

Master-Seminar Präsentation

Worst Case Timing Analyse für TSN im Automotive-Kontext

Jonas Engler

jonas.engler@haw-hamburg.de

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

11. November 2014



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

MS Präsentation

Jonas Engler

Einleitung

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

1 Einleitung

2 TSN-Analyse

3 Anwendung

4 Abschluss

MS Präsentation

Jonas Engler

1 Einleitung

2 TSN-Analyse

3 Anwendung

4 Abschluss

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis



©Robert Basic, CreativeCommons cc-by-sa-2.0

- Ständig technische Neuerungen
- → Wachsende Zahl von ECUs
- → Erhöhter Bandbreiten-Bedarf

Aktuelle Netzwerke

- Zu geringe Bandbreite (CAN)
- Veraltet (MOST)
- Unübersichtlich

Aktuelle Netzwerke

- Zu geringe Bandbreite (CAN)
- Veraltet (MOST)
- Unübersichtlich

Ethernet

- Hohe Bandbreite
- Gute Synchronisationsmechanismen
- Kompatibel zum Großteil der Endgeräte
- „Ein Netz für alles“

Audio/Video Bridging ist eine Erweiterung des Ethernet-Standards

- Reihe von IEEE Standards [1, 2, 3, 4]
- Zusätzliche Prioritäten an den Switches
- Prioritäts-Sendungen werden mit Credits verwaltet
- Dynamik durch Bandbreiten-Reservierung

[Einleitung](#)[Motivation](#)[Protokolle](#)[Feasibility](#)[TSN-Analyse](#)[Anwendung](#)[Abschluss](#)[Literaturverzeichnis](#)

Audio/Video Bridging ist eine Erweiterung des Ethernet-Standards

- Reihe von IEEE Standards [1, 2, 3, 4]
- Zusätzliche Prioritäten an den Switches
- Prioritäts-Sendungen werden mit Credits verwaltet
- Dynamik durch Bandbreiten-Reservierung

Echtzeiteinsatz schwierig

- Latenzen können nicht garantiert werden
- Latenzen sind zu hoch
- **Probleme betreffen nur worst-case-timing**

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Time Triggered Ethernet

- Erweiterung für Ethernet
- Sendungen in festgelegten Zeitslots
- Geringe Latenzen

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Time Triggered Ethernet

- Erweiterung für Ethernet
- Sendungen in festgelegten Zeitslots
- Geringe Latenzen

Time Sensitive Networking ist der nächste Entwicklungsschritt von AVB

- Zielsetzung auf „Industrial and Automotive needs“
- Anpassungen der verwendeten Protokolle
- Einbeziehen von Präemption oder Fragmentierung
- Erweiterung auf Time Aware Shaper
- → angelehnt an TTE

Ist ein Netzwerk geeignet für alle Anwendungen?

- Hohe Bandbreite (Medien)
- Synchronisation (Medien, Rückfahrkamera, ...)
- Kontrollnachrichten
- Sicherheitsrelevante niedrige Latenzen

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Ist ein Netzwerk geeignet für alle Anwendungen?

- Hohe Bandbreite (Medien)
- Synchronisation (Medien, Rückfahrkamera, ...)
- Kontrollnachrichten
- Sicherheitsrelevante niedrige Latenzen

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Ist ein Netzwerk geeignet für alle Anwendungen?

- Hohe Bandbreite (Medien)
- Synchronisation (Medien, Rückfahrkamera, ...)
- Kontrollnachrichten
- Sicherheitsrelevante niedrige Latenzen
- Einhaltung der Latenzen?

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Ist ein Netzwerk geeignet für alle Anwendungen?

- Hohe Bandbreite (Medien)
- Synchronisation (Medien, Rückfahrkamera, ...)
- Kontrollnachrichten
- Sicherheitsrelevante niedrige Latenzen
- Einhaltung der Latenzen?
- → **Worst-Case-Analyse**

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Ist ein Netzwerk geeignet für alle Anwendungen?

- Hohe Bandbreite (Medien)
- Synchronisation (Medien, Rückfahrkamera, ...)
- Kontrollnachrichten
- Sicherheitsrelevante niedrige Latenzen
- Einhaltung der Latenzen?
- → **Worst-Case-Analyse**
- → Modifizierung der Topologie

Einleitung

Motivation

Protokolle

Feasibility

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

MS Präsentation

Jonas Engler

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

1 Einleitung

2 TSN-Analyse

3 Anwendung

4 Abschluss

AVB wird um TDMA-Komponenten aus TTE erweitert

- TAS(Time Aware Shaper) anstelle von TTE
- Getrennte Queues für alle Prioritäten
- Ein Traffic Shaper für alle

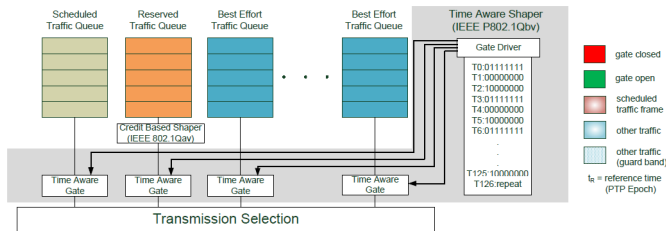


Abb. aus [5] Seite 2

AVB-Protokoll wird mit TTE kombiniert

- Höchste Priorität für TTE-Frames
- In reservierten Zeitslots kann AVB nicht senden
- Ab AVB-Klasse A AVB-Hierarchie



Abb. aus [5] Seite 2

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

AVB-Protokoll wird mit TTE kombiniert

- Höchste Priorität für TTE-Frames
- In reservierten Zeitslots kann AVB nicht senden
- Ab AVB-Klasse A AVB-Hierarchie
- Latenzverschiebungen durch Interferenzen?



Abb. aus [5] Seite 2

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Es gibt Analysen für

- ... Automotive-Netzwerke
- ... AVB
- ... TTE

Analyse für	Network-Calculus	Andere Verfahren
Automotive-Netzwerke	[6]	[7]
AVB	[8]	[9]
TTE	[10]	
TSN		

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Es gibt Analysen für

- ... Automotive-Netzwerke
- ... AVB
- ... TTE

Es gibt keine Analysen für TSN

Analyse für	Network-Calculus	Andere Verfahren
Automotive-Netzwerke	[6]	[7]
AVB	[8]	[9]
TTE	[10]	
TSN		

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Es gibt Analysen für

- ... Automotive-Netzwerke
- ... AVB
- ... TTE

Es gibt keine Analysen für TSN → In dieser Thesis

Analyse für	Network-Calculus	Andere Verfahren
Automotive-Netzwerke	[6]	[7]
AVB	[8]	[9]
TTE	[10]	
TSN	MA	MA

Ziele

MS Präsentation

Jonas Engler

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Ziele

- Worst-Case der Latenzen bestimmen
- Aufbereitung, Interpretation
- Verbesserung des Aufbaus
- AVB-Streams im Fokus

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Ziele

- Worst-Case der Latenzen bestimmen
- Aufbereitung, Interpretation
- Verbesserung des Aufbaus
- AVB-Streams im Fokus

Andere Möglichkeiten?

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

Ziele

- Worst-Case der Latenzen bestimmen
- Aufbereitung, Interpretation
- Verbesserung des Aufbaus
- AVB-Streams im Fokus

Andere Möglichkeiten?

- Simulation möglich
- → „Einfacher“
- → Übersichtlicher

Ziele

- Worst-Case der Latenzen bestimmen
- Aufbereitung, Interpretation
- Verbesserung des Aufbaus
- AVB-Streams im Fokus

Andere Möglichkeiten?

- Simulation möglich
- → „Einfacher“
- → Übersichtlicher
- → **Kein garantierter Worst-Case**

Ziele

- Worst-Case der Latenzen bestimmen
- Aufbereitung, Interpretation
- Verbesserung des Aufbaus
- AVB-Streams im Fokus

Andere Möglichkeiten?

- Simulation möglich

- → **Kein garantierter Worst-Case**

Analyse-Verfahren Network-Calculus[11]

- Algebra für Netzwerke
- Ermittlung von Queue-Größen und **Worst-Case-Latenzen**
- Vorhandene Anpassung an AVB[8]
- Vorhandene Anpassung an TTE[10]
- Erweiterung der Ansätze (TSN) möglich

Weiterentwicklung für TSN

- Integration von TTE-Frames
- Führt zu Interferenzen der beiden Protokolle
- → TTE hat höhere Priorität
- → Unantastbare Zeitslots
- → Können verschieden oft auftreten
- → Variable Anpassung des Network-Calculus
- → **Neues Modell nötig**

Einleitung

TSN-Analyse

Verbindung AVB/TTE

Analyse

Network Calculus

Analyse-Wahl

Anwendung

Abschluss

Literaturverzeichnis

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
- Initial burst
- Stream bandwidth
- Instantaneous Rate
- Incoming bandwidth
- Beanspruchte Zeit des Bursts

1 Statisch

2 Variabel

3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
 - Initial burst
 - Stream bandwidth
 - Instantaneous Rate
 - Incoming bandwidth
 - Beanspruchte Zeit des Bursts
-
- 1 Statisch
 - 2 Variabel
 - 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
 - Initial burst
 - Stream bandwidth
 - Instantaneous Rate
 - Incoming bandwidth
 - Beanspruchte Zeit des Bursts
-
- 1 Statisch
 - 2 Variabel
 - 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
 - Initial burst
 - Stream bandwidth
 - Instantaneous Rate
 - Incoming bandwidth
 - Beanspruchte Zeit des Bursts
-
- 1 Statisch
 - 2 Variabel
 - 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
 - Initial burst
 - Stream bandwidth
 - Instantaneous Rate
 - Incoming bandwidth
 - Beanspruchte Zeit des Bursts
-
- 1 Statisch
 - 2 Variabel
 - 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
 - Initial burst
 - Stream bandwidth
 - Instantaneous Rate
 - Incoming bandwidth
 - Beanspruchte Zeit des Bursts
-
- 1 Statisch
 - 2 Variabel
 - 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
- Initial burst
- Stream bandwidth
- Instantaneous Rate
- Incoming bandwidth
- Beanspruchte Zeit des Bursts

- 1 Statisch
- 2 Variabel
- 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
- Initial burst
- Stream bandwidth
- Instantaneous Rate
- Incoming bandwidth
- Beanspruchte Zeit des Bursts

- 1 Statisch
- 2 Variabel
- 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
 - Initial burst
 - Stream bandwidth
 - Instantaneous Rate
 - Incoming bandwidth
 - Beanspruchte Zeit des Bursts
-
- 1 Statisch
 - 2 Variabel
 - 3 Modifizierung für TSN

$$\overline{D_{tcl}} = (T_{tcl} - \tau_{tcl}) + \frac{\sigma_{tcl} + \rho_{tcl} \tau_{tcl}}{R_{tcl}}$$

$$\tau_{tcl} = \frac{\sigma_{tcl}}{C_{in} - \rho_{tcl}}$$

Formel aus [8]

- Initial Delay
 - Initial burst
 - Stream bandwidth
 - Instantaneous Rate
 - Incoming bandwidth
 - Beanspruchte Zeit des Bursts
-
- 1 Statisch
 - 2 Variabel
 - 3 **Modifizierung für TSN**

Network-Calculus hat

- ...ein Modell für AVB
- ...ein Modell für TTE
- ...gute Adaptionmöglichkeiten

Network-Calculus hat

- ...ein Modell für AVB
- ...ein Modell für TTE
- ...gute Adaptionmöglichkeiten

Neben NC kommen noch andere Verfahren in Frage

- Flussanalyse[12]
- Scheduling-Transformation[9]
- TWCA[7]
- ...

Neben NC kommen noch andere Verfahren in Frage

- Flussanalyse[12]
- Scheduling-Transformation[9]
- TWCA[7]
- ...

→ Offene Punkte

MS Präsentation

Jonas Engler

Einleitung

TSN-Analyse

Anwendung

Vorgehen

BMW-Modell

Abschluss

Literaturverzeichnis

1 Einleitung

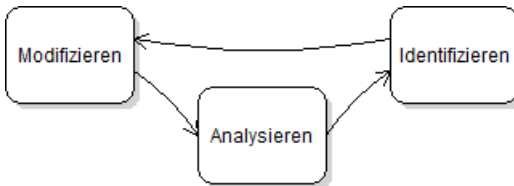
2 TSN-Analyse

3 Anwendung

4 Abschluss

Schrittweise Anwendung des Analyse-Verfahrens

- 1** Modifizieren eines Modells
- 2** Analysieren einzelner Verbindungen
- 3** Identifizieren von Schwachpunkten



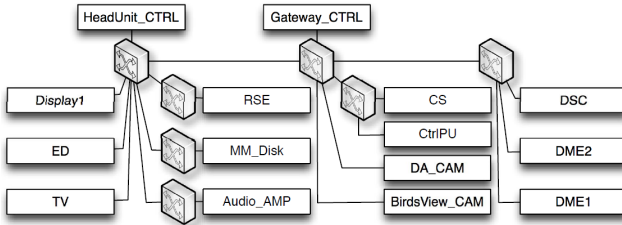


Abb. aus [13]

- Für simulationsbasierte Analysen bereits verwendet[13, 14]
- Bisher nur mit TTE versehen
- Medien-Streams RC→AVB
- Worst-Case-Fälle durch Simulation überprüfbar

MS Präsentation

Jonas Engler

Einleitung

TSN-Analyse

Anwendung

Abschluss

Vorgehen

Einordnung

Platz der Arbeit

Fragen

Literaturverzeichnis

1 Einleitung

2 TSN-Analyse

3 Anwendung

4 Abschluss

- 1** Aufstellen des NC-Verfahrens
- 2** Analyse am vorhandenen BMW-Modell
- 3** Erweiterung des NC-Modells um TT-Traffic
- 4** Anpassung des BMW-Modells
- 5** Evaluierung per Simulation
- 6** Schritt 1-5 mit anderem Analyse-Verfahren
- 7** Aufstellen und Evaluieren eines sicheren Modells

Möglich sind unbefriedigende Ergebnisse

- TTE wirkt sich zu stark auf AVB aus (unwahrscheinlich)
- Modifikationen bringen keine Ergebnis-Variationen
- TSN schlägt – unvorhergesehen – eine andere Richtung ein
- Ergebnisse nicht nachvollziehbar (Beispiel [8])

Für TSN gebraucht werden

- Anwendungsbeispiele,
- Worst-Case-Analysen und
- Einschätzungen

genannt.

→ Feasibility-Studie von AVB Gen 2/TSN

→ Konkretes evaluiertes Automotive-Modell durch
Analyse

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!
Fragen?

- [1] “IEEE standard for local and metropolitan area networks - virtual bridged local area networks amendment 12: Forwarding and queuing enhancements for time-sensitive streams,” *IEEE Std 802.1Qav-2009 (Amendment to IEEE Std 802.1Q-2005)*, pp. C1–72, 2009.
- [2] “IEEE standard for local and metropolitan area networks—virtual bridged local area networks amendment 14: Stream reservation protocol (srp),” *IEEE Std 802.1Qat-2010 (Revision of IEEE Std 802.1Q-2005)*, pp. 1–119, 2010.
- [3] “IEEE standard for local and metropolitan area networks - timing and synchronization for time-sensitive applications in bridged local area

networks,” *IEEE Std 802.1AS-2011*, pp. 1–292, 2011.

[4] “IEEE standard for local and metropolitan area networks–audio video bridging (avb) systems,” *IEEE Std 802.1BA-2011*, pp. 1–45, 2011.

[5] C. Boiger, “Time aware shaper in combination with qbu.” Presentation on 802.1 TSN Task Group — March 2013, March 2013.

[6] M. Manderscheid and F. Langer, “Network Calculus for the Validation of Automotive Ethernet In-vehicle Network Configurations,” in *Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)*, 2011 *International Conference on*, pp. 206–211, Oct 2011.

- [7] S. Quinton, T. Bone, J. Hennig, M. Neukirchner, M. Negrean, and R. Ernst, “Typical worst case response-time analysis and its use in automotive network design,” in *Design Automation Conference (DAC), 2014 51st ACM/EDAC/IEEE*, pp. 1–6, June 2014.
- [8] R. Queck, “Analysis of Ethernet AVB for automotive networks using Network Calculus,” in *Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2012 IEEE International Conference on*, pp. 61–67, 2012.
- [9] J. Diemer, D. Thiele, and R. Ernst, “Formal worst-case timing analysis of ethernet topologies with strict-priority and avb switching,” in *Industrial Embedded Systems*

(SIES), 2012 7th IEEE International Symposium on, pp. 1–10, 2012.

- [10] L. Zhao, H. XIONG, Z. Zheng, and Q. Li, “Improving worst-case latency analysis for rate-constrained traffic in the time-triggered ethernet network,” *Communications Letters, IEEE*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2014.
- [11] J.-Y. Le Boudec and P. Thiran, *Network calculus: a theory of deterministic queuing systems for the internet*, vol. 2050. Springer, 2001.
- [12] M. Aoki and S. Urushidani, “Flow analysis system for multi-layer service networks,” in *Information and Telecommunication*

Technologies (APSITT), 2012 9th Asia-Pacific Symposium on, pp. 1–6, Nov 2012.

[13] T. Steinbach, H.-T. Lim, F. Korf, T. Schmidt, D. Herrscher, and A. Wolisz, “Tomorrow’s in-car interconnect? a competitive evaluation of ieee 802.1 avb and time-triggered ethernet (as6802),” in *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2012 IEEE*, pp. 1–5, 2012.

[14] H.-T. Lim, D. Herrscher, and F. Chaari, “Performance comparison of ieee 802.1q and ieee 802.1 avb in an ethernet-based in-vehicle network,” in *Computing Technology and Information Management (ICCM), 2012 8th International Conference on*, vol. 1, pp. 1–6, 2012.