



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

AW 1 Ausarbeitung

Jonas Engler

Echtzeitansätze für AVB

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Jonas Engler

Echtzeitansätze für AVB

AW 1 Ausarbeitung eingereicht im Rahmen der AW1 Ausarbeitung

im Studiengang Master Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Fohl
Zweitgutachter: Prof. Dr. Thiel-Clemen

Eingereicht am: 23. Juli 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Audio/Video Bridging	2
	2.1 Aufbau und technische Anforderungen	2
	2.2 Sendebau	3
	2.3 Das Echtzeit-Problem	4
3	Latenzverringern von AVB	5
	3.1 Das Problem	5
	3.2 Präemption	6
	3.3 Fragmentierung	7
	3.4 Änderungen & Erweiterungen	7
4	Failsafe-Mechanismen	9
5	Stand der Entwicklung	10
6	Fazit und Aussicht	10

1 Einleitung

Die Technologie in Autos hat mit entscheidenden technischen Neuerungen in den späten 1970er Jahren für ein Umdenken in der Verkabelungstechnik gesorgt. Kabelbäume wurden schlicht zu schwer und mussten deshalb den neu entwickelten Feldbus-Systemen weichen. Durch diese Feldbusse war es nun möglich, immer mehr Geräte zu verbinden, ohne dass jeweils eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung hergestellt werden musste.

Seit dieser Umstellung ist bereits einige Zeit vergangen und heute zeigt sich ein weiterer Wandel. Die Technologien verlagern sich zunehmend in den „Infotainment“-Bereich, was höhere Anforderungen an die verwendeten Kommunikations-Mechanismen stellt. Nicht unüblich sind beispielsweise gleich mehrere Kameras, die für Einpark-Hilfen verwendet werden, oder multimediale Anwendungen wie beispielsweise gestreamte Audio-Daten. Problematisch sind hierbei oft die verwendeten Bandbreiten. Bei vielen Feldbus-Protokollen ist diese vergleichsweise niedrig (beispielsweise CAN mit maximal 1Mbit/s) und kann deshalb nur schlecht für größere Datenmengen verwendet werden.

Es gibt inzwischen längst Technologien, die größere Bandbreiten aufweisen können. Eine der am weitest verbreiteten Lösungen ist Ethernet. Sowohl in der 100Mbit/s- als auch in der Gigabit-Variante ist es gut für moderne Anforderungen geeignet. Was allerdings mit Feldbus-Systemen noch einfach zu verarbeiten war – die schnelle Übertragung von Kontrollnachrichten – bereitet Ethernet-Protokollen nach wie vor Schwierigkeiten. Die Verbindung aus großen Nachrichtenpaketen (ein Standard-Ethernet-Frame kann bis zu 1518Bytes groß sein) und dem Fehlen eines Präemptions-Mechanismus kann sehr große Verzögerungen für die Sendung eines Frames bedeuten.

Audio/Video Bridging (AVB) [1] ist eine der möglichen zukünftigen Lösungen für den Einsatz von Ethernet im Automotive-Kontext und anderen (industriellen) Bereichen, die auf schnelle Übertragungen bauen. In seiner gegenwärtigen Form hat AVB allerdings nach wie vor die oben genannten Probleme, es kann nur relativ große Latenzen (maximal 2ms über 7 Hops) garantieren. Obwohl AVB ursprünglich nur als Protokoll für die Vereinfachung von AV-Übertragungen gedacht war (in diesem Bereich wird immernoch viel über analoge Punkt-zu-Punkt-Verbindungen übertragen), hat das Potential der Technik dazu geführt, dass eine neue Generation (AVB Gen 2) unter dem Namen TSN (Time-Sensitive-Networking) entwickelt wird. Am Ende dieser Weiterentwicklung soll ein echtzeitfähiges Protokoll stehen, das weiterhin kompatibel zu Standard-Ethernet ist.

Diese Ausarbeitung wird unter Betreuung von Prof. Dr. Korf in der Arbeitsgruppe CoRE [2] erstellt und gibt anfangs einen groben Überblick auf die Funktionsweise von AVB. Im Anschluss daran werden Ansätze betrachtet, die für den Einsatz in der nächsten Generation in Frage kommen. Zusätzlich wird ein Blick auf den aktuellen Stand der Entwicklung geworfen und eine Prognose des zukünftigen Verlaufs erstellt.

2 Audio/Video Bridging

Audio/Video Bridging (AVB) ist die Bezeichnung für eine Reihe von Standards [3-6] der IEEE. Die AVB TG (Audio/Video Bridging Task Group unter IEEE 802.1) hat diese Standards zum Zwecke der zeitsynchronisierten Niedrig-Latenz-Übertragung von Streams in IEEE802 Netzen entworfen (vgl. [1]). Der Standard 802.1BA (Audio Video Bridging (AVB) Systems) [6] gibt eine Übersicht auf das System, indem es Profile (Optionen und Features für die Konfiguration von Knoten) bereitstellt, die für die Herstellung von AVB-kompatiblen LAN-Komponenten benutzt werden können. Dieses Kapitel zeigt die Grundvoraussetzungen, die für ein AVB-Netzwerk nötig sind und veranschaulicht den Ablauf einer Sendung. Anschließend werden die Probleme bezüglich der Echtzeitfähigkeit erläutert.

2.1 Aufbau und technische Anforderungen

Ein AVB-Netzwerk besteht aus mehreren End-Stationen, die entweder als Talker (Sender), Listener (Empfänger), oder als Talker und Listener agieren. Verbunden werden sie durch MAC-Bridges, die die AVB-Anforderungen unterstützen. Es können in sich geschlossene LANs sein, die dann miteinander verbunden werden. Abb. 1 zeigt einen beispielhaften Netzwerk-Aufbau mit AVB-Komponenten. Durch die Kompatibilität zu herkömmlichen IEEE802-Netzen ist der Anschluss von nicht-AVB-fähigen Komponenten zwar möglich, diese können dann aber nicht für die Übertragung von AVB-Streams genutzt werden.

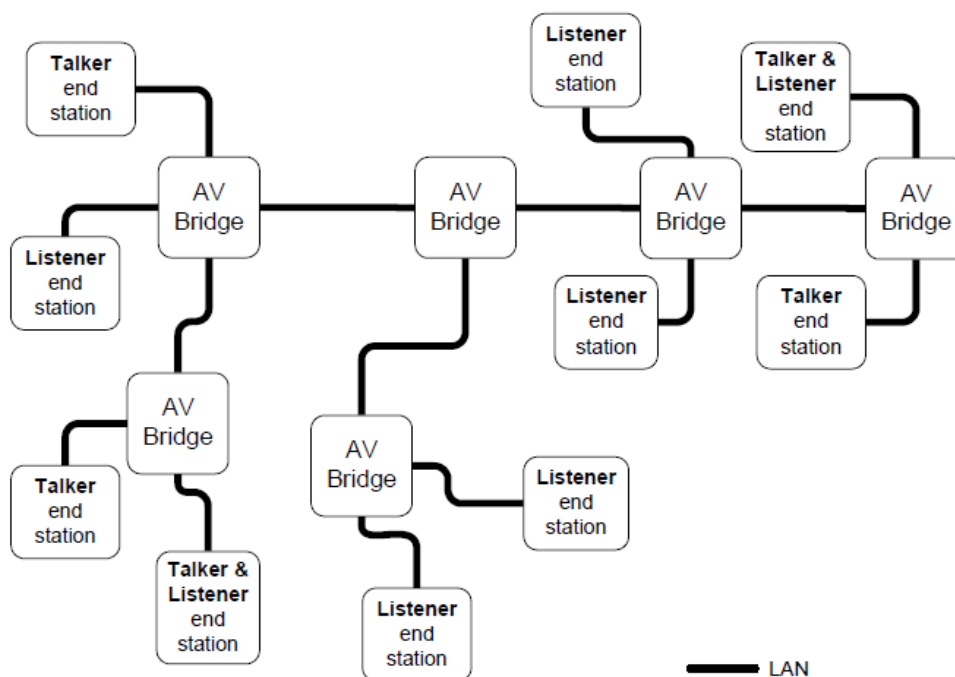


Abbildung 1: AVB-Netz [6]

AVB stellt für die Übertragung seiner Streams Prioritäts-Klassen auf. Für gewöhnlich an oberster Stelle steht die SR-(Stream-Reservation-)Class A. Für diese werden die oben genannten 2ms über 7 Hops als maximale Latenz garantiert. Eine zweite Klasse ist SR-Class B, die lediglich eine Latenzgarantie von maximal 50ms über 7 Hops garantiert. Für die Konfiguration der Netzkomponenten ist eine konsistente Prioritätszuweisung wichtig. Laut Standard 802.1Q [7] wird der SR-Class A normalerweise Priorität 3 zugeteilt, während SR-Class B die Priorität 2 erhält. Je nach dieser Prioritäten-Verteilung unterteilen sich verbundene Netzwerke in Domains. In Abb.1 gehörten noch alle Knoten zu einer großen AVB-Domain. Wenn eine Bridge beispielsweise die Priorität von SR-Class A auf 4 und für SR-Class B auf 2 setzt, während alle anderen Bridges nach dem Standard konfiguriert sind, so stellt sie auf Ebene von SR-Class-A-Übertragungen eine isolierte AVB-Domain dar. Über sie können andere Bridges keine Nachrichten der SR-Class A empfangen oder senden. Da sie auf SR-Class B auf die gleiche Priorität wie die übrigen Bridges konfiguriert ist, kann sie aber für SR-Class-B-Übertragungen auch von anderen Bridges benutzt werden.

Weitere technische Anforderungen sind eine maximale Framegröße von 2000 Bytes, die Unterstützung von gPTP (generalized Precision Time Protocol, definiert in 802.1AS [5]), die Unterstützung von SRP (Stream Reservation Protocol) und FQTSS (Forwarding and Queuing Enhancements for Time Sensitive Streams, beide definiert in 802.1Q [7]) und einer LAN-Technik, die schnell genug ist (beispielsweise 802.3 Full Duplex $\geq 100\text{Mbit/s}$).

2.2 Sendeablauf

Möchte ein Knoten einen Stream an einen anderen Knoten schicken, so agiert er als Talker, während der Empfänger der Listener ist. Für die Versendung muss eine Route reserviert werden, die in einem AVB-konformen Netzwerk genug Bandbreite für diese Nachricht zur Verfügung stellt. Dafür muss die Bandbreite auf der gesamten Route mittels SRP reserviert werden (vgl. „Das Realtime-Ethernetprotokoll des IEEE 802“, Weibel [8]). Der Talker schickt einen Talker-Advertise an seinen angeschlossenen Switch (der natürlich eine AVB-konforme Bridge ist). Der Talker-Advertise wird dann im AVB-konformen Netz weitergeleitet, bis er einen oder mehrere Listener erreicht hat. Abb. 2 zeigt, dass jeder Switch den Talker-Advertise an andere Switches weiterleitet, womit mehrere Routen möglich werden.

Um ein „Looping“ einer Übertragung zu verhindern, werden bestimmte Ports auf den Status „discarded“ gesetzt, was eine Versendung von Nachrichten über diese Ports verhindert. Diese „discarded-Ports“ werden später in dem Punkt Failsafe-Mechanismen interessant. Da alle Switches den Talker-Advertise weitergeleitet haben, ist sichergestellt, dass die Bandbreite über die gesamte Strecke zur Verfügung steht. Wenn ein Listener bereit ist, diesen Stream zu empfangen, wird er ein „Listener ready“ auf entgegengesetztem Weg zurück schicken. Bei Empfang und Weiterleitung dieser Nachricht werden die betroffenen Switches die vorher vereinbarte Bandbreite reservieren. Wenn der Talker die „Listener ready“-Nachricht empfangen hat, ist also sichergestellt, dass die Nachricht über das Netz gesendet werden kann. Er wird dann den Stream senden, der auf der vorbestimmten (und reservierten) Route an den Listener weitergeleitet wird. Nur ein begrenzter Teil der Bandbreite des Netzwerkes darf für AVB-

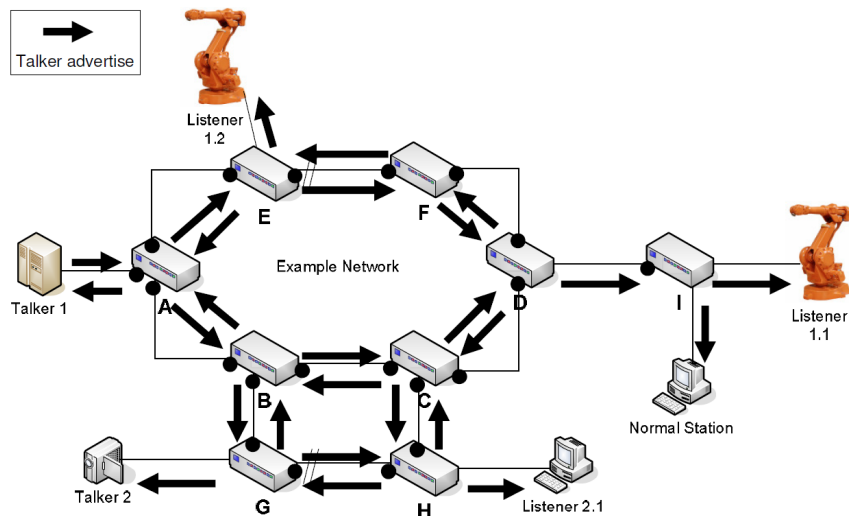


Abbildung 2: Talker-Advertise [9]

Nachrichten verwendet werden (75% über den Messzeitraum von $125\mu s$ für SR-Class A, $250\mu s$ für SR-Class B). Dies wird über ein Kredit-basiertes System auf Seiten der Switches und Talker realisiert (CBS - Credit Based Shaper), das je nach Häufigkeit der Nachrichten die „Credits“ ändert und damit die Bandbreiten-Begrenzung garantiert.

2.3 Das Echtzeit-Problem

Aus der oben genannten Bandbreiten-Begrenzung ergibt sich eine Sendemöglichkeit für Best-Effort-Frames. In Verbindung mit einem fehlenden Unterbrechungs-Mechanismus auf MAC-Ebene ist dies der Grund für die vergleichsweise hohen garantierten Latenzen. Wenn beispielsweise ein Best-Effort-(BE-)Frame mit maximaler Größe genau zu dem Zeitpunkt anfängt zu senden, an dem ein AVB-Frame seinen Stream übermitteln möchte, so kann der AVB-Frame den BE-Frame nicht unterbrechen, obwohl seine Priorität höher ist. Bei einer Bandbreite von 100 Mbit/s kann dies zu einer Verzögerung von maximal $125\mu s$ führen. Über mehrere Switches verteilt ergibt dies einen Maximalwert von 2ms über 7 Hops. Für die Übertragung von zeit-sensiblen Daten ist eine Übertragung mit einer Latenz von weit unter 1ms das Ziel. Es gilt also, die maximale Verzögerung zu minimieren und damit erheblich die Latenz zu reduzieren. Lösungsansätze hierfür werden in Kapitel 3 diskutiert.

Für eine garantierte Latenz ist ein Failsafe-Mechanismus wichtig, der im Fehlerfall bei einer Übertragung schnell und möglichst ohne Paketverlust die Übertragung fortsetzen kann. Ist dies nicht der Fall, kann der Ausfall einer Route zu unvorhersehbaren Verzögerungen führen, die eine deterministische Aussage über Latenzen unmöglich macht. Um verbesserte Failsafe-Mechanismen geht es in Kapitel 4.

3 Latenzverringierung von AVB

Für die Echtzeitfähigkeit von AVB gibt es bereits mehrere Untersuchungen [10–14]. Diese beschäftigen sich mit Simulationen und Berechnungen in industriellen Automatisierungs-Umgebungen. Allgemein wird AVB bereits jetzt als vielversprechender Kandidat für Niedrig-Latenz-Übertragungen mit dem Potential der Echtzeitfähigkeit angesehen. Genauere Untersuchungen zeigen jedoch, dass ein solcher Einsatz ohne Modifizierungen an AVB nur schwer vorstellbar ist (vgl. „Exploring the Worst-Case Timing of Ethernet AVB for Industrial Applications“ [12]). Das bekannte Latenzproblem von Ethernet existiert auch für AVB im Echtzeit-Kontext und verhindert so eine niedrigere Latenz (vgl. „A Performance Study of Ethernet Audio Video Bridging (AVB) for Industrial Real-time Communication“ [11]). In Verbindung mit bisherigen Kommunikations-Mechanismen im Automotive-Kontext kann aber AVB auch jetzt schon teilweise überzeugen. So ist Josef Helge Zinner et al. in seiner Veröffentlichung „Application and Realization of Gateways between conventional Automotive and IP/Ethernet-based Networks“ [13] der Auffassung, dass AVB in Zukunft die Funktionen der MOST- und FlexRay-Busse in Autos übernehmen kann. Die Medien-Übertragungs-Fähigkeit von AVB ist nach diesem Standpunkt also bereits in seiner jetzigen Form vorhanden.

Die Verringerung der Latenz ist das Ziel, was durch die nächste Generation von AVB erfüllt werden muss. Für das Erreichen dieses Ziels gibt es drei verschiedene Möglichkeiten:

1. Präemption
2. Fragmentierung
3. Änderungen/Erweiterungen von AVB

In diesem Kapitel werden alle drei Möglichkeiten einzeln betrachtet. Ein besonderes Augenmerk liegt hier auf Punkt 3. Die Änderung und Erweiterung äußert sich im momentanen Stand der Forschung durch die Umstellung der Traffic-Shaper Algorithmen auf einen sogenannten „Time-Aware-Shaper“, der in seiner Funktionsweise nahezu dem Time-Triggered-Ethernet – unter anderem aktiv erforscht von der CoRE-Gruppe – entspricht. Die Beispielabbildungen sind aus der Veröffentlichung „Approaches to reduce the Latency for High Priority Traffic in IEEE 802.1 AVB Networks“ [15] von J. Jasperneite et al. entnommen.

3.1 Das Problem

Ein BE-Frame kann jederzeit zu einem Problem für die schnelle Übertragung eines AVB-Frames werden. Wenn ein BE-Frame genau zu der Zeit anfängt zu senden, wenn der AVB-Endknoten seinen Stream starten möchte, dann ist das Netz bis zum Ende der BE-Übertragung belegt. Abb. 3 zeigt ein Beispiel für eine solche verzögerte Übertragung. RT-Frames sind hier als AVB-Frames und nRT-Frames als BE-Frames zu verstehen. Die oben genannten drei Ansätze versuchen, eine Lösung für dieses Problem zu finden.

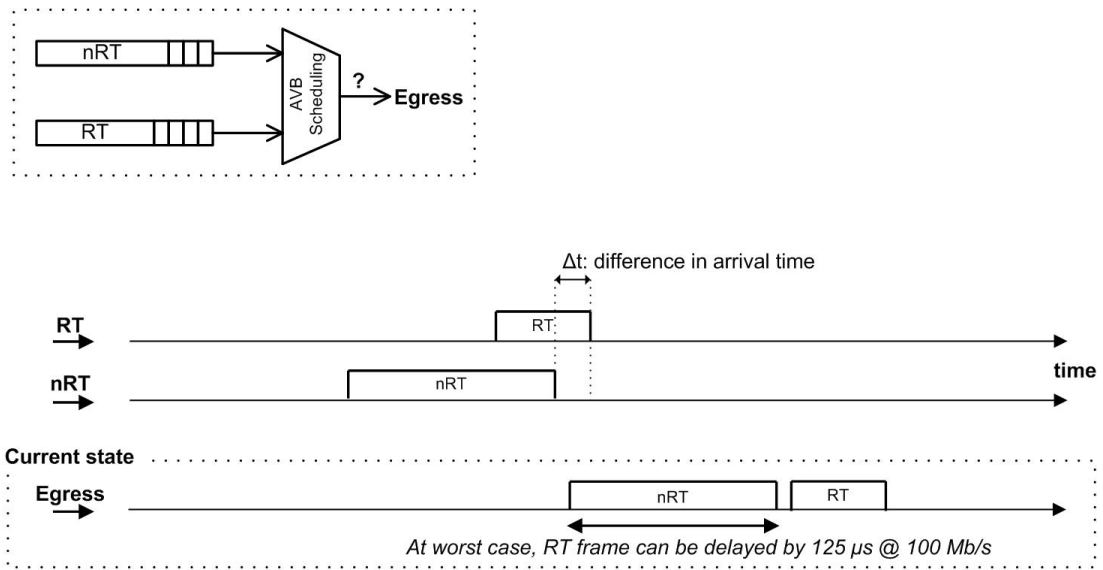


Abbildung 3: Störender Nicht-AVB-Frame [15]

3.2 Präemption

Die Unterbrechung von Prozessen ist in Scheduling-Verfahren bereits üblich. So erhält der Prozess nur eine bestimmte Zeitperiode, in der er aktiv seine Aufgaben bearbeitet und wird danach wieder schlafen gelegt. Für die Versendung von Daten in einem Netzwerk ist ein solcher Mechanismus nicht problemlos umzusetzen. Die Pakete bestehen aus Overhead, der das Paket als solches definiert. Die unterbrochenen Sendungen müssten bei Neu-Aufnahme der Sendung zur erneuten Identifizierung also unter Umständen Header und anderen Overhead erneut senden. Bei umfangreichem Overhead kann also bei vielen Unterbrechungen schnell ein deutlich höheres Datenaufkommen, als ursprünglich geplant, das Ergebnis sein. Wie die Unterbrechung funktionieren kann, zeigt Abb. 4. Für den Fall einer Unterbrechung wird sich also der Durchsatz von niedrig-prioren Paketen, in diesem Fall also BE-Frames oder AVB-Frames der SR-Class B, verringern.

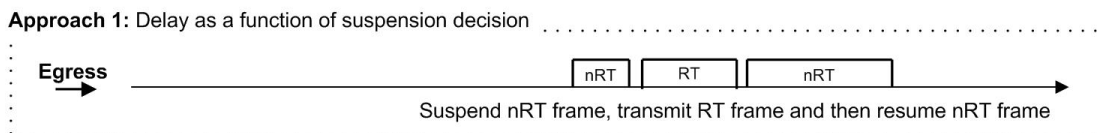


Abbildung 4: Unterbrechung von BE-Paketen [15]

Bisher hat Standard-Ethernet keinen Präemptions-Mechanismus. Im Zuge der Weiterentwicklung von AVB haben sich die AVB TG und die Arbeitsgruppe IEEE 802.3 aber zu einer

näheren Zusammenarbeit entschlossen. Ziel der Zusammenarbeit ist die Erweiterung der MAC-Schicht, die um einen Präemptions-Mechanismus ergänzt werden soll. Die enge Zusammenarbeit ist vorallem nötig, da auch zukünftig die Konformität von AVB zu Standard-Ethernet gewährleistet sein muss.

3.3 Fragmentierung

Die eingangs erwähnte Veröffentlichung „Approaches to reduce the Latency for High Priority Traffic in IEEE 802.1 AVB Networks“ [15] legt den Fokus auf den Fragmentierungsansatz. Auch Fragmentierung ist bisher für Standard-Ethernet nicht möglich. Betroffen sind die BE-Frames. Da sie den wichtigeren AVB-Frames den Platz zum Senden entziehen, teilt man sie in festgelegte Größen ein. Abb. 5 zeigt die beispielhafte Unterteilung von Nicht-RT-Frames (BE) in feste Fragmente.

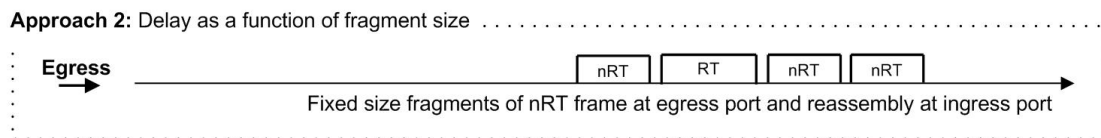


Abbildung 5: Fragmentierung von BE-Paketen [15]

Der Durchsatz-Verlust von BE-Frames ist auch in diesem Ansatz ein Problem. Wie sehr dies der Fall ist, hängt allerdings von der gewählten Fragment-Größe ab. Der Minimal-Wert für die Größe der Fragmente ist die Mindest-Größe eines Ethernet-Frames (88 Bytes). Bei dieser Größe ist der Durchsatz-Verlust von BE-Frames am größten, die Latenzverringering von AVB-Frames dagegen am deutlichsten. Die Beziehung „je kleiner das Fragment, desto größer der Durchsatz-Verlust“ gilt zwar, beschreibt aber keine lineare Funktion. Bei relativ großen Fragmenten (etwa ab der Hälfte des maximalen Standard-Ethernet-Frames) ist ein Durchsatz-Verlust für BE-Frames kaum noch spürbar, während AVB weiterhin eine deutliche Latenzverringering aufweist. Bei einer Vielzahl von Bridges sind selbst kleine Fragmente unproblematisch. Daraus lässt sich schließen, dass dieser Ansatz bei großen Netzwerken besonders hilfreich ist. Die Erarbeitung eines Fragmentierungs-Mechanismus ist ebenfalls Teil der Zusammenarbeit mit der IEEE 802.3-Arbeitsgruppe.

3.4 Änderungen & Erweiterungen

Die Änderungen der Funktionen werden den Traffic-Shaper betreffen. Der bisher verwendete CBS (Credit Based Shaper, definiert in 802.1Q [7]) wird um eine Technik erweitert, so dass Nachrichten mit höchster Priorität zu definierten Zeiten die Möglichkeit zum Senden erhalten. Eine Möglichkeit dafür ist die Aufteilung der Sendebereiche in Zonen oder Phasen. Abb. 6 zeigt ein Beispiel für so eine Aufteilung. Die rote Phase ist für RT-, also AVB-Frames bestimmt. Während dieses Abschnittes dürfen nur SR-Class A, oder sogar nur noch höher priorisierte Nachrichten, über das Netzwerk gesendet werden. In der grünen Phase schließlich dürfen

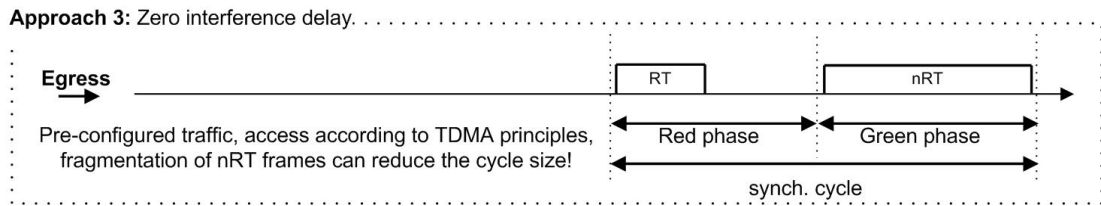


Abbildung 6: Fragmentierung von BE-Paketen [15]

Frames aller Art versendet werden. Die Einschränkung durch die rote Phase kann natürlich eine deutliche Verzögerung für BE- und SR-Class-B-Frames zur Folge haben. Es gilt also, eine gute Strategie für die Größe dieser vorbestimmten Zeitslots zu finden.

Time-Triggered Ethernet

Dieses auf Ethernet basierende Protokoll liefert einen solchen Zeitslot-Mechanismus. Es wird aufgeteilt in TT-(Time-Triggered-)Nachrichten, RC(Rate-Constrained)-Nachrichten und den bereits bekannten BE-Frames. Die TT-Nachrichten werden fest geplant (offline scheduling) und werden danach immer zu diesen festgelegten Zeiten gesendet. Andere Nachrichtenarten können in dieser Zeitspanne nicht gesendet werden. AVB dagegen versendet seine Nachrichten ohne Festlegung (online scheduling), bietet also eine größere Dynamik des Netzwerkes. In der CoRE-Arbeitsgruppe wird bereits an einer Verbindung von AVB mit Time-Triggered-Ethernet geforscht. Diese Verbindung wird durch eine Erweiterung des TT-Ethernet erreicht. Die RC-Nachrichten werden durch AVB-Nachrichten ersetzt. Die TT-Nachrichten haben somit eine höhere Priorität als die AVB-Nachrichten, diese haben aber nach wie vor Vorrang vor BE-Frames.

Wie sich TTE und AVB im Vergleich verhalten, wurde von T. Steinbach et al. in der Veröffentlichung „Simulative assessments of IEEE 802.1 Ethernet AVB and Time-Triggered Ethernet for Advanced Driver Assistance Systems and in-car infotainment“ [16] mithilfe von Vergleichs-Simulationen der beiden Systeme eingehend untersucht. Es stellte sich dabei erwartungsgemäß heraus, dass TTE wesentlich weniger Jitter in den Übertragungen aufweist und allgemein kleinere Latenzen aufweist, dies allerdings nur auf den Control-Traffic, der die höchste Priorität besaß, bezogen. Für AV-Übertragungen zeigte sich ein leichter Vorteil auf Seite von AVB. Für eine sinnvolle Verbindung müssen die Vorteile der Einzelsysteme erhalten bleiben. Der tatsächliche Ansatz, der für die nächste Generation von AVB geplant ist, hat sehr starke Ähnlichkeiten zu TTE.

Time Aware Shaper

TAS bezeichnet die Ergänzung für den Traffic-Shaper, der für die nächste Generation von AVB zum Einsatz kommen wird. Auch wenn TTE in dessen Zusammenhang nicht erwähnt wird, so ist TAS dem TTE-Prinzip doch sehr ähnlich. Bisher entschied nur der CBS (Credit-Based-

Shaper), welche Nachricht versendet werden darf. Der TAS wird noch über den CBS geschaltet und erreicht damit eine absolute Ordnung nach Zeitslots. Abb. 7 zeigt einen Scheduling Verlauf mit Scheduled Traffic und anderem Traffic anhand der verschiedenen Traffic-Gates. So können die betroffenen Traffic-Arten nur dann senden, wenn der Zeitslot ihres Gates grün ist.

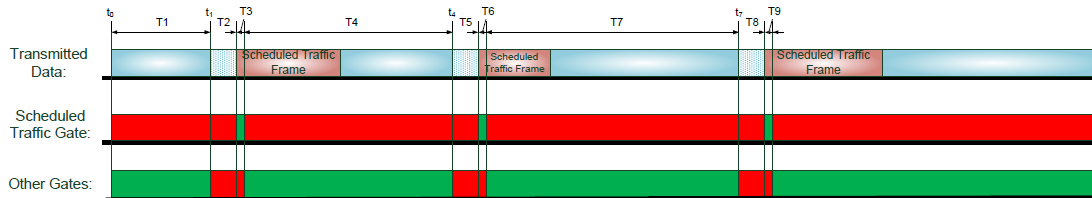


Abbildung 7: Time Aware Shaper [17]

Das Prinzip der unterteilten Phasen wird also auf TAS angewandt, indem relativ kleine Zeit-Slots für den festgelegten Traffic verwendet werden. Da ein Scheduled-Traffic-Frame aber die höchste Priorität im Netz besitzt, könnte er selbst bei vorhandenem Präemptions-Mechanismus nicht unterbrochen werden. Auf diese Weise können sehr kleine Latenzen und sehr geringe (oder gar keine) Jitter garantiert werden. Diese Änderung kann AVB Gen 2 (TSN) also echtzeitfähig machen. Dass TAS zum Einsatz kommen werden, ist beschlossen. Ob die Funktionsweise exakt der hier genannten Weise entsprechen wird, ist noch nicht sicher.

4 Failsafe-Mechanismen

Für den Echtzeit-Einsatz von Systemen ist es unbedingt nötig, eine Latenzgarantie geben zu können. AVB tut dies für die SR-Class A auch (2ms über 7 Hops), schließt dabei allerdings einen Fehler bzw. Ausfall im Netzwerk aus. Fehler im Netz führen zum Ausfall von Routen und haben damit einen unabsehbaren Einfluss auf die Latenz, wenn kein Mechanismus diesen Fehler abfängt. Die verwendete Redundanz-Methode RSTP (Rapid-Spanning-Tree-Protocol) weist zwar redundante Pfade für die Versendung von Streams aus, hat aber keine deterministische Rekonfigurations-Zeit. Das liegt daran, dass bei der Rekonfiguration eines Netzwerkes durch RSTP die Rekonfiguration des Streams nicht voraussehbar ist (vgl. „Fault-tolerant Ethernet networks with Audio and Video Bridging“ [9]).

Einen Lösungsansatz für dieses Problem bieten D. Heffernan et al. in zwei Veröffentlichungen [9, 18]. Nach Möglichkeit sollte die Rekonfigurationszeit $t_{rec} = 0$ sein. Um dies zu erreichen, werden die oben genannten „discarded-ports“ verwendet. Normalerweise werden diese deaktiviert, damit kein Looping im Netz entsteht. Wenn ein Switch aber ausfallen sollte, werden discarded-ports für die Versendung aktiviert. Diese Pfade stehen also auf „Stand-by“ und werden nur bei Bedarf aktiviert. Eine anderer Ansatz ist die grundsätzliche redundante Übertragung von Streams. Alle verfügbaren Pfade werden für die Sendung verwendet, wobei ein Ausfall von einem der Pfade kein Problem mehr darstellen würde. Die Überarbeitung des SRP

ist nicht nur der Ansatz dieser beiden Veröffentlichungen, sondern aktueller Gegenstand der AVB TG Sitzungen.

5 Stand der Entwicklung

Auf der IEEE 802.1 AVB/TSN Interim im März 2013 wurden viele Details für die Drafts des TSN festgelegt (vgl. [19]). So soll das SRP entsprechend oben genanntem Failsafe-Ansatz geändert werden, es sollen mehr Streams als für das derzeitige AVB möglich sein (vgl. auch „Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and performance improvements“ [20]), gPTP soll zu einer neuen Version überarbeitet werden und andere Grundmechanismen sollen an die neuen Anforderungen angepasst werden. Es wird explizit über „Automotive-“ und „Industrial-Needs“ gesprochen, was die Ausrichtung der Gruppe in Richtung der Automotive- und Industrie-Bereiche zeigt. Zukünftig sollen auch mehr als die bisherigen zwei Klassen spezifiziert werden. Für den Scheduled-Traffic soll es dann Control-Frames geben, die wesentlich kleiner (10-300 Bytes) als die Standard-Ethernet-Frames werden. Obwohl der TAS beschlossen ist, stehen Einzelheiten für ihn momentan noch zur Diskussion. Dazu gehören Problemfälle, wie zum Beispiel Control-Frames, die ihren zugewiesenen Zeitslot verpassen.

Die momentanen Meetings für AVB/TSN beschäftigen sich derzeit mit der Erstellung der Drafts für die zukünftigen Standards. Diese werden die Bezeichnungen *802.1ASbt*(Timing and Synchronization, Enhancements; vgl. für Vorschläge „Interoperability of IEEE 802.1AS and Fault-Tolerant Clock Synchronization“ [21]), *802.1Qbu*(Frame Preemption), *802.1Qbv*(Enhancements for Scheduled Traffic; hat als einziges bereits einen frühen Draft) und *802.1CV*(Frame Replication and Elimination for Reliability) tragen. Die Finalisierung der Standards wird für das Jahr 2017 erwartet.

6 Fazit und Aussicht

Die Entwicklung von AVB ist momentan in einer heißen Phase, da der Wechsel zu Generation 2 bevorsteht. Viele der hier vorgestellten Ansätze zur Verbesserung von AVB in Richtung Automotive- und Industrie-Kontext werden in der aktuellen Diskussion miteinbezogen und haben einen Platz in den neuen Standards sicher. Die wichtigste Änderung im Bezug auf die zukünftige Echtzeitfähigkeit ist dabei der Time-Aware-Shaper. Er stellt den Eintritt der AVB Gen 2 Standards in den „ultra-low-latency“-Bereich dar und ist für die schnelle Übertragung von Kontrollnachrichten unvermeidlich. Auch Präemption und Fragmentierung der BE-Frames hat einen nicht zu vernachlässigenden Stellenwert. Eine Kombination aus diesen Möglichkeiten wird letztendlich die Funktionalität von AVB Gen 2 bzw. Time-Sensitive-Networking ausmachen. Für den Automotive-Bereich lässt sich prognostizieren, dass bisherige Systeme bald weichen müssen. Feldbus-Systeme erfüllen schlicht die heutigen Anforderungen nicht mehr im vollen Umfang. Dass selbst AVB in seiner jetzigen Form schon multimediale Dienste im Auto übernehmen könnte, zeigt das Potential der Technologie, die mit der Weiterentwicklung endgültig den Markt an sich reißen kann.

Literaturverzeichnis

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., “IEEE 802.1 AV Bridging Task Group.” <http://ieee802.org/1/pages/avbridges.html>. zuletzt abgerufen am 06.05.2013.
- [2] CoRE Research Group 2012-2013, “CoRE Group.” <http://core.informatik.haw-hamburg.de/en/>. zuletzt abgerufen am 06.05.2013.
- [3] “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.
- [4] “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.
- [5] “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.
- [6] “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Audio Video Bridging (AVB) Systems,” *IEEE Std 802.1BA-2011*, pp. 1–45, 2011.
- [7] “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridged Local Area Networks—Corrigendum 2: Technical and editorial corrections,” *IEEE Std 802.1Q-2011/Cor 2-2012 (Corrigendum to IEEE Std 802.1Q-2011)*, pp. 1–96, 2012.
- [8] H. Weibel, “Audio/Video Bridging - Das Realtime-Ethernetprotokoll des IEEE 802.” *electrosuisse Bulletin*, 2009.
- [9] O. Kleineberg, P. Frohlich, and D. Heffernan, “Fault-tolerant Ethernet networks with Audio and Video Bridging,” in *Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2011 IEEE 16th Conference on*, pp. 1–8, 2011.
- [10] J. Imtiaz, J. Jasperneite, and S. Schriegel, “A proposal to integrate process data communication to IEEE 802.1 Audio Video Bridging (AVB),” in *Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2011 IEEE 16th Conference on*, pp. 1–8, 2011.

- [11] J. Imtiaz, J. Jasperneite, and L. Han, "A performance study of Ethernet Audio Video Bridging (AVB) for Industrial real-time communication," in *Emerging Technologies Factory Automation, 2009. ETFA 2009. IEEE Conference on*, pp. 1–8, 2009.
- [12] J. Diemer, J. Rox, R. Ernst, F. Chen, K. Kremer, and K. Richter, "Exploring the worst-case timing of Ethernet AVB for industrial applications," in *IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 3182–3187, 2012.
- [13] H. Zinner, J. Noebauer, T. Gallner, J. Seitz, and T. Waas, "Application and realization of gateways between conventional automotive and IP/Ethernet-based networks," in *Design Automation Conference (DAC), 2011 48th ACM/EDAC/IEEE*, pp. 1–6, 2011.
- [14] 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.
- [15] J. Imtiaz, J. Jasperneite, and K. Weber, "Approaches to reduce the latency for high priority traffic in IEEE 802.1 AVB networks," in *Factory Communication Systems (WFCS), 2012 9th IEEE International Workshop on*, pp. 161–164, 2012.
- [16] G. Alderisi, A. Caltabiano, G. Vasta, G. Iannizzotto, T. Steinbach, and L. Bello, "Simulative assessments of IEEE 802.1 Ethernet AVB and Time-Triggered Ethernet for Advanced Driver Assistance Systems and in-car infotainment," in *Vehicular Networking Conference (VNC), 2012 IEEE*, pp. 187–194, 2012.
- [17] C. Boiger, "Time Aware Shaper in Combination with Qbu." Presentation on 802.1 TSN Task Group – March 2013, March 2013.
- [18] O. Kleineberg, P. Frohlich, and D. Heffernan, "Fault-tolerant Audio and Video Bridging (AVB) Ethernet: A novel method for redundant stream registration configuration," in *Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2012 IEEE 17th Conference on*, pp. 1–8, 2012.
- [19] D. Pannel, "Audio Video Bridging Gen 2 Assumptions." Presentation on IEEE 802.1 AVB/TSN Interim March 2013 - Orlando, FL, July 2013.
- [20] C. Gunther, "PAR and 5C Stream Reservation Protocol(SRP) Enhancements and performance improvements." Presentation on IEEE 802.1 AVB/TSN Interim March 2013 - Orlando, FL, May 2013.
- [21] W. Steiner, "Interoperability of IEEE 802.1AS and Fault-Tolerant Clock Synchronization." Presentation on IEEE 802.1 Plenary - Geneva, Switzerland, July 2013.