



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Arttu Tuhkasaari

HAWK LINK

USEAN MAA-ASEMAN YHDISTÄMINEN

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Arttu Tuhkasaari
Opinnäytetyön nimi	Hawk Link usean maa-aseman yhdistäminen
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	35
Ohjaaja	Kalevi Ylinen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli usean Hawk Link -maa-aseman yhdistämisen suunnittelu. Tämä piti sisällään tiedonsiirron suunnittelun maa-asemien välillä, verkon muuttaminen kattamaan enemmän jäseniä kuin nykyiseltään on mahdollista sekä saada järjestelmä toimimaan tehokkaasti. Nykyisessä toiminnallisuudessa maksimimäärä jäseniä verkossa on verkon tyypistä riippuen vaihteleva, mutta määrä on rajattu eikä voi ylittyä. Tarkoituksena oli suunnitella dynaaminen tiedon käsittelytapa, jossa verkon jäseniä voi olla teoriassa rajaton määrä. Työssä tarkastellaan suunnitteluprosessin eri vaiheita ja perustellaan, miksi valittuihin ratkaisuihin päädyttiin.

Ideana oli suunnitella lentokoneiden sijaintitietojen jakaminen toisten maa-asemien alueella oleville lentokoneille ja muille jäsenille mahdollisimman lähellä reaaliaikaa. Tärkeintä on se, että oikeat lentokoneet saavat toistensa sijaintitietoa. Haastavaa suunnittelussa oli tietokoneen luomien jäsenten sijaintitiedon mahdollistaminen lähetysrakenteeseen silloin, kun verkon nykyinen maksimi kapasiteetti saavutetaan.

Suunnitteluprosessin vaiheet etenivät alustavien vaatimusten kautta lopullisten järjestelmäpäivitysten vaatimusten laatimiseen. Näihin vaatimuksiin päädyttiin tarkastelemalla nykyistä järjestelmää ja pohtimalla sen mahdollisuuksia vastata tärkeimpiin vaatimuksiin. Maa-asemien yhdistäminen saatiin suunniteltua, mutta järjestelmäpäivitystä ei vielä toteutettu, sillä uutta toiminnallisuutta ei olisi voitu testata nykyisillä järjestelmillä. Tämä johtuu siitä, että kehitys- ja testausympäristössä ei ole vielä kaikkia samoja laitteita kuin käytössä olevalla maa-asema-järjestelmällä.

ABSTRACT

Author	Arttu Tuhkasaari
Title	Connecting Hawk Link Ground Stations
Year	2021
Language	Finnish
Pages	35
Name of Supervisor	Kalevi Ylinen

The purpose of this thesis was to design a way to connect multiple Hawk Link ground stations. This included designing data transmission between ground stations, changing the network to include more net members and to make the system work efficiently. In its current state, the varying network sizes only cover a set amount of net members that cannot be exceeded. The purpose was to design a dynamic way to process data that could theoretically cover an unlimited amount of members. In the thesis we will cover the designing process and explain why the chosen solutions were chosen.

The idea was to design a way to share positional information from planes to other planes within the precincts of other ground stations as close to real time as possible. The most important part is that planes receive each other's positional data. The challenging part in the design process was including computer generated members in the network, when the current network capacity is reached.

The steps of the design process begun from realizing the preliminary requirements for the update. These requirements were decided on after inspecting the current system and its potential to correspond to the most important requirements. After this, the requirements were finalized. The designing process was completed, but implementing the update was not plausible, as the new functionality could not have been tested with current systems. This is due to the testing and development environment not having the same appliances as other ground stations.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

KÄSITELUETTELO

1	JOHDANTO.....	8
2	JÄRJESTELMÄN YLEISKUVA.....	11
	2.1 Jäsenten tyypit.....	12
	2.2 Nykytilanne.....	12
	2.3 Järjestelmäpäivityksen tarvemäärittely.....	13
3	VAATIMUSTEN MÄÄRITTELY.....	14
	3.1 Vaatimusten laatiminen.....	14
	3.1.1 Hawk Link -periaate.....	14
	3.1.2 Infra.....	16
	3.2 Dynaamisuus.....	18
	3.3 Vaatimukset.....	18
4	JÄRJESTELMÄN TOTEUTUKSEN SUUNNITTELU.....	20
	4.1 Suunnitellut toteutusratkaisut.....	20
	4.2 TDMA:n aikajakokanavointi.....	23
	4.3 Dynaamisuuden toteutus vaatimuksia mukaillen.....	23
	4.4 Konstruktiivinen sykli.....	24
	4.5 Prioriteetit.....	25
	4.6 Toiminta käytännössä.....	27
	4.6.1 Esimerkkitalanne 1.....	27
	4.6.2 Esimerkkitalanne 2.....	28
	4.6.3 Esimerkkitalanne 3.....	30
5	YHTEENVETO.....	33
	5.1 Rajoitukset.....	33
	5.2 Ratkaisujen heikkoudet.....	33
	5.3 Ratkaisujen vahvuuksia.....	34

5.4 Onnistuminen	34
LÄHTEET	35

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Näkymä Hawkin heijastusnäytöllä.....	9
Kuva 2. Verkon rakennekuva ennen päivitystä	13
Kuva 3. Kuvitteellinen 6 jäsenen verkon lähetyskuva	15
Kuva 4. Järjestelmän tuleva rakennekuva	20
Kuva 5. Sekvenssikaavio 1. Aloitustilanne	28
Kuva 6. Esimerkkitalanne 2. A vaihtaa maa-semaa	29
Kuva 7. Esimerkkitalanne 3. Kehyksen koko ylittyy.....	31
Taulukko 1. Kuvitteellisen lähetyskuvan parametrit	15
Taulukko 2. Viiveet eri puolelle Suomea	17
Taulukko 3. Lista päivityksen vaatimuksista.....	19
Taulukko 4. Konstruktivisen syklin säännöt.....	25
Taulukko 5. Esimerkkinä eri prioriteettitasoja konstruktivisille jäsenille.....	26

KÄSITELUETTELO

TDMA	Time Division Multiple Access. Aikajakokanavointi
MPCU	Multi-Purpose Control Unit
GCSA	Ground Control System Application. Maa-asema ohjelmisto
TD	Target Designator. Kohteen tarkennin

1 JOHDANTO

Tämä työ on toteutettu osana Patria Aviation Oy:n Hawk Link maa-asekokonaisuutta. Nykyinen järjestelmä mahdollistaa yksittäisen maa-aseman ja lentokoneiden välisen tiedonsiirron. Järjestelmäpäivityksen tarkoituksena on laajentaa maa-asemien toiminnallisuutta kattamaan useita maa-asemia yhdistämällä ne samaan verkkoon.

British Aerospace Hawk valittiin Ilmavoimille uudeksi suihkuharjoituskoneeksi Fouga CM 170 -koneiden seuraajaksi vuonna 1977. Ensimmäisen toimituserän Hawk Mk 51-toimitukset alkoivat joulukuussa vuonna 1980 ja kokoonpano valmistui vuonna 1985. Hawkeja tilattiin lisää vuosina 1993 ja 2007 jolloin mallit olivat Mk 51A ja Mk 66.

Tämänhetkisen suunnitelman mukaan Hawkien käyttöä on tarkoitus jatkaa ilmavoimissa nykyisessä roolissaan 2030-luvun jälkimmäiselle puoliskolle asti. Näin Hawkilla ehtivät saada oppia vielä monet ohjaajasukupolvet, joista osa lentää Hornetin seuraajaksi HX-hävittäjähankeessa vuosina 2025–30 hankittavalla monitoimihävittäjällä.

Hawkien suunniteltua kuuden vuosikymmenen elinkaarta selittää hyvän perussuunnittelun lisäksi niiden muunneltavuus, joka on mahdollistanut niiden ylläpidon ja erilaiset päivitystoimet kotimaassa.

Viimeisten 10 vuoden aikana Hawkien päivityksissä on panostettu lentokoulutuksen jatkuvaan kehittämiseen. Ohjaamouudistustyön yhteydessä vanhat analogiset mittarit on korvattu modernilla "lasiohjaamalla". Hawkeihin on asennettu mm. monitoiminäyttö, heijastusnäyttölaite sekä paikannus- ja tehtävätallenninjärjestelmät.



Kuva 1. Näkymä Hawkin heijastusnäytöllä. /5/

Tuorein askel Hawkien modernisoinnissa on ollut tiedonsiirron, tilannetietoisuuden ja verkottumiskyvyn kehittäminen. Tätä hoitaa Hawk Link. Hawk Linkin avulla ilmassa lentävät koneet voidaan verkottaa samaan tilannekuvaan maassa olevien simulaattorien kanssa. Samalla on mahdollista luoda lentävän koneen ohjaamon näytölle simuloituja maaleja ja muita koulutuksen monipuolisuutta lisääviä elementtejä, kuten TD (Target Designator Box). Kuvassa 1 näkyy toiseen koneeseen kohdistettu TD, joka luodaan Hawk Linkin välittämän toisen koneen sijaintitietojen perusteella. Tämän ansiosta Hawk-kalustolla voidaan harjoitella aiempaa tehokkaammin ja todenmukaisemmin modernin ilmasodankäynnin kannalta keskeistä näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa, joka haastaa ohjaajan tilannetietoisuuden. /2/

Hawk Link maa-asemassa toimii ohjelmisto, joka vastaanottaa ja lähettää edelleen lentokoneiden lähettämää tietoa maajärjestelmille. Maa-asema lähettää lentokoneille tilannetietoa tietokoneen luomista (konstruktivisista) ja simulaattoreilla ohjatuista (virtuaalisista) verkon jäsenistä, jotka saadaan

näkymään lentokoneen monitoiminäytöllä. Simulaattoreiden ja konstruktivistien jäsenten lisääminen Hawk Link -verkkoon mahdollistaa suurempien koulutustilanteiden luonnin ilman varsinaisten lentokoneiden lisäämistä. Sen lisäksi harjoitustilanteita voidaan järjestää myös pelkillä simulaattorikoneilla sekä lisätyillä konstruktivistisilla jäsenillä.

Tällä hetkellä Hawk Linkin toiminta on rajoitettu yksittäisten maa-asemien sisälle. Järjestelmäpäivityksen ideana on saada aikaan verkko, johon voidaan yhdistää useita maa-asemia. Tarkoitus on, että verkko voidaan jakaa myös pienempiin aliverkkoihin, joihin voidaan liittää halutut maa-asemat. Yksi vaatimuksista on dynaaminen verkko, johon voidaan liittää haluttu määrä maa-asemia ja erilaisia verkon jäseniä, kuten lentokoneita, virtuaalisia lentokoneita, sekä tietokoneen ohjaamia konstruktivistisia maaleja.

Työn tarkoituksena on laajentaa Hawk Link -verkon toiminnallisuutta suunnittelemalla tiedonsiirto, jäsenten dynaaminen lisääminen verkkoon ja niiden asettaminen TDMA (Time Division Multiple Access) -kehykseen. Tiedonsiirron lisäksi Hawk Link -päivityksen täytyy tukea sille asetettuja useita eri vaatimuksia, jotka käydään läpi osiossa 3.

2 JÄRJESTELMÄN YLEISKUVA

Tässä kappaleessa kerrotaan järjestelmän nykyisestä rakenteesta ja toiminnallisuudesta.

Hawk Link -verkko rakentuu Hawk -lentokoneista, maa-asemasta sekä erilaisista simuloituista ja virtuaalisista jäsenistä, jotka ovat yhdistetty maa-asemaan erillisillä ohjelmistoilla. Nämä ohjelmistot käsittelevät erityyppisten jäsenten datan ja lähettävät sen kohteelle. Maa-asema välittää dataa livekoneiden ja simulaattoriverkon takana olevien jäsenten välillä ja on vastuussa lähetysten ajoituksista.

”Live, Virtual & Constructive (LVC) -koulutusympäristö hyödyntää Hawkien modernisoituja ohjaamoja ja datalinkkiä. "Live" viittaa ilmassa tapahtuvaan lentokoulutukseen, "Virtual" maassa olevien simulaattorien verkottumiseen samaan koulutusympäristöön, ja "Constructive" tietokoneiden skenaarion osaksi tuottamiin toimijoihin, jotka muuntavat omaa käyttäytymistään ohjelmitujen mallien tai tekoälyn mukaisesti. Kustannustehokkaan LVC-koulutusympäristön ansiosta tulevat taistelulentäjät pääsevät harjoittelemaan suuria ja monipuolisia ilmaoperaatioita jo Hawk-koulutuksensa aikana.” /4/

Tuleva päivitys on suunniteltu toteutettavaksi maa-aseman nykyisen ohjelmiston, GCSA:in (Ground Control System Application) päälle. Ohjelmisto vastaa nykyiseltään tiedon vastaanottamisesta simulaattoriverkosta sekä lentokoneilta tulevan datan lähettämisestä simulaattoriverkkoon.

MPCU (Multi-Purpose Control Unit) ajoittaa jäsenet lähetyksien määräämiin aikapaloihin ohjaten ne radiolle, joka lähettää datan lentokoneelle. Lentokone ottaa datan vastaan omalla radiollaan, joka ohjataan koneen omalle MPCU:lle.

Simulaattoriverkko vastaa datan kuljettamisesta erilaisten simuloitujen jäsenten sekä GCSA:in(Ground Control System Application) välillä. Maa-asemaan IP-

verkolla liitetty simulaattoriverkko vastaa myös siitä, että erityyppisten jäsenten data on oikeassa muodossa sen vastaanottajalle.

2.1 Jäsenten tyypit

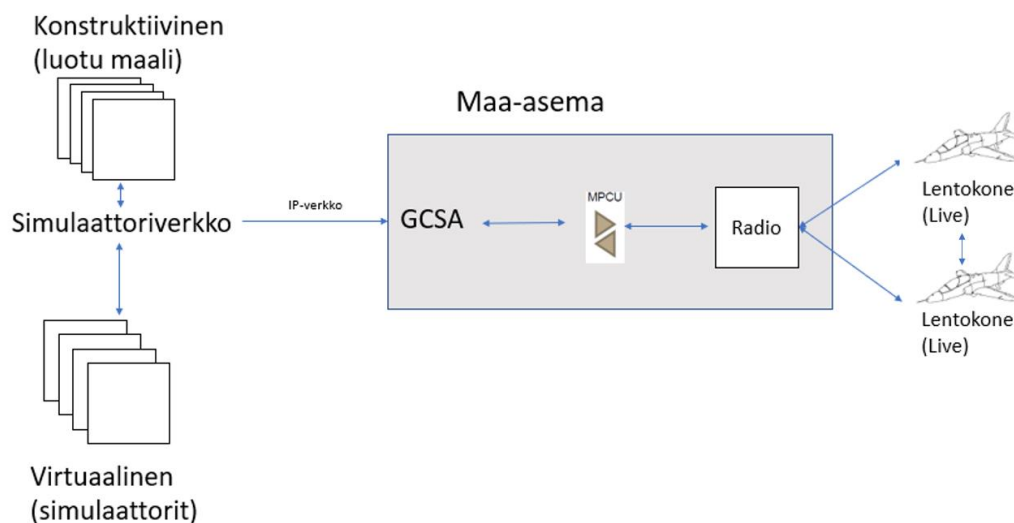
Konstruktiiviset: Tietokoneen simuloimat, ei ihmisen ohjaamat jäsenet. Konstruktiiviset jäsenet voivat olla paikallaan olevia tai liikkuvia.

Virtuaaliset: Simulaattorilaitteella ihmisen ohjaama verkon jäsen.

Livekone: Oikea lentokone.

2.2 Nykytilanne

Kuvassa 2 on esitelty yleiskuva verkon nykyisestä rakenteesta. Maa-aseman verkkoon kuuluvat maa-aseman kantaman sisällä olevat livekoneet sekä verkkoon tarpeen mukaan lisättävät virtuaaliset ja konstruktiiviset jäsenet. Jokaiselle verkon jäsenelle määrätään tunnus, joka määrää lähetysvuoron TDMA-kehyksessä.



Kuva 2. Verkon rakennekuva ennen päivitystä

2.3 Järjestelmäpäivityksen tarvemäärittely

Hawk Link -maa-asemien yhdistäminen laajentaa verkon toimintaa usean maa-aseman alueelle. Verkon jäsenten releointi toisten maa-asemien alueille mahdollistaa harjoitusten laajuuden kasvattamisen, vaikka koneet olisivat toisen maa-aseman alueella. Verkon jäseniä voidaan myös luoda eri maa-asemien alueelle, useisiin eri aliverkkoihin, jolloin jäsenten simuloimiseen tarvittavaa kalustoa ei tarvita jokaisen maa-aseman alueella. Päivitys on tarpeellinen, sillä se suurentaa verkon käyttöaluetta ja vähentää tarvetta uudelle simulointikalustolle. Lisäksi verkon tulisi toimia mahdollisimman itsenäisesti, jotta verkosta poistuneita jäseniä ei tarvitse poistaa manuaalisesti.

3 VAATIMUSTEN MÄÄRITTELY

Tässä kappaleessa kerrotaan vaatimusten laatimisprosessista, miksi ja miten vaatimukseen päädyttiin, mitä reunaehtoja päivitykselle annettiin alustavasti sekä mitä vaatimuksissa otettiin huomioon.

Suunnittelun alussa käytiin läpi alustavat vaatimukset järjestelmäpäivitykselle. Näihin kuuluivat maa-asemien yhdistäminen, verkon luonti maa-asemien välille, jossa voidaan luoda aliverkkoja halutuille jäsenille sekä jäsenten lisääminen ja poistaminen. Lisäksi päivitykselle oli ennakkovaatimus, jonka mukaan muutokset lentokoneohjelmistoon tulee minimoida.

Järjestelmistä tehdyn sisäisen dokumentaation sekä infrastruktuurin tutkimisen jälkeen järjestelmälle voitiin asettaa tarkemmat vaatimukset. Kaikki vaatimukset, mitä alustavasti kirjattiin, koskivat toiminnallisuutta. Näihin liittyvät lisävaatimukset tarkennetaan myöhemmin.

3.1 Vaatimusten laatiminen

Jotta järjestelmälle pystyttiin laatimaan tarkemmat vaatimukset, täytyi ensin selvittää mikä on laitteille sekä infrastruktuurille mahdollista. Patria Aviation Oy:n sisäinen dokumentaatio antoi hyvän kuvan tämänhetkisestä toiminnallisuudesta ja laitteiden rajoitteista, joiden perusteella voitiin antaa lopulliset vaatimukset järjestelmäpäivitykselle.

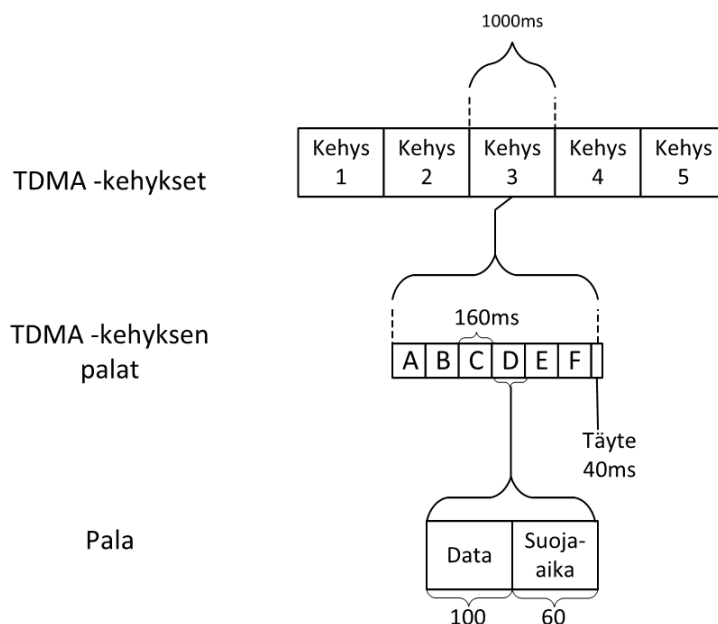
Seuraavan alaotsikon alla käydään läpi kehystä, jota käyttäen lentokoneet kommunikoiivat maa-asemien ja toisten lentokoneiden kanssa.

3.1.1 Hawk Link -periaate

”Hawk Link toiminta perustuu aikajakotekniikkaan (TDMA), jossa kehyksestä jokaiselle verkon jäsenelle varataan oma lähetysaika.” Verkon koko voi vaihdella ja verkon jäsenet saavat lähetysaikansa verkossa käyttämästään tunnisteesta. Suoja-ajan (Guard Period) tarkoitus on estää päällekkäisten lähetysten

esiintyminen. Tätä voi esiintyä, jos MPCU:ien kellot eivät ole täysin samassa ajassa tai signaalin kulkuaika aiheuttaa paikoittain viivettä. /1/

TDMA-kehys on perusta verkonjäsenten väliselle kommunikaatiolle. Kuvassa 3 on esitetty kuvitteellinen kuuden jäsenen verkon esimerkkitapaus, jossa on kuvattu koko kehys ja yksittäisen jäsenen lähetyksen eri vaiheet. Taulukossa 1 on esitetty kuvassa 1 käytetyt, TDMA-kehysten käyttämät parametrit. Taulukon 1 osat käydään tarkemmin läpi seuraavalla sivulla.



Kuva 3. Kuvitteellinen 6 jäsenen verkon lähetyskuva

Taulukko 1. Kuvitteellisen lähetyskuvan parametrit

	Net 6
Kehys	1000ms
Pala	160ms
Data	100ms
Suoja-aika	60ms
Täyte	40ms
Paloja	6
Hyötysuhde	60%

Kehys on yksi kokonainen lähetys, joka pitää sisällään kaikki lähetyksen osat.

Pala on yksittäisen verkon jäsenen lähetys kehyksessä.

Data pitää sisällään jäsenen tyyppin, sijaintitiedon ja muut jäsenen liittyvät tiedot.

Suoja-aika antaa radion lähettimelle aikaa aktivoitua. Tämä tarkoittaa aikaa siitä, kun lähetykskaista avataan siihen, että dataa pystytään lähettämään. Sen lisäksi se korjaa jäsenten lähetysten välissä ilmenevää huojuntaa ajoituksessa. Varmistaa lähetyksen oikea-aikaisuutta.

Täyte suoja-ajan tyyliin varmistaa tiedon oikea-aikaisuutta kehysten välissä.

Hyötysuhde kertoo datan lähetyksen osuuden kehyksessä.

3.1.2 Infra

Työtä suunniteltaessa käytettiin olettamusta, että maa-asetat sijaitsevat maantieteellisesti eri puolilla Suomea ja järjestelmän on tarkoitus toimia Suomen sisällä. Maa-asetat yhdistetään toisiinsa IP-verkon kautta, sillä IP-verkon nopeus Suomen sisällä on riittävä tähän tarkoitukseen. Sen lisäksi IP-verkon yhteys tarjoaa järjestelmäpäivityksen dynaamisuuden kannalta tarvittavan tiedonsiirtonopeuden maa-asettien välillä.

Mittaamalla viiveen eri puolilla maata sijaitseville palvelimille voitiin luoda vaatimus datan releoinnista johtuvaan viiveeseen ja kuinka paljon viivettä tiedon releoinnissa voi olla. Vaikka palvelin, johon viive testattiin, ei ole itse maa-asema, johon yhteys muodostettaisiin, saadut tulokset antavat hyvän kuvan viiveistä Suomen sisällä luotavaan verkkoon.

Viiveet testattiin Jämsästä traceroute -komennolla, jonka avulla voitiin päätellä, että tietoliikenne kiersi helsinkiläisen palvelimen kautta testattuun kohteeseen. Testatut viiveet olivat eri puolille Suomea seuraavat:

Taulukko 2. Viiveet eri puolelle Suomea

Kaupunki	Viive [ms]
Kuopio	12-13
Sodankylä	40
Helsinki	7-8
Tampere	9-10

Taulukossa 2 on kuvattu Jämsästä testatut viiveet eri puolille Suomea. Viiveet olivat suuntaa antavia, sillä viivettä kahden maa-aseman, tai maa-aseman ja simulaattoriverkon välillä ei voitu testata. Voidaan kuitenkin olettaa, että maa-aseman ja simulaattoriverkon välillä ei ole huomattavasti suurempaa viivettä, sillä Helsingin kautta kierrätettävä tietoliikenne tuo ylimääräistä viivettä tuloksiin. Tulokset ovat kuitenkin riittävän pieniä nykyisen TDMA-kehiksen rakenteen käyttöön. Täten myös mukaillaan ennakkovaatimusta, jonka mukaan muutokset lentokoneiden ohjelmistoon tulee minimoida. Lisäksi verkko on tarkoitus luoda suoraan maa-asemien välille, joten tietoliikennettä ei tarvitse kierrättää helsinkiläisen palvelimen kautta, joka voi moninkertaistaa etäisyyden.

Koska päätettiin, että tiedonsiirto maa-asemien ja simulaattoriverkon välillä tapahtuu IP-verkossa, täytetään vaatimus REQ.9, jonka mukaan simulaattoriverkosta tulee pystyä lähettämään ja vastaanottamaan Hawk Link -verkon dataa usealle maa-asemalle. Tällä täytetään myös vaatimus REQ.5, jonka mukaan ratkaisun tulee tukea maa-asemamäärän kasvattamista ja REQ.3, jonka mukaan maa-asemat osaavat releoida taivaalta vastaanottamiaan sanomia toisilleen ja sieltä edelleen RF-tielle.

Lisäksi päivityksessä täytyy huomioida maa-aseman sisällä tiedon käsittelystä johtuva viive. Viive on tällä hetkellä muutamia kymmeniä millisekunteja. Tämä pitää sisällään tiedon releoinnista johtuvan viiveen maa-aseman sisällä sekä välilyhteyden GCSA:in ja MPCU:in välillä. Näiden tietojen perusteella voitiin laatia konservatiivinen arvio releoinnin viiveestä maa-asemien välillä.

3.2 Dynaamisuus

Dynaamisvaateella tarkoitetaan tässä työssä verkon mukautumista jäsenten liittymiseen ja poistumiseen verkon alueelta. Dynaamisuudella tarkoitetaan sitä, että verkko muokkaa tarvittaessa TDMA-kehiksen jäsenten järjestystä, kun jäseniä poistuu ja liittyy verkkoon tai kun kaikki TDMA-kehiksen palat ovat käytössä.

3.3 Vaatimukset

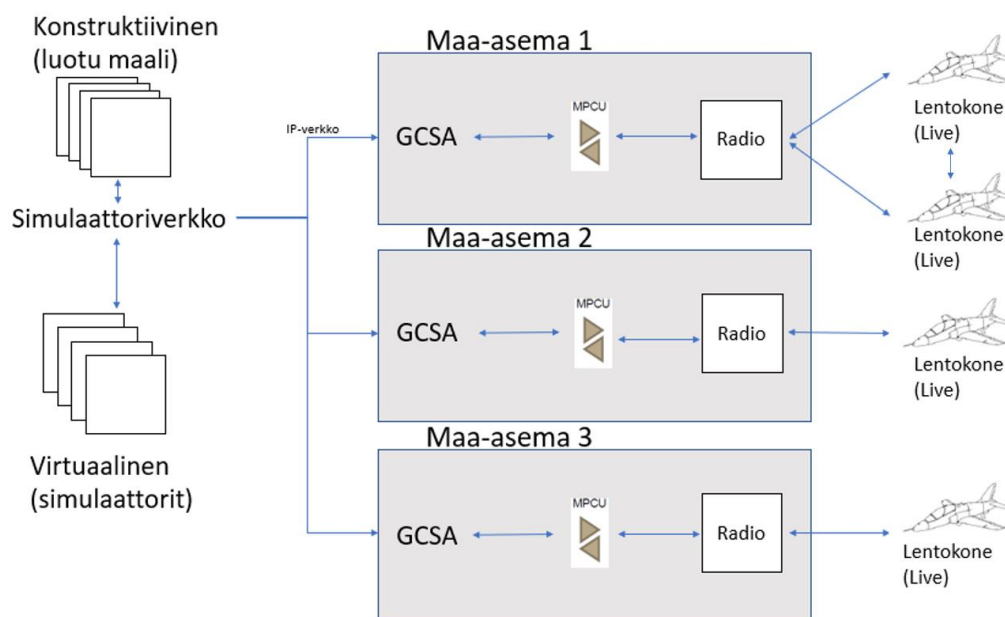
Vaatimuksista laadittiin lista aiemmin läpikäytyjen tiedonsiirron osien perusteella. Listauksessa näytetään vain työlle asetetut pakolliset vaateet, sillä loput vaatimukset eivät ole tärkeitä tämän työn kannalta.

Taulukko 3. Lista päivityksen vaatimuksista

ID	Vaatus
REQ.1	Useamman maa-aseman tuki ei saa rajoittaa verkon kapasiteettia (verkon jäsenten määrää).
REQ.2	Kaikilla maa-asemilla tulee olla samassa verkossa sama verkon kuva (koneet näkyvät samoissa paikoissa).
REQ.3	Maa-asemat osaavat releoida taivaalta vastaanottamiaan sanomia toisilleen ja sieltä edelleen RF-tielle.
REQ.4	Useamman maa-aseman tuki ei saa rajoittaa Hawk Link -verkon laajennettavuutta.
REQ.5	Ratkaisun tulee tukea maa-asemamäärän kasvattamista.
REQ.6	Releoinnissa tulee minimoida aiheutunut viive kehyksessä.
REQ.7	Muutostarveet lentokoneohjelmiston päähän tulee minimoida.
REQ.8	Lentokoneen vaihtaessa maa-asemaa, korkeintaan 1 kehyksen lähetys saa jäädä väliin.
REQ.9	Simulaattoriverkosta tulee pystyä lähettämään ja vastaanottamaan Hawk Link-verkon dataa usealle maa-asemalle.
REQ.10	Maa-asemaratkaisun tulee mahdollistaa verkon konstruktivisen jäsenmäärän kasvattamista suuremmaksi, siten että verkon jäsenmäärä ylittää TDMA-kehyksen palojen määrän.

4 JÄRJESTELMÄN TOTEUTUKSEN SUUNNITTELU

Kappaleessa käydään läpi suunnittelun eri osat sekä miksi ja mihin ratkaisuihin päädyttiin. Toteutus suunniteltiin aiempien vaatimusten mukaan ja käytiin eri vaihtoehdot laajasti läpi. Kuvassa 4 on vaatimuksia vastaava järjestelmäkuva, johon suunnittelussa päädyttiin.



Kuva 4. Järjestelmän tuleva rakennekuva

4.1 Suunnitellut toteutusratkaisut

Ensimmäinen ajateltu ratkaisu oli yksittäisten lähetyksen irrottaminen TDMA -kehystä ja jäsenten asettaminen peräkkäin siten, että millään jäsenellä ei ole staattista palaa. Uudet jäsenet liittyvät verkkoon ainoan staattisen vapaan palan kautta, joka ilmoittaa järjestelmälle uuden jäsenen liittymisestä. Tämän jälkeen jäsen kuuntelee lähetyksiä, jotta se löytää sille varatun vapaan palan. Näin saavutettaisiin dynaamisuus ja verkon koko olisi rajoittamaton. Ongelma oli kuitenkin lähetystaajuuden samanaikainen lasku, joten kaikkien jäsenten tilannetiedon saanti kestää kauemmin aina kun uusi jäsen lisätään verkkoon. Toinen ongelma oli jäsenen liittyminen verkkoon, sillä jos tietty pala ei ole aina vapaana, ei voida tietää koska uusi jäsen on liittymässä verkkoon. Kolmas ongelma

oli jäsenten poistuminen verkosta, sillä palat täytyisi määrätä sen varanneelle jäsenelle ja ajoitukset menisivät kaikkien jäsenten osalta uusiksi, jos ajoituksia siirretään poistuneiden jäsenten paikalle. Lisäksi ratkaisu ei sovi vaatimukseen, jonka mukaan lentokoneohjelmistoa muutettaisiin mahdollisimman vähän, sillä TDMA -kehyksen kiinteät ajoitukset lentokoneille ovat osa sitä.

Toinen ratkaisu oli kehyksen lähetyksen lyhentäminen uuden verkonjäsenen liittyessä siten, että määrätty pala kehyksessä pidetään aina vapaana, ja kaikki jäsenet tekevät muutoksen ajoitukseen samaan aikaan. Tämä tarkoittaa lähetystaajuuden nostoa, sillä kehyksen ajallista kestoa ei ole tarkoitus pidentää. Tämän jälkeen jäsen ottaa uudelle jäsenelle tarkoitetun paikan kehyksessä. Tässä ratkaisussa tulee kuitenkin vastaan ajoitusten liiallinen lyheneminen epäluotettavaksi jäsenten määrän kasvaessa. Tämän lisäksi järjestelmä ei voi varmasti toimia REQ.8 mukaisesti, sillä vapaata palaa lukuunottamatta täyteen kehykseen voidaan lisätä vain yksi jäsen kehyksessä. Toimiakseen järjestelmän täytyisi myös poistaa lähetyksestä poistuneet jäsenet, jotta lähetyksen ei täytyisi tyhjästä paloista, joten yksittäisen lähetyksen hukkuessa koko järjestelmä joutuu mukautumaan. Tämä hidastaisi toimintaa, varsinkin jos verkkoon ollaan lisäämässä uutta jäsentä.

Molemmat ratkaisut vaatisivat TDMA-lähetyksen rakenteen muuttamista, joka olisi merkittävä muutos lentokoneohjelmistoon, joten ratkaisut eivät mukaile vaatimusta REQ.7, jonka mukaan muutostarveet lentokoneohjelmiston päähän tulee minimoida. Lisäksi kumpikaan ratkaisu ei täytä ehtoa REQ.8, jonka mukaan lentokoneen vaihtaessa maa-asemaa korkeintaan 1 kehyksen lähetyksen saa jäädä väliin, sillä mikään osa ei pidä huolta, että lentokone saa tilan heti, kun vaihto tapahtuu. Ensimmäinen ratkaisu pidentää lähetyksen väliä jäsenten liittyessä verkkoon, joten jäseniä lisättäessä lähetyksen väli voi kasvaa tätä suuremmaksi. Toisessa ratkaisussa verkkoon saattaa olla liittymässä samaan aikaan toinen jäsen, eikä voida sanoa varmasti, että lentokone pääsee liittymään verkkoon vaaditun ajan sisällä.

Jotta voitaisiin noudattaa vaatimusta REQ.7, jonka mukaan lentokoneohjelmistoon tulisi tehdä minimaalinen määrä muutoksia päätettiin, että kehykseen ei lisätä lähetyspaloja. Tämä siksi, että verkon dynaaminen skaalaus voidaan saavuttaa myös antamalla vähempiarvoisille jäsenille pienemmän prioriteetin jäsenmäärän ylittäessä verkon kapasiteetin. Tällä täytetään vaatimus REQ.1, jonka mukaan useamman maa-aseman tuki ei saa rajoittaa verkon kapasiteettia. Tällä täytetään myös vaatimukset REQ.10, jonka mukaan maa-asemaratkaisun tulee mahdollistaa verkon konstruktiivisen jäsenmäärän kasvattamista suuremmaksi, siten että verkon jäsenmäärä ylittää TDMA-kehyksen palojen määrän ja vaatimus REQ.4, jonka mukaan useamman maa-aseman tuki ei saa rajoittaa Hawk Link -verkon laajennettavuutta.

Tätä menetelmää mukailien voitiin asettaa vaatimus järjestelmäpäivitykselle tiedon vastaanottamisen viiveistä. Tämä ratkaisu TDMA-kehuksesta käydään läpi tarkemmin myöhemmin.

Maa-asemien ja lentokoneiden radiot toimivat UHF-taajuuksilla. Aiemmin maa-asemat toimivat eri taajuuksilla, ja vaatimuksia laatiessa päätettiin, että tämä säilytetään.

Maa-asemien toimiminen samoilla taajuuksilla helpottaisi lentokoneiden siirtymistä maa-asemalta toiselle. Tällä hetkellä ohjaajan täytyy manuaalisesti asettaa alueella käytössä oleva taajuus, joten saman taajuuden käyttö helpottaisi ohjaajan työtä ja vähentäisi tarvetta muutoksiin lentokoneohjelmistossa.

Kuitenkin, jos maa-asemat toimisivat samoilla taajuuksilla, voisivat viestit helposti sekoittua. Tämän aiheuttavat vaihtelevat etäisyydet maa-aseman ja lentokoneiden välillä, eri järjestelmien kellojen epätarkkuudet sekä tuleva toiminnallisuus, jossa kehykset eivät ole aina samassa järjestyksessä eri maa-asemien alueella.

4.2 TDMA:n aikajakokanavointi

TDMA-kehys on rakenne, joka jakaa verkon jäsenet aikasidonnaisiin paloihin. Ennen päivitystä jäsenille annettiin aina niiden tunnusta vastaava pala kehyksestä. Päivityksen myötä tilanne muuttuu, ja jäsenen paikka kehyksessä ei enää aina määräydy tunnuksen mukaan. Muutos on pakollinen, jotta järjestelmä voidaan saada toimimaan dynaamisesti.

Simulaattorit ja konstruktiviset jäsenet lähettävät maa-asemalle jatkuvaa tilannedataa, joka päivittyy useita kertoja yhden TDMA-kehyksen aikana. Tämä takaa että data on aina tuore, kun jäsen saa lähetysvuoron kehyksessä. Tätä käytetään hyväksi uuden TDMA-kehyksen luomisessa. Kun saatavilla on aina uusi data, eikä tunnus enää määrää palaa, voidaan kehys rakentaa täysin livekoneiden staattisten palojen ehdoilla.

4.3 Dynaamisuuden toteutus vaatimuksia mukaillen

Kuten aiemmissa kappaleissa todettiin, IP-verkon releoinnille aiheuttama viive ja viive datan käsittelyssä maa-asemalla on tarpeeksi pieni vaatimuksissa pysymiseen, vaikka aika datan käsittelyssä pidentyisikin.

Verkkoon liittyvät livekoneet täytyy ilmoittaa verkon maa-asemille, jottei koneen käyttämä staattinen pala mene muuhun käyttöön. Ennen livekoneen liittymistä verkkoon pala on siis tyhjä jokaisen verkkoon liitetyn maa-aseman alueella. Kun livekone liittyy verkkoon, maa-asema releoi datan muille samassa verkossa oleville maa-asemille. Livekoneen tulee myös valita automaattisesti lähin maa-asema, johon se liittyy. Tämä ominaisuus ei kuulu tämän työn sisältöön, joten sitä ei käydä läpi tarkemmin. Maa-asemaa vaihtaessa aiheutuva viive minimoidaan vapauttamalla kehyksestä livekoneen staattinen pala jokaisen verkkoon kuuluvan maa-aseman alueella, jolloin lentokoneen lähetys saadaan vastaanotettua heti, kun sen on mahdollista saada.

Jos tiedetään livekoneen olevan tietyn maa-aseman alueella, voidaan muilla maa-asemilla ottaa pala muuhun käyttöön. Kun livekone poistuu maa-aseman alueelta, huomioidaan se muillakin maa-asemilla tyhjentämällä staattinen pala muista lähetyksistä.

Virtuaaliset jäsenet ovat ihmisen ohjaamia ja saavat siksi lähetysvuoron joka kehyksessä. Näiden lähetyspala voidaan kuitenkin vaihtaa TDMA-kehyksessä, sillä ne lähettävät dataansa jatkuvana virtana, joten data on aina uutta.

Konstruktiiviset jäsenet mahdollistavat kehyksen dynaamisen täytön, sillä ne lähettävät virtuaalisten jäsenten tavoin dataansa jatkuvana virtana. Ne ovat tietokoneen luomia ja ohjaamia jäseniä ja voivat kuvata erilaisia kohteita, kuten maassa olevaa ilmatorjuntaa tai taistelevaa lentokonetta.

Jotta kehys olisi joustava uusien jäsenten datan saapuessa maa-asemalle, on MPCU:lle lähetettyjen, varmistettujen lähetysten määrä tarkoitus asettaa kahteen seuraavaan lähetyspalaan. Tällä varaudutaan järjestelmän sisäisiin viiveisiin sekä varmistetaan, että järjestelmällä on aina lähetettävää ja toimintateho ei täten heikkene sekä järjestelmä kerkeää reagoimaan saatuun dataan ja muodostamaan uuden lähetykselyn.

4.4 Konstruktiovinen sykli

Konstruktiovinet jäsenet vuorottelevat niille varatuissa paloissa kehyksessä. Tämä ei näy normaalissa tilanteessa, jossa kehyksessä on vapaita paloja. Tärkeäksi tämä tulee tilanteessa, jossa verkossa on enemmän jäseniä kuin TDMA-kehyksessä on paloja ja vuoroja täytyy alkaa jakaa niiden prioriteetin perusteella. Jokainen konstruktiovinen jäsen ei tällaisessa tilanteessa saa lähetysvuoroa jokaisessa kehyksessä, vaan vuorottelevat keskenään konstruktiovisen syklin sääntöjen mukaan. Nämä säännöt käydään läpi seuraavaksi.

Taulukko 4. Konstruktivisen syklin säännöt

Konstruktivisilla jäsenillä on mukanaan prioriteettinumero.
Prioriteettinumero määrittää, kuinka monen konstruktivisen syklin välein lähetysvuoro annetaan.
Konstruktivisilla jäsenillä on ”jonotusnumero” lähetysvuoron saamiseen. Jonotusnumero alustetaan prioriteettinumerolla, jota vähennetään yhdellä jokaisella konstruktivisella syklillä. Kun jonotusnumero saa arvon yksi, saa konstruktivinen jäsen lähetysvuoron, jonka jälkeen numero jonotusnumeroksi palautetaan prioriteettinumero. Jos prioriteettinumero muuttuu ja jonotusnumero on suurempi kuin prioriteettinumero, sijoitetaan uusi prioriteettinumero jonotusnumeroksi.
Konstruktivisen syklin jäsenten lähetys korkeintaan kerran kehyksessä
Uusi konstruktivinen jäsen asetetaan syklissä lähetysvuorossa seuraavaksi.
Matalamman prioriteetin konstruktiviset jäsenet asetetaan sykliin symmetrisesti, jotta jäseniä lisättäessä ei muodostu korkeammalla prioriteetilla olevia lähetyksiä estävää rypästä.

4.5 Prioriteetit

Jotta vaatimus REQ.1, jonka mukaan useamman maa-aseman tuki ei saa rajoittaa verkon kapasiteettia ilman, että lähetyskehysten kokoa kasvatetaan, täytyy osan jäsenistä data jättää lähettämättä. Tämä toteutetaan pudottamalla prioriteettia vähemmän tärkeiksi todetuilta jäseniltä ja antamalla tärkeille, ihmisen ohjaamille jäsenille lähetysvuorot joka kehyksessä. Vähemmän tärkeät jäsenet vuorottelevat vapaana olevista lähetysvuoroista, jotka jaetaan näille niiden prioriteetin perusteella. Näin mukaillaan vaatimuksia REQ.7 ja REQ.6, joiden mukaan releoinnista aiheutuva viive kehyksessä minimoida sekä muutokset lentokoneen ohjelmistoon tulee minimoida.

Taulukossa 5 on esitetty suunnitellut prioriteettitasot konstruktiivisille jäsenille. Prioriteettitasoja luodaan enemmän, kuin niitä on suunniteltu käytettäväksi tässä päivityksessä. Tämä sen takia, että tasoja on valmiiksi jatkokehitystä ja mahdollisimman monipuolista käyttöä varten. Prioriteettitasot luodaan dynaamisesti skaalattavaksi. Tämä toteutetaan tässä päivityksessä jättämällä alempiarvoisia, konstruktiivisten verkon jäsenten lähetyksiä pois TDMA-kehysten lähetyksistä ja antamalla näille lähetyksistä myöhemmissä kehityksissä.

Live- ja virtuaaliset jäsenet eivät tarvitse tässä päivityksessä erillistä prioriteettia, sillä ne saavat lähetyksen aina kerran kehityksessä. Prioriteettia käytetään tässä päivityksessä toimimaan konstruktiivisen syklin rinnalla. Tulevaisuudessa prioriteettitasoja on tarkoitus voida muokata, jotta saadaan tarvittaessa tietyille jäsenille useita lähetyksistä kehityksessä.

Taulukko 5. Esimerkinä eri prioriteettitasoja konstruktiivisille jäsenille

Prioriteetti 1	Konstruktiiviset jäsenet. Lähetyksen kerran konstruktiivisessa syklissä.
Prioriteetti 2	Konstruktiiviset jäsenet. Lähetyksen joka toisessa konstruktiivisessa syklissä.
Prioriteetti 3	Konstruktiiviset jäsenet. Lähetyksen joka kolmannessa konstruktiivisessa syklissä.
Prioriteetti N	Joka N:ssä konstruktiivisessa syklissä.

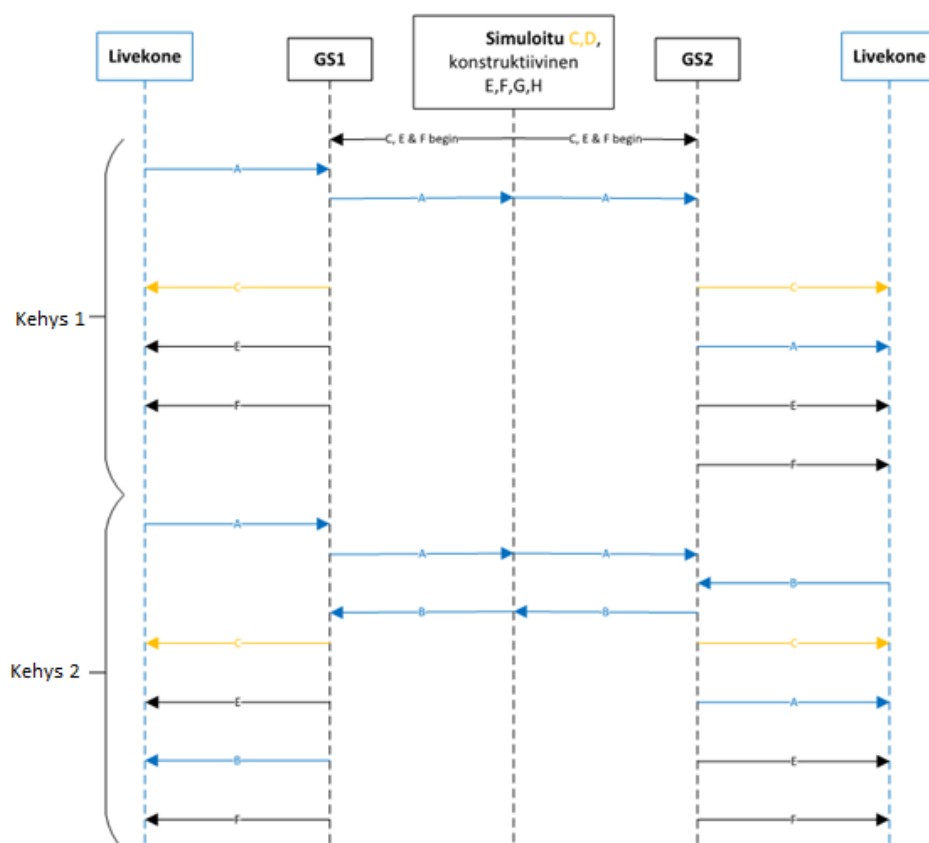
4.6 Toiminta käytännössä

Tässä kappaleessa käydään läpi esimerkkitapauksia järjestelmän suunnitellusta toiminnasta. Esimerkkitapauksissa käydään läpi aiemmin selitetyt toiminnallisuudet, ja miten ne vuorovaikuttavat käytännössä.

Kuvissa 5-7 kaarisulku kuvaa yhtä lähetykskehystä. Kehys on kuvitteellinen 6 - jäsenen verkko, jolla pystytään kuvaamaan eri tilanteita ilman, että verkon muuttumista on vaikea seurata.

4.6.1 Esimerkkutilanne 1

Kuvassa 5 kuvataan ensimmäinen esimerkkutilanne, joka pitää sisällään kehykset 1 ja 2. Kehyksessä 1 livekone A on liittynyt verkkoon maa-asema 1 (GS1) alueella. Simulaattoriverkko lähettää jäsenten C, E ja F dataa, joista C on simuloitu ja E ja F konstruktiivisia jäseniä. Maa-asema 1 lähettää livekone A:n datan releoituna simulaattoriverkon jäsenille sekä maa-asema 2:lle (GS2). Sekvenssikaaviossa näkyy, kuinka maa-asema 1 ottaa lähetyksen vastaan livekone A:lta, jonka jälkeen data lähtetetään simulaattoriverkkoon ja muille maa-asemille. Maa-asema 2 vastaanottaa livekone A datan, ja lähettää sen muille alueella mahdollisesti oleville livekoneille. Releoidun livekoneen datan lähetyksipala toisen maa-aseman alueella on 2 palaa myöhemmin lähetyksen vastaanottamisesta. Tämä siksi, että maa-aseman ohjelmisto saa aikaa saapuvan datan käsittelyyn, kehyksen uudelleenjärjestämiseen sekä datan siirtoon lähetettäväksi RF-tielle.

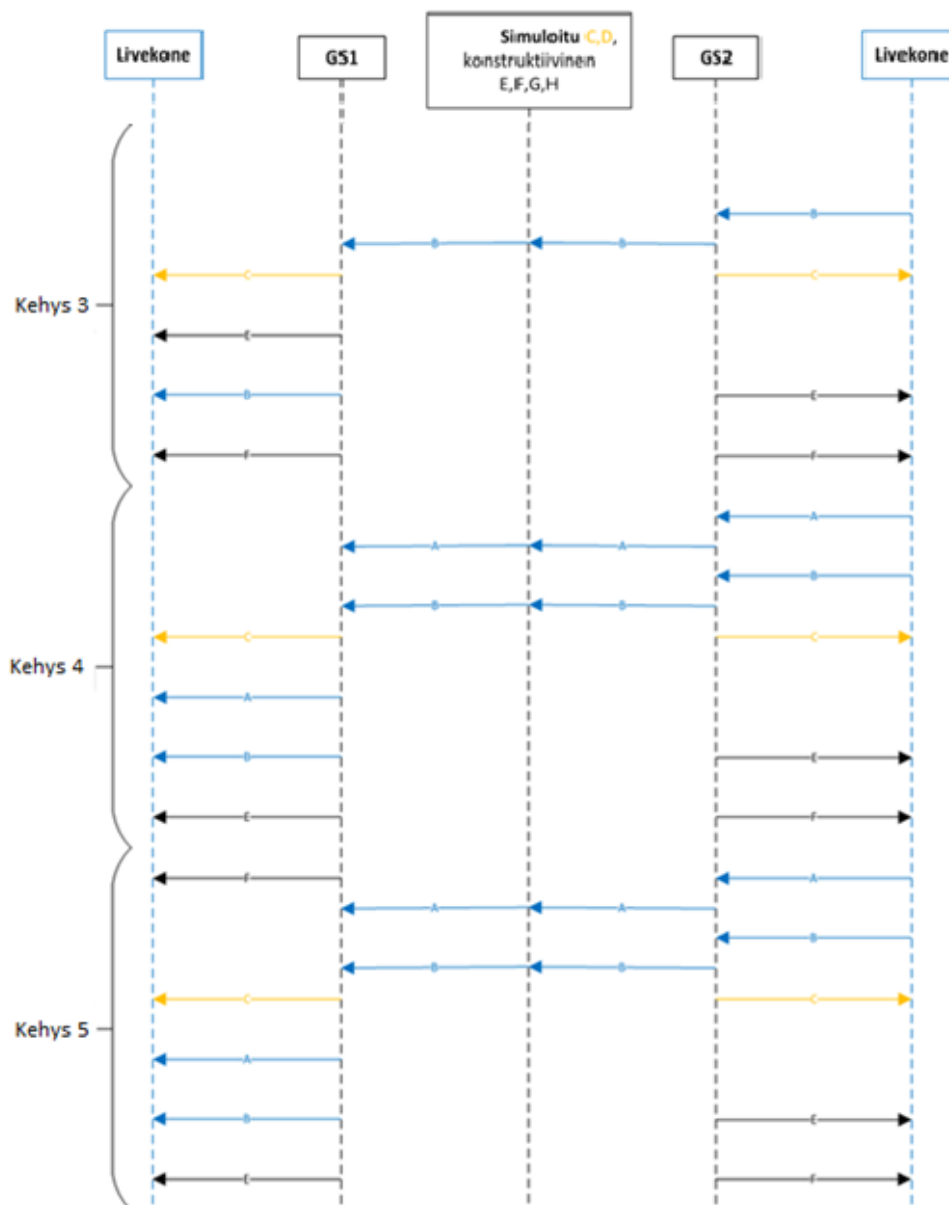


Kuva 5. Sekvenssikaavio 1. Aloitus tilanne

Kehyksessä 2 livekone B liittyy verkkoon maa-asema 2:n alueella, jonka jälkeen data releoidaan muille verkkojäsenille. Koska livekone B ei ollut liittynyt verkkoon, pidettiin toinen lähetyksipala vapaana molemmilla maa-asemilla. Maa-asema 1 alueella toinen lähetyksipala datan vastaanottamisen jälkeen oli konstruktioivisen jäsenen F käytössä, mutta koska simulaattoriverkosta saapuu aina uutta dataa, voidaan paloja allokoita hyvin vapaasti.

4.6.2 Esimerkkitalanne 2

Kuvan 6 tilanne tapahtuu esimerkkitalanne 1:n jälkeen. Livekone A poistuu maa-asema 1:n alueelta ja kuvataan järjestelmän reagointia tilanteeseen.



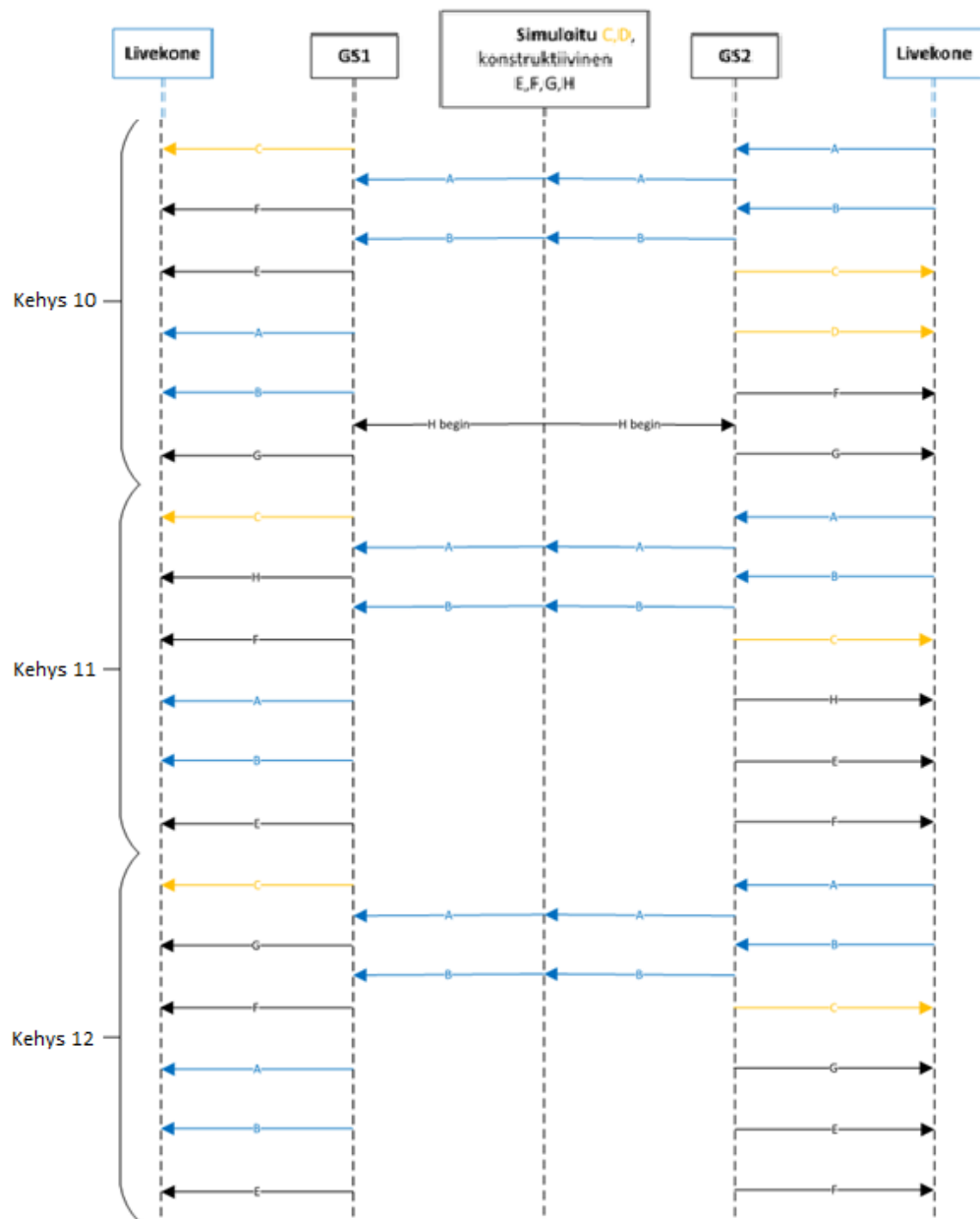
Kuva 6. Esimerkkitalanne 2. A vaihtaa maa-semaa

Kuvassa 6 kuvataan tilanne, jossa tapahtuu livekoneen maa-aseman vaihto, kun kehyksessä on tilaa. Vaihto ei aina ole välitön, mutta esimerkkitalanteessa kehyksessä on vielä tilaa joten livekone A:n lähetyspalaa ei ole otettu maa-asema 2:n alueella muuhun käyttöön. Jos tarkastellaan kehystä 3, voidaan huomata palan, johon A sijoitetaan releoinnin jälkeen olleen konstrukttiivisen jäsenen E käytössä. Konstrukttiivinen lähetyspala siirtyy livekoneen tieltä ja konstrukttiivinen

sykli antaa F:n lähetyspalan E:lle. F:lle annetaan uusi lähetyspala seuraavasta lähetyskehystä. A:n pala voidaan ottaa nyt käyttöön maa-asema 1:n alueella, sillä releoidusta datasta saadaan tietää koneen olevan maa-asema 2:n alueella.

4.6.3 Esimerkitilanne 3

Kuvan 7 esimerkitilanteessa käsitellään verkkoa, johon on lisätty enemmän jäseniä kuin aiemmissa esimerkeissä. Aiempien esimerkkien jälkeen tilanne on edennyt, ja jäseniä on lisätty ja poistettu. Ennen tilanteen alkua simulaattoriverkko lopetti simulaattori D:n lähetyksen, mutta se saa lähetysvuoron vielä maa-asema 2:n alueella, koska maa-asema oli vastaanottanut uutta dataa simulaattori D:ltä edellisen lähetyksen jälkeen. Verkko tulee täyteen, ja nähdään miten konstruktiivisen syklin toiminta näkyy lähetyksissä.



Kuva 7. Esimerkkutilanne 3. Kehyksen koko ylitty.

Kehyksessä 10 on alkutilanne. Kuten kehyksessä näkyy, lähetykkehys on valmiiksi täynnä. Lähetykkehys lopussa alkaa konstruktiiivisen jäsenen H lähetyk, joka aiheuttaa reaktion kehyksessä. H:n prioriteetti on 2, kun taas muiden konstruktiiivisten jäsenten prioriteetti on 1.

Kehyksessä 11 H saa ensimmäisen lähetykvuoronsa. Koska lähetyk tulee ensimmäistä kertaa, annetaan sille ensimmäinen lähetykvuoro konstruktiiivisessä

syklissä. Tämä pitää paikkansa, vaikka sillä onkin alempi prioriteetti. Konstruktivisille jäsenille on kehyksessä jäljellä 3 palaa, kun taas konstruktivisia jäseniä on verkossa 4. Muut konstruktiviset lähetykset saavat lähetysvuoron joka konstruktivisessa syklissä, kun taas H joka toisessa.

H:n alempi prioriteetti on huomattavissa kehyksessä 12, kun H ei saa lähetysvuoroa, vaikka muut konstruktivisen syklin jäsenet lähetetään. Kun lähetykskehysten kapasiteetti ylitetään, konstruktivisen syklin toiminta on huomattavissa selkeämmin lähetykskehyksessä.

5 YHTEENVETO

Tässä kappaleessa tehdään yhteenveto suunnittelutyön eri osista sekä päädyttyjen ratkaisujen vahvuuksista ja heikkouksista. Vaatimusta REQ.2, jonka mukaan kaikilla maa-aseilla tulee olla samassa verkossa sama verkon kuva ei käsitelty erikseen, sillä suunniteltu tiedonsiirto maa-asemien ja simulaattoriverkon välillä mahdollistaa tämän, mutta työssä ei keskitytty itse lentokoneohjelmiston toimintaan.

5.1 Rajoitukset

Suurin rajoittava tekijä suunnittelussa oli lentokoneohjelmisto, johon tehtävät muutokset tuli minimoida (REQ.7). Tämä rajasi ratkaisumahdollisuuksia, eikä salli kaikkien lähetysten tehostamista. Päädytty ratkaisu tarjoaa kuitenkin tärkeille lähetyksille tehokkaan lähetyksratkaisun, ja vaade REQ.8 pystytään toteuttaa.

5.2 Ratkaisujen heikkoudet

Suuria heikkouksia ei päädytyssä ratkaisussa jää, mutta erityistilanteissa voi viive kasvaa konstruktiivisten jäsenten osalta. Myös maa-aseman vaihdon yhteydessä tulee viivettä, mutta suunnitellulla toiminnallisuudella se on vaatimusten rajoissa.

Lentokoneen vaihtaessa maa-asemaa suoraan, lopettamatta välillä lähetystä taajuuden asetuksen takia, voidaan lentokoneen ensimmäinen lähetys toisen maa-aseman alueella olla ottamatta vastaan. Tämä voi tapahtua, jos toisen maa-aseman alueella palaan on asetettu konstruktiivisen jäsenen lähetys. Tämä kuitenkin korjaantuu seuraavaan kehykseen, kun maa-asema ei vastaanota livekoneen releoitua dataa, vapautuu sen pala jokaisen verkossa olevan maa-aseman alueella. Tällä täytetään vaade REQ.8.

Lisättäessä verkkoon konstruktiivisia jäseniä yli kapasiteetin, konstruktiiviset jäsenet alkavat vuorottelemaan konstruktiivisen sylkin sääntöjen mukaan. Tämä johtaa lähetystaajuuden laskemiseen näiden jäsenten osalta. Tämä ongelma ei ole

korjattavissa vaatimusten puitteissa, sillä lähetystaajuuden nosto vaatisi suuria muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin.

5.3 Ratkaisujen vahvuuksia

Suunnitellusta ratkaisusta saatiin kustannustehokas, sillä simulaattoriverkko ja maa-asetat ovat valmiiksi olemassa. Päivitys saadaan toteutettua lisäämällä toiminnallisuutta valmiiksi olemassa oleviin järjestelmiin. IP-verkon todettiin tarjoavan hyväksyttävä viive järjestelmälle, joten uuden verkon laajentamisen ei pitäisi luoda suuria haasteita.

Verkko suunniteltiin hyvin skaalattavaksi. Maa-asetat voidaan liittää ja poistaa verkosta, jonka jäsenet voidaan asettaa maa-asetalla tai simulaattoriverkossa. Verkosta luotiin dynaamisesti itseään rakentava. Tämä saa verkon skaalautumaan, kun jäseniä lisätään. Verkko käyttää tehokkaasti hyödyksi tyhjät palat kehyksessä ja pyrkii antamaan myös konstruktiivisille jäsenille lähetysvuoron joka kehyksessä. Verkko toimii tehokkaasti myös, kun jäseniä lisätään yli TDMA-kehysten palojen määrän. Tämä ei kuitenkaan vaikuta tärkeiden verkkojäsenten toimintaan, vaan hidastuminen koskee vain konstruktiivisia jäseniä. Tämä oli yksi syy, miksi prioriteettitasot luotiin. Konstruktiiviset jäsenet eivät aina liiku, joten ei aiheuta haittaa, että tämän tapaisista jäsenistä ei lähetetä jokaisessa kehyksessä.

5.4 Onnistuminen

Päivityssuunnitelma täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset, joten suunnitteluosuutta voidaan pitää onnistuneena. Päädytty ratkaisu tarjoaa tehokkaan TDMA-kehysten käytön, joka vastaa hyvin nykyisen järjestelmän tarpeisiin.

Alunperin työhön kuului suunnittelun lisäksi päivityksen toteuttaminen, mutta tämä ei ollut aikataulun puitteissa mahdollista, koska olemassa oleva kehitysympäristö vaatii vielä päivitystä, ennen kuin toteutusta pystytään aloittamaan.

LÄHTEET

/1/ Patria Aviation Oy. Esitys. HawkLink vaihe 1, 22.5.2015.

/2/ Laukkanen, J. 2015. Bae Hawk. Suomen Ilmavoimissa. Helsinki. Koala kustannus.

/3/ Ilmavoimat. Hawkit lentävät kohti tulevaisuuden taistelukenttää. Viitattu 31.3.2021. <https://ilmavoimat.fi/-/hawkit-lentavat-kohti-tulevaisuuden-taistelukenttaa>.

/4/ Ilmavoimat. Hawk 40 vuotta Suomessa. Viitattu 31.3.2021. <https://ilmavoimat.fi/-/hawk-40-vuotta-suomessa>

/5/ Ilmavoimat/Oskari Tähtinen. Hawk 40 vuotta Suomessa. Viitattu 31.3.2021. <https://ilmavoimat.fi/-/hawk-40-vuotta-suomessa>

