. Harte Anforderungen sollen für kritische Applikationen wie Fahrerassistenzsysteme gelten und dürfen ein maximales End-to-End Delay von $100\mu s$ nicht überschreiten. Bei den weichen Anforderungen wurde das Delay auf $10ms$ definiert (Bruckmeier (2010)). In den folgenden Abschnitten findet eine Vorstellung der drei unterschiedlichen Architekturen statt.

2.1.2 Kostenoptimierte Architektur

Die erste Architektur zielt darauf ab, die Kosten durch wenige Knotenpunkte zu minimieren. Wie in Abbildung 2.2 zu sehen ist, werden die fünf ECUs an zwei Switches angeschlossen. An den ersten Switch werden der Infotainment Master und der Sensor Master gekoppelt. Sie setzen eine hohe Bandbreite voraus. Über den zweiten Switch werden der Driver Assistance

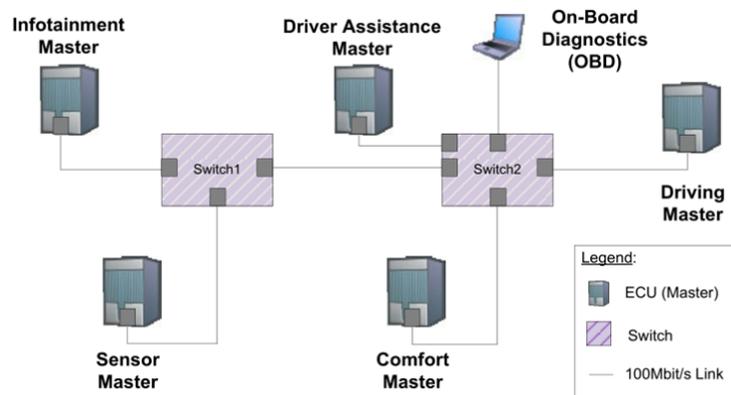


Abbildung 2.2: Die 5 Master ECUs werden an ein Backbone bestehend aus zwei Switchen angeschlossen. An Switch 1 werden die Geräte mit hoher Bandbreite und an Switch 2 die mit hoch priorisierten Kontrolldaten angeschlossen.

Master, der Driving Master und der Comfort Master an das Ethernetbackbone angeschlossen. Diese benötigen einerseits eine geringere Bandbreite als die Erstgenannten, haben andererseits jedoch Kontrolldaten, die möglichst in Echtzeit übertragen werden sollten.

2.1.3 Performanceoptimierte Architektur

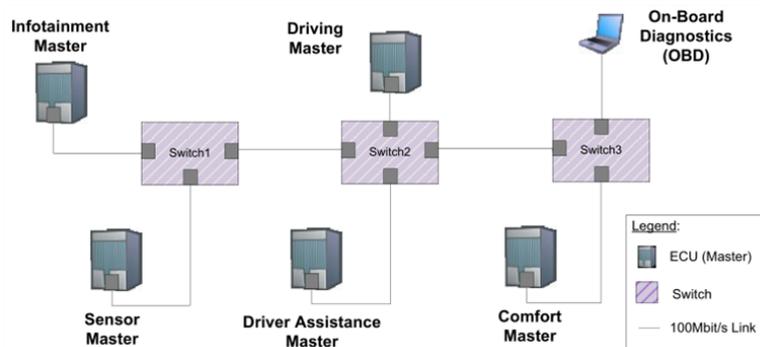


Abbildung 2.3: Ein Switch wird zwischen die beiden bereits vorhandenen Switche geschaltet, wodurch die Endgeräte mit hoch priorisiertem Datenverkehr nicht über die Links zwischen den Switchen kommunizieren müssen.

Um die Architektur performanter zu gestalten und die echtzeitfähigen Daten nicht zu verzögern, wird ein weiterer Switch dem vorigen Netzwerk hinzugefügt. Anschließend werden hier der Driving Master und der Driving Assistance Master angeschlossen, bei denen zusätzlich die

Daten mit der höchsten Priorität weitergeleitet werden. Wichtig hierbei ist, dass diese sicherheitskritischen Daten weniger stark verzögert werden. Abbildung 2.3 zeigt die Erweiterung des Netzwerkes.

2.1.4 Daisy-Chain basierte Architektur

In der dritten und letzten Topologie wird der Driving Master von dem Driver Assistance Master entkoppelt. Hierdurch wird dem System ein weiterer Switch hinzugefügt. Nun befindet sich jede ECU an einem eigenen Drei-Port-Switch. Diese Topologie kann genutzt werden um größere Strecken im Fahrzeug zurückzulegen. Allerdings müssen die sicherheitskritischen Daten nun über den Link zwischen Switch 2 und Switch 3 übertragen werden. Dieser ist durch den generierten Cross-Traffic ausgelastet. Zwar werden diese Daten priorisiert übertragen, jedoch können Pakete, die während einer Übertragung eintreffen, nicht sofort verschickt werden. Dadurch entsteht eine Verzögerung.

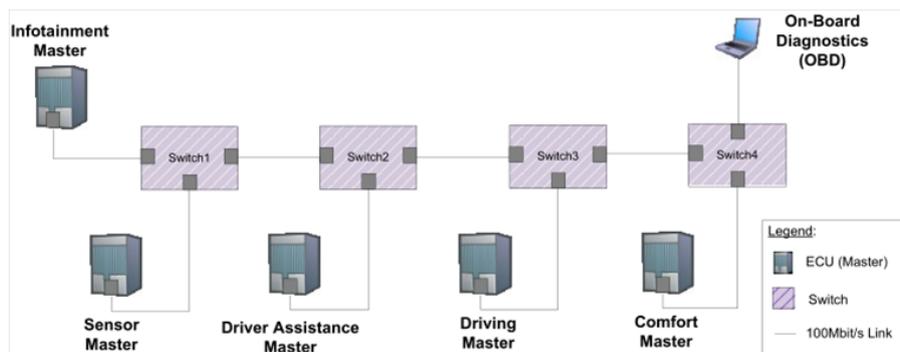


Abbildung 2.4: Der Driving Master wird vom Driver Assistance Master entkoppelt, wodurch die sicherheitskritischen Daten nun über einen mit Cross-Traffic belasteten Link übertragen werden müssen.

2.1.5 Ergebnisse der Ethernetsimulation

Die Ergebnisse der Simulation und des Papers zeigen, dass die weichen Anforderungen mit einem End-to-End Delay unter $10ms$ von allen Nachrichten, unabhängig von der Topologie erfüllt werden. Die harten Anforderungen von $100\mu s$ werden von Nachrichten, die über einen Hop ihr Ziel erreichen, zu 99 % eingehalten. Diese Rate sinkt auf 97 %, sobald über zwei Hops übertragen wird. Somit müssen weitere Mechanismen gefunden werden, die Applikationen, welche derartig harte Anforderungen benötigen, zu unterstützen. Durch die Priorisierung konnten Paketverluste, die zuvor auftraten, beseitigt werden. Zudem wurde das End-to-End Delay bei

höher priorisierten verringert. Die beste Performance, bezogen auf das End-to-End Delay und die Paketverlustrate, wurde in der ersten Topologie mit zwei Switchen gemacht. Ohne Priorisierung konnte die Linkauslastung auf 50 % erhöht werden. Außerdem traten keine Paketverluste auf. Bis zu einer Erhöhung auf 80 %, was einem Cross-Traffic von 88Mbit/s entspricht, kann das maximale End-to-End Delay von 10ms für alle Pakete garantiert werden.

2.2 Worst-Case Analyse

In dem zweiten Paper „Network Calculus for the Validation of Automotive Ethernet in-Vehicle Network Configurations“ (Manderscheid und Langer (2011)), das an dem Fraunhofer Institut 2011 veröffentlicht wurde, geht es um eine Worst-Case Analyse in einem Fahrzeugnetzwerk. Worst-Case Analyse bedeutet in diesem Fall, dass alle Endsysteme zum gleichen Zeitpunkt beginnen, ihre periodischen Signale zu übertragen. Somit entstehen größtmögliche Warteschlangen in den Switchen, was zu einem Worst-Case Delay für jedes Signal führt. Dies ist eine sehr pessimistische Ansicht, weil es in einem realen Netzwerk durch unterschiedliche Zyklen der Systeme nicht zu dieser Verzögerung kommen kann. Allerdings kann eine Berechnung des Worst-Case Delays im Gegensatz zu einer Simulation wesentlich schneller berechnet werden, was für erste Ergebnisse von Vorteil ist. Dabei wurde der Ansatz aus Georges u. a. (2005) gewählt, weil es sich hier um ein Worst-Case Modell handelt, das Priorisierung unterstützt und beliebige Topologien zulässt.

2.2.1 Topologie

Die hier verwendete Topologie wurde so gewählt, dass sie die Grenzen von Ethernet im Automobil aufzeigt, dabei jedoch elektronische Funktionen aus heutigen Fahrzeugen verwendet und somit realitätsnah ist. Auch hier wurde die „Double Star Topologie“ mit zwei Switchen, die über einen 100Mbit/s Ethernetlink miteinander verbunden sind, gewählt. Als ECUs wurden hauptsächlich Infotainmentsysteme genutzt, die eine große Bandbreite benötigen. Als Fahrerassistenzsysteme sind hier die „Control Data Unit“, die Signale an die „Control Unit“ versendet und die „Rearview Camera“ zu nennen. Diese beiden haben eine höhere Anforderung an das maximale End-to-End Delay, weil es sich hierbei um sicherheitskritische Signale handelt. Die Anforderungen an das maximale End-to-End Delay sind bei den Infotainmentsystemen 150ms , bei der Rearview Head Unit 45ms und bei den Kontrolldaten 10ms . Abbildung 2.5 zeigt die beschriebene Topologie.

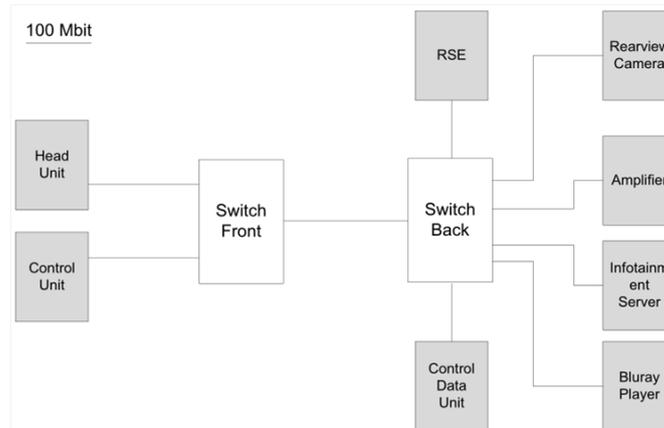


Abbildung 2.5: Die „Double Star Topologie“ mit zwei Switchen verbindet die Endsysteme miteinander. Sie dient als Grundlage für die Worst-Case Analyse.

2.2.2 Ergebnisse der Worst-Case Analyse

In dem Paper wurden neun verschiedene Kommunikationsfunktionen definiert, die in der Worst-Case Analyse ausgewertet wurden. Ziel dabei war, eine möglichst hohe Linkauslastung zwischen den beiden Switchen zu generieren und anschließend das Worst-Case Delay zu berechnen. Abbildung 2.6 zeigt diese Linkauslastung. Die Bandbreite, die dabei verursacht wird, liegt bei 84% von den erreichbaren $100\text{Mbit}/s$ und reizt das Netzwerk damit fast aus. Den größten Teil nimmt dabei das Infotainment System, zudem die Daten des BluRay Players und des Infotainment Servers gehören, mit $59.09\text{Mbit}/s$ ein. Die Rearviewkamera beansprucht als Fahrerassistenzsystem mit $24.85\text{Mbit}/s$ ebenfalls einen großen Teil der Bandbreite beansprucht. Wichtiger als die Linkauslastung ist jedoch das berechnete Worst-Case Delay. Tabelle 2.1 zeigt das berechnete Worst-Case Delay für die definierten Funktionen. Dabei ist die Anforderung an die Control Data mit maximal 10ms weit unterschritten. Auch die Rearviewkamera, die Daten an die Head Unit sendet, erfüllt mit 9.167ms die Anforderung von 45ms . Wenn man diese Daten jedoch mit der Simulation aus Lim u. a. (2011) vergleicht, fällt auf, dass diese dreimal größer ausfallen. Dies liegt jedoch daran, dass in der Simulation Durchschnittswerte berechnet wurden und die Framegröße zwischen 10 und $24\text{Mbit}/s$ variierte, während hier durchgehend $24\text{Mbit}/s$ genutzt wurden. Die restlichen Delays liegen alle unter den erforderlichen 150ms ,

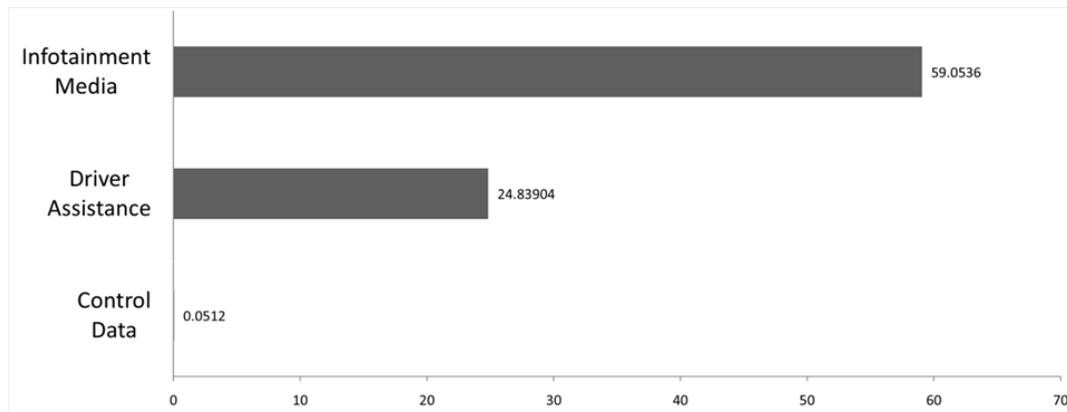


Abbildung 2.6: Die berechnete Linkauslastung zwischen den beiden verbundenen Switchen liegt bei 84 Prozent. Davon benötigen die Infotainment Daten (NaviHU, Blu-RayHU, ISHU) 59.05, die Fahrerassistenzfunktionen (RearviewHU) 24.85 und die Controlapplikation 0.05 Prozent der vorhandenen Bandbreite.

Function Name	Assigned Queue [0..3]	Worst Case Delay [ms]
ControlData	3	0.134
RearviewHU	2	9.167
BluRayHU	1	60.569
BluRayRSE	1	30.111
ISHU	1	52.995
ISRSE	1	22.616
ISamp	1	0.363
BluRayAmp	1	0.480
NaviHU	1	46.109

Tabelle 2.1: Berechnetes Worst-Case Delay für die jeweilige Funktion

Für zukünftige Arbeiten wird eine Beachtung der Switchverarbeitungszeit und die Kalkulation von Anforderungen an die Buffergrößen vorgesehen, die in diesem Paper außer Acht gelassen wurden. Es konnte gezeigt werden, dass sich eine Worst-Case Analyse dazu eignet, schnell und kostengünstig Netzwerke zu evaluieren. Hierbei kommt es wie bei jeder Evaluierung auf die Beschreibung des Traffics an. Im folgenden Paper soll gezeigt werden, wie ein Benchmark für Automobilnetzwerke aussehen kann, damit Vergleiche zwischen verschiedenen Evaluationsmethoden gezogen werden können.

2.3 Kommunikationsbenchmark

1993 wurde von der Society of Automotive Engineers (SAE) ein Dokument veröffentlicht, das die Anforderungen an ein Fahrzeugnetzwerk mit Punkt-zu-Punkt Verbindungen aufzeigt (Lupini (2004)). Dieses Dokument wurde als Basis für alle weiteren Projekte, die sich mit der Erstellung von Benchmarks für Automobilnetzwerke befassen, genutzt. Der PSA Benchmark wurde 1997 veröffentlicht und spiegelt das CAN-Netzwerk in einem Peugeot Citroen wider.

Diese beiden Benchmarks zeigen jedoch nicht die heutige Komplexität im Automotive Kontext. Somit wurde von der Universität in Detroit (USA) 2010 das Paper „Development of an Automotive Communication Benchmark“ (Utayba Mohammad (2010)) veröffentlicht. Hier werden der SAE und der PSA Benchmark überprüft, durch heutige Funktionen erweitert und anschließend in einer CAN Umgebung validiert. Dies geschieht, um zu zeigen, ob der Benchmark die modernen Anforderungen an die Fahrzeugkommunikation erfüllt.

2.3.1 SAE Benchmark

Society of Automotive Engineers hat drei verschiedene Klassen von Kommunikationsprotokollen beschrieben. Zur Klasse A gehören Low Speed Protokolle mit einer Datenrate bis zu $10Kbps$ und einer Messagerate von $100ms$. Klasse B Protokolle unterstützen eine Bitrate von 10 bis $125Kbps$ bei $20ms$, Klasse C Protokolle eine Bitrate von $125Kbps$ bis $1Mbps$. Der SAE Benchmark definiert sechs Module in einem Klasse C Netzwerk. Den Vehicle Controller, den Motor Controller, die Transmission, die Battery und das Driver Interface. Zwischen diesen Modulen wurden 53 Signale definiert, die periodisch oder sporadisch auftreten können und eine Bandbreite von $23.48Kbps$ verursachen. Die Latencyanforderungen wurden auf $20ms$ definiert, sodass Nachrichten nicht mehr als $20ms$ von Ende zu Ende verzögert werden dürfen.

2.3.2 PSA Benchmark

Der PSA Benchmark benötigt mit $18.88Kbps$ eine geringere Bandbreite als der SAE Benchmark und hat weniger detaillierte Signale. Allerdings handelt es sich hierbei um ein Netzwerk mit zwei Protokollen. Zum einen gibt es 5 Module an einem High-Speed CAN-Bus, über den 12 Nachrichten übertragen werden und zum anderen einen Low-Speed VAN-Bus mit 3 Kontrollmodulen. Diese sind über eine als Brücke fungierende „Intelligent Switching Unit“, miteinander verbunden. Insgesamt fehlt es beiden Benchmarks somit an fehlender Komplexität aus heutiger Sicht. Funktionen, die es damals noch nicht gab, wurden nämlich nicht umgesetzt.

2.3.3 Benchmark aus heutiger Sicht

Um einen modernen Benchmark zu erstellen, wurden in dem Paper die beiden Benchmarks zusammengeführt und mit neuen Funktionen erweitert. Diese beinhalten Sicherheitsfunktionen wie ein Antiblockiersystem und Fahrerassistenzfunktionen. Zusammengefasst sehen die hinzugefügten Funktionen wie folgt aus:

- 8 Nachrichten für ein Aktives Federsystem
- 5 Nachrichten für die Servolenkung
- 6 Nachrichten für das Antiblockiersystem
- 3 Nachrichten für eine Antriebsschlupfregelung
- 6 Nachrichten für das ESP
- 3 Nachrichten für einen Abstandsregeltempomaten

Somit umfasst der finale Benchmark 84 Signale. Da es sich immer noch um einen Klasse-C-Protokoll Benchmark handelt, ist es notwendig, dass eine Validation in einem solchen Netzwerk stattfindet. Dazu wurde eine Deadlineberechnung in einem CAN-basierten Netzwerk durchgeführt, wobei drei verschiedene Busgeschwindigkeiten gewählt wurden (250, 500 und 1000 *Kbps*). Das Ergebnis ist, dass niedriger priorisierte Nachrichten die Anforderungen von 20ms auf dem langsamsten Bus nicht erfüllen. Auf den schnelleren Bussen wurden jedoch alle Frames rechtzeitig übertragen.

3 Abgrenzung und Fazit

In diesem Kapitel soll besprochen werden, inwieweit sich das eigene Vorgehen von den beschriebenen Verfahren unterscheidet und was dies für die eigene Arbeit bedeutet.

3.1 Abgrenzung

Bei Lim u. a. (2011) wurde gezeigt, dass sich Ethernet prinzipiell als Backbone im Automobil eignet. Hierzu ist es allerdings notwendig das Protokoll für deterministische Übertragung zu erweitern. TTEthernet bietet eine solche Erweiterung. Durch die drei verschiedenen Trafficarten ist es möglich das Ethernetprotokoll durch eine skalierbare und echtzeitfähige Erweiterung zu ergänzen. Die Simulation von TTEthernet erfolgt ebenfalls in der OMNeT++ Simulationsumgebung. Dabei werden ähnlich zu dem hier vorgestellten Benchmark von Utayba Mohammad (2010) Daten aufgearbeitet, wodurch eigene Anforderungen an ein Fahrzeugbackbone sichtbar werden. Ziel ist die Erstellung eines realistischeren Designs, das bandbreitenintensive und zudem sicherheitskritische Endsyste, wie Kameras, beinhaltet. Diese wurden nämlich nicht als eigene Funktionen erwähnt. Anschließend werden die in dieser Arbeit vorgestellten Topologien mit dem eigenen Benchmark in der Simulation durchgeführt und evaluiert. Mit der Worst-Case Analyse wurde gezeigt, dass es verschiedene Wege gibt ein Netzwerk zu evaluieren. Dabei gilt es zu prüfen, ob eine Worst-Case Delay Analyse in einem Netzwerk mit TTEthernet berechnet werden kann.

3.2 Fazit

Diese Literaturrecherche hat neue Ideen bezüglich des Themas „Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im Automobil“ hervorgebracht. Diese können teilweise in den Projekten zur Masterarbeit eingesetzt werden, um die Evaluierung zu verbessern. Bisher lag der Schwerpunkt auf der Simulation von TTEthernet in OMNeT++ und der Erstellung eines realistischen Fahrzeugdesigns. Dieser wird nun durch die Recherche nach analytischen Berechnungen erweitert. Zudem geben die hier gezeigten Paper einen Einblick in die Realisierung von Fahrzeugnetzwerken und welche Funktionen in einem Fahrzeug auftreten. Sie zeigen aber auch, dass die Evaluierung von realistischen, modernen Backbonesystemen im Automobil noch nicht abgeschlossen ist.

Literaturverzeichnis

- [Badstübner 2008] BADSTÜBNER, Jens: Kollaps im Bordnetz: Schluss mit Can, Lin und Flexray. In: *KFZ-Betrieb* (2008), Nr. 17, S. 68–70
- [Bruckmeier 2010] BRUCKMEIER, Robert: *Ethernet for Automotive Applications*. Vortrag. Juni 2010. – URL http://www.freescale.com/files/ftf_2010/Americas/WBnr_FTF10_AUT_F0558.pdf. – Zugriffsdatum: 2010-12-10
- [GE Fanuc Intelligent Platforms 2009] GE FANUC INTELLIGENT PLATFORMS: *TTEthernet - A Powerful Network Solution for Advanced Integrated Systems*. August 2009. – URL <http://www.ge-ip.com/library/detail/12014>. – Zugriffsdatum: 2011-01-18. – GFT-751
- [Georges u. a. 2005] GEORGES, Jean-Philippe ; DIVOUX, Thierry ; RONDEAU, Eric: Strict Priority versus Weighted Fair Queueing in Switched Ethernet Networks for Time Critical Applications. In: *Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05) - Workshop 2 - Volume 03*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005 (IPDPS '05), S. 141–. – URL <http://dx.doi.org/10.1109/IPDPS.2005.413>. – ISBN 0-7695-2312-9
- [Institute of Electrical and Electronics Engineers 2005] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (Hrsg.): *IEEE 802.3: LAN/MAN CSMA/CD Access Method*. Bd. IEEE 802.3-2005. IEEE, 2005
- [Lim u. a. 2011] LIM, Hyung-Taek ; KREBS, B. ; VOLKER, L. ; ZÄHRER, P.: Performance evaluation of the inter-domain communication in a switched Ethernet based in-car network. In: *Local Computer Networks (LCN), 2011 IEEE 36th Conference on*, oct. 2011, S. 101 –108. – ISSN 0742-1303
- [Lupini 2004] LUPINI, C.A.: *Vehicle Multiplex Communication: Serial Data Networking Applied to Vehicular Engineering*. SAE International, 2004. – URL <http://books.google.de/books?id=FrCgdLdeVasC>. – ISBN 9780768012187
- [Manderscheid und Langer 2011] MANDERSCHIED, Martin ; LANGER, Falk: Network Calculus for the Validation of Automotive Ethernet In-vehicle Network Configurations. In: *Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, International Conference on 0* (2011), S. 206–211. ISBN 978-0-7695-4557-8

- [Mikolasek u. a. 2008] MIKOLASEK, V. ; ADEMAJ, A. ; RACEK, S.: Segmentation of standard Ethernet messages in the Time-Triggered Ethernet. In: *Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008. IEEE International Conference on*, September 2008, S. 392–399
- [Saad 2003] SAAD, Alexandre: *Das Automobil als Anwendungsgebiet der Informatik - ein Auto ohne Informatik geht das?* 2003. – URL <http://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings32/GI-Proceedings.32-4.pdf>. – Zugriffsdatum: 2012-02-27
- [Steiner 2008] STEINER, Wilfried: *TTEthernet Specification*. TTTech Computertechnik AG. November 2008. – URL <http://www.tttech.com>
- [Utayba Mohammad 2010] UTAYBA MOHAMMAD, Ph.D.: Development of An Automotive Communication Benchmark. In: *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering - 1(5)*. Washington, DC, USA : AM Publishers Corporation Canada, 2010, S. 199–115. – URL <http://www.ampublisher.com/September%202010/>. – ISSN 1923-0540