

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Auto- ja kuljetustekniikka

Autosähkötekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**VÄYLÄJÄRJESTELMÄT:
MOST, BYTEFLIGHT, FLEXRAY**

**Työn tekijä: Tuukka Puuronen
Työn valvoja: Kari Tammi
Työn ohjaaja: Frans Malmari**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Kari Tammi
lehtori**

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Tuukka Puuronen	
Työn nimi: Väyläjärjestelmät: MOST, bytflight, flexray	
Päivämäärä: 15.4.2008	Sivumäärä: 42 s.
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Autosähkötekniikka
Työn valvoja: lehtori Kari Tammi	
Työn ohjaaja: insinööri Frans Malmari	
<p>Tässä insinööriyössä on tutkittu nykyajan ja tulevaisuuden väyläjärjestelmiä. Tutkittavina ovat väyläjärjestelmät liittyvät autotekniikan tarpeeseen saada aikaisempi nopeampaa ja luotettavampaa ohjainyksiköiden välistä kommunikaatiota.</p> <p>Tutkittavat kohteet ovat MOST, bytflight ja flexray. Ne ovat valittu tutkimuksen kohteiksi, koska niistä jokainen toimii erilaisten järjestelmien tiedon välittäjinä. Tutkittavia järjestelmiä kohtaan ollut aikaisempi mielenkiinto oli lähtökohtana tutkimuksen toteuttamiselle. Järjestelmiä haluttiin tutkia, koska ne ovat autotekniikan tiedonsiirron merkittävä osa-alue. Väyläjärjestelmiä voi olla erityyppisiä riippuen siitä minkälaisissa järjestelmissä ne välittävät tiettyä tietoa.</p> <p>Väyläjärjestelmien toimintaa pyrittiin selvittämään seikkaperäisesti löydetyn tiedon avulla. Insinööriyö perustuu löydetyn kirjallisuusmateriaalin tutkimiseen ja siitä saatuihin tietoihin. Kirjallisuusmateriaalin avulla pyrittiin selvittämään väyläjärjestelmien toimintaa ja käyttöä sekä tutkimaan tulevaisuuden kehitysnäkymiä autojen väyläjärjestelmissä.</p> <p>Työ suoritettiin itsenäisesti ja lisämateriaalia saatiin olemalla yhteydessä automaahan-tuontiliikkeisiin. Tutkimuksen aikana väyläjärjestelmien toiminnasta saatiin selkeämpi kuvaus verrattuna aiempaan tietoon. Selvitettäessä väyläjärjestelmien toimintaa havaittiin, että monissa väyläjärjestelmissä esiintyy samantyyppistä tiedonsiirrolle ominaista tekniikkaa.</p> <p>Tämä insinööriyö on tehty nykyajan väyläjärjestelmien toimintojen ymmärtämiseksi ja sitä voi käyttää opiskelumateriaalina.</p>	
Avainsanat: tiedonsiirto, väyläjärjestelmä, solmu, ohjainyksikkö, optinen kuitu.	



ABSTRACT

Name: Tuukka Puuronen	
Title: Bus Systems: MOST, byteflight, flexray	
Date: 15.4.2008	Number of pages: 42
Department: Automotive & Transport Engineering	Study Programme: Automotive Electronics Engineering
Instructor: Kari Tammi, Lecturer	
Supervisor: Frans Malmari, Engineer	
<p>This graduate study explores the bus systems of today and the future. The bus systems which are examined here connect to the need of automotive industry to have more reliable, flexible and faster communication between control units and the individual systems.</p> <p>The examined objects in the study are MOST, byteflight and flexray. They have been chosen to the objects of this research because each of the bus systems transfers the information on an individual system. These bus systems gave an interesting starting point for a research. They have a significant role in the information flow of automotive systems and there is no comprehensive information about bus systems in Finnish language. There can be various bus systems depending on the system in which they convey given information in a car.</p> <p>Precise functions of the bus systems were examined by the help of the research material found. This graduate study is based on the material and the collected information. The research material proved very useful when the functions, use and future developments of automotive bus systems were examined.</p> <p>The research study was carried out independently and additional research material was found by contacting different car importers. During the research the functions of different bus systems became much clearer. When understanding the different functions of different bus systems it was pointed out that they have similar functions for transferring the information.</p> <p>This graduate study was made to give an insight to different functions of different bus systems and it can be used as additional research material.</p>	
Keywords: data transfer, bus system, node, control unit, optical fiber.	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	TIEDONSIIRTOVÄYLÄ	4
2.1	Yleisimpiä väyläjärjestelmiä	5
2.2	Verkkoyhteys	7
3	VALOKAAPELI	8
3.1	Rakenne	8
3.2	Kuituoptiikka	8
3.2.1	<i>Yksimuotokuitu</i>	9
3.2.2	<i>Porraskuitu</i>	9
3.2.3	<i>Gradienttikuitu</i>	10
3.2.4	<i>Edut kuparikaapeliin nähden</i>	10
3.2.5	<i>Ominaisuudet</i>	11
3.3	Tiedonsiirto	12
3.3.1	<i>Asynkroninen</i>	12
3.3.2	<i>Synkroninen</i>	12
3.3.3	<i>Fyysinen kerros</i>	13
3.4	Signaalin siirto valokaapelissa	13
3.4.1	<i>Digitaalisen signaalin muuttaminen</i>	13
3.4.2	<i>Optisen signaalin muuttaminen</i>	14
4	MOST	15
4.1	Idea	15
4.2	Tiedonsiirto	15
4.2.1	<i>Synkroninen / asynkroninen</i>	16
4.2.2	<i>Optinen rinki</i>	16
4.2.3	<i>Toiminta-alueet</i>	19
4.2.4	<i>Viestikehys</i>	19
4.2.5	<i>Viestin protokolla</i>	21
4.3	Ominaisuudet	22
4.3.1	<i>Toiminnan tarkastus</i>	22
4.3.2	<i>MOST-lukko</i>	23
4.3.3	<i>Security-toiminto</i>	23
4.4	Tulevaisuuden MOST-verkot	24
4.4.1	<i>MOST50</i>	24
4.4.2	<i>MOST150</i>	24

5	BYTEFLIGHT	25
5.1	Idea	25
5.2	Tiedonsiirto	25
5.2.1	<i>Synkroninen / asynkroninen protokolla</i>	26
5.2.2	<i>SYNC-pulssit</i>	26
5.2.3	<i>Lähetyksien odotusajat</i>	28
5.3	Tähtikytkenä	29
5.4	Käyttökohteet	31
6	FLEXRAY	32
6.1	Tiedonsiirto	33
6.1.1	<i>Staattinen ja dynaaminen osa</i>	33
6.1.2	<i>Solmun komponentit</i>	36
6.2	Flexray / CAN	37
6.3	Sähköinen ohjaus	38
7	YHTEENVETO	39
	VIITELUETTELO	41

1 JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään autojen toimilaitteiden välisissä kommunikaatioissa käytettävien väyläjärjestelmien käyttöä, toimintaa ja niiden tiedonsiirrolle ominaisia ratkaisuja. Työ perustuu kolmen väylärakenteen tutkimiseen, joille on ominaista valokaapelin käyttö tiedonsiirrossa. Insinööriyössä tutkitaan väylien rakenteita. Työn tarkoituksena on tutkia väyläratkaisujen perustoimintaa ja sitä mitä käytännössä vaaditaan tarvittavan informaation siirtämiseksi. Tässä insinööriyössä tutkittavat väyläratkaisut on valittu tutkittaviksi kohteiksi sillä ne ovat ratkaisuja, jotka nopeuttavat tiedonsiirtoa autojen sisäisissä elektronisissa järjestelmissä nykyaikana ja tulevaisuudessa. Tähän insinöörityöhön on koottu yksityiskohtaista tietoa väylien rakenteista, joista ei ole saatavilla kattavaa suomenkielistä kirjallisuutta. Valmis insinööri työ toimii myös opiskelumateriaalina.

Työssä tutkitaan aluksi lyhyesti käytössä olevia yleisimpiä väyläratkaisuja sekä tutkitaan valokaapeleita ja niiden ominaisuuksia. Tämän jälkeen paneudutaan kolmen väyläratkaisun toiminnan peruseräisiin. Lisäksi tutkimuksen aikana kohteina olevia väylärakenteita vertaillaan ominaisuuksiltaan nykyajan järjestelmiin sekä tutkitaan niiden tulevaisuuden näkymiä.

Valokaapeli on johdin, joka sisältää valokuituja. Nykypäivänä autojen sisäisessä tiedonsiirrossa käytetään eniten kuparijohtimia, jotka siirtävät erilaiset viestit elektronisesti ohjainyksiköiden ja antureiden väleillä. Tällainen viesti on esimerkiksi lambda-anturin mittaama pakokaasun happipitoisuus. Lambda-anturilla mitatun happipitoisuuden suuruustieto kulkee kuparikaapeleita pitkin ohjausyksikölle. Valokaapelin käyttö ei käytännössä sovellu juuri tämän tyyppiseen tiedonsiirtoon, vaan se kattaa tällä hetkellä autotekniikassa tietyn osa-alueen, kuten median siirron.

Tiedonsiirron halutaan olevan mahdollisimman nopeaa ja häiriötöntä, johon valokaapeli soveltuu erittäin hyvin. Valokaapelin käyttö onkin lisääntynyt viihde-elektroniikan lisääntyneissä autoissa. Tällä hetkellä optista kuitua käytetään henkilöautoissa lähinnä multimediaratkaisuissa ja turvallisuustekijöihin vaikuttavissa sovelluksissa. Työssä keskitytään MOST-, byteflight- ja flexray-väyläratkaisujen käyttöön ja toimintaan. MOST on monen valmistajan kehittämä verkkoratkaisu ja byteflight on automerkki BMW:n kehittämä tiedonsiir-

toverkko. Flexray on kehitetty byteflightin toimintojen pohjalta. Flexray-verkko ei ole vielä käytössä, kuin yhdessä tuotantoautomallissa. Flexraytä pidetään tulevaisuuden ratkaisuna ajoneuvojen ohjainlaitteiden kriittisten toimintojen kommunikoinnissa.

Jatkuvasti kehittyvä auton sähkötekniikka tarjoaa uusia mahdollisuuksia kehittää myös auton viihde-elektroniikkaa ja tiedonsiirron halutaan myös tapahtuvan välittömästi. Optinen tiedonsiirto palvelee hyvin, kun on siirrettävä suuria määriä tietoa kerralla. Optisella tiedonsiirrolla on monia hyviä etuja kuparikaapeleihin verrattuna. Kuparikaapeleista ei kuitenkaan olla täysin luopumassa, sillä myös prosessoritekniikoiden kehittyminen mahdollistaa tiedonsiirron nopeuksien kehittämisen ja näin myös kuparikaapeleiden käytön jatkamisen.

Autojen järjestelmien tiedonsiirron nopeuttamiseksi eri autovalmistajat alkoivat tutkia, kuinka optista tiedonsiirtoa olisi mahdollista hyödyntää, kun tavoitteena oli reaaliaikaisempi tiedonsiirto. Eri autovalmistajista kehittyi myöhemmin yhteisö, joiden automerkit käyttävät tiettyä tiedonsiirto ratkaisua hyväkseen. Kuparikaapelin käyttö median tiedonsiirto ratkaisuna ei palvele käyttäjää, sillä tiedon oli kuljettava monta kertaa nopeammin ja häiriöttömästi. Työn tuloksena syntyi tiedonsiirto ratkaisu nimeltään MOST, vuonna 1998. Kehittäjinä olivat Audi, BMW, DaimlerChrysler, Harman/Becker ja Oasis. Muovikuidun käyttöä autoteollisuudessa pidetään tyypillisenä ratkaisuna, kun puhutaan valokaapeleista. Standardiksi on kehittynyt tiedonsiirrossa käytetty infrapunavalo, 650 nm:n aallonpituudella. BMW oli ensimmäinen automerkki, joka käytti optista tiedonsiirtoa väylä ratkaisuissaan 700-sarjan mallissaan vuonna 2001.

Tulevaisuuden ratkaisuihin kuuluu mekaanisista ja hydraulisista järjestelmistä poistuminen flexrayn ja siihen liittyvän x-by-wire-tekniikan myötä. Myös valokaapelin käyttö tulevaisuudessa tulee olemaan yksi osatekijä tiedonsiirron nopeuttamiseksi erityisesti median siirrossa. Automerkki BMW käytti ensimmäisenä valokaapelia turvallisuustekijöihin vaikuttaviin sovelluksiin. Se käytti ensimmäisenä valokaapelia turvatyynyjen tiedonvälityksessä ja turvavöiden esikiristimien hallinnassa.

Osa työhön liittyvän väylä tekniikan materiaalin etsimisestä toteutettiin olemalla yhteydessä automaahantuonnin liikkeisiin. Valittiin kaksi automerkkiä,

joista löytyi eniten tietoa insinööriyön toteuttamiseksi. BMW:n maahantuonnista Vantaalta ja Veho Groupin henkilöautojen logistiikkakeskuksesta Espoosta saatuja koulutusmateriaaleja on käytetty hyväksi väyläratkaisujen tutkimisessa. Lisäksi työn valvojalta saatiin lisämateriaalia automerkki Volvon järjestelmiin liittyen. Insinööriyön lopputuloksena saadaan kirjallisuustutkimus MOST-, byteflight- ja flexray-väylärakenteista.

2 TIEDONSIIRTOVÄYLÄ

Väylä käsittää auton sisäisissä järjestelmissä olevien ohjainyksiköiden väliset johtimet, joissa auton järjestelmien väliset toiminnot siirtyvät. Tällaisia järjestelmiä kutsutaan tiedonsiirtoväyläksi.

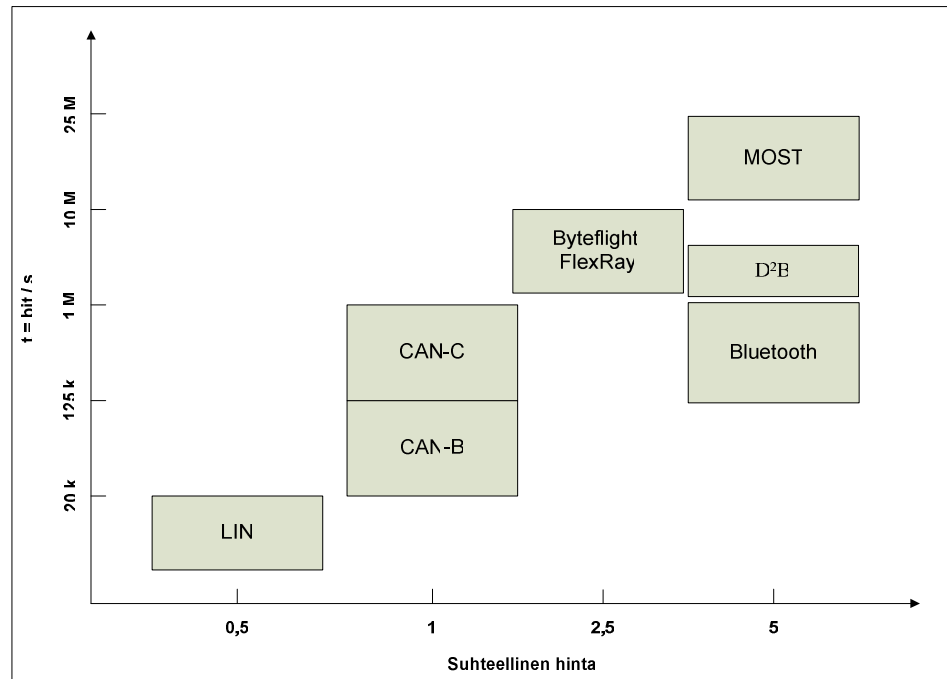
Väylällä tarkoitetaan digitaalisesti siirrettävää informaatiota, jossa eri osajärjestelmien ohjainyksiköt kommunikoivat keskenään. Autojen väyläteknikka perustuu hajautettuun järjestelmään, jossa eri järjestelmien toiminnot hajautetaan monien ohjainyksiköiden kesken. Eri osajärjestelmien toiminnot kulkevat väylää pitkin monille ohjainlaitteille.

Ajoneuvojen lisääntynyt elektroniikka on lisännyt vaatimuksia toimilaitteiden tiedonsiirrolle. Suuria määriä tietoa on siirrettävä samanaikaisesti, jotta erilaiset toimilaitteiden tehtävät olisi mahdollista suorittaa. Erilaisia rakenteita tiedonsiirron ratkaisuksi on kehitetty, joissa ohjainlaitteiden on mahdollista kommunikoida keskenään. [13.]

Ajoneuvoväylään liittyy myös ongelmia, joista halutaan päästä eroon. Väylän johtimet saattavat painaa jopa 100 kg ja lisäksi ongelmia aiheuttavat lämpö ja sähkömagneettiset häiriöt. Lämpöenergiaa syntyy kaapeleissa kulkevista suurista virroista. Ne voivat olla suuruudeltaan jopa kymmeniä ampeereja. Sähkömagneettiset häiriöt aiheutuvat komponenteista, joissa on käytetty suuria käämityksiä. Kaapelissa kulkeva tieto voi häiriintyä oleellisesti, jos kaapeli kulkee läheltä sähkömagneettista komponenttia. Kuparikaapelit ovatkin usein kierrettyä parikaapelia, jotta häiriöiltä välttyttäisiin. Kierretyssä parikaapelissa kaksi johdinta on kierretty toisiinsa kiinni yhdeksi pariksi. Lisäksi käyttämällä valokaapelia on mahdollista päästä eroon häiriöitä aiheuttavista ongelmista. [25.]

2.1 Yleisimpiä väyläjärjestelmiä

Väylien nopeudet ja niiden asennuskustannukset ovat nousseet. Erityisesti vaikuttaa optisen kaapelin käyttö kuparikaapelin sijaan. Myös komponenttien hinnat ovat uusimmissa järjestelmissä kalliimpia. (Kuva 1.)



Kuva 1. Väylärakenteiden nopeudet ja suhteellinen hinta [lähde 17, s. 3 mukailleen]

Kuvasta 1 nähdään millä tavalla tässä insinööriyössä tutkittavat MOST-, byteflight- ja flexray-väylät sijoittuvat kalleudeltaan ja nopeudeltaan muihin väylärakenteisiin verrattuna. MOST on kallein komponentti-toteutukseltaan, mutta toisaalta taas se on nopein väylä. MOST on jo standardi, kun puhutaan multimedian siirrosta autoissa. Kuvasta 1 voidaan todeta, että byteflight -väyläratkaisu on hitaampi tiedonsiirrotaan ja halvempi toteutukseltaan kuin MOST. Flexray on tällä hetkellä yhtä nopea kuin byteflight. Flexrayn nykyinen tuotantoon kehitetty ratkaisu on nopeudeltaan 10 Mbit/s. Kalleuteen ja hintaan vaikuttavat erityisesti minkä tyyppistä tietoa väylässä halutaan siirtää ja minkälaisia komponentteja käytetään. Optisessa tiedonsiirrossa muovikuitu on materiaaliltaan halpa. Kuvasta nähdään, että esimerkiksi MOST-väyläratkaisu on viisi kertaa kalliimpi toteuttaa, kuin CAN-väylä.

CAN-väylä on kehitetty 80-luvun puolivälissä, ja sen käyttö ohjainlaitteiden kommunikoinnissa ja ohjaustietojen lähettämisessä on muodostunut jo nor-

miksi. Kuvassa 1 oleva CAN-B on mittaristolle menevä CAN-väylä ja CAN-C on moottorinohjaukselle menevä CAN-väylä. CAN-verkko on auton ohjainlaitteiden välinen tiedonsiirtoväylä, joka siirtää digitaalista tietoa maksimissaan 1 Mbit/s nopeudella. Väylässä kaikki ohjainlaitteet ovat niin sanottuja isäntiä (master), samanarvoisia. Väylä käyttää hyväkseen kuparikaapelia, joka on suojattua tai suojaamatonta kierrettyä paria. [10.]

Ensimmäiset autot, joissa käytettiin LIN-väylää (Local Interconnect Network) tulivat myyntiin vuonna 2001. LIN perustuu toteutukselle, jossa on yksi isäntä-ohjainlaite ja muut ovat orja-ohjainlaitteita. LIN-väylää käytetään hyväksi esimerkiksi sähköikkunoiden ja ovien lukkojen toiminnoissa. Flexray kehitettiin byteflightin pohjalta. Flexrayssä tiedonsiirto on toteutettu joko optisella tai kuparikaapelilla. D²B (Domestic Digital Bus) on myös optisella kaapelilla toteutettu multimedian siirtoon tarkoitettu väylä. Se kehitettiin vuonna 1997 ja tuli käyttöön vain muutamassa automallissa. Muun muassa Mercedes-Benz käyttää joissain malleissaan tätä ratkaisua. D²B ei kuitenkaan ole vakiinnuttanut asemaansa ja sen käyttö onkin nykyään hyvin pientä. Väylä siirtää tietoa maksimissaan 5,6 Mbit/s. [1; 17; 18.]

Bluetooth eroaa jokaisesta tiedonsiirtoväylästä siten, että se ei tarvitse ollenkaan fyysistä yhteyttä siirtääkseen tietoa. Sitä käytetään lyhyen kantaman välisiin tiedonsiirtoyhteyksiin. Bluetooth-yhteyden avulla on mahdollista esimerkiksi etäkäyttää puhelimen sim-korttia. (Taulukot 2 ja 3.) [13.]

Taulukko 2. Väyliä ominaisuuksia

	CAN	LIN	Flexray	Bluetooth
Verkotus	isäntä	isäntä-orja	isäntä	isäntä
Tiedonsiirto	asynkroninen	synkroninen	synkroninen/ asynkroninen	synkroninen/ asynkroninen
Nopeus	1 Mbit/s	20 kBit/s	10 Mbit/s	720 kbit/s
Toteutus	kupari	kupari	kupari/optinen	-

Taulukosta 2 nähdään kuparikaapelein toteutettujen väyliä ominaisuuksia. Lisäksi taulukossa on vertailun vuoksi bluetooth-väylä, joka ei käytä ollenkaan kaapelointia tiedonsiirrossaan. Bluetooth perustuu radiotekniikkaan ja se toimii lyhyillä kantamilla.

Taulukko 3. Optisella kaapelilla toteutettujen väylien ominaisuuksia

	D ² B	Byteflight	MOST
Verkotus	isäntä-orja	isäntä-orja	isäntä-orja
Tiedonsiirto	synkroninen / asynkroninen	synkroninen / asynkroninen	synkroninen / asynkroninen
Nopeus	5,6 Mbit/s	10 Mbit/s	24,8 Mbit/s
Toteutus	optinen	optinen	optinen

Taulukosta 3 nähdään valokaapelilla toteutettujen väylien toiminnallisia ominaisuuksia. Valokaapelein toteutetuista ratkaisuksista huomataan, että vain nopeus eroaa huomattavasti väylien välillä. Väylillä on kyllä hieman erityyppisiä menetelmiä siirtoteiden varaamiseksi käyttöönsä. Näitä kutsutaan kanavanvarausmenetelmiksi. Työssä tutkittavien väylien MOST ja byteflight käyttämiä kanavanvarausmenetelmiä tarkastellaan myöhemmin tässä työssä.

2.2 Verkkoyhteys

Nykyajan auto voi sisältää useita eri tiedonsiirtoverkkoja. Yhdellä verkolla ei olisi mahdollista toteuttaa autossa olevien erilaisten järjestelmien tiedonsiirtoa. Verkoilla on erilaiset fyysiset ominaisuudet ja logiikat, jotka on voitava yhdistää keskenään. Tavoitteena onkin, että verkot voivat keskustella keskenään. Näin on mahdollista tehdä, kun käytetään hyväksi verkkoja yhdistävää porttia (gateway). Portilla on käytännössä kaksi tehtävää. Ne ovat informaation keräys toisista verkoista ja informaation lähetys oikeaan verkkoon. Verkkoyhteyksillä pyritään lisäksi siihen, että auton elektroninen ohjausyksikkö (ECU) saa tiedot verkkojen toimintatiloista. Jos verkoissa havaitaan vikaa, niin viat tallentuvat ohjausyksikköön ja tarvittavat huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa.

3 VALOKAAPELI

Väylällä kulkevaan tiedonsiirtoon ei aina tarvitse käyttää kuparikaapelia. Auton kriittisille järjestelmille ja niiden toiminnoille sekä median siirrolle on valokaapelin käyttö hyödyllinen ratkaisu. Valokaapelista käytetään myös nimitystä optinen kuitu.

3.1 Rakenne

Valokaapelit ovat rakenteeltaan muovi- tai lasikuituja ja kuituja yhdessä kaapelissa voi olla yksi tai useampia. Muovikuidusta tai lasikuidusta valmistettu valokaapeli suojataan suojakalvolla. Kaapeleita kutsutaan valokuiduiksi, sillä tiedonsiirto tapahtuu heijastavan valon välityksellä. Valon kulkeminen kaapelissa perustuu valon taittumis- ja heijastumisilmiöihin. [2.]

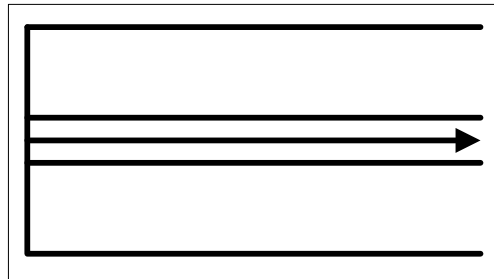
Ohjainlaitteiden välille muodostettua yhteyttä kutsutaan fyysiseksi kerrokseksi, joka on toteutettu kaapeleilla. Käytännössä valokuitu toimii ohjausyksiköiden tiedon välittäjänä ja tieto kulkee kuidussa sähkömagneettisena säteilynä. Sähkömagneettista säteilyä on monia erityyppisiä kuten radioaallot, mikroaallot, infrapunasäteily, näkyvä valo, ultraviolettisäteily, röntgensäteily ja gammasäteily. Valokuiduista puhuttaessa ne toimivat kolmella eri aallonpituusalueella. Nämä alueet ovat infrapunavalo, ultraviolettivalo ja näkyvän valon aallonpituusalueet. Autotekniikassa on kehittynyt standardiksi käyttää infrapunavaloa 650 nm:n aallonpituusalueella muovikuituisessa valokaapelissa. Tällä alueella valo on muovikuidussa läpinäkyvää. [1.]

3.2 Kuituoptikka

Valokuidut jaetaan kolmeen eri kuitutyypin sen perusteella miten, ne taittavat valoa kuidussa. Matemaattisissa tarkasteluissa valon taittumista kuidussa kuvaa suure nimeltään taitekerroin n_D . Taitekertoimet perustuvat aallonpituuksiin. Kuitutyypit ovat yksimuotokuitu, gradienttikuitu ja porraskuitu. Gradientti- ja porraskuituja kutsutaan monimuoto-kuiduiksi, koska niissä valon eteneminen voi tapahtua monessa eri tasossa kaapelin kuorta vasten. [1; 2.]

3.2.1 Yksimuotokuitu

Yksimuotoisen kuidun valon etenemistaso on aina sama (kuva 2).

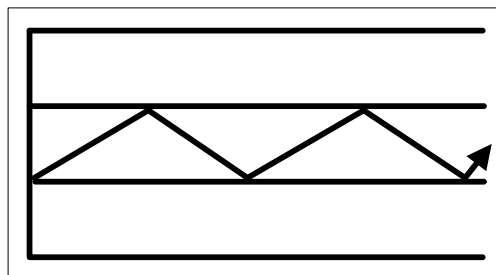


Kuva 2. Yksimuotokuidun valon eteneminen valokaapelissa

Kuvasta 2 nähdään, että yksimuotoisella kuidulla on vain yksi muoto, koska kuidun halkaisija on pieni [2].

3.2.2 Porraskuitu

Porraskuituisen tiedonsiirron käyttö muovikuidussa on yleisintä auto-tekniikassa (kuva 3).

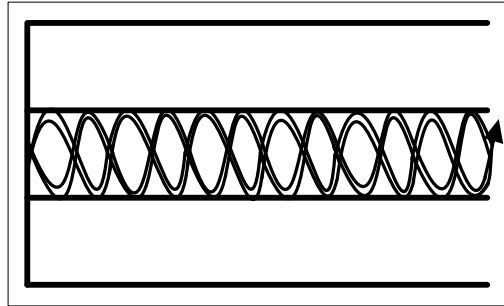


Kuva 3. Porraskuidussa tapahtuva valon taittuminen

Kuvasta 3 nähdään, että valon taittuminen porraskuituisessa valokaapelissa tapahtuu kuoren seinämien välillä kohtisuorasti kuoren seinämiä vasten [2].

3.2.3 Gradienttikuitu

Gradienttikuidun tiedonsiirto on nopeampaa porraskuituun verrattuna ja gradienttikuitua käytetäänkin enemmän lasikuitukaapeleissa. Gradienttikuitu tunnetaan myös nimellä monimuotokuitu. (Kuva 4.)



Kuva 4. Monimuotokuidun valon taittuminen valokaapelin kuidussa

Kuvasta 4 nähdään, kuinka valopulssit heijastelevat valokuidussa. Monimuotokuidussa valo alkaa taittua jo hieman ennen kuorta. Tämän perusteella voidaan tulkita, että tiedonsiirto tapahtuu nopeammin kuin askelkuidussa. Porraskuidussa valo ei ala taittua ennen kuorta vaan valo heijastuu aina samassa kulmassa. [2.]

Lasikuitukaapeleiden käyttö autoissa on vähäistä, sillä lasikuitukaapeli soveltuu enemmän pidemmille matkoille. Lasikuitukaapelin käyttö tietoliikenteessä on nykyajan tiedonsiirtoratkaisu.

3.2.4 Edut kuparikaapeliin nähden

Valokaapeleilla on monia hyviä ominaisuuksia, joilla on mahdollista saada aikaan verkon virheettömämpi tiedonsiirto. Myös valokaapeleiden fyysiset ominaisuudet vaikuttavat sen käyttöön.

Valokaapeleiden käyttöön vaikuttavia ominaisuuksia ovat

- tiedonsiirtonopeus
- sähkömagneettiset häiriöt
- keveys
- käsittely ja asennus
- johtomäärän vähentäminen.

Tiedonsiirto valokaapelilla on työssä tutkitussa MOST-verkossa kymmenen kertaa nopeampaa kuin esimerkiksi kuparikaapelein toteutetussa nykypäivän CAN-verkossa. Tiedonsiirtonopeudella tarkoitetaan sitä bittimäärää, joka pystytään siirtämään kaapelissa yhden sekunnin aikana.

Sähkömagneettiset häiriöt saattavat aiheuttaa katkoksia kuparikaapeleilla toteutetuissa rakenteissa. Valokaapeleille on ominaista, että niiden yhteydessä puhutaan EMC:stä (Electromagnetic Compatibility). Suomeksi EMC tarkoittaa sähkömagneettisten häiriöiden sietämistä. Valokaapelit sietävät häiriöitä erittäin hyvin. Kuparikaapelein toteutetuissa järjestelmissä virheitä tiedonsiirrossa voivat aiheuttaa muun muassa sähköinen polttoaineen suihkutusta tai sytytys. Valokaapelit ovat immuuneja sähkömagneettisille häiriöille, mikä saa aikaan sen, ettei tietoa häviä lähetyksien aikana.

Valokaapelit mahdollistavat painon alenemisen autoissa sekä ne vähentävät johtojen määrää. Kuparikaapelein toteutetussa autossa johtimet saattavat painaa jopa 100 kg. Valokaapeleita on lisäksi helpompi käsitellä ja niiden liittäminen on nopeampaa. Niitä käsiteltäessä pitää kuitenkin noudattaa tiettyä varovaisuutta, sillä ne ovat herkkiä likaantumiselle. [3.]

3.2.5 Ominaisuudet

Optisen kaapelin kunto on helppo tarkastaa tutkimalla sen sisällä kulkevaa valoa. Ohjainlaitteelle tuleva valokaapeli voidaan tarkastaa irrottamalla valokaapeli tiedon vastaanottavan ohjainlaitteen päästä. Jos valoa ei havaita tai se on epämääräinen, niin kuitu on rikki. Vianhakua tehtäessä on jokaiselle ohjainlaitteelle tulevasta valokaapelista tarkastettava näkykö kaapelissa valoa. Valon on määrä näkyä samanlaisena jokaisessa kaapelissa.

Valokaapelille on ominaista sen vikaherkkyys. Tärkeimpiä vian aiheuttavia kohteita, jotka saattavat aiheuttaa tiedonsiirron katkeamisen ovat

- taivutussäde (max. 5 cm)
- venytys
- lämpö (max. + 85 C)
- puristuksiin joutuminen
- lian pääsy kaapeliin.

Huoltotoimenpiteissä on huomioitava, ettei valokaapelia taivuteta liikaa eikä se saisi joutua puristuksiin huoltotoimenpiteiden jälkeen. Valo ei pysty taittumaan ja heijastumaan kaapelissa, jos sitä taivutetaan liikaa. Se on myös erittäin herkkä lialle eikä valokaapelin läheisyydessä tule käyttää liuottimia ja puhdistusaineita. Liiallinen lämpö saattaa rasittaa kaapelia, jos sen vieressä tehdään esimerkiksi hitsaustöitä. Jos kaapeliin joutuu pieniäkin määriä likaa, niin tiedonsiirrossa ilmenee ongelmia. [3.]

3.3 Tiedonsiirto

Tietoa ei voida siirtää ainoastaan fyysistä yhteyttä käyttämällä. Kommunikointi eri laitteiden välillä vaatii tietyn protokollan, jotta viestien lähettäminen olisi mahdollista. Tiedonsiirtoprotokollat on jaettu kahteen merkkipohjaiseen osaan, jotka ovat synkroninen ja asynkroninen protokolla. [1; 10; 15.]

3.3.1 *Asynkroninen*

Asynkroninen eli tahdistamaton synkronointimenetelmä perustuu yksittäisten merkkien tunnistamiseen. Menetelmä on hidas, koska siinä merkkien siirto ja niiden tunnistaminen tapahtuu yksi kerrallaan. Synkroninen menetelmä eroaa asynkronisesta siten, että se tunnistaa merkkijonoja ja on näin ollen nopeampi menetelmä.

Asynkronisessa tiedonsiirtoprotokollassa tietoa voidaan lähettää vain silloin, kun vastaanottaja antaa siihen luvan. Tämän vuoksi protokollaa kutsutaan tapahtuma-ohjatuksi protokollaksi. Tapahtumaohjatussa tiedonsiirrossa väljän lähetyksen vastaanottavalla ohjainyksiköllä ei ole tietoa siitä, millä tietyllä ajanhetkellä tieto on kehitetty. Asynkronista tiedonsiirtoprotokollaa käyttää hyväksi esimerkiksi CAN-verkko. [3; 6; 10.]

3.3.2 *Synkroninen*

Synkroninen eli tahdistettu tiedonsiirtoprotokolla on aikaohjattu lähetysten siirtomenetelmä, jossa viestit siirretään jokaiselle yksikölle ennalta määrättyssä järjestyksessä. Tällaista protokollaa käyttävät hyväksi työssä tutkitut verkot MOST, byteflight ja flexray. Byteflight- ja flexray-verkoissa lähetyksen vastaanottajan ja lähettäjän välillä kulkevat lähetykset on synkronoitu kellon avulla. Kellotusperiaatteella lähettäjän ja vastaanottimen välillä kulkevat lähetykset pääsevät varmasti perille, koska viestit ovat aikaan sidottuja. Aika-

ohjatusta protokollasta käytetään myös nimitystä TTP, Time Triggered Protocol.

3.3.3 *Fyysinen kerros*

Väylän fyysinen kerros pitää sisällään väylän ne osat, jotka tarvitaan yhteyden muodostamiseen ohjainlaitteiden välillä. Fyysiseen kerrokseen kuuluvat kaikki ne johtimet ja signaalin vastaanottimet, joissa tieto siirtyy. Fyysisen yhteyden kaapeliratkaisu voi olla joko kuparikaapeli tai optinen kaapeli. Työssä tutkittavien kolmen väyläratkaisun fyysiset yhteydet voidaan toteuttaa optisella kaapelilla. Käytännössä MOST ja byteflight toteutetaan lähes aina optisella kaapelilla ja flexraytä on kehitetty tällä hetkellä vielä kuparikaapelilla. Nykypäivän autoissa optinen pääohjainlaite sijaitsee pääsääntöisesti auton infotainment-osassa, joka on auton etuosan keskikonsolissa. Optinen pääohjainlaite on myös yhteydessä auton keskusohjausyksikköön (ECU), ja niiden välillä tiedot siirtyvät CAN-johtimissa.

3.4 **Signaalin siirto valokaapelissa**

Moottorin ohjausyksikön digitaalinen signaali ohjataan erillisen signaalin ohjauskomponentin läpi, joka kehittää optiseen tiedonsiirtoon vaadittavan optisen signaalin. Valo kulkee kuidussa ohjausyksiköltä toimilaitteelle ja toimilaitteessa oleva vastaanottaja muuntaa optisen signaalin takaisin elektroniseksi signaaliksi. Valokaapeleiden pituudet auton toimilaitteiden välillä pyritään pitämään lyhyinä. Toimilaitteiden tulisikin olla lähellä toisiaan, jotta kaapelien pituudet eivät nousisi suuriksi. Optisessa tiedonsiirrossa tiedon lähetysoimakkuus laskee, kun kaapelin pituutta suurennetaan. [3.]

3.4.1 *Digitaalisen signaalin muuttaminen*

Digitaalisen signaalin optiseksi signaaliksi muuttava komponentti on nimeltään valodiodi, Light Emitting Diode (LED). Kyseistä komponenttia on käytetty hyväksi lähes kaikissa ensimmäisen sukupolven MOST25-väylärakenteissa. Komponentti koostuu kahden puolijohteen (P ja N) muodostamasta rajapinnasta. Valodiodin sisällä olevat puolijohdemateriaalit ottavat vastaan digitaalisen toimintesignaalin eli varauksenkuljettajat. Elektronit liikkuvat PN-rajapinnalle N-puolijohdemateriaalista (vapaat elektronit) P-puolijohdemateriaan (elektronivajaukset eli aukot). P-puolijohde-osaan olevat aukot täyttyvät varauksenkuljettajista. Tapahtuma saa aikaiseksi energian

vapautumisen valon muodossa ja optinen tieto siirtyy valokaapelissa. [1; 3; 5; 4, s. 145 – 148.]

3.4.2 *Optisen signaalin muuttaminen*

Valosignaalin kulkiessa valokaapelissa ohjausyksiköltä toiselle toimilaitteelle, valosignaali muutetaan takaisin digitaaliseksi signaaliksi erillisen fotodiodin avulla (photodiode). Komponentin läpinäkyvä kuori ottaa vastaan valon ja ohjaa sen puolijohde-rajapinnalle, josta signaali muuttuu jälleen ohjausyksikölle digitaaliseksi signaaliksi. Yleensä fotodiodin materiaalina käytetään piitä. Materiaalivaihtoehtoja on monia, mutta pii toimii parhaiten valokaapelin nopeassa tiedonsiirron välityksessä. [5; 4, s. 150.]

4 MOST

MOST tulee sanoista Media Oriented System Transport. Tällä tarkoitetaan median siirtoon käytettyä tiedonsiirtoverkkoa. Verkolla tarkoitetaan kaikkia niitä ohjainyksiköitä ja kaapeleita, jotka toteuttavat tiedonsiirron välittymisen MOST-järjestelmässä.

4.1 Idea

MOST-tiedonsiirtoväylän kehittäjien peruseriaatteena oli saada aikaiseksi väyläratkaisu, joka siirtää kuvaa, ääntä ja ohjaustietoja suurella kaistanleveydellä. Erityisesti MOST-väylää kehittäessä autovalmistajat paneutuivat kehittämään väylää, joka kommunikoi auton eri ohjainlaitteiden välillä valokaapeleiden välityksellä. Väylän oli oltava tiedonsiirroltaan nopeampi, kuin edelliset ratkaisut, ja siinä käytettäisiin myös taloudellisesti kannattavaa materiaalia. MOST-väylässä tiedonsiirtonopeus on maksimissaan 24,8 Mbit/s. MOST-väylästä käytetään myös merkintää MOST25, jossa luku 25 tulee sen tiedonsiirtonopeudesta.

4.2 Tiedonsiirto

Viestit kulkevat MOST-väylässä valopulsseina ohjainlaitteilta toisille. Voidaan sanoa, että yksikkö on "nukkuvassa tilassa" silloin, kun se ei lähetä mitään. Ohjainlaite on kyllä toiminnassa ja se onkin eräänlaisessa valmiustilassa lähettämään tietoa (ready-to-send).

Laitettaessa virrat päälle ennen MOST-ohjainlaitteiden välistä tiedonsiirtoa, väylä "herätetään" toimintavalmiuteen elektronisella wake-up-signaalilla. Tämän tyyppinen lisäjohto ei ole välttämättömyys MOST-verkossa, sillä herätys voidaan tehdä myös optisesti. Herätyksen suorittaa pääohjainlaite (infotainment). Jokainen väylään liittyvä solmu lähettää tunnistetietonsa pääohjaimelle, joka saa näin tiedon verkon toimintakyvystä. [3; 13; 14.]

Siinä vaiheessa, kun MOST-väylään liittyvä ohjainlaite, esimerkiksi CD-vaihtaja, haluaa lähettää tietoa toiseen yksikköön, se vaihtaa tilakseen varatun tilan (occupied). Varatussa tilassa ollessaan CD-vaihtaja tallettaa muistiinsa vastaanottavan yksikön osoitteen, virhekoodit ja lähetettävän tiedon. Vastaanottavan yksikön saadessa signaalin, se vahvistaa sitä edelleen. Käytännössä jokainen MOST-väylään liittyvä ohjainlaite vahvistaa signaalia, jot-

ta signaali pysyisi riittävän tehokkaana yksiköiden välillä. Vastaanottava solmu jatkaa saman tiedon siirtoa. Se ottaa vastaanottimensa kautta tiedot vastaan, kopioi tiedot ja lähettää ne ringissä eteenpäin. Sama tieto kiertää ringissä niin kauan, kun se saapuu takaisin CD-vaihtajan vastaanottimeen. Solmu tunnistaa saman tiedon eikä lähetä sitä edelleen, vaan poistaa sen ja on jälleen valmis vastaanottamaan uusia käskyjä pääohjainlaitteelta. [3; 13.]

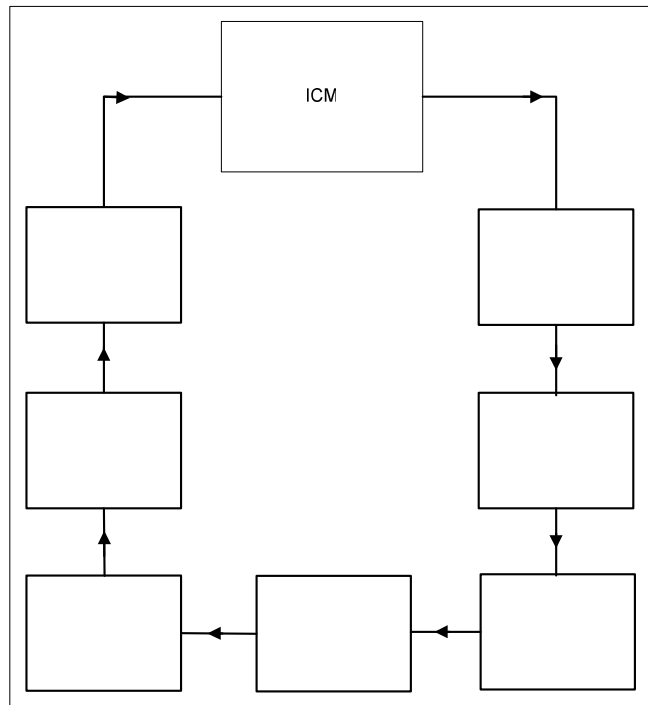
4.2.1 *Synkroninen / asynkroninen*

MOST-verkossa tapahtuva tiedonsiirto perustuu synkronisen tiedon lähettämiseksi, mutta se tukee myös asynkronista tiedonsiirtoa. Siirtäessään synkronista tietoa MOST-väylän solmu käyttää TDM (Time Division Multiplexing) -kanavanvarausmenetelmää. Tällä menetelmällä solmu saa kehitettyä lähe-tyksillensä tilaa verkossa. Esimerkiksi siirrettäessä musiikkia, fyysiset siirto-tiet (kanava) voidaan varata käyttöön tietyksi ajaksi. Kahden järjestelmän kommunikoidessa keskenään kanavalle jää vielä ylimääräistä kapasiteettia jäljelle. Tällöin kanavanvarausmenetelmää käytetään hyväksi, jotta kapasi-teettia voitaisiin jakaa useamman solmun välillä. Samaan aikaan voidaan lä-hettää myös asynkronista tietoa. [13; 19.]

Kontrollointitietojen ja asynkronisen tiedon lähettämiseen eri solmujen välillä MOST käyttää CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision De-tector) kanavanvarausmenetelmää. Menetelmä perustuu loogisten tasojen mittaamiseen, joka ilmoittaa onko väylällä tilaa lähetettävälle viestille. Tasot voivat olla esimerkiksi 1 ja 0. [19; 20.]

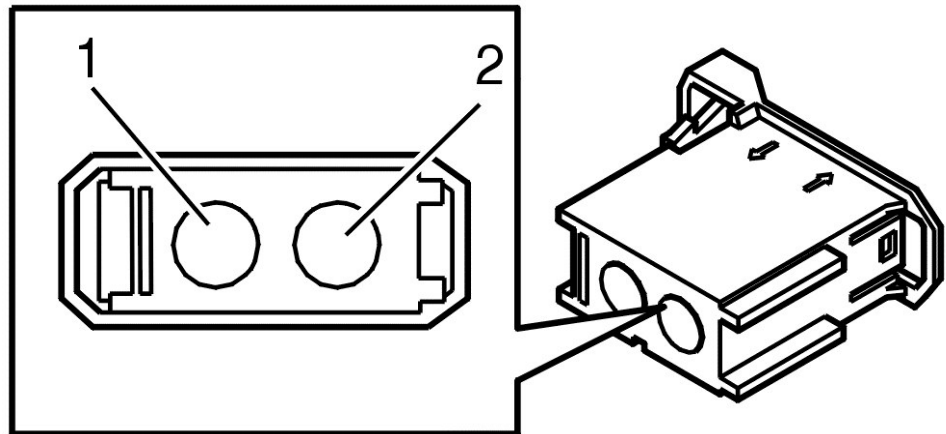
4.2.2 *Optinen ringi*

Väylän toiminta perustuu ratkaisuun, jota kutsutaan optiseksi ringiksi. Eri toimilaitteiden MOST-ohjainlaitteet on yhdistetty toisiinsa valokaapeilla. Toimilaitteet on yhdistetty ringiin, jossa tiedonvälitys tapahtuu valopulsseina toimilaitteiden välillä. Jokainen toimilaite voi lähettää tietoja muihin MOST -ohjainlaitteisiin, mutta vain pääohjainlaite voi antaa käskyjä. Toimilaitteen vastaanotin ottaa valopulssin vastaan ja lähetin lähettää pulssin seuraavalle ohjainlaitteelle. Optisessa ringissä tieto kulkee vain yhteen suuntaan. Vain yhteen suuntaan kulkeva tieto takaa, ettei törmäyksiä lähetysten aikana voi tapahtua. Törmäyksillä tarkoitetaan samaan aikaan lähetettäviä viestejä kah-teen suuntaan tapahtuvassa kaapelissa. (Kuva 5.) [3.]



Kuva 5. Optinen ringi

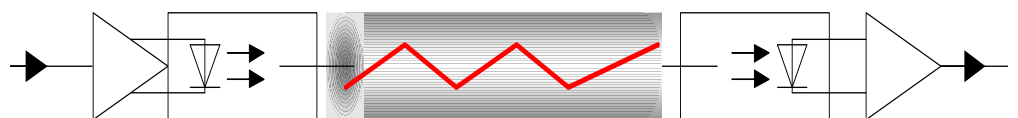
Kuvasta 5 nähdään tiedon siirtyvän jokaisen MOST-ohjainlaitteen läpi vain yhteen suuntaan. Jokainen ohjainlaite suorittaa signaalin vastaanottamista ja lähettämistä. Ohjainlaitetyyppejä on erilaisia riippuen siitä, mitä toimilaitteita ne ohjaavat. Toimilaitteina voivat olla muun muassa navigointilaitte, puhelin, CD-vaihtaja, radio ja kaiuttimet. Jokaisella yksiköllä on oma ohjainlaitteensa. Optiseen väylään on mahdollista liittää ohjainlaitteita myös jälkiasennettuna. Väylä-rakenteeseen on mahdollista liittää 64 eri toimilaitetta eli solmua. Pääohjainlaite sijaitsee yleensä auton infotainment-osassa. Nimitys tulee kahdesta eri sanasta, jotka ovat information ja entertainment (tiedot ja viihde). Esimerkiksi automerkki Volvon henkilöautoissa pääohjainlaite MOST-verkossa on ICM (Infotainment Control Module). ICM on juuri se yksikkö, jolla on yhteys auton CAN-verkkoon. MOST-ringissä tieto siirtyy aina yhteen suuntaan. Jokaisessa ohjainyksikössä on aina kaksi johdinliityntää tiedon vastaanottamiseksi ja lähettämiseksi. (Kuva 6.) [3; 30.]



Kuva 6. Optinen liityntä MOST-verkossa

Kuvassa 6 on esitetty MOST-liitäntä, jossa liitäntä 1 tarkoittaa yksikölle tulevaa tietoa ja liitäntä 2 on varattu yksiköltä lähtevää tietoa varten. Jokaisessa verkossa olevalla ohjainlaitteella on samanlainen liitäntä.

Ottaessaan valosignaalin vastaan MOST-väylän ohjainlaite muuttaa valosignaalin ohjainlaitteen toiminnoille sopivaksi signaaliksi eli digitaaliseksi signaaliksi. Jotta signaali voitaisiin jälleen päästää väylälle, on ohjainlaitteen muutettava elektroninen signaali optiseksi ennen MOST-väylälle menoa. Kaikki MOST-väylään liittyvät ohjainlaitteet toimivat samalla tavalla. Signaalin muuntamista on selvitetty tarkemmin insinööriyön sivulla 13, kappaleessa 3.4. (Kuva 7.) [13.]



Kuva 7. Signaalin lähetys ja vastaanotto

Kuvasta 7 näkyy, että signaali johdetaan ennen kaapeliin pääsyä diodin läpi. Vastaanotettaessa signaalia se johdetaan fotodiodin läpi.

4.2.3 Toiminta-alueet

Väylä kattaa kaksi päätoiminta-aluetta. Tässä tapauksessa toiminta-alueilla tarkoitetaan väylän pääasiallista käyttötarkoitusta. Ensimmäiseen alueeseen kuuluvat äänen, videon ja navigoinnin tietojen siirto. Toinen pääasia on, että MOST-väylä tekee mahdolliseksi suurten informaatiotietojen kontrolloinnin. [3.]

4.2.4 Viestikehys

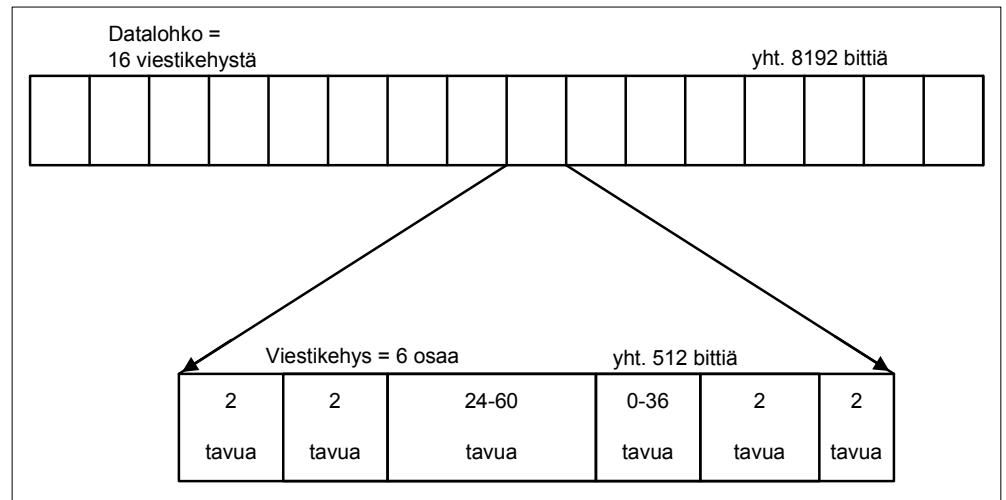
Väylässä siirtyvä valopulssi sisältää bittitietoa, joka sisältää tietoa lähetettävistä käskyistä MOST-verkossa. Yhteen valopulssiin sisällytetään ne tiedot, jotka mahtuvat yhteen viestikehykseen. Viestikehys jaetaan kuuteen eri osaan ja jokainen osa sisältää tietyn bittimäärän, jossa yksi tavu on 8 bittiä. Jotta MOST-väylässä päästäisiin 24,8 Mbit/s oleviin tiedonsiirtonopeuksiin, on yhdellä datalohkolla aina 48 kHz:n suuruinen taajuus. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tietoa siirtyy 48 000 viestikehystä sekunnissa. Yhdessä datalohkossa on 16 viestikehystä ja yhdessä viestikehyksessä 64 tavua. Viestikehykset on yhdistetty toisiinsa, ja niissä on yhteensä 16 viestikehystä. Tätä 16 kappaleen viestikehysten sarjaa kutsutaan datalohkoksi. Vasta yhden datalohkon verran siirtyvä tieto väylällä mahdollistaa sen, että tiedonsiirtoon liittyvät verkon kontrollointitiedot on mahdollista lähettää. (Kuva 8.) [3; 13.]

Viestikehys

- $8 \cdot 64 = 512$ bittiä

Datalohko

- $(8 \cdot 64) \cdot 16 = 8192$ bittiä



Kuva 8. Lähetyksen datalohko ja viestikehys [lähdettä 30, s.10 mukaillen]

Kuvasta 8 nähdään kuinka monta tavua sisältyy yhteen viestikehykseen ja kuinka moneen osaan viestikehys jaetaan. Yksi tavu pitää sisällään kahdeksan bittiä.

Viestikehyksen osat

1. Tahdistus
2. Hallinnollinen tieto
3. Synkroninen tieto
4. Asynkroninen tieto
5. Kontrollointitieto
6. Hallinnollinen tieto

Ensimmäinen osa pitää sisällään aloitusbitit. Aloitusbitit tahdistavat viestikehyksen siirron oikea-aikaisesti. Toisessa osassa olevat bitit pitävät sisällään hallinnollisen tiedon. Hallinnollinen tieto kertoo, kuinka paljon tahdistamaton ja tahdistettua tietoa lähetetään. Ensimmäinen ja toinen osa ovat molemmat kahden tavun suuruisia. Kolmannessa osassa oleva bittimäärä pitää sisällään tietoa tahdistetusta viestin siirrosta. Se pitää sisällään tiedon minkä tyyppistä tietoa siirretään, esimerkiksi musiikkia tai videota. Kolmas osa on 24–60 tavun mittainen. Synkroninen tieto siirtyy nopeudella 23 Mbit/s. Nopeus johtuu siitä, että taajuudella 48 kHz viestikehyksessä siirtyy maksimissaan 60 tavua bittejä. [30.]

Synkronisen tiedonsiirron nopeus voidaan laskea kaavasta 1:

$$48\,000 * (60 * 8) = 48\,000 * 480 = 23,04 \text{ Mbit/s} \quad (1)$$

Neljännessä kanavassa kulkevat tiedot ovat tahdistamattomia tietoja. Tahdistamattomat tiedot pitävät sisällään virheenkorjauksen sekä säätötiedot. Säätötietona voi olla esimerkiksi infrapunavalon voimakkuus. Neljännen osan tavumäärä voi olla enintään 36 tavua. Asynkroninen tieto välittyy nopeudella 14 Mbit/s. [30.]

Asynkronisen tiedonsiirron nopeus voidaan laskea kaavasta 2:

$$48\,000 * (36 * 8) = 48\,000 * 288 = 14 \text{ Mbit/s} \quad (2)$$

Viides kanava on varattu viestikehyksen ohjaustoiminnoille. Ohjaustoimintojen tehtävänä on aktivoida tai lopettaa toimintoja. Tällainen ohjaustoiminto voi olla esimerkiksi CD-levyn kappaleen vaihto. Viimeinen eli kuudes osa on virheen havaitsemiseksi varattu osa, joka on kahden tavun suuruinen. Kuudes osa sisältää bitit, jotka ilmoittavat ovatko verkon ohjainlaitteet toimintakykyisiä lähettämään. [3; 13; 19; 30.]

4.2.5 Viestin protokolla

MOST -verkon pääohjainyksikkö antaa ohjeita ohjainyksiköille siitä, minkä ohjainyksikön tulisi aktivoida haluttuun tiedonsiirtoon. Tähän prosessiin sisältyvät tietyt ohjearvonumerot. Numerot riippuvat valmistajan tekemistä ohjelmoinneista. Viestin protokolla koostuu seuraavista tunnuksista ja niiden numeroista.

DeviceID.FBlockID.InstID.FctID.OPType

Toimintojen selitykset ovat

- DeviceID-numero: mikä laite on kyseessä, esimerkiksi CD-soitin.
- FBlockID-numero: mitä laitteen toimintaa halutaan muuttaa. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi DVD-yksikön eri toimintoja.
- InstID-numero: voidaan erottaa keskenään esimerkiksi kaksi samanlaista laitetta.
- FctID-numero: laitteen aktivointi. Laite voidaan aktivoida lähettämällä tilatieto, esimerkiksi soita ja pysäytä, tilanumeroina 01 (soita) ja 02 (pysäytä).

- OType: millä tavalla laitteen tiettyä osa-aluetta halutaan käyttää hyväksi. Esimerkiksi halutaanko CD-levy ottaa pois vai laittaa sisään yksikköön.

Pääohjainyksikkö tietää mitkä ohjainyksiköt verkkoon liittyvät. Näin ollen sen on mahdollista lähettää jokaiselle yksikölle omat tunnistenumeronsa. Siinä tapauksessa, että verkkoon lisätään uusia yksiköitä, uutta yksikköä ohjelmoitaessa määritetään tunnisteet pääohjainlaitteen ja lisätyn yksikön kesken. [30.]

4.3 Ominaisuudet

Ominaisuuksilla tarkoitetaan väylän isäntäohjainlaitteen toimintaa muihin solmuihin nähden. Isäntäohjainlaitteen toiminnoilla varmistetaan väylän toimintakyky. Pääohjainlaitteen ollessa yhteydessä CAN-verkkoon saa moottorin ohjainlaite myös tiedon MOST-väylässä tapahtuneesta mahdollisesta vikaantumisesta.

4.3.1 Toiminnan tarkastus

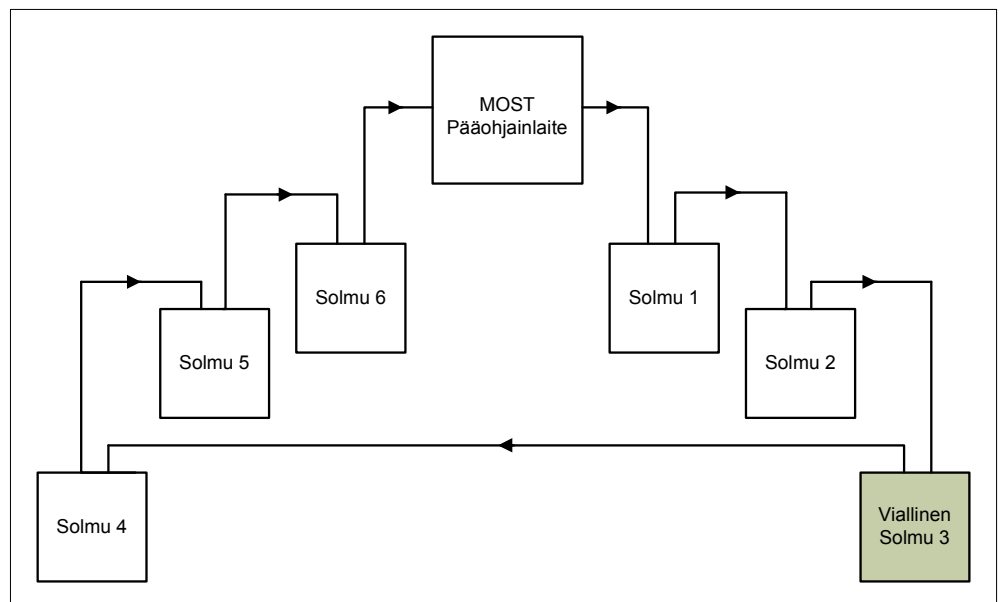
Laitettaessa virrat päälle MOST-verkon pääohjainlaite tarkastaa väylän kokoonpanon toimintatilan. Kaikki ne ohjainlaitteet, jotka liittyvät MOST-väylään lähettävät omat toimintatietonsa pääohjainlaitteelle. Toimintatietoihin kuuluvat solmujen tunnistetiedot ja niiden toiminnot. Saatujen toimintatietojen perusteella pääohjainlaite ymmärtää, mitkä väylän yksiköt ovat toimintakykyisiä. Jos jokin väylään liittyvästä orja-ohjainlaitteesta ei ole toimintakykyinen, niin kaikki muutkin ringissä vikaantuneen ohjainlaitteen jälkeen tulevat yksiköt ovat toimintakyvyttömiä lähettämään väylälle uusia viestejä. Tässä tapauksessa toiminta verkossa lakkaa. On otettava huomioon, että solmu voi olla fyysisesti täysin toimintakyvytön, jolloin kyseinen tilanne on mahdollinen. Toisaalta taas orja-ohjainlaite voi kyetä välittämään verkossa kulkevia viestejä eteenpäin, mutta se ei voi itse niitä hyödyntää. Tällöin verkko on toimintakykyinen, mutta vain yksi solmu ei ota käskyjä vastaan. [13; 20.]

4.3.2 MOST-lukko

Diagnooseja tehtäessä voidaan verkon sen hetkinen toimintatila tarkastaa auton testilaitteella. Testilaitteelta on valittava verkon kommunikointi ja suoritettava toimintatilan testi. Testin antaessa toimintatilaksi lukko-tilan on verkko kunnossa. Testaus on mahdollista silloin, kun kommunikointi on jo käynnistynyt. Testauslaitteen antaessa lukko-tilan on verkko fyysisiltä ominaisuuksiltaan kunnossa. [13.]

4.3.3 Security-toiminto

Kytettäessä virrat päälle pääohjainlaite tekee security-toiminnon, jolla se varmistaa väylän ohjainlaitteiden oikeellisuuden väylään ja ajoneuvoon. Tämä tarkoittaa sitä, että tietyt ohjainlaitteet sopivat vain yhden auton verkkorakenteeseen. Jokaisella solmulla on oma security-sarjanumeronsa, jotka isäntä-ohjainlaite käy läpi. Security -toiminto kestää noin 5 - 10 sekuntia. Tämä toteutuu käytännössä esimerkiksi tilanteessa, jossa autoon on asennettu toisen auton MOST -väylän CD-vaihtaja. Otettaessa CD-vaihtaja käyttöön se voi soittaa kappaletta noin 5 - 10 sekunnin ajan ja tämän jälkeen ohjainlaitteesta tulee viallinen eikä se enää toimi. (Kuva 9.) [13.]



Kuva 9. Viallinen solmu verkossa

Kuvassa 9 on esitelty tilanne, jossa solmu 3 on toimintakyvytön vastaanotamaan ja lähettämään viestejä verkossa. Solmu 3 on tässä tapauksessa väärässä verkossa. Solmun 3 toiminta lakkaa, eikä se ota vastaan sille lähetettyjä käskyjä. Kaikki lähetykset, jotka verkossa siirretään välittyvät normaalisti pääohjainlaitteelta verkon solmuille, mutta vain vain yhden solmun osalta laitteen toimintoja ei tueta. [13.]

4.4 Tulevaisuuden MOST-verkot

Tulevaisuudessa MOST-verkon tiedonsiirtonopeutta autoissa tullaan kasvattamaan jopa 150 Mbit/s asti. Toisen sukupolven MOST50 ja kolmannen sukupolven MOST150-väylät eivät vielä ole tuotantoautoissa. Käytännössä uudemman sukupolven MOST-ratkaisut eivät eroa MOST25:sta kuin nopeudeltaan sekä joissain määrin fyysiseltä yhteydeltään. Prosessoritekniikoiden kehittyminen on mahdollistanut väylien nopeuden kasvattamisen.

4.4.1 MOST50

Toisen sukupolven MOST50 on tiedonsiirtonopeudeltaan kaksi kertaa nopeampaa kuin edeltäjänsä. Väylä pystyy käyttämään hyväksi kierrettyä kuparista parikaapelia 50 Mbit/s nopeudella. MOST50 ePHY-teknologia (electrical physical layer = elektroninen fyysinen kerros) on autoteollisuudelle merkittävä. Tämä johtuu siitä, että kuparikaapelin käyttö on halpaa ja tiedonsiirtonopeus on kaksinkertaistettu. [27; 29.]

4.4.2 MOST150

Kolmannen sukupolven MOST150 on tiedonsiirtonopeudeltaan kolme kertaa nopeampaa kuin edeltäjänsä. Väylän tiedonsiirtonopeus on 150 Mbit/s ja se käyttää fyysisenä siirtotienään optista kuitua. Nopean tiedonsiirron lisäksi MOST150-väylä mahdollistaa kehittyneempiä tiedonsiirtomahdollisuuksia. Väylä mahdollistaa HD (High Definition) -laatuisen videokuvan siirtämisen sekä monikanavaisen surround-äänien siirron. Väylässä pystytään siirtämään tietoa solmujen välillä, joista monet ovat yhteydessä auton ulkopuolelle. Kolmannen sukupolven MOST-väylä tarjoaa lähiverkkoyhteyden ethernet-yhteydellään. Väylään asennettavat satelliitit mahdollistavat IP-yhteyden (internet protocol). MOST 150 tulee olemaan se väyläratkaisu, joka mahdollistaa lähitulevaisuudessa riittävän nopeuden, internet yhteyden muodostamiseksi autoissa. [28; 29.]

5 BYTEFLIGHT

Byteflight-verkko perustuu kriittisten järjestelmien ja tilanteiden tiedonsiirtoon. Se on pienen osa-alueen tiedonsiirtoratkaisu ja automerkki BMW:n käyttämä ratkaisu.

5.1 Idea

Byteflight-verkolla saavutetaan se, mitä CAN-standardilla (Controller Area Network) ei ole mahdollista toteuttaa. CAN-standardilta puuttuu tiettyjä ominaisuuksia, jotka liittyvät auton turvallisuusratkaisujen sovelluksiin. Byteflightin kehittämisen selkeänä tavoitteena oli turvallisuuden parantaminen paremmalla verkkoratkaisulla ja saamalla ohjainlaitteet keskustelemaan keskenään huomattavasti nopeammalla nopeudella. Elektroniikan ja johtojen jatkuva lisääntyminen autoissa vaikutti myös kehittämiskäytäntöihin, kuten optisen kaapelin käyttämiseen. Byteflightia käytetään erityisesti BMW:n automalleissa. [10; 12.]

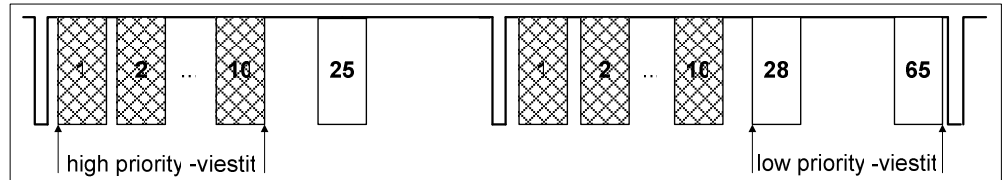
5.2 Tiedonsiirto

Tiedonsiirron on oltava nopeampaa ja sen halutaan olla vielä toimintavarmempaa. Yhden ohjainlaitteen vioittuminen ei saisi katkaista kommunikaatioita koko väylärakenteessa. Esimerkiksi CAN-verkko ei tue lähetysten siirtoa synkronisesti. Byteflight-verkko käyttää hyväkseen sekä asynkronista että synkronista protokollaa. Tiedonsiirto tapahtuu pulsseina ohjainlaitteiden välillä. [10.]

Byteflight-väylän ohjainlaitteiden välisessä tiedonsiirrossa käytetty optinen kaapeli on kaksisuuntainen. Tietoa lähetetään kahteen suuntaan half-duplexperiaatteella yhtä valokaapelia käyttäen. Half-duplex-lähetysmenetelmässä tietoa voidaan lähettää kahteen suuntaan siten, että käyttösuuntaa muutetaan kahden käyttäjän välillä. Lähetysten nopeus väylässä on maksimissaan 10 Mbit / s. [3; 7.]

5.2.1 Synkroninen / asynkroninen protokolla

Byteflight käyttää hyväkseen synkronisen ja asynkronisen protokollien etuja. Riippuen viestin tärkeydestä on tiedonsiirto toteutettu lähetyssykleissä lähettämällä ensin tärkeimmät viestit. (Kuva 10.) [10.]



Kuva 10. Ensijaiset (high priority) -viestit ja toissijaiset (low priority) -viestit [lähdetä 10, s. 3 mukailen]

Kuvasta 10 nähdään ID-arvojen merkitys viestien väylälle pääsystä. Ensijaiset (high priority) -viestit ovat lähetyksiä, jotka lähetetään synkronista protokollaa käyttämällä ja alhaisemman tason (low priority) -viestit lähetetään tämän jälkeen asynkronista protokollaa käyttäen. Joissain erikoistapauksissa on myös mahdollista valita, jos halutaan käyttää vain toista protokollaa. Tällöin optiselle pääohjainlaitteelle on ohjelmoitava tiedot, joko synkronisesta tai asynkronisesta protokollasta. [10; 12.]

Asynkronista protokollaa käyttäviä viestityyppejä voivat olla esimerkiksi diagnoositiedot tai erilaiset kontrollotiedot. Diagnoositietojen perusteella voidaan esimerkiksi suorittaa väylän vianetsintää, jos tiedonsiirrossa esiintyy ongelmia. Tämän tyyppiset lähetykset ovat toisarvoisia, sillä ne eivät ole jatkuvasti yhteydessä auton fyysisen käyttöön. [7; 10; 12.]

5.2.2 SYNC-pulssit

SYNC-pulssit (cyclical synchronization pulses) muodostavat perustan väyläratkaisun protokollien tiedonsiirtotapahtumille. Pulssien tehtävänä on käytännössä tehdä tilaa lähetyksille toimilaitteiden välillä. SYNC-pulssien välillä olevissa intervalleissa on aikajaksoja, jotka on varattu yksiköiden lähetyksille. Aikajaksot ovat niin sanottuja vapaita tiedonvälitysaukkoja, jotka tekevät tilaa halutuille toiminnoille. Ohjainlaitteilta tulevat lähetykset kulkevat ID (identifier) -arvoina. Mistä tahansa byteflight-väylään liittyvästä ohjainlaitteesta on mahdollista ohjelmoida SYNC-pulssien isäntä. SYNC-pulssien isäntä on myös byteflight-väylän isäntä. Isäntä kehittää tarvittavan pulssi-

suhdeintervallin jokaiselle kytkentään liittyvälle ohjainlaitteelle. Kaikki väylässä toimivat ohjainlaitteet ovat jokainen yhtä tasavertaisia lähettämään viestijä intervallien aikana. [7; 10; 12.]

Tiedonsiirron alkuvaiheessa jokainen solmu aloittaa vapaiden tietoaukkujen laskun, jotka käynnistyvät samanaikaisesti SYNC-pulssi-intervallien kanssa. Vapaiden aikaikkunoiden (time-slot) lasku jokaiselta solmulta perustuu FTDMA-protokollaan (Flexible Time Division Multiple Access). Toisin sanoen FTDMA toteuttaa väylässä kulkevan tiedon siirron tietoaukkujen avulla. Protokolla perustuu aikajakokanavointiin. Tässä tapauksessa kanavoinnin tehtävänä on varata lähetysaikaa halutuille solmujen toiminnoille. FTDMA on siitä hyvä protokolla, että sen toiminta perustuu joustavaan synkronisen ja asynkronisen tiedon välittämiseen. [10; 16.]

Aikaikkunoiden lasku alkaa aina nollasta ja etenee aina isoimpaan mahdolliseen vapaaseen tietoaukkoarvoonsa. Jokaisen solmun laskurin kesto on yhden pulssi-intervallin pituinen, joka on $250 \mu s$. Solmun lähettäessä viestin, se kohtaa sille sopivan vapaan tietoaukon. Lähetetyllä viestillä ja vapaalla aikaikkunalla on aina sama ID-arvo. Esimerkiksi jos jokin solmu lähettää tietoa ID-arvolla 3, vapaa aikaikkuna 3 korvataan solmun lähettämällä viestillä. Vapaan aikaikkunan ja viestin kohdatessa kaikki laskurit pysähtyvät. Laskurit ovat pysähdyksissä, kunnes viesti on saatu lähetetyksi. Kun viesti on saatu lähetetyksi, niin laskurit jatkavat aikaikkunoidensa laskua edelleen ylimpään mahdolliseen arvoonsa seuraavaan pulssin alkuun asti. Laskurit nollautuvat aina uuden pulssi-intervallin alkaessa ja aloittavat aikaikkunoiden laskun jälleen nollasta. ID-arvojen tärkeysjärjestys perustuu niiden numeroihin. Mitä pienempi numero lähetyksen ID-arvolla on, sitä tärkeämpi on sen sisältämä viesti. ID-arvoja on mahdollista olla byteflight-lähetyksissä arvosta 1 arvoon 255. [3; 10.]

Jokaisessa lähetyksessä solmujen laskureiden laskemia vapaita aikaikkunoi- ta jää käyttämättä, jos niitä vastaavia lähetyksiä ei lähetetä. Tästä seuraa pienimmillään 1100 ns pituisia odotusaikoja kahden lähetetyn viestin välillä. Toteutus perustuu siihen, että jokainen yksikkö voi käyttää vain tiettyä ja eri numeroista ID-arvoa, yhden pulssi-intervallin aikana. Samaan aikaan lähetettävien viestien yhteentörmäykset on tällä tavoin estetty tiedonvälitysten aikana. [10.]

5.2.3 Lähetyksien odotusajat

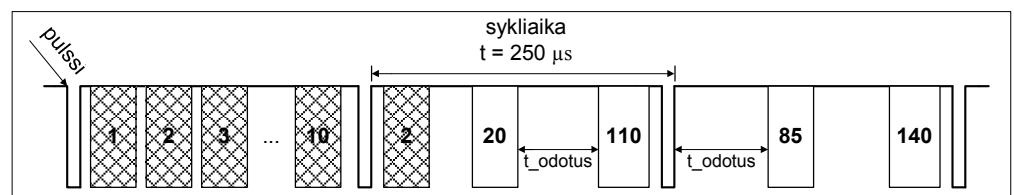
Pulssi-intervallien lähetystunnisteiden väleihin jäävää odotusaikaa kutsutaan nimellä t_{odotus} (t_{wait}). Esimerkiksi alhaisemman tason diagnoositietoja siirrettäessä tieto ei kulje niin nopeasti verrattaessa tiedonsiirtoa ensisijaisiin viesteihin. Odotusajat voivat olla pidempiä, jos lähetetään myös asynkronista tietoa. Odotusajat ovat loppujen lopuksi sen verran lyhyitä, ettei niitä juuriakaan havaita testaustilanteissa. Odotusaikojä lähetyksien välillä tapahtuu jatkuvasti sekä ensisijaisilla että alhaisemman tason omaavilla viesteillä. Tämä odotusajan laskenta on ohjelmoitu bytflight-prosessorin tehtäväksi. Prosessori laskee odotusajan saatujen arvojen perusteella. [7; 10; 12.]

Kahden lähetystunnisteen (ID) välinen odotusaika (t_{odotus}) voidaan laskea kaavasta 3:

$$t_{\text{odotus}} = t_0 + t_{\Delta} * (ID - ID_{t-1}) \quad (3)$$

Kaavassa 3 olevien tunnusten t_0 ja t_{Δ} arvot perustuvat signaalin etenemisviiveisiin. Tietyt parametriarvot signaalin etenemisviiveistä on ohjelmoitu bytflight-prosessoriin, ja niihin perustuen prosessori jatkuvasti laskee viestien välistä odotusaikaa. $ID - ID_{t-1}$ on kahden lähetystunnisteen välinen odotusaika, joka kerrotaan signaalin etenemisviiveisiin perustuvilla arvoilla, tarkan odotusajan saamiseksi.

Viestit kulkevat ohjainlaitteilta toisille pulsseina. Pulssien välinen aika on kelloitettu yleensä 250 μs :iin. Kyseisessä intervallissa voi olla sekä synkronista että asynkronista protokollaa käyttäviä lähetyksiä. (Kuva 11.) [10; 12.]



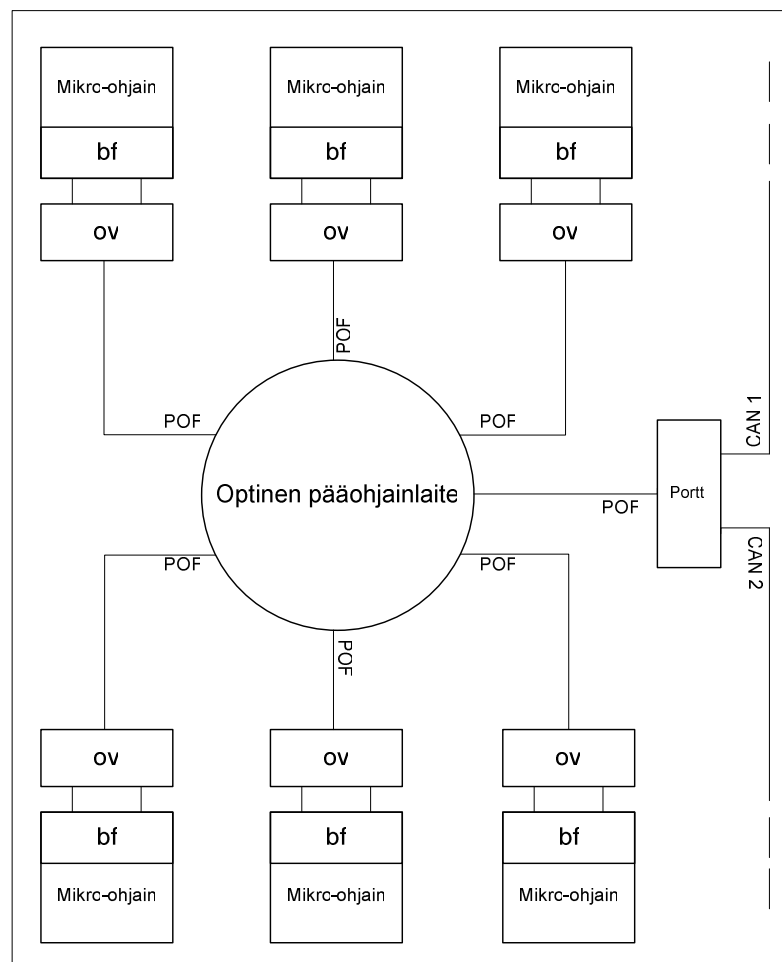
Kuva 11. SYNC -pulssit ja niiden väliset ID-tiedot [lähdettä 10, s. 2 mukailten]

Kuvasta 11 nähdään isäntäsolmun muodostama synkronointipulssi ja sen väliset 250 μs kestävät intervallit. Intervallien välissä tietoaukot ovat korvattu lähetyksillä ohjainlaiteyksiköiltä, joilla omat ID-arvonsa. Lähetysten väliin jääneet tietoaukot muodostavat odotusajat.

Pulssi-intervallien aikana jokaisen ohjainlaiteyksikön on mahdollista lähettää viestejä. Tästä käy ilmi, että kaikki yksiköt ovat jokainen tasavertaisia lähettämään viestejä. Yksikään orja ei ole toista parempi. Alhaisemman tason viestejä ei kulje niin paljon kuin ensisijaisia viestejä. Solmut lähettävät viestejä pienimmästä ID-arvosta (1) ylöspäin.

5.3 Tähtikytkentä

Väylärakenne perustuu isäntä-orja (master-slave) tyyppiseen topologiaan, jota kutsutaan tähtikytkennäksi. Tähtikytkennässä yksi ohjainyksikkö on isäntä ja muut ohjainlaitteet ovat orjia. Isäntä on se, joka päättää kaikesta liikenteestä ohjainlaitteiden välillä. Isäntä-orja protokollassa yksikään orja ei ole yhteydessä toiseen orjaan. (Kuva 12.) [3; 6]



Kuva 12. Bytelight väylän tähtikytkentä [lähde 7, s. 4 mukailen]

Kuvassa 12 esitellään byteflight-tähtikytkentä, solmuihin liittyvät komponentit ja yhteys CAN-väylään. Kuvassa oleva portti (gateway) on myös ohjainyksikkö, jonka tehtävänä on yhdistää tässä tapauksessa kaksi verkkoa. Kahden eri verkon kommunikointi on tällä tavoin toteutettavissa. Verkkojen kommunikointi on erilaista ja porttiyksikön avulla tiedonsiirto on mahdollista eri verkkojen välillä.

Tähtikytkennässä orjan on mahdollista lähettää informaatiota vain silloin, kun isäntä pyytää lähetystä. Toisin sanoen isäntä haluaa saada tietoa orjasta. Tähtikytkentätyypissä väyläratkaisussa ei näin ollen ole mahdollista tapahtua lähetysten välisiä yhteentörmäyksiä. Yhteentörmäyksillä tarkoitetaan samanaikaisesti lähetettäviä lähetyksiä kahden yksikön välillä. Byteflight-väylässä isäntä ensin kyselee kaikilta orjaohjainlaitteilta, onko niillä väylälle tulevia lähetettäviä viestejä. Isännän saadessa lähetyksen orjalta isäntä ensin tunnistaa viestin ja jakaa lähetyksäskytiedon siirtämistä kaikille väylän orjille. Vain se orja, jonka toimilaitteen ohjauksesta on kyse, hyväksyy saadun lähetyksäkyn. [3; 6; 8.]

Komponentit

Kuvassa 12 esitellyn byteflight tähtikytkennän komponentit

- optinen pääohjainlaite
- optinen vastaanotin (ov)
- byteflight-kontrolleri (bf)
- mikro-ohjain
- optinen kaapeli (POF - Plastic Optical Fiber).

Lisäksi kuvassa 12 on havainnoitu yhteyttä optiselta pääohjainlaitteelta CAN-väylälle.

Optinen pääohjainlaite toimii isäntänä kuvan 12 (s. 29) tähtikytkennässä. Optista pääohjainlaitetta kutsutaan tähtiyhdistimeksi. Yhdistimeen on mahdollista kytkeä 22 eri toimilaitetta. Yhdistin saa signaaleja yksittäisiltä orjilta optisen vastaanottimen kautta. [7; 9.]

Molempiin suuntiin toimiva optinen vastaanotin ottaa vastaan lähetyksiä ja sen kautta viestit myös lähetetään väylälle muovikuidussa. Optinen pääohjainlaite sisältää niin monta optista vastaanotinta, kuin sillä on orjia. Byteflight-kontrolleri pitää sisällään byteflight-protokollan sekä ohjelmoitavan op-

tisen väylän herätyksen (wake-up). Mikro-ohjain sisältää erilaiset muistit, anto- sekä ottopiirit ja byteflightin järjestelmän laskurit.

5.4 Käyttökohteet

Byteflightia käytetään BMW:n 500- ja 700-sarjan malleissa turvallisuustekijöihin vaikuttavassa ISIS-järjestelmässä (Intelligent Safety and Information System). Järjestelmä on ollut BMW:llä käytössä vuodesta 2002. Järjestelmä kontrolloi turvatyynyjä ja turvavöiden esikiristimiä. Nopeuteen, kiihtyvyyteen ja paineen tunnistamiseen liittyvät erilaiset anturit kuuluvat ISIS-järjestelmään. Ne tutkivat suureiden muutoksia ajon aikana, ja saatujen suureiden perusteella turvatyyny tarvittaessa laukaistaan vain muutamien millisekuntien aikana. Törmäyksessä turvatyynyjen aktivoituminen ja tynnyjen täytyminen kestää noin 50–60 millisekuntia.

Tulevaisuudessakin BMW tulee kehittämään byteflight-väyläratkaisuaan airbag-järjestelmissään. Seuraavan sukupolven autot, jotka tullevat toimimaan enemmän tai vähemmän ilman mekaanista tai hydraulista järjestelmää, eivät kuitenkaan tule olemaan toteutettu byteflight-väylärakenteella. Byteflightista onkin lähdetty kehittelemään aktiivista, flexray-nimistä väyläratkaisua.

6 FLEXRAY

Flexray-verkko on tulevaisuuden ratkaisu kriittisten järjestelmien tiedonsiirtoon. Verkko voidaan toteuttaa valokaapelein, mutta tällä hetkellä sitä on kehitetty enemmän kuparikaapelein.

Flexray on nopea, ajoneuvojen ohjainlaitteiden välisiin kommunikaatioihin kehitetty väylä, jota kehitetään edelleen. Sen kehittäminen sai alkunsa lähtökohdasta, joka puuttui nykyisiin väylärakenteisiin. Nykyisillä olemassa olevilla järjestelmillä (esimerkiksi LIN, CAN, MOST, byteflight) ei ole mahdollista toteuttaa tulevaisuuden järjestelmien fyysisiä yhteyksiä. Flexrayn tämänhetkinen tiedonsiirtonopeus on 10 Mbit/s. [16.]

Tavoitteena on ollut kehittää väyläratkaisu, jossa mekaaninen tai hydraulinen järjestelmä on syrjäytetty sähköisesti kulkevien ohjaukskäskyjen tieltä. Tämän tyyppistä järjestelmää kutsutaan mekatroniseksi järjestelmäksi, jossa on paljon älykkäitä antureita ja toimintoja ohjaavia mikroprosessoreita. Flexrayn toimintaperiaate perustuu byteflight-väyläratkaisun pohjalle. Flexrayn käyttö tulee lisääntymään hyvin nopeasti, ja tällä hetkellä sitä käytetään vain BMW:n sarjatuotannossa olevassa BMW X5-maastoajoneuvossa. Flexrayn verkosta pyritään saamaan standardi, joka toimisi x-by-wire-tekniikan verkona. X-by-wire-tekniikan lisäksi flexrayn käyttöä sovelletaan myös voimansiirron ja alustan ohjaamiseen. BMW:n X5-mallissa flexraytä käytetään ajonvakautuksessa jousituksen ja iskunvaimennuksen ohjaamiseen. Ajonvakautuksen ohjainyksikkö tutkii muuttuvia ajo-olosuhteita ja säätää saatujen parametrien avulla jousitusta. [21; 22; 23; 24.]

Yritykset, jotka liittyvät Flexrayn tuotekehitykseen ovat BMW, Bosch, DaimlerChrysler, Freescale, General Motors, Philips, Volkswagen, PSA ja Renault. Flexrayn tarkoituksena ei ole syrjäyttää nykyisiä tiedonsiirron väylärakenteita, vaan sen toiminnan ideana on toimia yhteydessä nykyisten verkkoratkaisujen (CAN, LIN, MOST) rinnalla. Vaikka flexray on kehitetty byteflightin pohjalta, ei byteflight-verkon käytöstä olla luopumassa. [21.]

X-by-wire-ohjaukset

X-by-wire ohjauksilla tarkoitetaan niitä ohjauksia, joissa hydraulinen tai mekaaninen yhteys on syrjäytetty. Tulevaisuudessa flexraylla tavoitellaan seuraavien ohjausten korvaamista; brake-by-wire, steer-by-wire, throttle-by-wire,

shift-by-wire ja suspension-by-wire. Suomeksi sähköisen säädöt omaavat ohjaukset ovat jarrut, ohjaus, kaasuläppä, vaihteisto ja jousitus. [21.]

Kaasuläppäyksikön toiminta autoissa on sovellus x-by-wire-tekniikasta. Kaasupoljinta voidaan käytännössä kutsua toivomuspolkimeksi, jossa painettu polkimen aseman tieto kulkee johtimia pitkin ensin moottorin ohjainlaitteelle. Moottorin ohjainlaitteelta on sähköinen yhteys kaasuläppäyksikölle. Ohjainlaite kehittää kaasuläpälle menevän signaalin, jossa kulkee tieto kaasuläpän avautumiskulmasta moottorin sen hetkiseen toimintatilanteeseen nähden. Tässä tapauksessa tieto kulkee sähköisesti ja mekaanista yhteyttä ei ole. [22.]

6.1 Tiedonsiirto

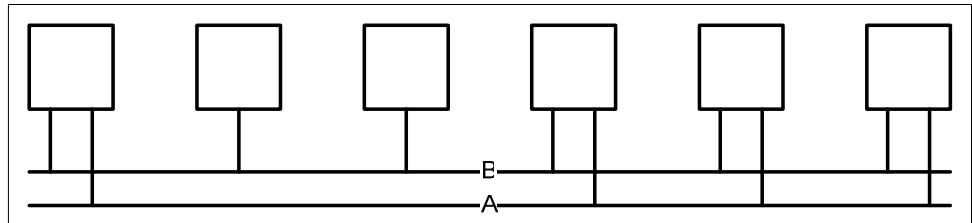
Tiedonsiirron ominaisuuksiltaan flexray perustuu byteflightin pohjalle. Flexray tukee niin optista kuin elektronistakin tiedonsiirtoa. Nykypäivänä flexraytä on sovellettu käytännössä elektronisella, fyysisellä yhteydellä BMW X5-automallin iskunvaimentimien ohjauksessa. [13.]

6.1.1 *Staattinen ja dynaaminen osa*

Flexrayn solmujen kommunikointi ja viestien väylään pääsy on toteutettu staattisella ja dynaamisella osalla. Tämän tyyppinen ratkaisu takaa sen, että väylän kapasiteetti käytetään mahdollisimman perusteellisesti hyödyksi. Näin estetään mahdollinen käyttämättä jäänyt kapasiteetti kaistalla. Kanavanvarauksesta pitää huolta TDMA-menetelmä (Time Division Multiple Access). TDMA:n avulla kaikki väylää käyttävät solmut voivat jakaa saman kanavan käyttöönsä aikaikkunamenetelmää hyödyntäen. TDMA-menetelmä toimii staattisen osan puolella ja dynaamiselle puolella on käytössä FTDMA-kanavanvarausmenetelmä. Dynaamisen osan toiminta tulee suoraan byteflight-verkosta. [26.]

Tämänhetkisessä toteutuksessa flexray on toteutettu yhden kanavan periaatteella. Kehittyneemmässä ratkaisussa flexray-verkko on toteutettavissa kahden kanavan periaatteella. Kahden kanavan periaate antaa toiminnalle paremman luotettavuuden. Molemmilla kanavilla on kaksi johdinta. Tulevaisuuden ratkaisut tulevatkin perustumaan kahden kanavan tiedonsiirtoperiaatteille.

Kahden kanavan järjestelmässä ohjainyksiköiden yhteys kanaviin voi olla toteutettu myös siten, että joillain solmuilla ei välttämättä ole yhteyttä kuin yhteen kanavaan. Väylä on mahdollista toteuttaa myös optisella kaapelilla. (Kuva 13.) [13; 26.]



Kuva 13. Flexrayn 2-kanavainen fyysinen toteutus

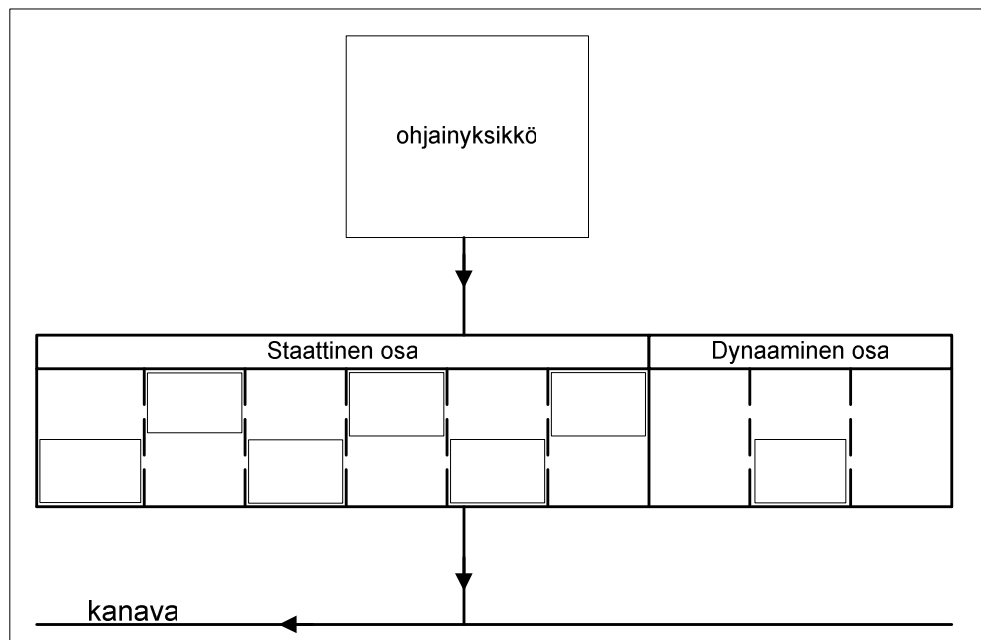
Kuvasta 13 nähdään flexray-verkon toteutus kuparikaapelilla. Kuvassa olevat A ja B ovat väylän kanavat ja neliöt kuvaavat väylän ohjainlaitteita. Kuvasta on huomioitava, että A ja B kuvaavat kahta eri kanavaa eikä niitä saa sekoittaa kahteen eri johtimeen. A- ja B-kanavat voivat saada lähetyksiä samoista solmuista. Kuvaa tarkastelemalla voidaan todeta, että kaksi flexray-väylän solmua on yhteydessä kanavaan B ja loput neljä solmua ovat yhteydessä kanaviin A ja B. Perinteisessä flexrayn toteutustopologiassa solmut ovat rinnankytketyt ja tiedonsiirto välittyy kuparikaapeleita pitkin. Flexray on myös mahdollista toteuttaa valokaapelilla, mutta siinä tapauksessa solmut olisi kytkettävä tähdenmuotoon. [13.]

Kanavat ottavat lähetyksiä vastaan jokaisen syklin aikana ohjainlaitteen sekä staattiselta, että dynaamiselta osalta. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaiseen tiedonsiirtosykliin sisältyy sekä staattinen osa, että dynaaminen osa. Staattisella osalla on suurempi prioriteetti kuin dynaamisella osalla. Tämä johtuu siitä, että staattiselle osalle on varattuna lähetyisaikaa jo ennakkoon väylälle meneville viesteille. Käytännössä aina, kun kyseessä on staattisen osan lähetyks, niin lähetyks pääsee aina väylälle. [13.]

Dynaaminen osa eroaa staattisesta siten, että siinä kaikki ohjainlaitteet voivat kyllä lähettää viestejä, mutta viestien käyttöaste ei ole hyvä. Lähetyksien väylään pääsy dynaamisessa osassa on vaikeampaa. Se, mitkä lähetykset pääsevät ensin väylälle dynaamisessa osassa riippuu viestien tärkeydestä. Dynaamisen osan viestien väylälle pääsyn kuvaus on jokseenkin samanlainen kuin bytflightissa. Flexrayn solmut kehittävät laskurien avulla tarvittavat

aika-aukot dynaamisessa osassa. Aikaikkunan ja niitä vastaavien viestien ID-numeroiden ollessa samat, lähetys saa luvan mennä väylälle. Kun yksi lähetys on päässyt väylälle, niin laskurit aloittavat tietoaukkojen laskun jälleen nollassa. Samaan tiedonsiirtosykliin voi kuulua sekä dynaamisen että staattisen osan lähetyksiä. [26.]

Tiedonsiirtosykli alkaa aina lähetyksillä, jotka kuuluvat syklin staattiseen osaan. Syklin jälkimmäisessä osassa tulevat vähemmän tärkeät lähetykset eli dynaamiseen osaan kuuluvat lähetykset. Dynaamisen osan lähetyksiä lähetetään, jos ohjainyksikkö niin haluaa. Jos yhdeltä ohjainyksiköltä tapahtuvan dynaamisen osan lähetystä ei tapahdu syklin aikana, niin seuraavan syklin alkua vain odotellaan ja dynaaminen osa voidaan lähettää saman ohjainlaitteen osalta. (Kuva 14.) [13; 26.]

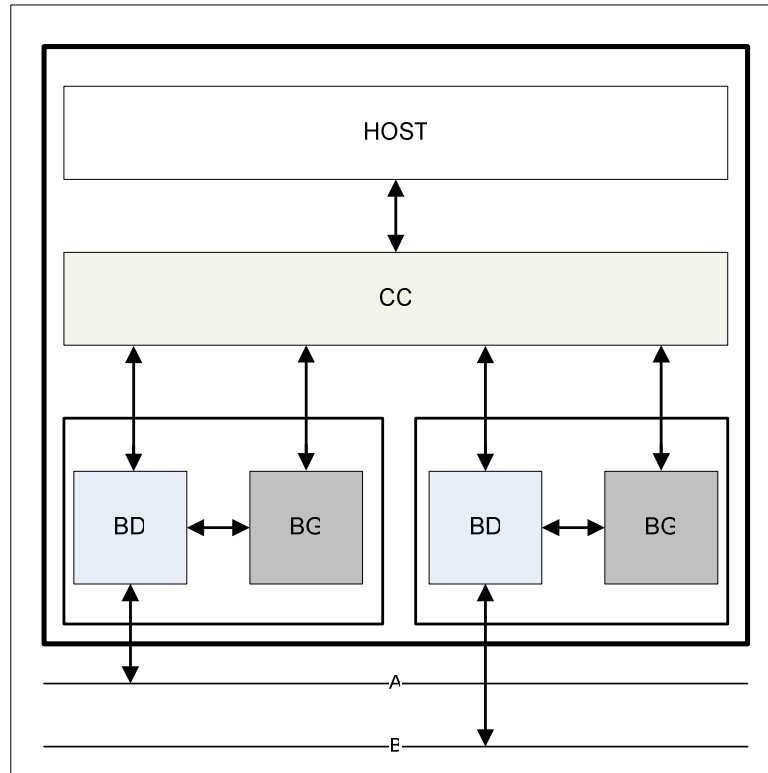


Kuva 14. Staattinen ja dynaaminen osa

Kuvasta 14 nähdään ohjainyksiköltä tiedonsiirtosyklin aikana tulevan dynaamisen ja staattisen osan lähetyksien peruseriaate. Kuvassa staattisella ja dynaamisella osalla olevat aukot kuvaavat lähetettyjä lähetyksiä, josta lähetykset kulkevat flexray-väylän kanavalle.

6.1.2 Solmun komponentit

Kaikki verkon solmut käsittävät neljä eri komponenttia, joihin flexray-verkon toimintavarmuus perustuu. Komponentit ovat isäntäprosessori (HOST), tiedonsiirtokontrolleri (CC, Communication Controller), väyläsovitin (BG, Bus Guardian) ja ajuri (BD, Bus Driver). (Kuva 15.) [24.]



Kuva 15. Flexray-väylän solmun komponentit

Kuvasta 15 nähdään yksityiskohtaisesti kanavien A ja B yhteys solmun yksiköihin. Lisäksi kuvasta käy ilmi, mistä komponenteista solmu koostuu. Kuvasta nähdään, että tiedonsiirto tapahtuu ensisijaisesti ajurin (BD) läpi. Ajurin tehtävänä on kertoa solmulle, kuinka vastaanotettua viestiä on käytettävä hyväksi. Se sisältää koodattua tietoa solmun toiminnoista. Väyläsovitimen (BG) tehtävänä on torjua ja hallita tiedonsiirron viestien virheitä. Lisäksi väyläsovitin hallitsee erilaisten viestien väylälle pääsyä. Väyläsovitimen ja ajurin välinen kommunikointi tapahtuu väyläsovitimen toimesta. Väyläsovitimen kautta kulkevat tiedot tiedonsiirtokontrollerissa (CC) kehitetyistä aikaikkunoista, ja aikaikkunoiden avulla väyläsovitin herättää ajurin. Solmun isäntäprosessorin (HOST) tehtävänä on laskea ja määrittää kaikki solmuun liittyvät tiedot, jotka välitetään väylälle. [24.]

6.2 Flexray / CAN

Flexraytä voidaan verrata CAN-verkkoon. CAN on nykypäivän väyläjärjestelmä, joka flexrayn tavoin on toteutettu kuparikaapelein. Flexrayn käytöllä on ominaisuuksia, jotka ovat vaikuttaneet siihen, ettei esimerkiksi CAN-verkkoa ole otettu tiedonsiirron fyysiseksi kerrokseksi autojen sähköisissä ohjauksissa.

Ominaisuudet

Flexrayn paremmat ominaisuudet verrattaessa CAN-verkkoon ovat

- nopeampi tiedonsiirto
- luotettavuus / käyttövarmuus
- kaksikanavaisuus
- joustavuus.

Flexray on 10 Mbit/s olevalla nopeudellaan kymmenen kertaa nopeampi kuin CAN-verkko. Luotettavuus flexray-väylällä perustuu sen arkkitehtuuriin. Aikaohjattu protokolla on toimintavarmempi kuin CAN verkossa käytetty tapahtuma-ohjattu protokolla. Flexray tarjoaa lisäksi kaksikanavaisen järjestelmän, kun taas CAN-verkko käyttää yksikanavaista järjestelmää. Kaksikanavajärjestelmän ideana on lähetyksien toimintavarmuuden säilyttäminen. Lähetettävät viestit ovat samoja molemmissa kanavissa, joten toisen kanavan vioittuminen ei hävitä lähetystä. Verrattaessa tätä kanavaominaisuutta CAN-väylään, siinä lähetyksiä ei saada lähetetyksi, jos johdin vioittuu. Joustavuudella tarkoitetaan, että flexray-verkko on muokattavissa monin eri tavoin. Fyysisenä kerroksena voidaan käyttää joko elektronista tai optista kaapelia. Lisäksi sen verkkotopologioita voidaan muuttaa halutunlaisiksi. Ohjainyksiköt voivat olla tällöin joko rinnan- tai tähteenkytketyt. [13.]

6.3 Sähköinen ohjaus

Sähköisen ohjauksen käyttöönottoon liittyy hyviä näkökulmia. Päästöjen vähentäminen, polttoaineen kulutus ja komponenttien testaukset vähenevät sähköisen ohjauksen myötä. Hydraulisesti toimiva järjestelmä kuluttaa omalta osaltaan myös moottoria, kun taas sähköisesti toteutettu ohjaus ei sitä tee. Kun jokin osa-alue ei kuluta moottoria, saadaan se hyöty näkyviin päästöissä. Sähköisesti toimiva ohjaus vähentää komponenttitestauksia. Esimerkiksi, jos hydraulisesti toimivan auton jousitusta halutaan muuttaa ja kokeilla erilaisia jäykkyyssasteita, niin komponentit on valmistettava ja mitoitettava erikseen. Sähköisesti toteutetussa jousituksessa voidaan halutut toimintoparametrit helposti ohjelmoida tietokoneella ohjainyksikköön. Säätoarvojen perusteella jousitus muuttuu halutunlaiseksi. Näin myös säästetään ympäristöjätettä vähentämällä varaosia ja hydrauliiKANesteitä. [21.]

7 YHTEENVETO

Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia MOST-, byteflight- ja flexray-väylärakenteiden käyttöä ja toimintaa. Kyseiset rakenteet oli valittu tutkittaviksi kohteiksi, koska ne ovat merkittävä tekijä nykyajan ja tulevaisuuden henkilöautojen väyläjärjestelmissä. Työn suoritus tapahtui itsenäisesti. Materiaalin keräys onnistui hyvin ja sitä oli riittävästi tutkimuksen toteuttamiseksi. Tutkimuksen aikana teknistä tukea ja lisämateriaalia saatiin insinööri Frans Malmariilta, joka toimii ajoneuvotekniikan kouluttajana koulutuskeskus AEL:ssä sekä tuntiopettajana Helsingin ammattikorkeakoulu Stadiassa.

Väylärakenteiden tiedonsiirtotapahtumilla pyritään saavuttamaan reaaliaikaisuus toimintojen välillä. Toimintojen halutaan tapahtuvan juuri sillä hetkellä, kun käsky toimilaitteelle annetaan. Teoriassa toiminnot eivät koskaan saavuta reaaliaikaisuuttaan, sillä viivettä esiintyy aina. Reaaliaikaisuus tulee ilmi käytännössä siinä, että käyttäjän antama toiminto tapahtuu niin nopeasti, ettei käyttäjä pysty sitä havaitsemaan.

Median siirrossa käytetty MOST-väylä tulee kehittymään nykyisestä, käytössä olevasta järjestelmästä. Toisen sukupolven MOST50-väyläjärjestelmällä toteutettuun median tiedonsiirtoon on mahdollista tulla ensimmäisenä käyttöön automerkki Toyotan järjestelmissä. Toyotalla tämä on suunnitteluasteella, sillä he ovat ensimmäisenä autovalmistajana hankkineet komponentteja kyseistä sovellusta varten.

Elektroniikka tulee lisääntymään autoissa jatkuvasti. Ohjauksyksiköiden ja antureiden lisääntyvä määrä asettaa rajoituksia CAN-järjestelmään. Väyliä on oltava joustavia muutoksille. Väyläjärjestelmille on ominaista luotettavuus eikä niissä suoda tapahtuvan virheitä. Monien tunnettujen automerkkien ja osavalmistajien kehittämä flexray tulee olemaan tulevaisuudessa autojen x-by-wire-tekniikassa käytetty väyläratkaisu. Ilman hydraulista tai mekaanista yhteyttä olevien x-by-wire-järjestelmien tärkeimmät edut verrattuna aikaisempiin väyläjärjestelmiin ovat niiden vikasietokyky, luotettavuus ja nopeus.

Pitää kyllä paikkansa, että autojen automatisointia ei voida toteuttaa loputtomiin. Kuljettajat eivät välttämättä luota kaikkiin sähkökäyttöisiin järjestelmiin, koska suoraan järjestelmän kontrollointiin ei käyttäjällä ole mahdollisuutta. Ilman mekaanista tai hydraulista yhteyttä oleville toimilaitteille voidaan antaa vain niin sanottuja toivomustoimintoja. Näiden toimintojen mu-

kaan ohjainlaite laskee tarvittavat säätöarvot toimilaitteelle. Ohjainlaitteen viikaantuessa seuraukset voivat olla hengenvaarallisia, jos esimerkiksi sähköisesti toteutettu ohjaus ei enää vastaakaan kuljettajan antamia toiveita. Tulevaisuudessa kehitetäänkin väyläratkaisuja TTP-arkkitehtuurin perustalle. Aika-ohjattu tiedonsiirto-menetelmä (Time Triggered Protocol) takaa paremman luotettavuuden tiedonsiirrolle, jolla tavoitellaan häiriötöntä tiedonsiirtoa. Tulevaisuuden TTP-arkkitehtuuriin on perehtynyt yhteisö nimeltä TTA-Group, joka toimii yhteistyössä autoteollisuuden kanssa kehittäen flexray-verkkoa.

Nykyaikana ei vielä ole tiedossa, milloin täysin sähköinen ohjaus voitaisiin kehittää tuotantoautoihin. Käytännössä työkalut tähän jo löytyvät eikä sen toteuttaminenkaan ole ongelma. Täysin sähköiseen ohjaukseen siirtymisellä ei yksinkertaisesti ole vielä tarpeeksi luottoa. Varmistusjärjestelmän tekeminen mekaanisesti on myös mahdollista, jos sähköinen ohjaus lakkaisi toimimasta ajon aikana. Tällainen ratkaisu tulisi kuitenkin hyvin kalliiksi. Tuplajärjestelmän käyttäminen ei olisi kannattavaa, kun ottaa huomioon nykyajan ja tulevaisuuden suuntauksen, jossa päästöjä halutaan vähentää. Sähköiset järjestelmät alentavat auton painoa ja näin ollen polttoaineen kulutus vähenee. Sähköisten järjestelmien toteutus on kyllä kalliimpaa kuin mekaanisten järjestelmien toteutus. Elektroniikan komponenttien halventuminen ja sähköisten laitteistojen massatuotantoon pääsy mahdollistavat järjestelmien halpenemisen. Näin ollen sähköiset järjestelmät eivät tulisi lisäämään ylimääräisiä lisäkustannuksia autojen hinnoittelussa.

Insinööriön valmistuttua todettiin, että työn suoritus eteni ajatellun aikataulun mukaisesti. Väyläjärjestelmien toimintaa ja käyttöä saatiin tutkittua monipuolisesti. Erityistä mielenkiintoa herätti se, että tutkituista järjestelmistä jokaisella eri väyläjärjestelmällä oli samantyyppisiä protokollia tiedon siirtämisen toteuttamiseksi. Protokolla saattoi merkitä fyysistä toteutusta tai tarkkaa tiedonsiirron siirtämiseksi vaadittua protokollaa. Esimerkiksi kanavanvarausmenetelmä tai asynkroninen/synkroninen tiedonsiirto saattoivat olla samoja eri järjestelmissä. Lisäksi tutkimus selkeytti väyläjärjestelmien ominaisuuksia tutkimuksen aikana. Lisätutkimusta olisi mahdollista jatkaa tutkimalla yksityiskohtaisesti viestien tunnistenumeroita.

VIITELUETTELO

- [1] BOSCH. *Autoteknillinen taskukirja*. 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 2003.
- [2] *Kuituinfo* [verkkosivut, viitattu 20.1.2008]. Verkkoaineisto, saatavissa: <http://www.kuitu.net>.
- [3] BMW Participant`s manual - Bus Systems 2004.
- [4] Floyd, Thomas L, *Electronic Devices*. Fifth Edition. New Jersey: Ohio. 1999.
- [5] MOST Informative. *Newsletter October 2007* [verkkodokumentti, viitattu 21.1.2008]. Saatavissa: <http://www.mostcooperation.com>.
- [6] Wikström, Krister, kurssitoteutus: Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia, Sulautetut järjestelmät, kurssimateriaali kevät 2006.
- [7] Berwanger, Joseph - Peller, Martin - Griessbach, Robert, *A New High Performance Data Bus System for Safety Related Applications*. 2000 [verkkodokumentti, viitattu 23.1.2008]. Saatavissa: <http://www.byteflight.com>.
- [8] BMW Group EE-21, *A New High Speed Data System for Safety-related communication*. 2000 [verkkodokumentti, viitattu 23.1.2008]. Saatavissa: <http://www.byteflight.com>.
- [9] BMW, *Byteflight Topology* [verkkodokumentti, viitattu 2.2.2008]. Saatavissa: <http://www.byteflight.com>.
- [10] Peller, Martin - Berwanger, Josef - Griessbach, Robert, *Byteflight - A New Protocol for Safety Critical Applications*. Development Safety Systems Electronics Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress. Seoul, Korea: June 12-15, 2000.
- [11] Haataja, Juha, kurssitoteutus: Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Kurssimateriaali, Tietotekniikka 1. Syksy 2004. Saatavissa: <http://cs.stadia.fi/~haataja/verkhw.htm>.
- [12] *Byteflight Protocol* [verkkodokumentti, viitattu 5.2.2008]. Saatavissa: <http://www.byteflight.com>.
- [13] Malmari, Frans, kurssitoteutus: Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia, Väylätekniikka, kurssimateriaali. Kevät 2008.
- [14] DaimlerChrysler, *Cars Chassis & passive safety systems*. Telematics Advanced Training. 11/2005.
- [15] Jääskeläinen, Ville, kurssitoteutus: Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia, Radiotekniikka ja tietoliikennetekniikka. Kurssimateriaali. Kevät 2007.

- [16] Nolte, Thomas - Hansson, Hans - Lo Bello, Lucia, *Implementing Next Generation Automotive Communications*. Mälardalen University Västerås, Sweden: 2004 [verkkójulkaisu, viitattu 2.2.2008]. Saatavissa: <http://www-users.cs.york.ac.uk/~neil/ERTSI/camera/nohalo-ertsi-cr.pdf>
- [17] Kraft, Petra, *LIN-väylän peruseriaatteet*. DaimlerChrysler. 2004.
- [18] DaimlerChrysler, *Kommunikaatiotekniikka*. Henkilöautot, moduli 1, asentaja erikoiskoulutus. 9/2006.
- [19] Atmel Corporation, *Automotive Bus Systems*. Atmel Applications. Journal: Issue 6/2006 [verkkodokumentti, viitattu 15.2.2008]. Saatavissa: <http://www.efo.ru/doc/Atmel/pdf/Atmel Apps Journal 6.pdf>.
- [20] Wolf, Marko - Weimerskirch, André - Paar, Christof, *Security in Automotive Bus Systems*. Bochum, Germany. 2004 [verkkójulkaisu, viitattu 15.3.2008]. Saatavissa: <http://www.escrypt.de/download/Sichere Bussysteme escar04.pdf>.
- [21] Suomen Autolehti, *Ilmailuteollisuuden tekniikkaa autoissa, X-by-wire*. 10/2005.
- [22] Freescale Semiconductor, *Flexray Network* [verkkodokumentti, viitattu 20.2.2008]. Saatavissa: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/application.jsp?nodeId=022050124F>.
- [23] Automotive Industries - *Introduction of FR goes together with the introduction of complex control systems within a car*. Issue: November 2006 [verkkootikeli, viitattu 25.2.2008]. Saatavissa: http://ai-online.com/Adv/Previous/show_issue.php?id=1597&search=true.
- [24] Diagno, *Flexray - uutta väylätekniikkaa ajoneuvoihin*. 2008 [verkkójulkaisu, viitattu 7.3.2008]. Saatavissa: <http://www.diagno.fi>.
- [25] Juhala, Matti - Lehtinen, Arto - Suominen, Matti - Tammi, Kari, *Moottorialan sähköoppi*. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy. 2005.
- [26] TZM, *FlexPower for your solutions* [verkkójulkaisu, viitattu 10.3.2008]. Saatavissa: http://www.tzm.de/en/FlexRay/FlexRay_Introduction.html.
- [27] SMSC's *MOST50 Technology* [verkkodokumentti, viitattu 2.3.2008]. Saatavissa: <http://www.theautochannel.com/news/2006/06/08/010478.html>.
- [28] SMSC semiconductor, *SMSC Introduces New Generation of MOST@* [verkkodokumentti, viitattu 2.3.2008]. Saatavissa: <http://www.smcs.com/whatsnew/prcorp/most150pr.html>.
- [29] MOST Cooperation, *Technology, Applications*. 2007 [verkkodokumentti, viitattu 18.3.2008]. Saatavissa: <http://www.mostcooperation.com>.
- [30] Kuznia Gunnar, *Design and Function MOST network*. Volvo XC90. 2003.

