

Zeitsynchronisierung in verteilten Systemen

Ein Peer2Peer-basierender Ansatz

Kai Müller

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

15. Dezember 2011



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

- 1** Motivation
- 2** Zeitsynchronisation
- 3** Technologieübersicht
- 4** Problemstellung und Zielsetzung
- 5** Roadmap

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

Stetig steigender Bedarf an echtzeitfähigen Netzwerken

AW1

K. Müller

Stetig steigender Bedarf an echtzeitfähigen Netzwerken

Automotive

- Unzureichende Bandbreite für zukünftige fahrerunterstützende Systeme
- Komplexität durch Inhomogenität

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und Zielsetzung

Roadmap

AW1

K. Müller

Stetig steigender Bedarf an echtzeitfähigen Netzwerken

Automotive

- Unzureichende Bandbreite für zukünftige fahrerunterstützende Systeme
- Komplexität durch Inhomogenität

Produktions und Automatisierungstechnik

- Vernetzung der Motoren von Produktionsstraßen
- Über 100 Knoten

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und Zielsetzung

Roadmap

Stetig steigender Bedarf an echtzeitfähigen Netzwerken

Automotive

- Unzureichende Bandbreite für zukünftige fahrerunterstützende Systeme
- Komplexität durch Inhomogenität

Produktions und Automatisierungstechnik

- Vernetzung der Motoren von Produktionsstraßen
- Über 100 Knoten

Medizintechnik

- Koordination von Sensorik und Aktorik
- Einsatzmöglichkeit in CRTs wird untersucht

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und Zielsetzung

Roadmap

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

Eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen resultierten in der Entwicklung spezieller Echtzeit-Protokolle:

- Bandbreitenbasiert (AFDX)
- Token-Basiert (Ethercat)
- TDMA-Verfahren (TTEthernet, TTP, Flexray)

Eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen resultierten in der Entwicklung spezieller Echtzeit-Protokolle:

- Bandbreitenbasiert (AFDX)
- Token-Basiert (Ethercat)
- TDMA-Verfahren (TTEthernet, TTP, Flexray)

Kurzüberblick

- Zeitsynchronisation arbeitet ausschließlich nach dem Master-Slave-Prinzip
- Untersuchung: Verhalten einer Synchronisation auf Peer2Peer-Ebene
- Vor- und Nachteile, Machbarkeit, Analyse

- Anwendungen in zeitlicher Abhängigkeit
 - > Synchronisation notwendig
- Notwendigkeit eines Protokolls zur Synchronisation durch:
 - Unterschiede in der Taktfrequenz der Quarze
 - Einfluss durch äußere Einwirkungen (Temperatur, Druck, Erschütterungen, ...)
 - Alterung des Quarzes
- Synchronisierung durch:
 - Offset Correction
 - Drift Correction

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und Zielsetzung

Roadmap

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

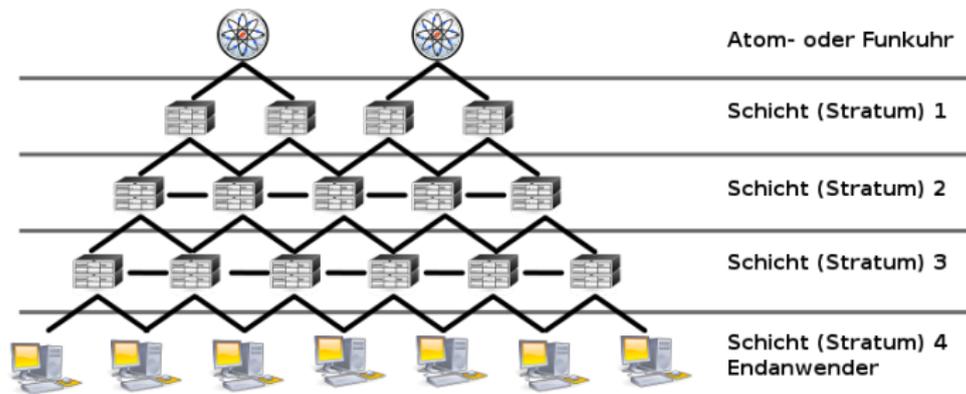
Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

Bisherige Lösungen und verwandte Arbeiten:

- (Simple) Network Time Protocol (RFC 5905-5908)
- Precision Time Protocol (IEEE 1588)
- Time-Triggered Protocol (SAE AS6003)
- Time-Triggered Ethernet (SAE AS6802)

Sie unterscheiden sich im allgemeinen von den Anforderungen, die an sie gestellt werden und deren Verarbeitungsaufwand



Atom- oder Funkuhr

Schicht (Stratum) 1

Schicht (Stratum) 2

Schicht (Stratum) 3

Schicht (Stratum) 4
Endanwender

- Phasenkorrektur via Software-PLL
- Frequenzkorrektur via Software-FLL
- Hierarchisches System verschiedener Strata
- Genauigkeit von 200 Mikrosekunden

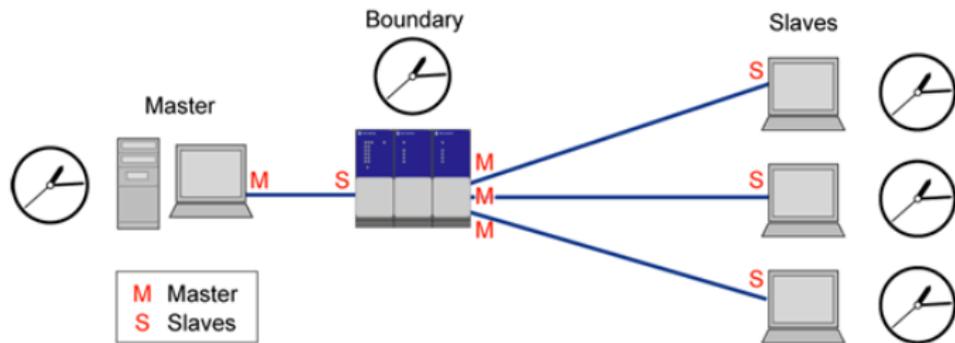
Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap



- Zwei Synchronisierungsverfahren möglich:
Two-step-mode und One-step-mode
- Transparent Clock
- Zweiphasen Algorithmus
(1. Offsetkorrektur, 2. Delaymessung)

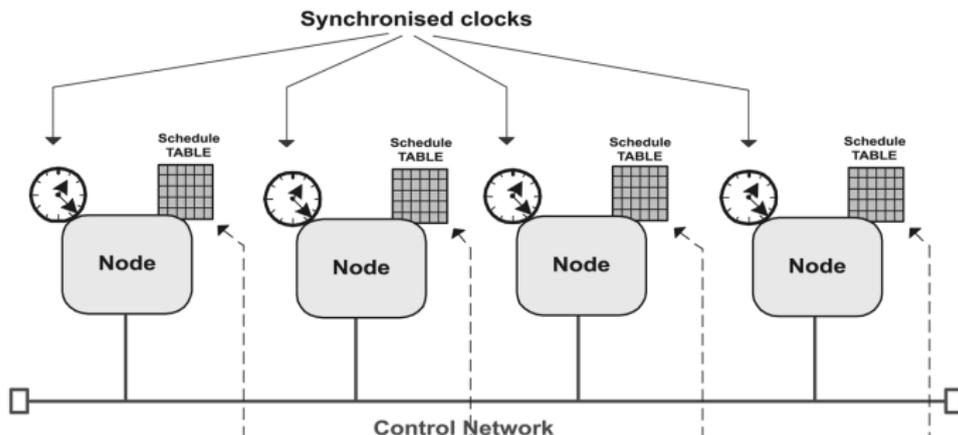
Motivation

Zeitsynchronisation

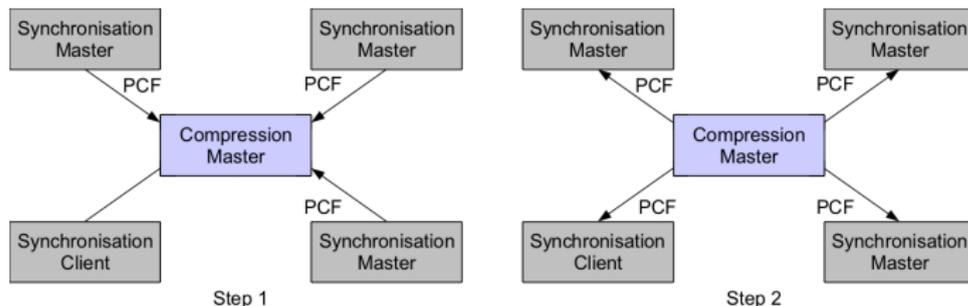
Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap



- Einsatz von Buswächter (Endsystem oder Zentral)
- Unterschiedliche Semantik von Frames
 - I-Frame und N-Frame
- Synchronisation über Empfang von Frames



- Master-Slave-Ansatz + Compressionmaster
- Vereinigung von harten und weichen Echtzeitdaten, sowie Standard-Ethernet
- Transparent Clock
- Cliquedetection
- Starre auf Automaten basierende Rollen

Zeitsynchronisationsverfahren basieren auf Master-Slave Ansätzen

Probleme dieser Architektur:

- Das Ausfallen vom Master führt zum Verlust der Synchronisation (Single Point of Failure)
- In Netzen mit mehreren Mastern kann der Verlust eines Masters die Clique-Bildung begünstigen, womit ein Subnetz zwar in sich synchronisiert wäre, aber zum Rest des Netzes asynchron arbeiten würde
- Skalierungsproblem: Sollte ein Client nachträglich in das Netzwerk eingepflegt werden, muss seine Rolle im voraus bekannt sein

AW1

K. Müller

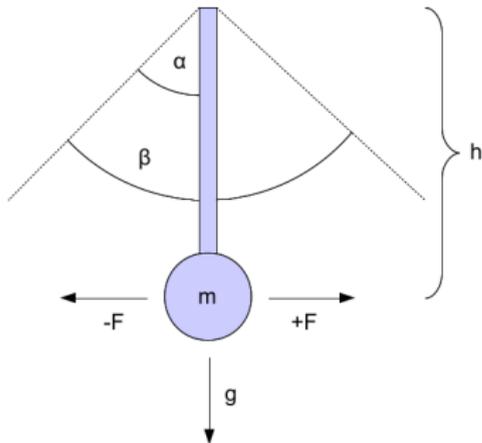
Motivation

Zeitsynchronisation

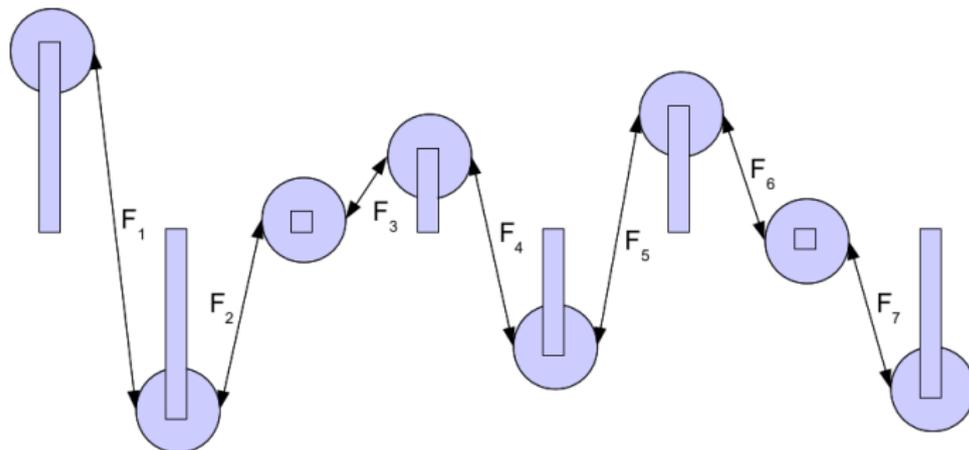
Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap



- m : Masse
[Gewichtung]
- g : Rückstellkraft
[Taktung]
- F : Auslenkungskraft
[Synchronisation]
- Alpha: Auslenkung
[Abweichung]
- Beta: Maximaler
Schwingungsbereich
[Interne Uhr]



Portierungsoptionen:

- Nutzung des Best-Master-Clock algorithm (BMC) zur Bestimmung von Gewichtung
- Nutzung der P2P-Kommunikation des PTP

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

- Genauigkeit
- Bandbreite
- Skalierbarkeit
- Ausfallsicherheit
- Verarbeitungsaufwand
- Fähigkeiten (Signallaufzeiten, Autonome Rollendynamik, Cliquedetektion, ...)

- Genauigkeit
- Bandbreite
- Skalierbarkeit
- Ausfallsicherheit
- Verarbeitungsaufwand
- Fähigkeiten (Signallaufzeiten, Autonome Rollendynamik, Cliquedetektion, ...)

Anforderungen

- An lokale Uhren
- An den Durchsatz des Netzwerkes
- An die Verarbeitungskapazität

Neue Einsatzszenarien:

- Derzeitige Planung von Echtzeitfähigen Netzwerken vereinfacht
- Netzteilnehmer dürfen Kontakt zum Netz verlieren oder zerstört werden
- Keine wichtigen Knoten, deren Verlust schwerer wiegt
- Komponenten eines Netzwerkes dürfen sich zu einem beliebigen Zeitpunkt abschalten (ohne vorherige Signalisierung)

AW1

K. Müller

- Simulation des physikalischen Ansatzes (MATLAB)
- Analyse und Bewertung von Metriken
- Übertragung des Ansatzes auf ein Netzwerkfähiges Modell
- Simulation des Modells (OMNeT++)
- Evaluierung und Validierung des Modells
- Vergleich der P2P-Synchronisation mit bestehenden Master-Slave-Verfahren
- Umsetzung eines Steuergerätes (TTEthernet)

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und Zielsetzung

Roadmap

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

- P2P-Synchronisierung benötigt zu lange für den stabilen Zustand
- Der P2P-Synchronisationsalgorithmus ist ein eskalierendes System
- Vorteile des Ansatzes wiegen nicht schwer genug
- Gleichzeitige Entwicklungen machen Untersuchungsergebnisse obsolet

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

Sind Fragen aufgekommen,
die ich nun beantworten darf?

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

- TAN, Alexander E.: IEEE 1588 Precision Time Protocol Time Synchronization Performance. National Semiconductor Corporation
- AERONAUTICAL RADIO INCORPORATED: Aircraft Data Network, Part 7, Avionics Full-Duplex Switched Ethernet Network / ARINC. 2009 (ARINC Report 664P7-1). – Standard
- ETHERCAT TECHNOLOGY GROUP: EtherCAT
- FERRARI, P. ; FLAMMINI, A. ; RINALDI, S. ; GADERER, G.: Evaluation of clock synchronization accuracy of coexistent Real-Time Ethernet protocols. In: IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication

AW1

K. Müller

- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems
- KISZKA, Jan ; WAGNER, Bernado: RTnet – a flexible hard real-time networking framework. In: 10th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation
- KOPETZ, Hermann: Real-time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. 8. Boston : Kluwer Academic

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und Zielsetzung

Roadmap

AW1

K. Müller

Motivation

Zeitsynchronisation

Technologieübersicht

Problemstellung und
Zielsetzung

Roadmap

- KOPETZ, Hermann ; ADEMAJ, Astrit ; GRILLINGER, Petr ; STEINHAMMER , Klaus: The time-triggered Ethernet (TTE) design. In: Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing, 2005. ISORC 2005
- LAW, Averill M. ; KELTON, W. David: Simulation modeling and analysis. 2. New York : McGraw-Hill
- LING, Chongwei ; WANG, Zhonglei: Performance Analysis of A Real-Time Ethernet Using OMNeT++. München, TU München, Masterthesis
- STEINER, Wilfried: TTEthernet Specification. TTEch Computertechnik AG