



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung - Anwendungen 1 WS 2009/2010

Hermann Dieumo Kenfack

Simulation von Time-Triggered Ethernet
im Automobilkontext mit OMNeT++ :
Einführung

Hermann Dieumo Kenack

Thema der Ausarbeitung

Simulation von Time-Triggered Ethernet im Automobilkontext mit OMNeT++: Einführung

Kurzzusammenfassung:

Ein Kraftfahrzeugnetzwerk ist ein komplexes verteiltes System, an das verschiedene Anforderungen gestellt werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden momentan anwendungsspezifische Bussysteme zur Vernetzung von Kraftfahrzeug-Komponenten verwendet. Diese machen das Netzwerk komplex, unflexibel und teuer. Daher werden neue Ansätze benötigt. Ein neuer Ansatz für Echtzeit-Kommunikation im Automobil ist eine intelligente Vermittlungsinfrastruktur, die auf TTEthernet (Time-Triggered Ethernet) beruht. TTEthernet ist ein Switched-Ethernet mit Erweiterungen für Echtzeitanforderungen. Dieser Bericht beschreibt einführende Arbeiten für die Entwicklung einer Simulationsumgebung zur Analyse und Bewertung von TTEthernet im Automobilkontext.

Betreuende Prüfer

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

Betreuer

Prof. Dr. Korf, Franz; Prof. Dr. Schmidt, Thomas

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Aktuelle Situation in der Automobilindustrie.....	5
1.2	Warum Ethernet.....	5
1.3	Zielsetzung.....	6
2	Anforderungen an Bussysteme im Automobil	7
3	Echtzeit-Ethernet	9
3.1	Vorhandene Echtzeit-Ethernet Ansätze	9
3.2	TTEthernet.....	10
4	OMNeT++ als Umgebung für die Simulation	11
4.1	OMNeT++	11
4.1.1	OMNeT++ Architektur.....	11
4.1.2	OMNeT++ Simulationsmodell.....	12
4.1.3	OMNeT++ Simulationsprozess	13
4.2	INET Framework.....	13
5	Fazit und Ausblick	14
5.1	Fazit	14
5.2	Ausblick.....	14
	Abkürzungsverzeichnis	15
	Abbildungsverzeichnis	16
	Literaturverzeichnis	17

1 Einleitung

In einem Kfz (Kraftfahrzeug) steigt die Anzahl der eingesetzten elektronischen Systeme immer weiter an. Diese müssen miteinander kommunizieren, da ihre Funktionen systemübergreifend benötigt werden. So wird beispielsweise die Fahrgeschwindigkeit im ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm) für die Fahrdynamikregelung, im Motormanagement für die automatische Geschwindigkeitsregelung und im Navigationssystem benötigt (vgl. Mischo u. a. 2007, S. 16). Moderne Kfz verfügen mehr und mehr über informations- und unterhaltungselektronische Komponenten. Dadurch entsteht ein steigender Bedarf an breitbandigen Kommunikationsverbindungen.

Momentan wird, aufgrund verschiedener Anforderungen und Anwendungen, die Vernetzung von Fahrzeugkomponenten in Domänen (Funktionsbereiche) unterteilt. Für jede Domäne wird ein spezielles Bussystem eingesetzt (z. B. LIN, CAN, MOST, etc.). Eine Anwendung wird einer Domäne zugeordnet, die am besten ihren Anforderungen entspricht. Die Bussysteme haben unterschiedliche Protokolle, sodass eine Übersetzung für die Kommunikation zwischen diesen erforderlich ist. Diese wird anhand sogenannter Gateways realisiert. Die verschiedenen Bussysteme machen das Fahrzeugnetzwerk kompliziert und damit in der Entwicklung teuer und unflexibel. Nachfolgende Abbildung stellt eine typische Netzwerktopologie eines Oberklasse-Kfz dar.

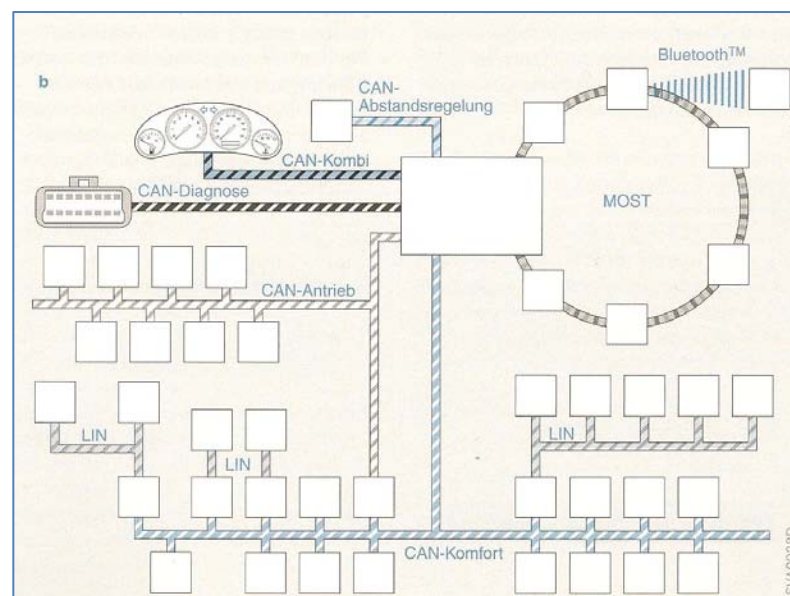


Abbildung 1-1: Typische Netzwerk-Topologie eines Oberklasse-Kfz (vgl. Mischo u. a. 2007, S.12)

Wünschenswert ist ein Backbone, das die schrittweise Konsolidierung dieser Bussysteme ermöglicht. Dafür ist TTEthernet ein guter Kandidat. TTEthernet (vgl. Steiner 2008) ist eine Echtzeit-Variante von Ethernet. Die Echtzeitfähigkeit wird gewährleistet durch die Synchronisation aller Teilnehmer und das Aufstellen eines Zeitplans, welcher das simultane Senden zweier Echtzeitnachrichten über denselben Link ausschließt. Das Ziel dieser Arbeit ist die Erkundung des möglichen Einsatzes von TTEthernet zur Vernetzung von Kfz-Komponenten anhand einer Simulation.

1.1 Aktuelle Situation in der Automobilindustrie

Aufgrund verschiedener Anforderungen und Anwendungen kommen im Kfz verschiedene Bussysteme zum Einsatz. Nachfolgende Abbildung gibt eine Übersicht über diese Bussysteme.

Bussystem	Anwendung	Klasse/Domäne	Datenrate
LIN	Vernetzung von Sensoren und Aktoren	Klasse A/Komfort	Max. 10 Kbit/s
CAN-B/ Low-speed-CAN	Vernetzung von Karosserie- und Kom- fortelektronik	Klasse B/ Komfort	Max. 125 Kbit/s
CAN-C/ Highspeed-CAN	Echtzeitanforderungen, Vernetzung von Steuergeräten im Antriebs- und Fahrwerksbereich	Klasse C/Antriebstrang	Max. 1 Mbit/s
Flexray	Echtzeitanforderungen, Vernetzung von Steuergeräten im Antriebs- und Fahrwerksbereich	Drive-By-Wire/ domä- nenübergreifend	Max. 20 Mbit/s
TTP	Vernetzung im Sicherheitsrelevanten Umgebungen wie z. B. Bremse, Len- kung, Fahrzeugwerk	Drive-By-Wire/ sicher- heitsrelevante Vernet- zung	10 Mbit/s
MOST	Vernetzung von Steuergeräten in Te- lematik und Multimediabereich	Mobile Media/ Multi- media und Infotain- ment	Max. 22 MBit/s

Abbildung 1-2: Übersicht über die momentan im Kfz eingesetzten Bussysteme (vgl. Mischo u. a. 2007, S. 15)

Die Verwendung unterschiedlicher Bussystemen im Fahrzeug bringt mehrere Probleme mit sich. Jedes Bussystem besitzt seine eigene Sprache (Protokoll) und benötigt spezielle Hard- bzw. Software für die Planung der Datenübertragung (Konfiguration), Diagnose, Wartung und Kommunikation mit anderen Bussystemen. Die wachsende Komplexität des Kommunikationssystems ist schwer beherrschbar und zunehmend störanfällig. Außerdem wird das Netzwerk nicht skalierbar und unflexibel, was zu einer langsamen und teuren Entwicklung führt. Aus diesen Gründen ist ein Backbone erwünscht, das die allmähliche Konsolidierung dieser Bussysteme erlaubt. TTEthernet stellt einen potenziellen Kandidaten dar.

1.2 Warum Ethernet

Ethernet ist eine Standardtechnologie, die sich mit Computernetzen durchgesetzt hat. Sie hat sich auch in der Automatisierungsindustrie erfolgreich etabliert (vgl. RTEthIndustry). Durch die weite Verbreitung sind die Preise für Ethernet-Komponenten gesunken (vgl. Greifeneder 2007, S. 23–33). Weiterhin gibt es bereits eine große Palette an Entwicklungs- und Diagnosewerkzeugen. Die Zahl an fachkundigen Entwicklern ist beim Ethernet-Protokoll weit größer als bei Kfz-spezifischen Lösungen, wie z. B. dem MOST (Media Oriented System Transport) oder FlexRay. Darüber hinaus haben Viele heutige Mikrocontroller bereits eine integrierte Ethernet-Schnittstelle.

Im nicht zeitkritischen Bereich stehen bereits eine große Anzahl an anwendungsspezifischen Protokollen zur Verfügung, die auf Ethernet basieren. Der Einsatz solcher Standardprotokolle, z. B. im Diagnose- oder Unterhaltungsbereich, hilft Kosten in der Entwicklung einzusparen und vereinfacht die Integration von herstellerfremden Systemen, sogenannten Components of the shelf (COTS).

Switched-Ethernet hat eine Vermittlungsintelligenz und kann auf Basis des 802.1Q Standard segmentiert werden. Somit können sich mehrere virtuelle Netzwerke -VLAN (Virtual Local Area Network)- eine gemeinsame physikalische oder logische Schnittstelle teilen. Über den Standard 802.1p kann die Vermittlung priorisiert und durch Uni-, Multi- und Broadcast in flexibler Weise strukturiert werden.

Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von Ethernet ist die Entkopplung der Kommunikation vom Übertragungsmedium. Der Ethernet-Standard definiert neben der Nutzung von Kupferkabel in verschiedenen Konfigurationen z. B. auch die Übertragung über Lichtwellenleiter (vgl. IEEE 2005). Die Datenrate geht bei Ethernet von 10 bis 100000 Mbit/s. Darüber hinaus können neue elektronische Endgeräte per Plug & Play im Fahrzeug angeschlossen werden. WLAN kann als Zugang zum Internet oder für die Kfz-Kfz bzw. Kfz-Umwelt-Kommunikation (z. B. Mit Ampeln) eingesetzt werden.

Das Ethernet-Protokoll ist dennoch nicht von vornherein für die Echtzeit Kommunikation konzipiert worden. Es kann nicht die erforderliche Vorhersagbarkeit und Zuverlässigkeit in der Paketweiterleitung und dem Medienzugriff garantieren, welche für eine Echtzeit-Kommunikation erforderlich sind. TTEthernet ist eine Echtzeiterweiterung von Ethernet. Es erlaubt außerdem den parallelen Betrieb von Standard-Ethernet-Nachrichten (Best Effort) und Echtzeit-Nachrichten. Somit ist der Einsatz von TTEthernet transparent für die oben genannten Standardanwendungen, die alle im Best-Effort-Kontext sind.

1.3 Zielsetzung

Es gibt zwar erste Untersuchungen von TTEthernet (vgl. TTTech Computertechnik AG und Kopetz u. a. 2005), aber keine veröffentlichten Arbeiten, die seine Eignung zur Vernetzung von Kraftfahrzeug-Komponenten bzw. als Backbone zur schrittweisen Konsolidierung der vorhandenen Bussysteme zeigt. Außerdem gibt bisher es keine Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Analyse von TTEthernet-Netzwerken. Das Ziel der Arbeit ist die Erkundung des möglichen Einsatzes von TTEthernet als Backbone zur Vernetzung von Kfz-Komponenten. Dabei soll die TTEthernet-Technik analysiert und bewertet werden. Dafür ist ein Simulationswerkzeug unumgänglich. Daher soll ein TTEthernet-Simulator basierend auf der OMNeT++-Simulationsumgebung (vgl. OMNeT++ Community) entwickelt werden.

Es gibt zurzeit keine Standard-Spezifikation von TTEthernet. Die Realisierung der Simulation soll sich doch nach der TTEthernet-Spezifikation der Firma TTTech (vgl. Steiner, 2008) richten. Diese wurde zur Standardisierung bei der Society of Automotive Engineers (vgl. SAE - AS-2D Time Triggered Systems and Architecture Committee 2009) eingereicht.

2 Anforderungen an Bussysteme im Automobil

Anforderungen an Bussysteme im Automobil wurden bereits von Steinbach im Rahmen der einleitenden Arbeiten zum Thema Echtzeit-Ethernet im Kfz an der HAW Hamburg vorgestellt (siehe Steinbach 2008). Da diese von großer Bedeutung für die Simulation sind, wird hier erneut darauf eingegangen.

Nachfolgende Anforderungen sind bei der Auswahl eines Bussystems für den Automobil-Bereich zu beachten.

Echtzeitfähigkeit

Je nach Anwendung werden weiche- und harte Echtzeitanforderungen an das Echtzeitverhalten eines Bussystems im Automobil gestellt. Bei einer weichen Echtzeitanforderung soll das System die vorgegebene Reaktionszeit einhalten, zeitweilige Überschreitungen haben jedoch keine schwerwiegenden Auswirkungen (z. B. reicht 100ms Reaktionszeit zur Ansteuerung des Fensterhebermotors (vgl. Mischo u. a. 2007, S.18)). Bei harten Echtzeitanforderungen dagegen ist die Zeitvorgabe streng einzuhalten. Ihre Überschreitung kann bei sicherheitsrelevanten Systemen zu schwerwiegenden Problemen führen.

Geringer Nachrichtenjitter

Die Regelgüte einer verteilten Regelung hängt maßgeblich von der Höhe des Nachrichtenjitters ab. Mit Jitter wird die Variabilität der Nachrichtenlaufzeit bezeichnet.

Parallele Übertragung von Daten mit und ohne Echtzeitanforderungen

Neben Anwendung mit weichen und harten Echtzeitanforderungen gibt es auch welche ohne Echtzeitanforderungen. Damit die gestellten Echtzeitanforderungen erfüllt werden, werden momentan in der Automobilindustrie verschiedene Bussysteme eingesetzt. Es wäre besser, ein Bussystem zu haben, welches die parallele Übertragung der Daten aller Anwendungsklassen ermöglicht, ohne dass Echtzeitanforderungen verletzt werden.

Synchrone und asynchrone Übertragung

Die Kommunikation im Kraftfahrzeug ist sowohl synchron als auch asynchron. Die synchrone Kommunikation wird meist bei Regelungssystemen eingesetzt. Kommunikations- und Unterhaltungsanwendungen sowie Diagnose-Daten werden jedoch meist asynchron übertragen.

Redundanz: Um fehlertolerant sicherheitsrelevante Systeme zu vernetzen, muss das Netzwerk ein Redundanzkonzept anbieten.

Hohe Übertragungsrate

Die erforderliche Datenmenge, die während einer Zeiteinheit übertragen wird, hängt wieder vom Anwendungsfall ab. Für die Steuerelektronik im Antriebs- und Fahrwerksbereich von Automobilen wird z. B. eine Datenrate von ca. 2 MBit/s benötigt, die allerdings mit deterministischem Zeitverhalten ausgeliefert werden muss. Multimediaanwendungen dagegen haben eine deutlich höhere Datenrate bei geringeren Anforderungen an das Zeitverhalten.

Einfacher Austausch des Physical-Layers

Je nach Anwendung und Einsatzgebiet sind verschiedene physikalische Medien optimal für die Datenübertragung. Ein fortschrittliches Bussystem abstrahiert vom physikalischen Medium und lässt damit den Austausch und die Kombination verschiedener physikalischer Medien zu.

Skalierbar

Die Anzahl der im Netzwerk einzubinden Knoten ist von Fahrzeugklasse anhängig. Bei einem Komfort-Fahrzeug kann z. B. durch die Vernetzung von Stellmotoren (z. B. Sitzverstellung) und intelligente Sensoren (z. B. Regensensoren) die Anzahl der Knoten sehr hoch sein.

Einfache Anwendung

Kürzere Produkteinführungszeiten fordern eine schnelle Entwicklung. Daraus ergibt sich die Anforderung nach einfachen flexiblen Schnittstellen zum Bussystem.

3 Echtzeit-Ethernet

In diesem Kapitel werden Verfahren und deren Vertreter in der Automatisierung- bzw. Flugzeugindustrie vorgestellt, die den echtzeitfähigen Ansatz von Ethernet ermöglichen. Außerdem wird TTEthernet beschrieben.

3.1 Vorhandene Echtzeit-Ethernet Ansätze

Es existieren bereits verschiedene Ansätze in der Automatisierung- und Flugzeug-Industrie um Ethernet mit Echtzeitfähigkeit einzusetzen. Diese Ansätze wurden bereits von Steinbach vorgestellt (siehe Steinbach 2008) und werden hier nur kurz erwähnt. Die Systeme unterteilen sich in Token-basierte-, Bandbreiten-limitierende- und Time-Triggered-Systeme.

In tokenbasierten Systemen werden alle Teilnehmer mithilfe einer geteilten Ressource (eines Tokens) synchronisiert. Das Token wandert dabei von Teilnehmer zu Teilnehmer. Nur der Teilnehmer, welcher das Token hält, darf Daten über den Bus senden. Damit ist sichergestellt, dass der Bus stets frei ist, wenn Daten gesendet werden. Das Hauptproblem von Token-basierten Systemen ist die limitierte Skalierbarkeit, da die Länge des Buszyklus von der Anzahl der sendenden Teilnehmer abhängt. Zudem ist die Erkennung und Neuerzeugung eines verlorenen Tokens komplex und zeitintensiv. Ein Vertreter dieses Ansatzes aus der Automatisierungsindustrie ist EtherCAT (vgl. EtherCat).

Bei bandbreitenlimitierenden Systemen wird eine maximale Transferrate für jeden Busteilnehmer definiert. Dabei überwachen spezielle Switches den Verkehr auf jedem Port und stellen sicher, dass jeder Teilnehmer sein vorkonfiguriertes Limit nicht überschreitet. Damit kann sichergestellt werden, dass die Nachrichtenlaufzeit unterhalb eines berechenbaren Maximums liegt (vgl. Charara u. a. 2006). Da die Sender jedoch nicht auf einem global definierten Zeitplan operieren, ist die maximale Laufzeit zwar begrenzt, jedoch nicht vorhersagbar. AFDX (Avionics Full Duplex Switched Ethernet) ist ein Vertreter dieser Technik und kommt aus der Flugzeugindustrie.

Bei time-triggered Systemen hat jeder Teilnehmer eine Uhr, welche möglichst genau mit den Uhren der anderen Teilnehmer synchronisiert werden muss. Jedem Teilnehmer werden dann Zeitschlitze zugewiesen, in denen der Teilnehmer auf den Bus senden darf. Hierdurch wird ein exklusiver Zugriff auf das geteilte Medium sichergestellt. Diese Technik wird auch als TDMA (Time Division Multiple Access) bezeichnet.

Für die echtzeitkritische Kommunikation werden überwiegend time-triggered Protokolle eingesetzt. Dieser Ansatz ist auch in der Automobilbranche mit Protokollen wie TTCAN (vgl. International Organization for Standardization 2004) und FlexRay (vgl. FlexRay consortium 2005) verbreitet. Daher wurde TTEthernet für die weiteren Untersuchungen gewählt (vgl. Steinbach 2009, S. 7).

3.2 TTEthernet

Die ersten Arbeiten im Bereich Time-Triggered Ethernet wurden in der Real-Time Systems Research Group der TU Wien gemacht (vgl. Kopetz u. a. 2005). Diese Technik wird momentan von der Firma TTTech aus Wien weiterentwickelt und vorangetrieben (vgl. TTTech Computertechnik AG).

TTEthernet ist eine Echtzeit-Variante des Standard-Ethernet-Protokolls. Die Echtzeitfähigkeit beruht auf einem Verfahren, welches auf Zeitschlitzten aufbaut (TDMA). Alle Teilnehmer werden über ein ausfallgesichertes Synchronisationsprotokoll mit einer globalen Zeit synchronisiert. Anschließend wird ein Zeitplan vordefiniert, nach dem alle Teilnehmer operieren müssen. Dabei wird für jeden Zyklus ein Sende-Zeitintervall für jede Echtzeit-Nachricht festgelegt, wobei die Zeitintervalle sich nicht überschneiden dürfen. Somit wird sichergestellt, dass zwei Echtzeit-Nachrichten nicht zur selben Zeit gesendet werden.

TTEthernet ermöglicht die Übertragung von Daten mit harten, weichen und ohne Echtzeitanforderungen über dasselbe Netzwerk. Dafür werden verschiedene Nachrichten-Klassen eingesetzt: Time-Triggered-Nachrichten werden in vordefinierten Zyklen gesendet und haben Vorrang vor allen anderen Nachrichten. Bei Rate-Constrained-Nachrichten wird für eine Anwendung eine feste Bandbreite definiert. Dieses Protokoll entspricht dem AFDX-Protokoll. Best-Effort-Nachrichten entsprechen den Standard-Ethernet-Nachrichten und werden mit niedrigster Priorität weitergeleitet. Sie werden für Nachrichten ohne Echtzeitanforderungen eingesetzt.

TTEthernet-Netzwerke basieren aufgrund der eingesetzten Switches auf einer sternförmigen Struktur. Ein Netzwerk kann aus mehreren Switches bestehen. Die Switches können in Synchronisationsdomänen gruppiert werden. Wobei Time-Triggered-Nachrichten nicht Synchronisationsdomänenübergreifend gesendet werden können. Für sicherheitsrelevante Systeme können Endsysteme (ES) redundant über mehrere Switches und Kanäle vernetzt werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel einer TTEthernet-Netzwerkstruktur.

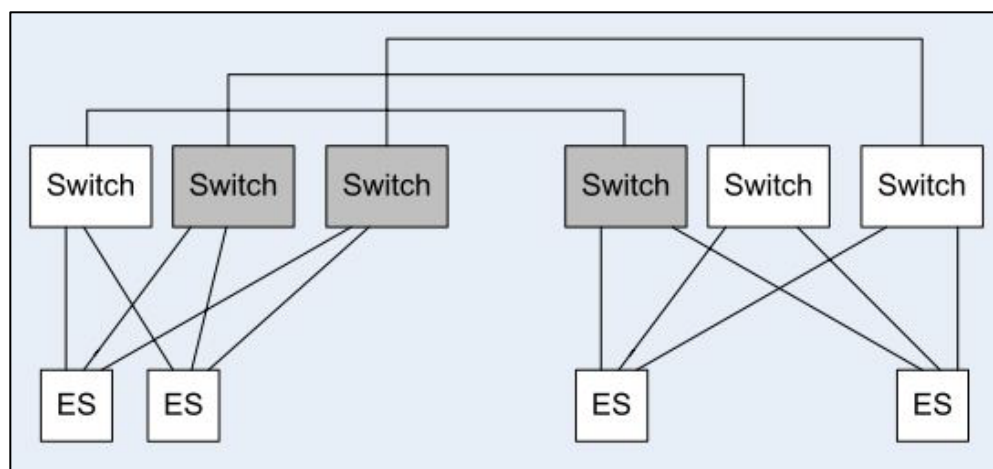


Abbildung 3-1: Beispiel einer TTEthernet-Netzwerkstruktur (vgl. Steiner 2008, S. 18)

4 OMNeT++ als Umgebung für die Simulation

Eine Simulation ist unabdingbar für eine solide Analyse und Bewertung von TTEthernet-Konzepten im Automobilkontext. Mit der Simulation ist es möglich, mit dem Netzwerk zu experimentieren und Erkenntnisse über sein Verhalten zu gewinnen. Änderungen an den Protokollen, Topologien und Konfigurationen können mit geringem Aufwand und Risiko durchgeführt werden. Darüber hinaus können fahrzeugspezifische Anwendungen im frühen Stadium getestet werden. Aus diesen Gründen soll ein TTEthernet-Simulator auf Basis der OMNeT++-Simulationsumgebung entwickelt werden.

4.1 OMNeT++

OMNeT++ (vgl. OMNeT++ Community) ist eine C++-basierte diskrete ereignisorientierte Simulationsumgebung. Sie dient der Modellierung und Simulation von Kommunikationsnetzen, Multiprozessorsystemen und anderen verteilten oder parallelen Systemen. Sie stellt außerdem eine Bibliothek und Framework dar, mit der weitere Simulationsmodelle und Frameworks entwickelt werden können. Ein Beispiel hierfür ist das INET Framework (vgl. OMNeT++ Community2), welches aus mehreren Modellen (TCP, IP, Ethernet, etc.) besteht. OMNeT++ ist frei nutzbar für akademische und nicht kommerzielle Zwecke.

Bei einer diskreten ereignisorientierten Simulation treten Ereignisse an diskrete Punkte auf der Zeitachse auf. Dabei wird angenommen, dass nichts zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen passiert. Somit wird die interne Uhr des Modells nach Verarbeitung eines Ereignisses jeweils auf den nächsten Ereigniszeitpunkt vorgerückt. Die Simulation erfolgt also nicht in Echtzeit.

4.1.1 OMNeT++ Architektur

OMNeT++ Simulationsprogramme sind modular aufgebaut. Die Architektur eines OMNeT++ Simulationsprogrammes ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Sie besteht aus mehreren Komponenten, die miteinander verbunden sind. Die „Modell Component Library“ besteht aus Code von einfachen und zusammengesetzten Modulen, die vom Simulationsmodell benutzt werden können. SIM ist der Simulationskernel und die Klassenbibliothek. Das Simulationsmodell wird damit gelinkt und übersetzt. Envir, Cmdenv und Tkenv stellen die Benutzerschnittstellen dar. Diese dienen zur Ein- und Ausgabe der Simulationsdaten sowie zur Durchführung, Debugging, Visualisierung und Analyse der Simulation.

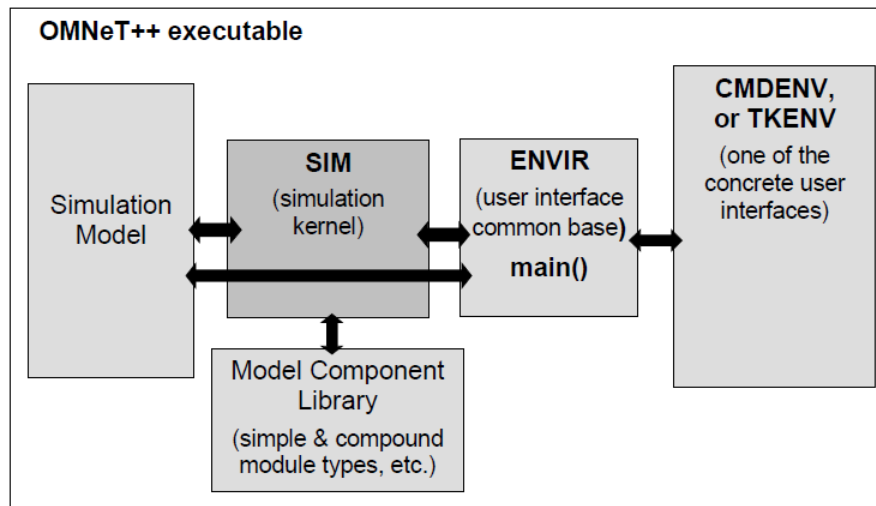


Abbildung 4-1: Architektur eines OMNeT++ Simulationsprogramms (Varga 2008, S. 4)

4.1.2 OMNeT++ Simulationsmodell

Ein OMNeT++-Modell besteht aus hierarchisch geschichteten Modulen. Man unterscheidet zwischen einfachen (simple) und zusammengesetzten (compound) Modulen. Zusammengesetzte Module bestehen aus mehreren einfachen oder zusammengesetzten Modulen. Das Verhalten des Modells wird in C++ in den einfachen Modulen implementiert. Die einfachen Module werden durch Parameter konfiguriert. Sie kommunizieren durch Nachrichten (messages). Die Nachrichten werden über Ausgabe-Gates (output gate) gesendet und über Eingabe-Gates (input gate) empfangen. Ein Eingabe-Gate wird mit einem Ausgabe-Gate durch einen Konnektor (connection) verbunden und umgekehrt.

Die Struktur eines Modells (Module und deren Verbindungen) wird mit der OMNeT++ Topologie-Beschreibungssprache -NED (Network Description)- definiert. OMNeT++ beinhaltet einen grafischen NED-Editor. Das Editieren von NED-Dateien kann sowohl grafisch als auch textuell erfolgen. Da die Parameter der Module sich zur Laufzeit ändern können, werden diese weder in der C++-Datei (Modell-Verhalten) noch in der NED-Datei (Modell-Topologie) definiert, sondern in einer INI-Datei. Im OMNeT++ existiert bereits eine Vielfalt von Simulationsmodellen und Frameworks, unter anderem: INET Framework, INETMANET, OverSim, Web Server Simulation, etc.

4.1.3 OMNeT++ Simulationsprozess

Nachfolgende Abbildung stellt einen vereinfachten Simulationsprozess unter OMNeT++ dar.

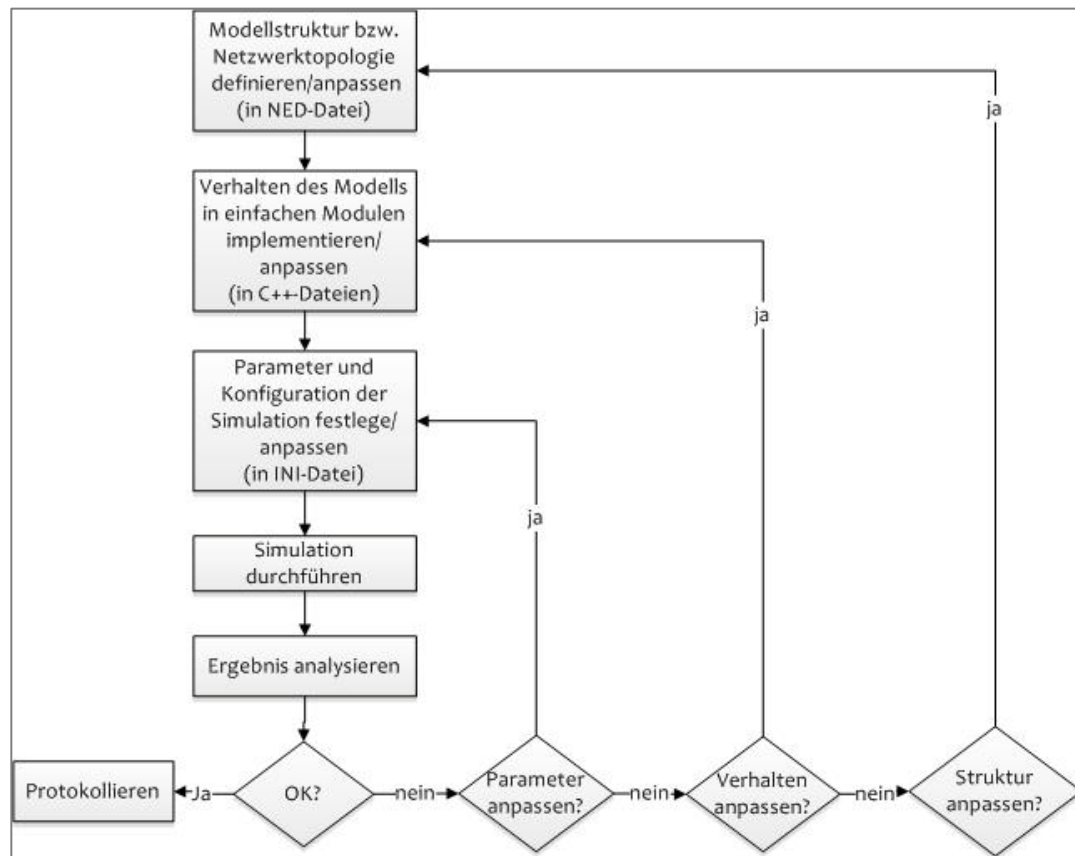


Abbildung 4-2: OMNeT++ Simulationsprozess

4.2 INET Framework

Das INET-Framework (vgl. OMNeT++ Community2) ist ein Simulation-Framework für die OMNeT++-Simulationsumgebung, welches verschiedene Internet-Protokoll- und Applikation-Modelle enthält. Beispiele hierfür sind UDP, TCP, IP, IPv6, Ethernet, IEEE 802.11 (Wireless), MPLS, OSPF, etc. Das INET-Framework baut auf die OMNeT++-Simulationsumgebung auf und hat dieselben Eigenschaften (Objekt orientiert, modular, Wiederverwendbarkeit, etc.) und Konzepte (einfache und zusammengesetzte Module, Nachrichten, Gates, Konnektoren, etc.).

Da TTEthernet auf Ethernet basiert, muss das TTEthernet-Modell nicht komplett neu entwickelt werden. Viele Module bzw. Modelle von Ethernet können übernommen und auf die TTEthernet-Logik erweitert werden. Der Ethernet-Switch und -Host von INET können z. B. um die Synchronisierung und das Scheduling erweitert werden (vgl. Steinbach2 2009, S. 10).

5 Fazit und Ausblick

Dieses Kapitel beschreibt das Fazit und das weitere Vorgehen der Arbeit.

5.1 Fazit

In dieser Arbeit wurden einführende Arbeiten zur Entwicklung eines Simulators für die Analyse und Bewertung von TTEthernet im Automobilkontext vorgestellt. Dafür wurde zuerst ein Überblick über die momentan eingesetzten Techniken zur Vernetzung von Kfz-Komponenten und deren Einschränkungen gegeben. Danach folgte die Motivation für den Einsatz von Ethernet. Anschließend wurden die Anforderungen vorgestellt, die an Bussysteme im Auto gestellt werden. Dann wurde ein Überblick über Echtzeit-Ethernet gegeben. Schließlich wurden die Umgebung (OMNet++) und das Framework (INET Framework) zur Entwicklung des TTEthernet-Simulators vorgestellt.

Es hat sich herausgestellt, dass neue Ansätze zur Vernetzung von Kfz-Komponenten benötigt werden. TTEthernet stellt einen guten Kandidaten dar. Es gibt noch keine Arbeiten, die den Einsatz dieser Technik im Automobilkontext demonstrieren. Außerdem wurde gezeigt, dass ein Simulator für eine systematische Analyse und Bewertung von TTEthernet unentbehrlich ist.

5.2 Ausblick

Für die Simulation ist zuerst ein Modell des TTEthernet-Kfz-Netzwerks zu erstellen. Dieses sollte die Eigenschaften eines typischen Automobil-Netzwerks möglichst genau widerspiegeln. Neben einem räumlichen Modell, welches Anforderungen an die Topologie stellt, gehört dazu auch ein genaues Modell der zeitlichen Abhängigkeiten sowie des Datenaufkommens. Darüber hinaus sollen die an ein Bussystem im Kfz gestellten Anforderungen in das Modell abgebildet werden. Weiterhin soll bei dem Entwurf des Modells berücksichtigt werden, dass aus Kosten und Kompatibilitätsgründen nicht alle Kfz-Komponenten sofort mit Ethernet vernetzt werden können. Daher soll auch eine schrittweise Konsolidierungsstrategie erarbeitet werden.

Nachdem das Modell entworfen worden ist, soll es in OMNeT++ implementiert werden. Ist die Implementierung abgeschlossen, kann das Netzwerk simuliert werden. Die Simulation soll mit echten Topologien und charakteristischen Datenströmen erfolgen. Für die Topologien kann die Parameter-Eigenschaft von OMNeT++ verwendet werden. Für die Datenströme ist die Entwicklung eines im Simulator integrieren Verkehrslast-Generators unabdingbar. TTEthernet beruht stark auf Konfigurationen, daher soll auch ein Konzept für die Konfiguration der Netzwerk-Komponenten entwickelt werden. Außerdem müssen die Simulationsdaten erfasst, analysiert und protokolliert werden.

Von den oben genannten Aufgaben, liegt mein Interesse vor allem bei der Entwicklung des Simulators und des Verkehrslast-Generators, sowie bei der Analyse der Simulationsdaten.

Abkürzungsverzeichnis

AFDX	Avionics Full Duplex Switched Ethernet
CAN	Control Area Network
COTS	Components of the shelf
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
Kfz	Kraftfahrzeug
LIN	Lokal Interconnect Network
MOST	Media Oriented Systems Transport
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NED	Network Description
OMNeT++	Objective Modular Network Testbed in C++
OSPF	Open Shortest Path First
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TTCAN	Time-Triggered CAN
TTEthernet	Time-Triggered Ethernet
TTP	Time-Triggered Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VLAN	Virtual Local Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1-1: Typische Netzwerk-Topologie eines Oberklasse-Kfz (vgl. Mischo u. a. 2007, S.12).....</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 1-2: Übersicht über die momentan im Kfz eingesetzten Bussysteme (vgl. Mischo u. a. 2007, S. 15).....</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 3-1: Beispiel einer TTEthernet-Netzwerkstruktur (vgl. Steiner 2008, S. 18).....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 4-1: Architektur eines OMNeT++ Simulationsprogramms (Varga 2008, S. 4).....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 4-2: OMNeT++ Simulationsprozess.....</i>	<i>13</i>

Literaturverzeichnis

[Charara u. a. 2006]

CHARARA, Hussein; SCHARBARG, Jean-Luc; ERMONT, Jérôme; FRABOUL, Christian: Methods for bounding end-to-end delays on an AFDX network. In: Real-Time Systems, 2006. 18th Euromicro Conference on, vol., no., pp.10 pp.-202,. – ISSN 1068-3070

[EtherCat]

ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP: EtherCat. URL- <http://www.ethercat.org>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010

[FlexRay consortium 2005]

FLEXRAY CONSORTIUM: Protocol Specification. Stuttgart, Germany, Dec 2005 (2.1). – Specification

[Greifeneder 2007]

GREIFENEDER, Jürgen ; FREY, Georg: Analyse netzbasierter Automatisierungssysteme. In: VDI-Berichte 1980 (2007)

[IEEE 2005]

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (Hrsg.): IEEE 802.3: LAN/MAN CSMA/CD Access Method. Bd. IEEE 802.3-2005. IEEE, 2005

[International Organization for Standardization 2004]

INTERNATIONAL Organization For Standardization: Road vehicles - Controller area network (CAN) - Part 4: Time-triggered communication / ISO. Geneva, Switzerland, 2004 (11898-4:2004). – ISO

[Kopetz u. a. 2005]

KOPETZ, Hermann; ADEMAJ, Astrit; GRILLINGER, Petr; STEINHAMMER, Klaus; , "The time-triggered Ethernet (TTE) design," Object-Oriented Real-Time Distributed Computing, 2005. ISORC 2005. Eighth IEEE International Symposium on , vol., no., pp. 22- 33, 18-20 May 2005.

[Mischo u. a. 2007]

MISCHO, Stefan; POWOLNY, Stefan; ZÜNDEL, Hanna; LÖCHEL, Norbert; STUPHORN, Jörn; CONSTAPEL, Rainer; HÄUßERMANN, Peter; LEONHARDI, Alexander; HOLTkamp, Heiko; ROBERT BOSCH GmbH (Hrsg.): Vernetzung im Kraftfahrzeug. Germany: 1. Ausgabe, April 2007. ISBN-13 978-3-86522-276-3

[OMNeT++ Community]

OMNET++ COMMUNITY: OMNeT++. -URL <http://www.omnetpp.org>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010

[OMNeT++ Community2]

OMNeT++ COMMUNITY: INET Framework for OMNeT++. URL- <http://inet.omnetpp.org>. –

Zugriffsdatum: 21.02.2010

[RTEthIndustry]

URL-<http://www.pdv.reutlingen-university.de/rte>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010

[SAE - AS-2D Time Triggered Systems and Architecture Committee 2009]

SAE - AS-2D TIME TRIGGERED SYSTEMS AND ARCHITECTURE COMMITTEE: Time-Triggered Ethernet (AS 6802). 2009. – URL <http://www.sae.org>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010

[Steinbach 2008]

STEINBACH, Till: Ethernet als Bus für Echtzeitanwendungen im Automobil. HAW Hamburg, Department Informatik, Anwendungen1-Bericht, Dezember 2008. URL- <http://papers.tillsteinbach.de/s-ebea-08a.pdf>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010.

[Steinbach 2009]

STEINBACH, Till: Time-Triggered Ethernet in Fahrzeugnetzwerken: related work. HAW Hamburg, Department Informatik, Anwendungen2-Bericht, Juni 2009. URL - <http://papers.tillsteinbach.de/s-ttefr-09a.pdf>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010

[Steinbach2 2009]

STEINBACH, Till: Ethernet als Bus für Echtzeitanwendungen im Automobil. HAW Hamburg, Department Informatik, Projektbericht, 2009.

[Steiner 2008]

STEINER, Wilfried: TTEthernet specification. TTTech Computertechnik AG, November 2008. URL - <http://www.tttech.com>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010

[TTTech Computertechnik AG]

TTTECH: TTEthernet – URL <http://www.tttech.com>. – Zugriffsdatum: 21.02.2010

[Varga 2008]

VARGA, Andrés; HORNIG, Rudolf: AN OVERVIEW OF THE OMNeT++ SIMULATION ENVIRONMENT. Marseille , France: March 2008. -ISBN 978-963-9799-20-2

