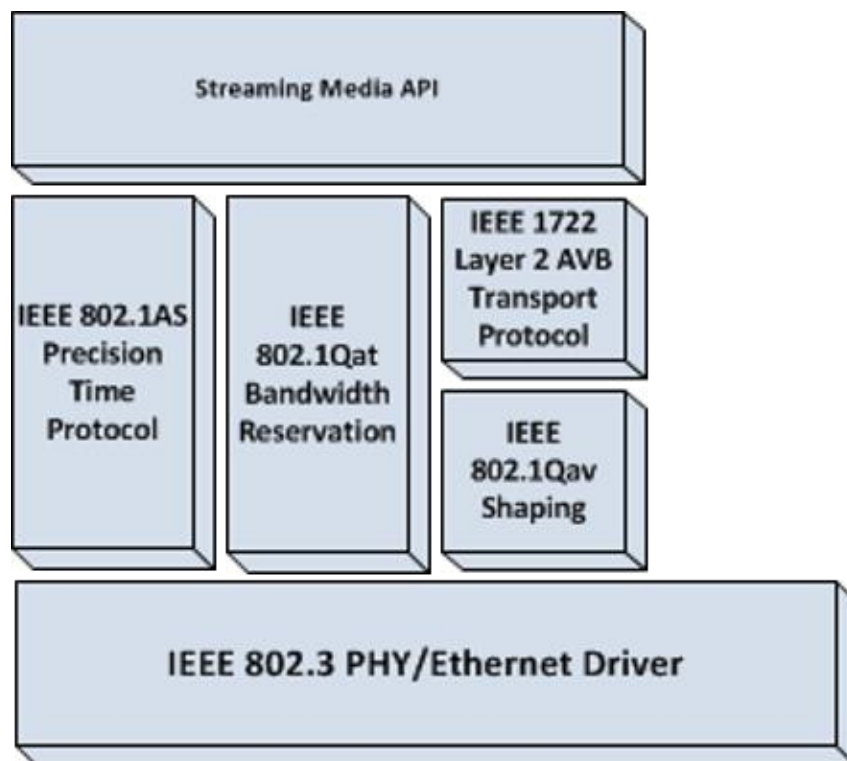


## Audio Video Bridging (AVB) för Ethernet i Fordonsmiljö



Författare: Per-Anders Jörgner, Volvo Car Corporation

Datum: 2016-01-26, v1.0.0

Delprogram: Elektronik, Mjukvara & Kommunikation (EMK)

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Syfte.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Genomförande.....</b>	<b>4</b>
<b>5. Resultat .....</b>	<b>5</b>
5.1 Bidrag till FFI-mål .....	5
5.2 Exempel på Resultat.....	5
5.1.1. WP 1: Requirements and Use Cases .....	5
5.1.2. WP2: Test Bench (TCN).....	6
5.1.3. WP2: Test Bench (ArcCore).....	8
5.1.4. WP 3: Analysis & Validation.....	9
5.1.5. WP 4: Future Standards .....	10
<b>6. Spridning och publicering.....</b>	<b>11</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	11
6.2 Publikationer .....	13
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning.....</b>	<b>14</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>14</b>
<b>9. Annex .....</b>	<b>15</b>
9.1 Referenser .....	15
9.2 Terminologi.....	15

### FFI in short

FFI is a partnership between the Swedish government and automotive industry for joint funding of research, innovation and development concentrating on Climate & Environment and Safety. FFI has R&D activities worth approx. €100 million per year, of which half is governmental funding. The background to the investment is that development within road transportation and Swedish automotive industry has big impact for growth. FFI will contribute to the following main goals: Reducing the environmental impact of transport, reducing the number killed and injured in traffic and Strengthening international competitiveness. Currently



there are five collaboration programs: **Vehicle Development, Transport Efficiency, Vehicle and Traffic Safety, Energy & Environment and Sustainable Production Technology.**

For more information: [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1. Sammanfattning

AVB-projektet startade i januari 2014 och avslutades enligt plan i december 2015. Alla projektmål som definierades i ansökan uppfylldes och projektet kommer att bidra till att uppfylla överordnade FFI-mål ur perspektivet Ethernet i fordonsmiljö.

AVB har producerat värdefulla resultat och kunskap inom olika delar av området Ethernet i fordonsmiljö, inklusive: Identifiering av lämpliga krav och användningsfall, uppbyggande av en testbänk och anpassning av verktyg för simulering, användning av simulator och testbänk för studier av Ethernet AVB för olika nätkonfigurationer och trafikflöden, och bevakning av och deltagande i standardiseringsarbete och utveckling av plattformar för Ethernet AVB.

## 2. Bakgrund

När FFI-ansökan gjordes år 2013 angavs följande som bakgrund till behovet av forskning inom området Ethernet AVB [1]:

- FFI-projektet Ethernet AVB (diarienummer 2013-04722) var ett resultat av en förstudie som genomfördes som en del av FFI-projektet ECAE (Ethernet Communication in Automotive Environment). En mer generell bakgrund till Ethernet i fordonsmiljö finns i projektbeskrivning och slutrapporter för ECAE-projektet (diarienummer 2012-03676).
- Vanligt Ethernet erbjuder inte helt den funktionalitet som krävs för användning i fordon. Bland annat saknas determinism, vilket leder till problem vid överföring av tidskänsliga data, t ex från kameror för applikationer inom aktiv säkerhet eller synkront ljud och bild.
- Ethernet AVB är ett tillägg till vanligt Ethernet som har sina rötter i tillämpningar för professionell produktion av audio och video. AVB innebär ett flertal ändringar och tillägg till vanligt Ethernet, både i hård- och mjukvara, som möjliggör användning av Ethernet i audio/video-applikationer (bl a övre tidsgränser och prioriteter).

### 3. Syfte

Projektmålen som de definierades i FFI-ansökan [1] förblev oförändrade under projektets exekvering:

Tillhandahålla djup kunskap om de protokollstandarder som utgör AVB och hur AVB kan användas i den svenska fordonsindustrin

1. Erhålla fördjupade kunskaper om AVB-standarderna och om hur den kan användas i svensk fordonsindustri.
2. Utveckla och utvärdera modellbaserade tekniker för konstruktion av kommunikationsnätverk i fordon, speciellt AVB-nätverk.
3. Undersöka (och vid behov försöka påverka) framtida standardisering i enlighet med resultat och insikter från projektets arbetspaket.

Uppfyllnad av målen beskrivs i detalj i en separat slutrapport angående måluppfyllelse [2]. Sammanfattningsvis gäller att alla mål uppfylldes.

### 4. Genomförande

Projektet strukturerades i följande arbetspaket ("WP, work package") – eftersom de endast var beskrivna på engelska i ansökan så används det språket nedan):

- *WP 0: Project Management*
- *WP 1: Requirements and Use Cases*
  - *Specify requirements and use cases for Ethernet AVB. Specify and maintain verification and validation requirements.*
- *WP 2: Test Bench*
  - *WP 2.1: Test Bench Analysis*
    - *Analyse the requirements from WP1. Compile a list of components needed in the test bench.*
  - *WP 2.2: Test Bench Implementation*
    - *Implement the test bench. Incrementally build to allow parallel work with WP3.*
- *WP 3: Analysis & Validation*
  - *Optimisation by using TCN tools, both for modelling as well as test and measurements of real-time physical architecture*
- *WP 4: Future Standards & Autosar*
  - *WP 4.1: Pre-study of next generation Ethernet AVB*
    - *Follow the standardization of future generation of Ethernet AVB.*
  - *WP 4.2: Pre-study of Ethernet AVB & Autosar*
    - *Investigate how Ethernet AVB and Autosar can cooperate.*

Projektledningen baserades på månatliga rapporter och möten i projektteamet, möten med ledningsgruppen åtminstone före varje rapportering till VINNOVA, möten inom respektive arbetspaket, workshops, och projektseminarier.

## 5. Resultat

### 5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektets bidrag till överordnade FFI-mål och mål för delprogrammet definierades som följer i FFI-ansökan [1]:

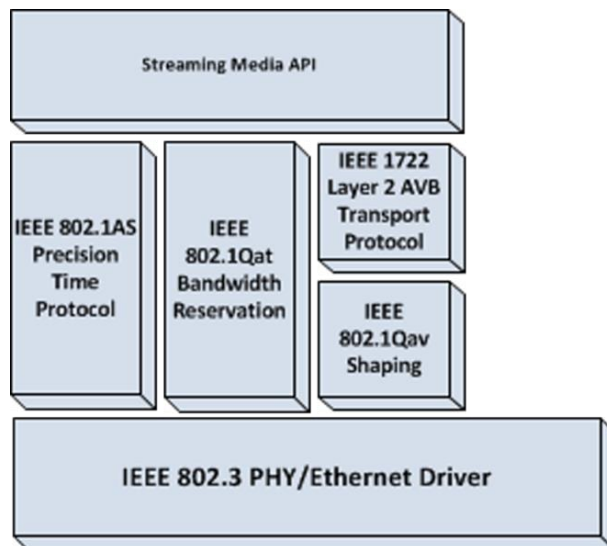
- Säkerhet – Ethernet möjliggör utveckling av förbättrade system för Aktiv Säkerhet i fordon.
- Små innovationsföretag med starka band till den akademiska världen som erbjuder lösningar i teknikens framkant gynnas av samarbetet med fordonstillverkare.
- Konkurrenskraften förbättras för alla deltagande parter i projektet
- Förstärkt kompetens inom området för alla deltagande parter i projektet

Projektets bidrag till uppfyllande av dessa mål analyseras och kommenteras i detalj i en separat slutrapport angående måloppfyllelse [2]. Sammanfattningsvis gäller att projektet har bidragit till uppfyllande av dessa mål där så är tillämpligt.

### 5.2 Exempel på Resultat

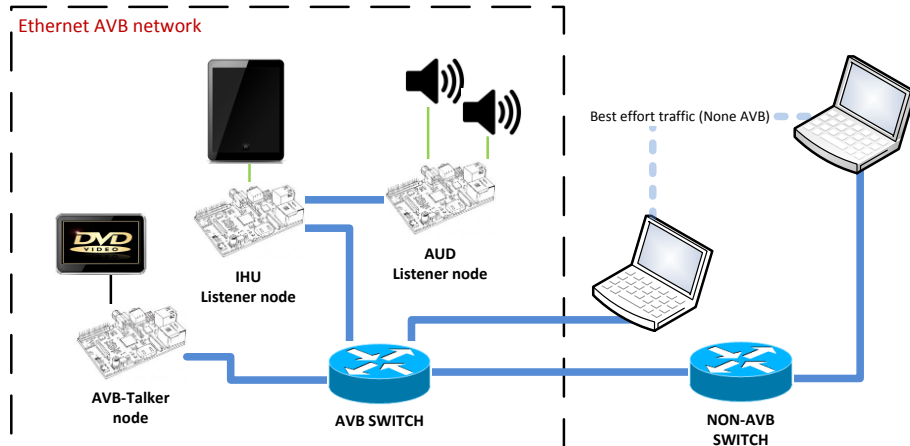
#### 5.1.1. WP 1: Requirements and Use Cases

Detta arbetspaket leddes av VCG i samarbete med huvudsakligen AB Volvo. Användningsfall togs fram enligt behov från båda företagen och dessa transformerades sedan till en initial uppsättning krav på hög nivå, vilka kunde användas av alla parter i projektet. Likaså togs motsvarande krav för verifiering och validering fram i detta arbetspaket.



Figur 1: AVB Protokollstack Översikt

Initialt användes mycket tid till att studera AVB för att få en djupare förståelse för denna teknologi. Möten hölls med alla parter med syfte att utbyta kunskap och få en gemensam förståelse av den komplexa uppsättningen standardiserade protokoll som utgör AVB.

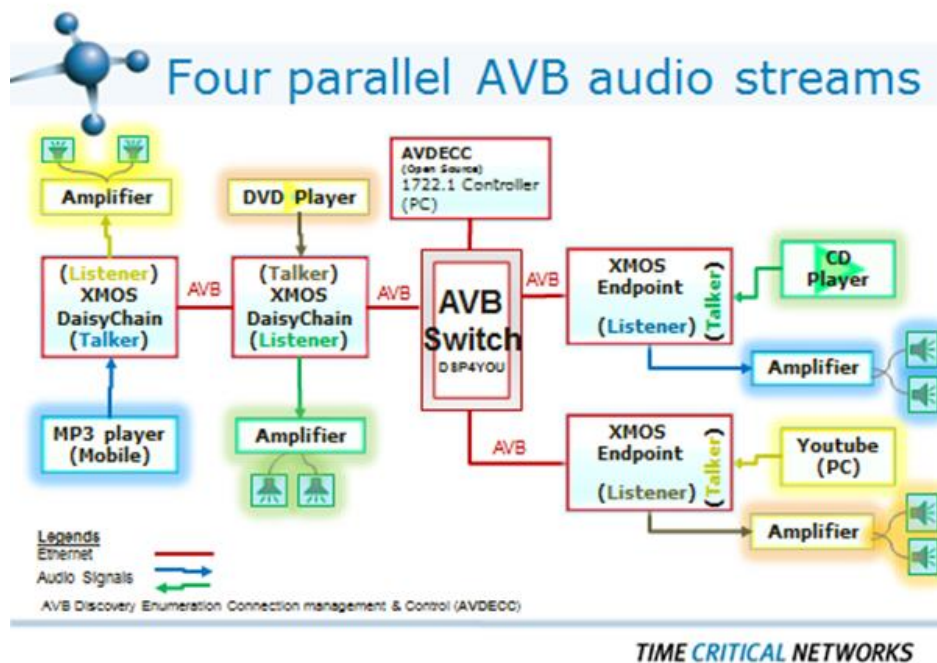


Figur 2: Exempel på AVB-nätverk – Användningsfall inom domänen Infotainment

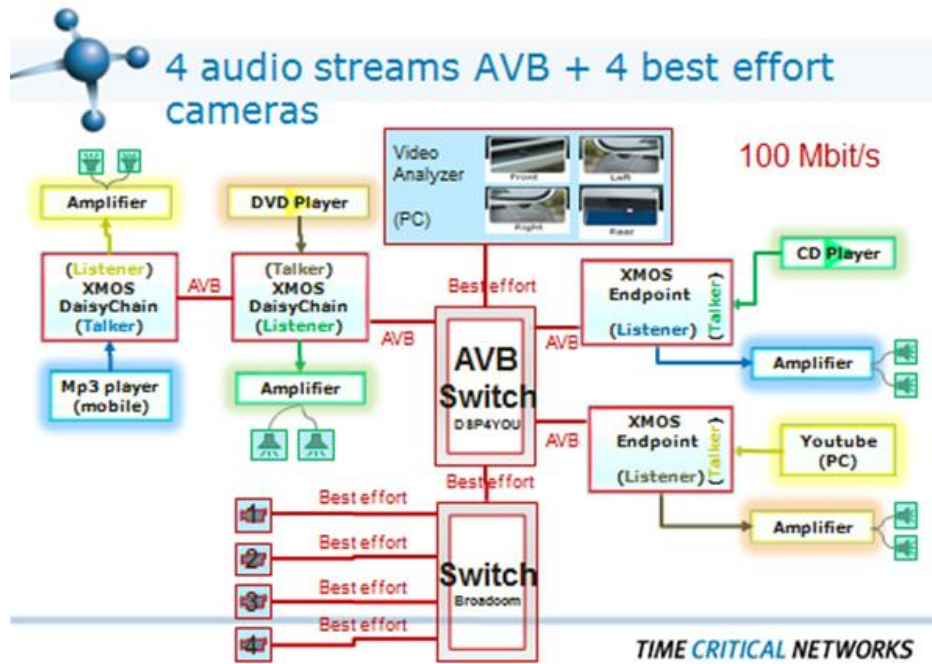
Resultaten dokumenterades i en teknisk rapport [3]. Denna rapport inkluderar de båda leveranserna från detta arbetspaket (krav och användningsfall samt krav på verifiering och validering).

### 5.1.2. WP2: Test Bench (TCN)

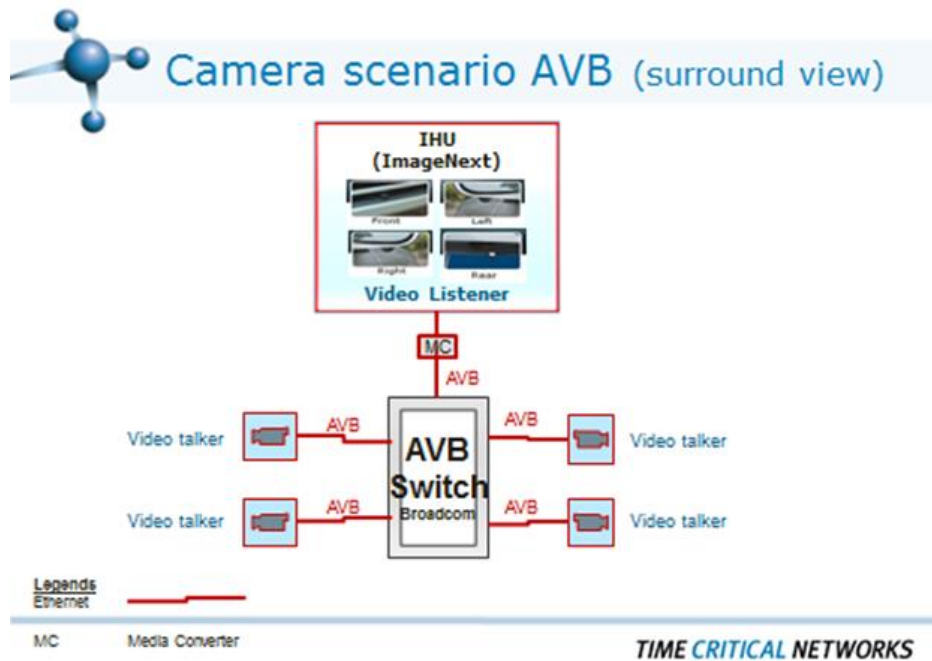
Time Critical Networks (TCN) identifierade, i nära samarbete med övriga parter i projektet, behovsbild och krav på testbänkens ingående komponenter. Därefter valdes och utvärderades lämpliga komponenter från olika leverantörer och testbänken byggdes upp. Tre versioner av testbänken konfigurerades och användes sedan för tester i projektet (se nedanstående figur):



Figur 3: AVB endast Audio (version 1 av testbänken)



Figur 4: AVB Audio och Video (version 2 av testbänken)

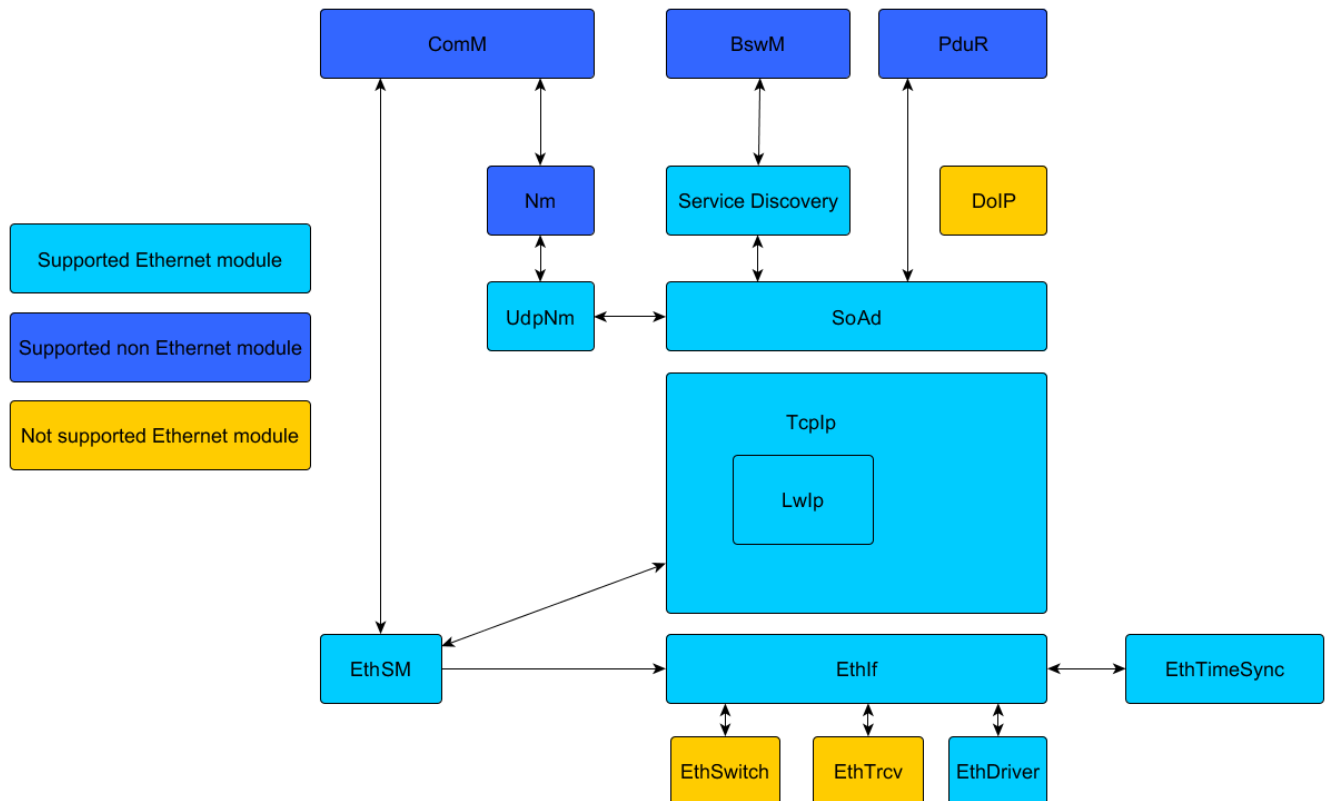


Figur 5: AVB endast Video (version 3 av testbänken)

## 5.1.3. WP2: Test Bench (ArcCore)

Syftet med denna del av arbetspaketet var att addera kontrollsignalering till testbänken. Detta gjorde det möjligt att se hur kontrollsignaleringen påverkades när t ex video-trafik adderas till ett Ethernet stamnät. I denna typ av system är det viktigt för en ECU att i realtid upptäcka huruvida tidsrestriktioner överskrids och, om så är fallet, vidta åtgärder för att kompensera för sådan fördröjning.

En AUTOSAR 4.2 protokollstack utvecklades och en översikt, med fokus på tidssynkronisering, visas i nedanstående figur.



Figur 6: AUTOSAR 4.2 Ethernet stack översikt

AUTOSAR-standarden har utvecklats sedan FFI-ansökan för det här projektet lämnades in. I AUTOSAR 4.2.2 infördes stora förändringar relaterade till Ethernet, bland annat introducerades EthTSync-modulen.

Ethernet-mekanismen baseras på den existerande PTP-mekanismen som beskrivs i standarder som IEEE1588 ("IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems") och IEEE802.1AS ("Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks"). Emellertid har ingen av dessa båda standarder utvecklats med hänsyn till fordonsindustrins krav. En grupp inom AVnu arbetar med att ta fram en fordonsprofil för IEEE802.1AS.



Några identifierade skillnader mellan Ethernet i fordonsmiljö och vanligt Ethernet är:

- ECU:ernas roller och funktionalitet är kända och definierade a priori
- Nätverket är statiskt, dvs komponenter och kablage förändras inte när fordonet är i drift, inte ens efter avstängning och sedan ny start av fordonet. Däremot kan givetvis ändringar ske när fordonet är på verkstad.

Därför behövs inte algoritmer (som definieras IEEE802.1AS) för bestämning av vilken nod som är master för klockan i nätverket. Detta är ett exempel på dynamisk funktionalitet i AVB som kan exkluderas för tillämpningar i fordon, vilket medför enklare implementering och att CPU-resurser i noderna (ECU:erna) kan sparas in.

### 5.1.4. WP 3: Analysis & Validation

Genomförda aktiviteter i detta arbetspaket inkluderar:

- Mätningar av individuella komponenter i nätverket såsom kameror och växlar
- Modellering av nätverkskomponenter för simulering
- Simulering av Ethernet ”best effort”- och AVB-trafik
- Användning av mätningar på Valeo-kamera för konstruktion av en statistisk modell för hur datapaket genereras av en typisk videokamera
- Analys av hur stora videopaketer fragmenteras i IP-stacken
- Implementering av AVB ”credit-based shaper-algorithm”
- Implementering av fragmentering och defragmentering av stora UDP-paket som innehåller video

Resultaten från mätningar och analyser på de tre varianterna av testbänken i WP 2 (se avsnitt 5.1.2 ovan) inkluderade:

- AVB endast Audio (version 1 av testbänken)
  - Audioströmmen fungerade utan störningar.
  - Internet-trafik (“best effort”) som belastade nätverket samtidigt med audio enligt ovan medförde inga störningar i audio-trafiken.
- AVB Audio och Video (version 2 av testbänken)
  - Videoströmmarna stördes
  - 100 Mbit/s Ethernet
    - Mix av standard (“best effort”) + Ethernet AVB
  - 29 Mbit/s per kamera (“best effort”)
  - 7,168 Mbit/s per audioström över Ethernet AVB
    - 2 kanaler (stereo) klass A trafik
  - Bortkoppling av en kamera
    - Signifikant förbättring av videogenomströmningen
  - Audio var Ok i alla scenarier
- AVB endast Video (version 3 av testbänken)
  - En fordonsanpassad AVB-kamera från ImageNext användes
  - Testresultaten beskrivs i detalj i en TCN teknisk rapport [4].

## 5.1.5. WP 4: Future Standards

Pelagicore AB ansvarade för detta arbetspaket och aktiviteterna inkluderade: Deltagande i standardiseringsorganisationer (AVnu, GENIVI), samarbete med halvledartillverkare, demonstrationer, studier av publicerade och preliminära AVB/TSN-standards, analys av pågående arbete i standardiseringsorganisationer och diskussioner kring framtiden för AVB med nyckelspelare i industrin (fordonstillverkare, halvledartillverkare, AVB produktutvecklare).

Resultaten inkludera följande angående framtida generationen av AVB, vilken är TSN ("Time Sensitive Network"):

- Ethernet AVB togs ursprungligen fram för transport av audio över vanliga nätverk baserade på Ethernet. Det har blivit tydligt att den höga tidsprecisionen, låga fördröjningen och precisa synkroniseringen gör AVB lämpligt även i fordon och i industriella applikationer. Nästa generation av AVB kallas TSN och tillåter att användningen av Ethernet flyttas in i områden med hårda realtidskrav och tillförlitlig kommunikation.
- TSN kan beskrivas som "AVB 2.0" och den är bakåtkompatibel med AVB-standarderna. TSN tas fram för konvergerade nätverk med strömmande audio/video och realtids styrsignalering i fordons- och processindustrin. TSN uppfyller hårdare krav på fördröjning, synkronisering och tillgänglighet. Den stöder även redundans och ett antal andra viktiga funktioner.
- IEEE AVB/TSN specifikationer under utveckling:
  - 802.1ASbt – "Timing and Synchronization: Enhancements and Performance Improvements"
  - 802.1Qbv/ 802.1Qbu - Enhancements for Scheduled Traffic and Frame Pre-emption
  - 802.1Qca/ 802.1CB
- Pågående arbete inom arbetsgruppen för IEEE1722:
  - En ny version av denna standard kommer att addera stöd för inkapsling och transport av styrsignaler (LIN/CAN/FlexRay) i IEEE1722 transportströmmar.

## **6. Spridning och publicering**

### **6.1 Kunskaps- och resultatspridning**

Den primära mekanismen för kunskapsspridning mellan de deltagande parterna i projektet var de seminarier som hölls i slutet av projektet i samarbete mellan FFI-projekten ECAE och AVB. Förutom projektmedlemmar och medlemmar i ledningsgruppen deltog nyckelpersoner från respektive partnerorganisation i dessa seminarier, och VINNOVA-representanter var också inbjudna.

Figurerna nedan visar agendorna för dessa seminarier. Presentationerna lagrades, liksom andra resultat och dokument från projektet, på projektets SharePoint, administrerad av VCC och tillgänglig för samtliga projektpartner.

## **ECAE & AVB Seminar – Agenda 2015-02-26**

Time 09.30-15.00, Place: AB Volvo, Götaverksgatan 10, Lundbystrand, Göteborg, Room: M1.103  
(First go to: Reception on floor 7)

**09.30** Registration and Coffee/Tea

**09.50** **Welcome and Introduction** – P-A Jörgner, Volvo Car Corporation (VCC)

**10.00** **Automotive Ethernet - Background, motivation and market outlook**  
Lars Bröhne, Time Critical Networks

**10.20** **Standardization activities of Ethernet in OPEN and IEEE for Automotive**  
Samuel Sigfridsson, VCC

**10.40** **FlexECUIII – A Prototype ECU to investigate Ethernet BroadR-Reach Technology**  
Oscar Ljungkrantz, AB Volvo

**11.00** **Break (Coffee/Tea)**

**11.20** **Simulation results of replacing Flexray with Ethernet backbone**  
Jonas Lext, Time Critical Networks

**11.40** **Achieving deterministic transmission behavior in Ethernet**  
Ieroklis Symeonidis, ArcCore

**12.00** **Audio Video Bridging (AVB) in an Automotive Ethernet Network**  
Mohammad Mirzraei, VCC

**12.20** **Lunch**

**13.20** **AVB Test bench set-up and test results**  
Lars Bröhne/Jonas Lext, Time Critical Networks

**13.40** **Implementation of Ethernet in Autosar 4.2.x** – Kostas Beretis, ArcCore

**14.00** **Break (Coffee/Tea)**

**14.20** **Ethernet as part of Architecture for Autonomous Driving**  
Kent Melin, VCC

**14.40** **Ethernet AVB Future Developments** – Mikael Söderberg, Pelagicore

**15.00** **(The End)**

*Figur 7: Agenda ECAE/AVB Seminarium 2015-02-26*

## ECAE & AVB Seminar – Agenda 2015-12-03

Time 09.30-14.00, Place: Volvo Car Corporation (VCC), Volvo Jakobs väg, Torslanda, Göteborg

Room: PVH5 "Hörsal B"

(External participants, first go to: PVH Reception, see attached map in Outlook Invitation)

09.30 Registration and Coffee/Tea

**09.50 Welcome and Introduction**

P-A Jörgner, Volvo Car Corporation (VCC) (10 min)

**10.00 Hardware investigation of Ethernet BroadR-Reach Technology and AVB**

Oscar Ljungkrantz, AB Volvo (30 min)

**10.30 Ethernet in Automotive Environment at VCC**

Samuel Sigfridsson, VCC (30 min)

**11.00 Break (Coffee/Tea) (30 min)**

**11.30 AUTOSAR compliant Ethernet test bench configuration**

Ieroklis Symeonidis, ArcCore (20 min)

**11.50 Build and optimize Ethernet systems with latency, jitter and no packet drops in mind (30 min)**

- a. Network Performance Simulation vs measurements in test bench, Jonas Lext/Lars Bröhne, TCN (10 min)
- b. Infotainment performance simulation, Jan Svensson, AB Volvo (10 min)
- c. Ethernet AVB findings, pros and cons, Shahin Ghazinouri, Pelagicore (10 min)

**12.20 Lunch (60 min)**

**13.20 Methods/Tools Challenges when introducing Automotive Ethernet**

Lennart Casparsson, VCC (20 min)

**13.40 Ethernet AVB Future Standardization and Trends**

Shahin Ghazinouri, Pelagicore (20 min)

**14.00 Thank You and End of Seminar**

P-A Jörgner

*Figur 8: Agenda ECAE/AVB Seminarium 2015-12-03*

Angående förändringskrafter kan nämnas att det finns ett antal interna projekt hos varje projektpartner som, baserat på resultat och erhållen kunskap från AVB, kommer att leda till nya och förbättrade produkter.

## 6.2 Publikationer

Eftersom inget forskningsinstitut eller akademi deltog i det här projektet så publicerades inga vetenskapliga artiklar eller liknande

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Fordonstillverkarna (AB Volvo och VCC) har fått djupare förståelse för var Ethernet AVB passar in i fordonets el-arkitektur, betydelsen av att implementera Ethernet AVB på rätt sätt för att nå robusthet och undvika onödig komplexitet, möjligheterna och begränsningarna med Ethernet AVB jämfört med andra nätverksteknologier, och betydelsen av effektiva verktyg för simulering och analys. Likaså har personalens kompetensnivå angående Ethernet i fordonsmiljö höjts, vilket är värdefullt för andra projekt.

De övriga projektparterna (ArcCore, Pelagicore och TCN) har fått djupare kunskap om fordonsindustrins villkor och krav. De har också kunnat fortsätta förbereda och utveckla sina respektive produktportföljer (AUTOSAR-plattform, öppna plattformar för Infotainment, verktyg för simulering och analys) för att matcha den fortsatta tekniska utvecklingen av Ethernet för fordonsmiljö, inklusive AVB/TSN.

Emellertid är AVB ännu en aning omoget för användning i fordon. Alla AVB-protokoll behövs nödvändigtvis inte för användningsfall i fordon. Kommande standardisering av TSN kommer att medföra tillägg till AVB som uppfyller hårdare krav på fördröjning, synkronisering och tillgänglighet. Genom användning av lösningar baserade på AVB/TSN erhålls fördelar i form av öppen standard med interoperabilitet och oberoende test och verifiering tillgänglig (genom AVnu). En migration från klassiska nätverk i fordon (CAN/LIN/FlexRay) kan erhållas genom att dessa protokoll körs i tunnlarna över Ethernet.

Fordonsnätverk har traditionellt varit heterogena och historiskt ofta vuxit genom att fler och fler noder adderas till befintliga arkitekturer. Ethernet kan innebära en förenkling av nättopologier och möjliggöra mer hierarkiska och enklare strukturer i nätverken – reduktion av antal noder och därmed mindre komplexitet och kostnad för kablage.

För att studera dessa fortsatta utmaningar och möjligheter behövs mer forskning. Som exempel på detta kan nämnas att en ny FFI-ansökan angående fortsatta studier av Ethernet i fordonsmiljö har lämnats in i slutet av 2015.

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Följande organisationer (företag) deltog i projektet (nedan listade i alfabetisk ordning men namnet på respektive primär kontaktperson):

- AB Volvo, Oscar Ljungkrantz
- ArcCore AB, Michael Lundell
- Pelagicore AB, Mikael Söderberg
- Time Critical Networks AB, Lars Bröhne
- Volvo Personvagnar AB, Per-Anders Jörgner

## 9. Annex

### 9.1 Referenser

- [1] FFI Project Description – Audio Video Bridging (AVB) in an Automotive Ethernet Network, AnnSofie Ruuth, VCC, 2013-10-15.
- [2] Måluppfyllelse – AVB, VCC 94141, P-A Jörgner, 2016.
- [3] FFI Ethernet AVB - WP1 - v1.docx, Report, Mohammad Mirzaei Volvo Cars, Atul Yadav AB Volvo, 2015-06-11.
- [4] TCN report 20150709:1, Jonas Lext, Time Critical Networks AB.

### 9.2 Terminologi

AE	Advanced Engineering
AUTOSAR	AUTomotive Open System Architecture
AVB	Audio Video Bridging
AVDECC	AVB Discovery, Enumeration, Connection management and Control
CAN	Controller Area Network
ECAE	Ethernet Communication in Automotive Environment
ECU	Electronic Control Unit
EMC	Electro-Magnetic Compatibility
FFI	Fordonsstrategisk Forskning & Innovation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
Mbit	Megabits
MOST	Media Oriented Systems Transport
OEM	Original Equipment Manufacturer (here automaker)
OPEN	One-Pair Ether-Net
TCN	Time Critical Networks
TCP	Transmission Control Protocol
TSN	Time Sensitive Network
UDP	User Datagram Protocol
VCC	Volvo Car Corporation
VCG	Volvo Car Group
WP	Work Package