

Scheduling for Time-Triggered Network Communication

Jan Kamieth

jan.kamieth@informatik.haw-hamburg.de

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

08. Dezember 2011



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

1 Motivation

2 Hauptteil

- Time-Triggered vs Event-Triggered
- Scheduling
- FlexRay
- TT-Ethernet

3 Ausblick

Motivation

Hauptteil

Ausblick

Subsysteme im Automobil

- Motorsteuerung
- Sicherheitssysteme (Airbags)
- Komfortelektronik
- Telemetrie und Diagnose
- Fahrerassistenzsysteme
- X-by-Wire
- Multimedia

Motivation

Hauptteil

Ausblick

Anforderungen an einen Backbone:

- Bandbreite
- Determinismus (Latenz / Jitter)
- Flexibilität
- Fehlertolerant

Lösungsmöglichkeiten:

- FlexRay
- Real-Time Ethernet

Time Triggered
Scheduling

Jan Kamieth

Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling
FlexRay
TT-Ethernet

Ausblick

1 Motivation

2 Hauptteil

3 Ausblick

- Event-Triggered Systeme reagieren auf Ereignisse
- Time-Triggered Systeme reagieren zu festgelegten Zeitpunkten

Vorteile eines Time-Triggered Systems:

- Robust gegenüber fehlerhaften Teilkomponenten
- Effiziente Fehlererkennung
- Statisches Scheduling
- Konstante Latenz und niedriger Jitter

Time Triggered
Scheduling

Jan Kamieth

Motivation

Hauptteil

**Time-Triggered vs
Event-Triggered**

Scheduling

FlexRay

TT-Ethernet

Ausblick

- Durchsatz: Möglichst viele Nachrichten in kurzer Zeit
- Effizienz: Alle Komponenten werden gleichmäßig ausgelastet
- Fairness: Kein 'Verhungern' von Nachrichten
- Termineinhaltung: Das Einhalten aller Deadlines

Statisches Scheduling:

- Basiert auf Parametern, die schon vor der Aktivierung des Tasks bekannt sind.
- Wird bereits zur Designzeit des Systems festgelegt und bleibt im Betrieb des Systems unverändert.

Time Triggered
Scheduling

Jan Kamieth

Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered

Scheduling

FlexRay

TT-Ethernet

Ausblick

Bestandteile des Problems:

- Eine Menge von Nachrichten
- Eine 'Menge' von Bandbreite
- Eine Menge von Komponenten im System
- Vorgängerrelationen zwischen Nachrichten
- Zeitliche Anforderungen an Nachrichten

Das Scheduling Problem ist NP-Vollständig.

Motivation

Hauptteil

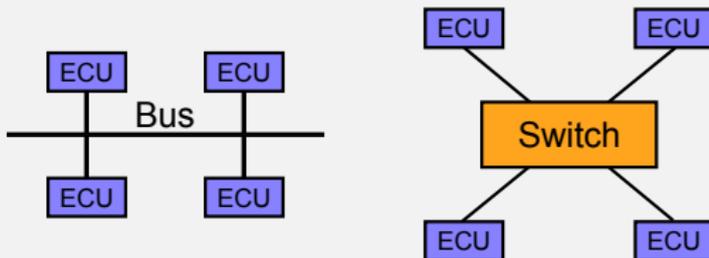
Time-Triggered vs
Event-Triggered

Scheduling

FlexRay

TT-Ethernet

Ausblick



Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered

Scheduling

FlexRay

TT-Ethernet

Ausblick

Erhöhte Komplexität bei Switch basierten Systemen
durch Parallelität.

Wird seit dem Jahr 2000 von BMW, Daimler AG, Motorola und Philips entwickelt.



- Serielles, deterministisches und fehlertolerantes Feldbussystem
- Zweikanaligkeit im Protokoll
- Bitraten bis 10 Mbit/s je Kanal
- Garantierte Latenzzeiten
- Stern-, Bustopologie sowie Topologien mit Bussen an den Sternarmen

Time Triggered
Scheduling

Jan Kamieth

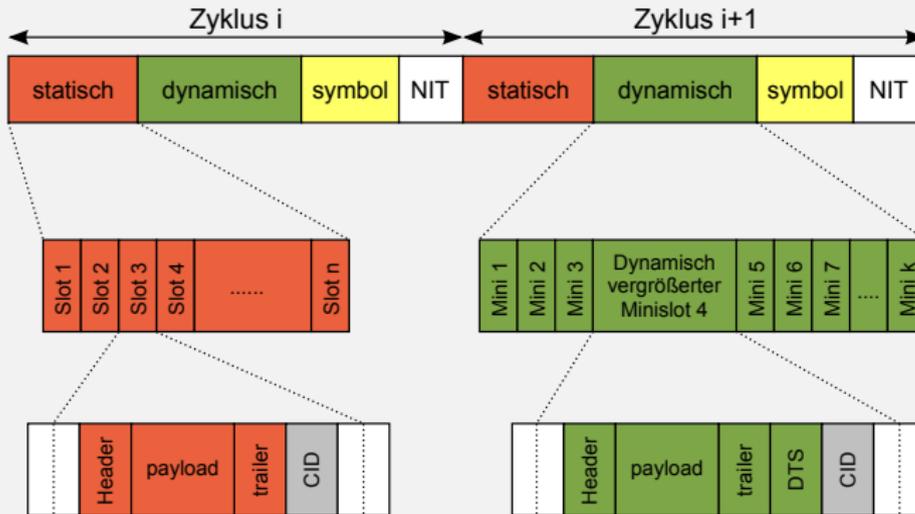
Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling

FlexRay
TT-Ethernet

Ausblick



2

Motivation

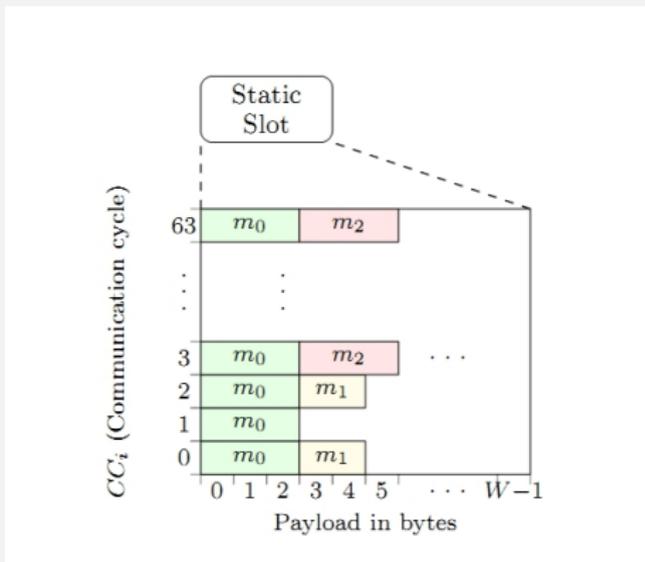
Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling

FlexRay
TT-Ethernet

Ausblick

² Ralf Pfeifer: „FlexRay“. 2011.



³ Martin Lukasiewicz und Paul Milbredt: „FlexRay Schedule Optimization of the Static Segment“. 2009.

Optimierung des Schedules mittels Bin-Packing: Komplexität: NP-Vollständig

- Transformation (Slot Packing -> Bin Packing)
- Bin Packing (Minimize Allocated Slots)
- Reordering (Maximize Extensibility)
- Transformation (Bin Packing -> Slot Packing)

Motivation

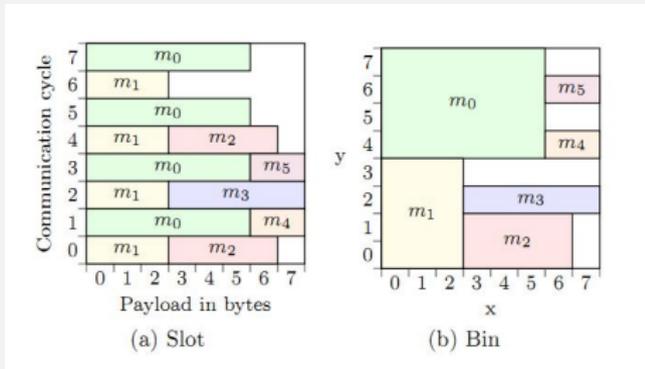
Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling

FlexRay

TT-Ethernet

Ausblick



4

Transformation von einem Slot-Packing Problem (a) zu einem Bin-Packing Problem (b) mittels einer Heuristik.

⁴ Martin Lukasiewicz und Paul Milbredt: „FlexRay Schedule Optimization of the Static Segment“. 2009.

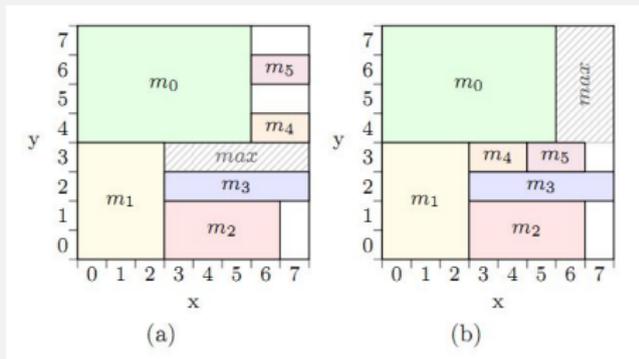
Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling

FlexRay
TT-Ethernet

Ausblick



5

Durch Umordnung der Bins wird aus einer suboptimalen Lösung (a) eine optimale Lösung (b) mit einem maximal großem freien Bin.

⁵ Martin Lukaszewycz und Paul Milbredt: „FlexRay Schedule Optimization of the Static Segment“. 2009.

- Entwickelt von der TTTech Computertechnik AG
- Synchronisationsprotokoll
- Scheduling
- 3 Nachrichtenklassen
 - *Time-triggered*
zeitgesteuert, zyklisch
 - *Rate-constrained*
Event-basiert
 - *Best-effort*
Standard-Ethernet

Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling
FlexRay
TT-Ethernet

Ausblick

TT-Ethernet

Ein Beispielzyklus

Time Triggered Scheduling

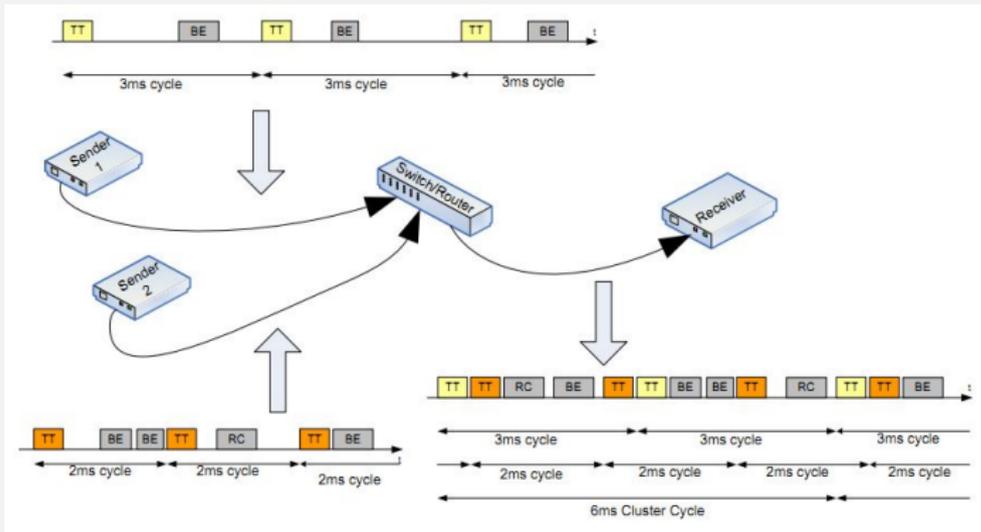
Jan Kamieth

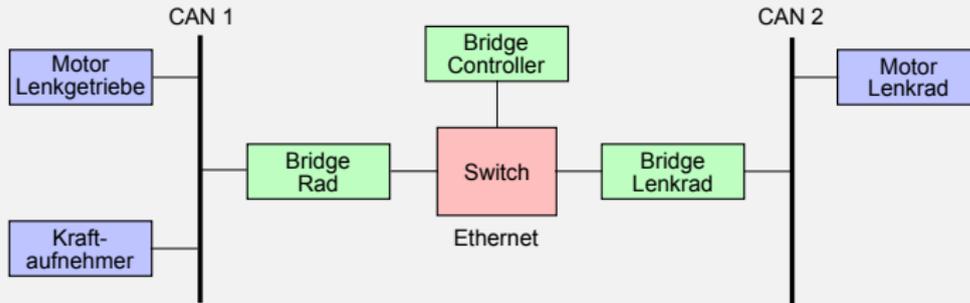
Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling
FlexRay
TT-Ethernet

Ausblick





- System aus 2 CAN-Bussen, die über einen TT-Ethernet Backbone gekoppelt werden, mit 3 TT-Ethernet Teilnehmern
- Übersichtliches System
- Scheduling wurde per 'Hand' angelegt

Time Triggered
Scheduling

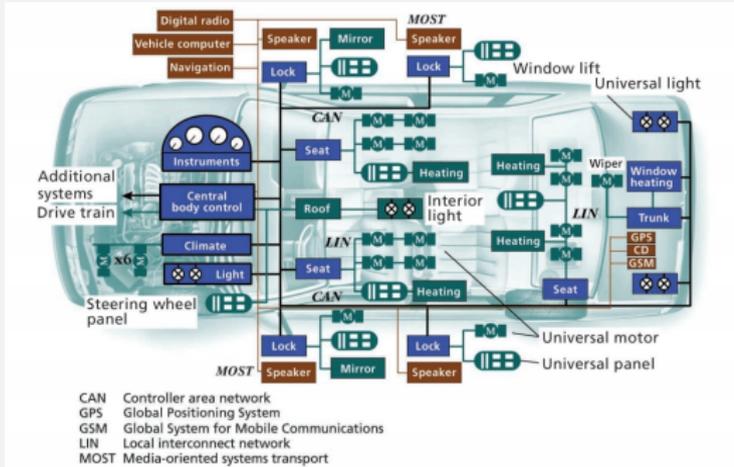
Jan Kamieth

Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs
Event-Triggered
Scheduling
FlexRay
TT-Ethernet

Ausblick



Time Triggered Scheduling

Jan Kamieth

Motivation

Hauptteil

Time-Triggered vs Event-Triggered Scheduling
FlexRay

TT-Ethernet

Ausblick

- Vollständiger Backbone verbindet mehrere Dutzend Komponenten
- Mehrere Switches im System möglich
- Scheduling-Problem nicht mehr von 'Hand' lösbar

Time Triggered
Scheduling

Jan Kamieth

Motivation

Hauptteil

Ausblick

1 Motivation

2 Hauptteil

3 Ausblick

Ein Tool zum automatisierten Erstellen des Scheduling

- Einhalten aller Deadlines
- Geringe Latenz und niedriger Jitter
- Optimale Nutzung der Bandbreite
- Einfache Erweiterungen des Systems möglich

Welche Risiken bestehen?

- Komplexität des Scheduling-Problems
- NP-Vollständig (eine effiziente Lösung evtl. nicht möglich)
- Einsatz von genetischen Algorithmen und Heuristiken
- Kein System zum Testen vorhanden

Motivation

Hauptteil

Ausblick

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Fragen?



Martin Lukaszewicz, Michael Glaß, and Jürgen Teich
'FlexRay Schedule Optimization of the Static Segment'
CODES+ISSS'09, October 11–16, 2009, Grenoble, France.

Klaus Schmidt and Ece Guran Schmidt
'Message Scheduling for the FlexRay Protocol: The Static Segment'
IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 58, NO. 5, JUNE
2009

Eric Armengaud, Allan Tengg, Mario Driussi, Michael Karner, Christian Steger, Reinhold
Weiß
'Automotive Software Architecture: Migration Challenges from an Event-Triggered to a
Time-Triggered Communication Scheme'

Intelligent solutions in Embedded Systems, 2009

Motivation

Hauptteil

Ausblick

Time Triggered Scheduling

Jan Kamieth

Wei Zheng, Jike Chong, Claudio Pinello, Sri Kanajan, Alberto Sangiovanni-Vincentelli
'Extensible and Scalable Time Triggered Scheduling'
Proceedings of the Fifth International Conference on Application of Concurrency to
System Design (ACSD'05)

Paul Pop, Petru Eles, and Zebo Peng
'An Improved Scheduling Technique for Time-Triggered Embedded Systems'
EUROMICRO Conference, 1999. Proceedings. 25th

Martin Lukasiewicz, Samarjit Chakraborty, Paul Milbredt
'FlexRay Switch Scheduling - A Networking Concept for Electric Vehicles'
Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE), 2011

Motivation

Hauptteil

Ausblick