



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung - Seminar - WiSe 12/13

Fabian Kempf

Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im
Automobil

Fabian Kempf

Thema der Ausarbeitung - Seminar - WiSe 12/13

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 intelligent miteinander zu verknüpfen, ist eine Evaluierung neuer Designentscheidungen notwendig. Diese Arbeit dient dazu, die Anforderungen und Vorarbeiten bezüglich der folgenden Masterarbeit zusammenzufassen, die angestrebten Ziele zu verdeutlichen und verbliebene Risiken vorzustellen.

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

Backbonessystems in automobiles become more and more complex. An evaluation of new design decisions is essential to link the growing number of electrical control moduls. This review attends to summarize requirements and preliminary work regarding the following master thesis, to clarify the intended aims and to present the remaining risks.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Problemstellung	1
1.3	Abgrenzung	2
2	Anforderungen und Vorarbeiten	3
2.1	Related Work	3
2.2	Simulation	3
2.3	Datenerhebung und Klassifizierung	4
2.4	Designalternativen	5
2.5	Toolchain	7
2.6	Metriken	8
3	Ausblick	9
3.1	Auswirkung von Fahrerassistenzfunktionen	9
3.2	Risiken	9
4	Zusammenfassung	11
	Literaturverzeichnis	12

1 Einführung

1.1 Motivation

Aufgrund der großen 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. Künftig werden die Anzahl der Daten und die Größe der einzelnen Pakete noch weiter ansteigen. Allerdings reichen Bandbreite und Zuverlässigkeit heutiger Bussysteme wegen der hohen Komplexität in Zukunft wohl nicht mehr aus (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. Um dieses Kriterium der Echtzeitfähigkeit zu erlangen, können durch die Time-triggered Ethernet (TTE) (vgl. Steiner (2008)) Erweiterungen vorgegeben und eingehalten werden. Dabei werden drei unterschiedliche Nachrichtenklassen definiert, die über das gleiche Netzwerk mit unterschiedlicher Priorität laufen (vgl. Mikolasek u. a. (2008)).

1.2 Problemstellung

Um die bisherige Netzwerkstruktur in einem Automobil mit einem ethernetbasierten Backbone ersetzen zu können, werden in dieser Arbeit verschiedene Teilaspekte aufgezeigt, die nötig sind, um Netzwerke erfolgreich mit Hilfe einer Simulation zu evaluieren. Anschließend wird der Fragestellung, inwieweit Fahrerassistenzsysteme sich auf das Design in zukünftigen Automobilbackbones auswirken, nachgegangen.

Im Folgenden werden die benötigten Aufgaben erläutert:

Realistisches Datendesign: Die gesteigerten Anforderungen an ein Fahrzeug finden sich in einer Vielzahl von elektronischen Komponenten wieder. Dabei stellt sich die Frage, wie das Design eines modernen Fahrzeugs aussieht. Die genaue Anzahl der Komponenten, wie sie miteinander verbunden sind und mit welchen Nachrichten sie kommunizieren, ist dabei entscheidend für den Erfolg einer realistischen Evaluierung.

Abstrakte Designalternativen: Das realistische Datendesign soll in eine einheitliche, abstrakte Form gebracht werden und als Benchmark für verschiedene Bussysteme dienen. Um dies zu erreichen, findet eine Klassifizierung von Endgeräten statt. Dabei wird jedes Gerät durch ein generalisiertes Endsystem ersetzt, das erhöhte Last im Netzwerk erzeugt und dabei hilft, das Modell allgemeiner zu gestalten.

Simulationserstellung: Um eine Vielzahl von Topologien, die das abstrahierte Datendesign unterstützen, zu simulieren, ist es notwendig, die Simulationserstellung halbwegs zu automatisieren. Dabei sind die Nachrichten, die ein Endsystem zu mehreren anderen Endsystemen verschickt, bei jeder Simulation gleich. Die Endgeräte werden allerdings über verschiedene Topologien miteinander verbunden, simuliert und ausgewertet. Das Scheduling, das notwendig ist, damit es zu keiner Überlappung der vordefinierten Fenster der Time Triggered Nachrichten kommt, kann in verschiedenen Variationen evaluiert werden. Dieses Teilproblem wird in einer weiteren Arbeit von Jan Kamieth beschrieben.

Metriken zur Evaluation: Metriken zur Evaluation sind in diesem Kontext Kennzahlen, die aufzeigen, wie gut verschiedene Topologien beziehungsweise Schedulingvarianten für das erarbeitete Design funktionieren. In Kapitel 2.6 werden die wichtigsten Metriken vorgestellt, die eine Evaluation simulierter Ethernetnetzwerke zulassen.

1.3 Abgrenzung

Diese Arbeit soll zum Thema der Masterarbeit hinführen. Folgende Punkte werden dabei beziehungsweise abgegrenzt:

Kein vollständiges Design: Das hier vorgestellte Design dient dazu, einen Überblick über die Vorgehensweise zu erlangen und darzustellen, welche Probleme dabei auftreten. Auch wenn es die Realität schon annähernd abbildet, sind noch weitere Recherchearbeiten notwendig. Zudem wurde noch nicht spezifiziert, wie die Nachrichten der generalisierten Endsysteme aufgeteilt werden, wodurch eine Simulation noch nicht möglich ist.

Keine Schedulingvarianten: Die Schedulingvarianten, die notwendig sind, um die Fenster der Time-Triggered Nachrichten festzulegen, werden von Jan Kamieth erarbeitet. Ziel ist es, später ein Scheduling zu nutzen und verschiedene Topologien zu evaluieren.

2 Anforderungen und Vorarbeiten

2.1 Related Work

In „Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im Automobil - Related Work“ (vgl. Kempf (2012)) wurden verschiedene Arbeiten vorgestellt, die sich mit der Evaluation von Ethernetnetzwerken beschäftigen. Neben einer analytischen Methode durch eine Worst-Case Analyse wurde insbesondere auf die ethernetbasierte Simulation eingegangen, um die Teilaspekte, die bei einer Simulation notwendig sind, aufzuzeigen. Insbesondere sind dabei die Topologie und die Metriken, die es zu messen gilt, ausgearbeitet worden, um sie in der noch folgenden Masterarbeit verwenden zu können. Da es sich bis zu diesem Zeitpunkt um wenig aussagekräftige Netzwerktopologien handelt, ging die Recherche vertiefend in Richtung Kommunikationsbenchmarks.

Bei der Recherche zur Evaluation von Backbonesystemen wurde schnell klar, dass es schwierig ist, umfangreiche Modelle zu erarbeiten, die eine Grundlage zur Analyse verschiedener Methoden ermöglicht, weil keiner der gefundenen Benchmarks die Komplexität heutiger Anwendungen im Automobil widerspiegeln konnte. Jedoch weisen die vorgestellten Arbeiten eine Richtung auf, an der sich orientiert werden kann.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich kaum Evaluation von zeitgesteuerten, komplexen Ethernetnetzwerken finden lässt. Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass es ähnliche Ansätze mit Ethernet gibt, und diese mit verschiedenen Analysemethoden evaluiert wurden. Die Masterarbeit soll sich somit durch ein umfangreiches, abstraktes Fahrzeugdesign, eine große Anzahl von Metriken und die Evaluation durch Simulation abgrenzen.

2.2 Simulation

Das Simulationsmodell von Time-Triggered Ethernet (TT-Ethernet) wurde bereits von Till Steinbach (vgl. Steinbach (2011)) in OMNeT++ umgesetzt, evaluiert und verifiziert, wobei der Rate-Constrained Traffic in einer weiteren Arbeit später hinzugefügt wurde (vgl. Kempf (2011)). Zurzeit wird sich in weiteren Arbeiten mit der Erweiterung durch die Synchronisierung der Endsysteme und ein Interface, an das reale Hardware angeschlossen werden kann, beschäftigt. Zudem wird das FlexRay- und das CAN-Bus-Protokoll in OMNeT++ umgesetzt und

über Gateways mit TT-Ethernet simuliert, so dass ein Fahrzeugnetzwerk über verschiedene Protokollebenen hinweg evaluiert werden kann.

Um die Evaluierung nach Abschluss aller Arbeiten zu starten, gilt es Informationen, die benötigt werden, auszuarbeiten und als Simulationsanforderungen festzuhalten. Als wichtigste Anforderung sei hier die Netzwerktopologie genannt. Dazu gehören neben der Festlegung der Netzwerkgeschwindigkeit die Anzahl der Geräte, wie diese über Switches verbunden sind und die Länge dieser Verbindungen. Ist die Netzwerktopologie geklärt, müssen Nachrichten definiert werden. Die Nachrichten gehen von einem Sender zu mehreren Empfängern und werden in Time-Triggered Ethernet auf Virtual Links abgebildet. Dazu benötigen sie eine festgelegte Framegröße und eine Periode, die besagt, wie häufig die Nachricht in einem definierten Zyklus gesendet wird. Aus diesen beiden Parametern lässt sich die benötigte Bandbreite einer einzelnen Nachricht errechnen. Als zusätzliche Anforderung wird die Latenz benötigt. Diese ist für das Scheduling wichtig, damit TT-Nachrichten in einer bestimmten Zeit den Empfänger erreichen. Weitere Simulationseigenschaften wie Synchronisationsjitter und Backgroundtraffic durch Best-Effort Verkehr werden als Parameter in die Simulation gegeben.

Die Topologie und die Nachrichten sollen aus einem realistischen, klassifizierten Design abgeleitet werden. Das folgende Kapitel 2.3 zeigt die Vorgehensweise für die Zusammenführung und Klassifizierung realistischer Daten.

2.3 Datenerhebung und Klassifizierung

In der Literaturrecherche hat die Arbeit der Society of Automotive Engineers ein Dokument veröffentlicht, das die Anforderungen an ein Fahrzeugnetzwerk mit Punkt-zu-Punkt Verbindungen aufzeigt (vgl. Lupini (2004)). An der Universität in Detroit wurde der Benchmark um zahlreiche Funktionen erweitert und in einer CAN Umgebung validiert (vgl. Utayba Mohammad (2010)). Aus heutiger Sicht sind die Anforderungen an ein Fahrzeugnetzwerk gestiegen. Leider bieten im Gebiet der Driver Assistance Anwendungen – wie Kameras –, deren Daten in Echtzeit übertragen werden sollen, die gezeigten Arbeiten keine Erkenntnisse. Durch die weitere Anreicherung durch zusätzliche Paper, verschiedene Bücher und Expertengespräche konnte die Anzahl der Nachrichten auf über 90 erhöht werden. Dabei werden von den 28 Endgeräten eine gesamte Bandbreite von über 16000 KByte/s erreicht. Dieses Modell wird jedoch noch erweitert.

Damit die Daten einen Benchmark darstellen, muss die Betrachtung auf einer abstrakten Ebene erfolgen, die keinen bestimmten Fahrzeugtyp und keine bestimmten Endgeräte realisiert. Aus den Daten ergeben sich vorläufig vier verschiedene Klassen von Endsytmen, auf welche die erhobenen abgebildet werden können. Diese Klassen von Endgeräten sind:

- 1. Safety Control: Zeitkritische Anforderung
- 2. Ein- /Ausschaltvorgänge: Schalter mit direktem Feedback
- 3. Driver Assistance: Hohe Bandbreite mit zeitkritischer Anforderung
- 4. Buffer/Video: Latenz vernachlässigbar

Neben den Endgeräten werden die Nachrichten selber in diese vier Klassen unterteilt. Jede Nachricht hat Anforderungen an die Bandbreite und ihre Periode, wodurch die Gesamtbandbreite ermittelt werden kann. Zudem muss die Latenz, die das späteste Eintreffen der Nachricht auf Empfängerseite spezifiziert, angegeben werden. Abbildung 2.1 zeigt die Anforderungen an jede Klasse.

	1	2	3	4
Periode (ms)	10	1000	10	25
Bandbreite (kb/s)	2	2	4000	4000
Latenz (ms)	10	50	10	100

Abbildung 2.1: Anforderungen der vier Nachrichtentypen

Ein Endgerät fällt immer in die Klasse mit den Nachrichten der höchsten Priorität. Diese gestalten sich wie folgt: 3, 1, 2, 4, wobei Klasse 3 mit der höchsten Bandbreite und der niedrigsten Latenz die höchste Priorität hat. Im folgenden Kapitel wird ein Überblick der Designalternativen und wie diese mit den klassifizierten Daten gefüllt werden sollen, gegeben.

2.4 Designalternativen

Die Topologie im Automobil sieht im Fahrzeug meistens folgendermaßen aus: Es gibt eine Vielzahl verschiedener Bussysteme, die unterschiedliche Anforderungen bedienen. Dabei wird in mehrere Domänen unterteilt, die alle miteinander kommunizierenden Geräte verbinden. Doch was passiert, wenn die Kommunikation über die Busgrenzen auf andere Steuergeräte hinaus gehen soll?

Um ein Backbone zu schaffen, das alle Geräte miteinander verbindet, müssen verschiedene Designalternativen gefunden werden, in denen die Topologieanforderungen erfüllt werden. Im ersten Schritt kann dazu eine Aufteilung nach Domänen erfolgen, wie sie die beispielhafte Abbildung 2.2 mit bisherigen Bussystemen zeigt.

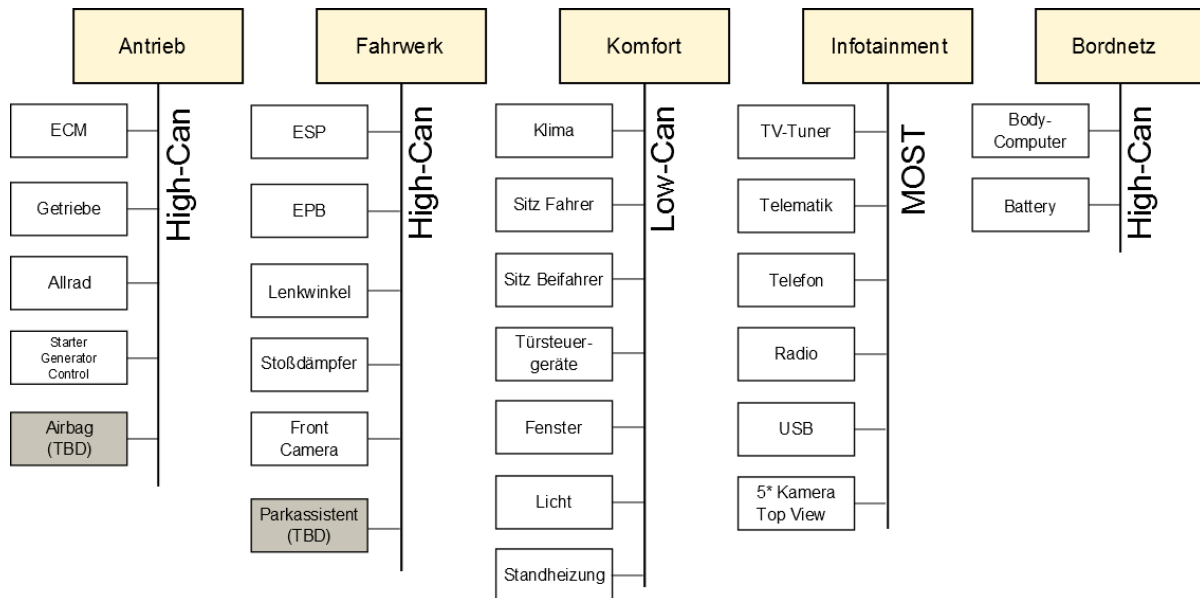


Abbildung 2.2: Typische Topologie heutiger Fahrzeuge mit verschiedenen Bussystemen

Dazu werden die Bussysteme mit einem flachen Ethernetnetz ersetzt und die Switches miteinander verbunden. Somit findet eine domänenübergreifende Kommunikation statt. Im nächsten Schritt wird jedes Endgerät mit einem klassifizierten Endgerät ersetzt, wodurch die Domänenaufteilung komplett verloren geht, und nun Designalternativen gefunden werden können. Die einfachste ist dabei die Single-Switch Architektur, wie Abbildung 2.3 sie zeigt. Die generalisierten Endsysteme spiegeln dabei die Anforderungen der „typischen“ Topologie wider.

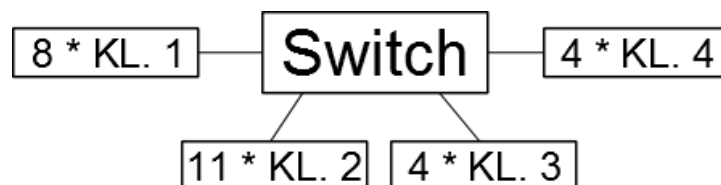


Abbildung 2.3: Single Switch Design mit generalisierten Endsystemen

Durch die festgelegten Nachrichten von einem zu mehreren Empfängern kann nun der eine Switch mit verschiedenen Backbonevarianten ersetzt und evaluiert werden. Um schnell

verschiedene Varianten zu testen, gilt es, die Erstellung der Simulation halbwegs zu automatisieren. Das folgenden Kapitel 2.5 zeigt dabei die Tools, die erstellt werden müssen.

2.5 Toolchain

Die in OMNeT++ modellierte Simulation dient der Evaluation verschiedener Time-Triggered-Ethernet Netzwerke. Um die zahlreichen Konfigurationsdateien zu erstellen, die notwendig sind, um die einzelnen Module zu modellieren, soll mit Hilfe einer Toolchain ein schneller und einfacher Workflow spezifiziert werden. Ziel dabei ist es, aus einer Datei, welche die Simulationsparameter, die Netzwerktopologie und die Nachrichten von Endgerät zu Endgerät enthält, automatisch die Simulation zu generieren. Die Simulation benötigt für jedes Endgerät und jeden Switch im Netzwerk eine OMNeT++ spezifische NED und ini Datei, in denen die zu sendenden und empfangenden Nachrichten und deren harten Deadlines stehen. Hierfür bedarf es eines Scheduling, das vorausberechnet, wie die Nachrichten im Netzwerk über die Switche hinweg verteilt werden und somit ausschließt, dass die Fenster zweier Time-Triggered Nachrichten überlappen. Um verschiedene Schedulingvarianten zu testen, wird das Scheduling aus der Toolchain ausgelagert und in einem eigenen Tool von Jan Kamieth berechnet. Die Schnittstelle wird dabei durch das Field Bus Exchange Format (FIBEX) definiert, das sich als Datenaustauschformat für nachrichtenorientierte Bus-Kommunikation anbietet.

Abbildung 2.4 zeigt die Toolchain, die zur Simulationserstellung genutzt werden soll.

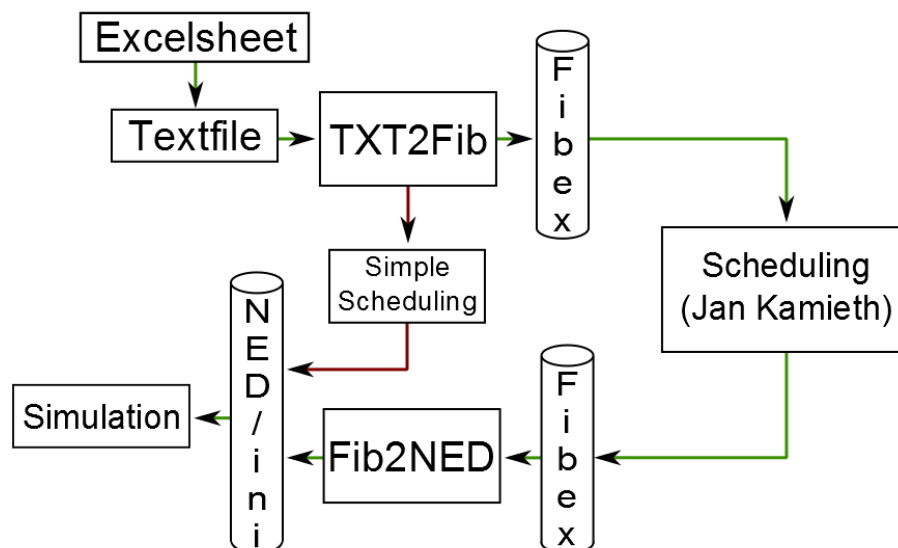


Abbildung 2.4: Toolchain zur einfachen Simulationserstellung.

Der Workflow sieht vor, dass im Excelsheet die Daten aus verschiedenen Datenquellen aufbereitet und in einem CSV basierten Textfile klassifiziert dargestellt werden. Anschließend liest das Programm TXT2Fib die erstellte CSV-Datei ein und schreibt die Topologie und die Nachrichten in eine FIBEX spezifizierte XML-Datei. Verschiedene Schedulingvarianten können nun extern die Fenster für Time-Triggered-Ethernet Nachrichten berechnen und zurück in die XML-Datei schreiben. Das Tool Fib2NED generiert abschließend die für die Simulation benötigten NED und ini Files.

2.6 Metriken

Um verschiedene Topologien miteinander vergleichen zu können, eignen sich Metriken, die in diesem Kontext eine Untersuchung eines ethernetbasierten Realtime-Backbones zulassen. Dabei ist es im ersten Schritt notwendig, passende Metriken zu finden, die eine geeignete Darstellung des Netzwerkes widerspiegeln. Für jede Metrik existiert eine Vielzahl verschiedener Definitionen, die eine unterschiedliche Interpretation zulassen. Beispielsweise kann die Latenz, also die Zeit, die ein Paket benötigt, um einen Pfad zu durchqueren, in einem Netzwerk auf verschiedenen Ebenen gemessen werden. Dazu stellt sich die Frage nach der Definition, die in der Simulation Anwendung finden soll und in welcher Größenordnung sie sich bewegt. Ein erster Überblick sieht Metriken mit folgenden Definitionen vor:

- **Verfügbare Bandbreite:** Maximale Nutzdatenrate auf einem End-to-End Pfad
- **Latenz:** Zeit, die ein Paket benötigt, um einen Pfad zu durchqueren
- **Jitter:** Varianz der Laufzeit von empfangenen Paketen
- **Paketverlustrate:** Empfangene im Verhältnis zu gesendeten Datenpaketen
- **Linkauslastung:** Auslastung einer gerichteten Verbindung benachbarter Knoten
- **Restbandbreite:** 100 % – Linkauslastung in %
- **Buffergrößen:** Auswirkung auf andere Metriken
- **Robustheit der Topologie:** Zufälliges Ausfallen von Knoten abbilden

Wenn die Metriken feststehen und die Simulation mit verschiedenen Topologien evaluiert wurde, soll analysiert werden, inwieweit die Kennzahlen von den geforderten Größenordnungen abweichen.

3 Ausblick

3.1 Auswirkung von Fahrerassistenzfunktionen

Nach Abschluss der vorbereitenden Untersuchungen soll sich die Masterarbeit hauptsächlich mit den Auswirkungen von Fahrerassistenzfunktionen beschäftigen und klären, inwieweit die Realisierung in einem Echtzeitbackbone realisierbar ist. Dabei stellen gerade Kameradaten, die hohe Bandbreitenanforderungen bei zeitkritischem Datenverkehr beeinhaltend, eine Anforderung dar, die es zu untersuchen gilt. Durch leicht komprimierte Daten und Interfaces, die viele verschiedene Domains und Endsysteme adressieren, können Controller an den Endsyste-men eingespart und es können an verschiedenen Stellen im Automobil Funktionen abgebildet werden. Somit findet eine Entkopplung von Funktionen und physikalischer Realisation statt, wodurch die Auslegung auf ein Echtzeitbackbone immer entscheidender wird.

Ebenfalls sollten die sicherheitsrelevanten Funktionen abgesichert gegenüber Ausfall und zu hohem Jitter sein, dürfen also nicht von den bandbreitenintensiven Fahrerassistenzfunktionen in den Hintergrund gedrückt werden. Diese Sicherheitsmaßnahmen gilt es in diesem Zusammenhang zu finden.

3.2 Risiken

Aufgrund der hier gezeigten Vorarbeiten werden die größten Risiken bereits abgemildert. Wegen des Fortschritts in den hier gezeigten Bereichen kann die Evaluation von Backbonesystemen jedoch stetig vorangetrieben werden.

Obwohl das Datenmodell schon ziemlich umfassend ist, gehört es zu den größten Risiken für den Erfolg der Masterarbeit. Wenn die Daten unzureichend sind, beziehungsweise nicht denen eines heutigen Automobils entsprechen, schlägt das Ziel, ein realistisches Datenmodell zu evaluieren, fehl. Daraus ergibt sich, dass dieser Punkt besonders sorgfältig bearbeitet werden muss, um das Risiko weiter zu minimieren. Zudem gibt es eine Kooperation mit einem Partner aus dem Automotive-Bereich, der hier unterstützend zur Seite steht.

Durch die parallele Klassifikation der Nachrichten und Endsysteme kann es zu einem späteren Zeitpunkt auftreten, dass Nachrichten mit neuen Anforderungen auftreten und diese nicht in die bisherige Klassifikation passen. Dies würde bedeuten, dass eine neue Klassifikation gefunden

und die bisherige Eindordnung angepasst werden muss. Durch sich anpassende Modelle, die leicht erweitert werden können, wird versucht diesem Punkt entgegenzutreten.

Ein weiteres Risiko liegt in dem Scheduling, das benötigt wird, um die Fenster der Time-Triggered Nachrichten in dem Netzwerk zu definieren. Aufgrund der bestehenden Abhängigkeit zu einer anderen Arbeit muss ein Weg gefunden werden, trotzdem Ergebnisse liefern zu können. Beispielsweise könnten alle Time-Triggered Nachrichten auf Rate-Constrained abgebildet werden. Hierdurch verliert das Netzwerk allerdings seinen Determinismus. Daher sollte es unbedingt vermieden werden.

4 Zusammenfassung

Die Evaluation von Backbonesystemen im Automobil wird durch die erhöhten Anforderungen durch Fahrerassistenzfunktionen relevanter. Dabei stellt sich in erster Linie die Frage, wie heutige Fahrzeugtopologien mit dem neuen Ansatz, dass jedes Gerät mit jedem anderen kommunizieren kann, umsetzbar sind. In dieser Arbeit werden Teilaspekte gezeigt, wie heutige Netzwerkstrukturen in einem Automobil mit einem ethernetbasierten Backbone evaluiert werden können.

In dem Kapitel „Vorarbeiten und Anforderungen“ ist die Vorgehensweise, damit eine Evaluation durch Simulation möglich wird, erläutert worden. Dazu gehören neben einem umfangreichen Fahrzeugmodell, das essentiell für die Durchführung der Masterarbeit ist, die automatisierte Simulationserstellung, um eine Vielzahl von Topologien zu evaluieren.

Im Ausblick wird die Fragestellung der Masterarbeit, nämlich wie sich Fahrerassistenzfunktionen auf das Backbone im Automobil auswirken, erläutert. Somit wird ein Evaluierungsprozess, der die Relevanz heutiger Anforderungen im Automobil widerspiegelt, gegeben.

Literaturverzeichnis

- [Badstübner 2008] BADSTÜBNER, Jens: Kollaps im Bordnetz: Schluss mit Can, Lin und Flexray. In: *KFZ-Betrieb* (2008), Nr. 17, S. 68–70
- [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
- [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
- [Kempf 2011] KEMPF, Fabian: *Simulation von AFDX-Netzwerken basierend auf Rate-Constrained Traffic für Time-Triggered Ethernet in OMNeT++*. August 2011. – Bachelorthesis
- [Kempf 2012] KEMPF, Fabian: *Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im Automobil*. Juni 2012. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2012-aw2/kempf/bericht.pdf>. – Zugriffsdatum: 2012-06-21. – Bericht
- [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
- [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
- [Steinbach 2011] STEINBACH, Till: *Echtzeit-Ethernet für Anwendungen im Automobil: Metriken und deren simulationsbasierte Evaluierung am Beispiel von TTEthernet*. Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Masterthesis, Februar 2011

- [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