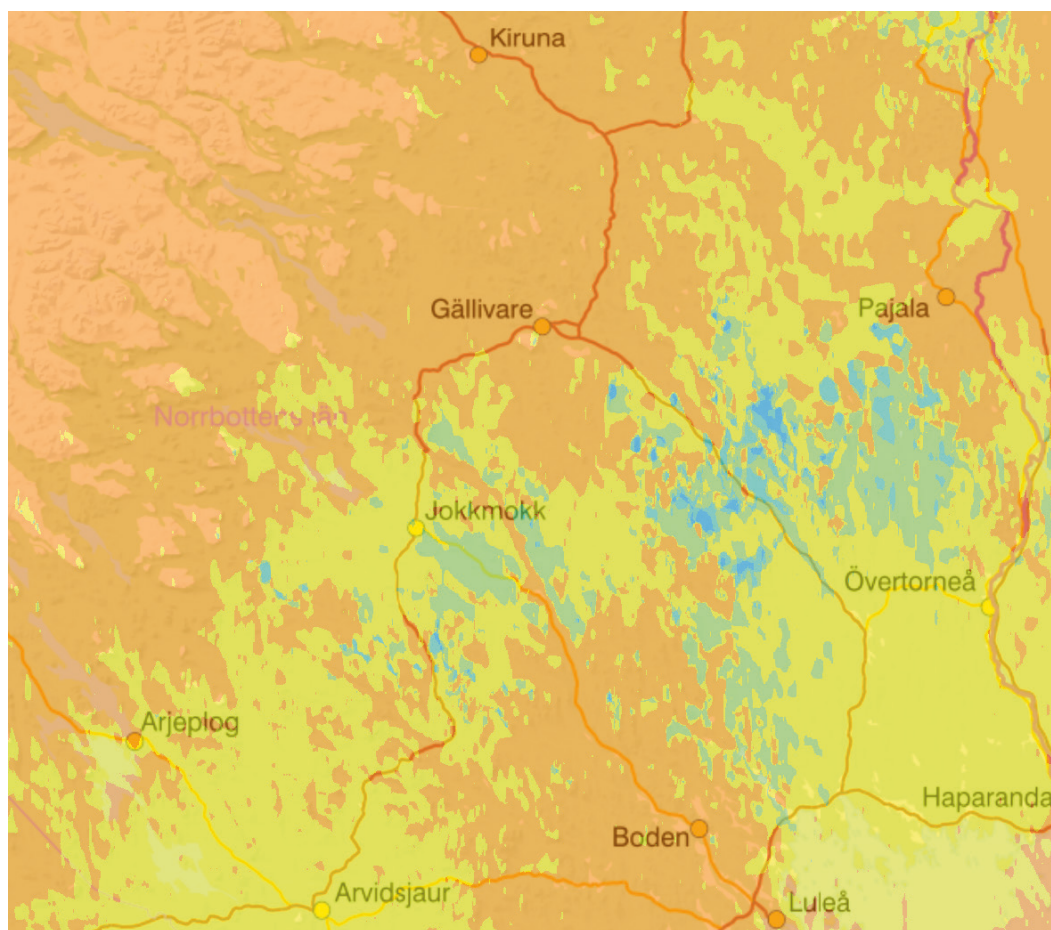


Opportunistisk användning av TV-frekvensband för taktiskt radiosamband

PATRIK ELIARDSSON, ERIK AXELL,
BÖRJE ASP, PETER JOHANSSON



Patrik Eliardsson, Erik Axell, Börje Asp,
Peter Johansson

Opportunistic användning av TV-frekvensband för taktiskt radiosamband

Titel	Opportunistisk användning av TV-frekvensband för taktiskt radiosamband
Title	Opportunistic Use of TV Frequency Bands In Tactical Radio Communication
Rapportnr / Report No.	FOI-R--5385--SE
Månad / Month	December / December
Utgivningsår / Year	2022
Antal sidor / Pages	33
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FM
Forskningsområde	Ledningsteknologi
FoT område	Ledning och MSI
Projektnr / Project No.	E716588
Godkänd av / Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

Bild/Cover: FOI

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Opportunistisk spektrumaccess innebär att frekvensspektrum utnyttjas av en sekundär användare när det är möjligt utan att försämra kommunikationsmöjligheterna för den primära användaren. I denna rapport undersöks möjlighet att använda tekniken opportunistisk spektrumaccess för att få tillgång till fler bredbandiga kanaler till Försvarsmaktens radiosystem. De existerande bredbandiga kanalerna används främst för tal- och datatrafik av armén. Försvarsmaktens tillgång till frekvensutrymme i det militära UHF-bandet avsett för bredbandiga kanaler är begränsat. Bredbandiga kanaler i det militära UHF-bandet är i det här fallet kanaler med bandbredden 1 MHz inom frekvensområdet 225-380 MHz. Det finns fördelar både ur ett samexistensperspektiv och ut ett störskyddsperspektiv om det är möjligt att använda fler bredbandiga kanaler.

Inom frekvensområdet 380-694 MHz finns i huvudsak fyra kategorier av sändningstillstånd: TETRA, landmobil, meteorologi och marksänd TV. Sändningstillstånd för marksänd TV är den kategori som bedöms mest lämplig att studera för opportunistisk användning, medan övriga inte bedöms vara lämpliga.

Bedömningen är att det kommer att finnas åtminstone fem 8-MHz kanaler tillgängliga i norra Sverige som kan utnyttjas utan att det stör TV-mottagningen. Detta innebär tillgång till ytterligare 40 bredbandiga kanaler för ett taktiskt radiosystem.

Inom varje geografiskt område måste de kanaler identifieras som har alltför hög interferens från TV-sändare. Dessa kanaler kan inte användas av det taktiska radiosystemet eftersom de ger alltför stor försämring av prestandan och riskerar att störa TV-mottagningen. Att utnyttja TV-kanaler opportunistiskt ger tillgång till större bandbredd och därmed ökad systemkapacitet och möjlighet att allokera fler radionät.

En högre bärhögfrekvens kommer innebära förkortade kommunikationsräckvidder. Påverkan är speciellt påtaglig då radiovågorna måste propagera igenom skog.

Nyckelord: opportunistisk, frekvensanvändning, Ra570, sändningstillstånd, TV, kanaler

Abstract

Opportunistic spectrum access means that frequency spectrum is used by a secondary user whenever possible without degrading the communication capabilities of the primary user. In this report the possibility of using the technology opportunistic spectrum access to get access to additional broadband channels to the Armed Forces' radio system.

The existing broadband channels are mainly used for voice and data traffic by the army. The armed forces' access to frequency space in the military UHF band intended for broadband channels is limited. Broadband channels is in this case channels with a bandwidth of 1 MHz within the frequency range 225-380 MHz. There are advantages both out of a coexistence perspective and out of an interference protection perspective if it is possible to use more broadband channels.

Within the frequency range 380-694 MHz there are mainly four categories of allocations: TETRA, land mobile, meteorology and terrestrial TV. Frequency allocation for terrestrial TV is the category deemed most suitable to study for opportunistic use, while others are not judged to be suitable.

The assessment is that there will be at least five 8-MHz channels available in northern Sweden. This means access to 40 wideband channels for a tactical radio system.

Within each geographic area, the channels that have too high interference power from TV transmitters must be identified. These channels cannot be used by a tactical radio system because they cause excessive degradation of performance. Utilizing TV channels opportunistically provides access to greater bandwidth and thus increased system capacity and the possibility of allocating more radio networks.

A higher carrier frequency will mean shortened communication ranges. The impact is particularly noticeable when the radio waves have to propagate through forests.

Keywords: opportunistic, frequency usage, Ra570, frequency allocation, TV, channels

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Syfte och mål	7
1.2	Läsanvisningar	8
2	Frekvensområdeskandidater	9
2.1	Kategorier av sändningstillstånd	9
2.2	Analys av TV-frekvenser	10
3	Påverkan på TV-mottagare	13
3.1	Påverkan från taktiskt radiosystem	13
3.2	Antal tillgängliga TV-kanaler	14
3.3	Skyddsavstånd	16
4	Påverkan på frekvenshoppande radiosystem	19
4.1	Simuleringsmodell	19
4.2	Numeriska resultat	19
4.3	Sammanfattning	22
5	Realiserbarhet	25
5.1	Antenner	25
5.2	Räckviddsjämförelse	26
5.3	Implementation	27
6	Slutsatser	29
7	Fortsatt arbete	31
	Referenser	33

1 Inledning

Frekvensspektrumet är en begränsad resurs som består av ett antal frekvenser vilka är möjliga att använda till informationsöverföring via radio. Frekvenserna kan utsättas för störningar från andra radiosystem och elektronik som försvårar och omöjliggör informationsöverföringen. Tillgång till störningsfria frekvenser är nödvändig för att all typ av radiokommunikation ska fungera. Efterfrågan på frekvensutrymme har ökat under de senaste decennierna till följd av teknikutvecklingen där allt fler system blivit trådlöst uppkopplade via olika radiobaserade tekniker. Detta har lett till en ökad efterfrågan men också konkurrens om frekvensutrymmet från olika typer av aktörer.

Försvarsmaktens tillgång till frekvensutrymme i det militära UHF-bandet avsett för bredbandiga kanaler är begränsat. Bredbandiga kanaler i det militära UHF-bandet är i det här fallet kanaler med bandbredden 1 MHz inom frekvensområdet 225-380 MHz. Anledningen till att de bredbandiga kanalerna är få, är att kanalindelningen följer Natos UHF-frekvensplan samt gällande föreskrifter från Internationella teleunionen (ITU).

De existerande bredbandiga kanalerna används främst för tal- och datatrafik av armén. Aktuella radiosystem för armén är Ra1570 samt Ra570. Radiosystemet Ra570 är ett taktiskt radiosystem som har förmågan att frekvenshoppa över de bredbandiga kanalerna, men eftersom antalet kanaler är begränsat blir också störskyddet från frekvenshoppet begränsat. En annan nackdel är att risken för frekvenskonflikter mellan olika förband ökar då fler tvingas använda samma frekvenser.

En möjlighet att få tillgång till flera bredbandiga kanaler är användning av tekniken opportunistisk spektrumaccess [1, 2, 3]. Opportunistisk spektrumaccess innebär att frekvensspektrum utnyttjas av en sekundär användare (i det här fallet Försvarsmakten) när det är möjligt utan att försämra kommunikationsmöjligheterna för den primära användaren (ofta spektrumägaren).

Över 20 års forskning har resulterat i flertalet civila standarder som till viss del använder sig av dynamisk spektrumaccess exempelvis IEEE 802.22 för trådlösa regionala nätverk, IEEE 802.11 WiFi, IEEE 802.15 Bluetooth samt WiMAX 802.16. Några militära standarder eller system med DSA-teknik finns inte idag, enligt vad författarna känner till. Flertalet forskningsprojekt har under åren bedrivits inom Nato, EDA och DARPA med syftet att utveckla militära radiosystem med funktioner som inkluderas i begreppet kognitiv radio.

Vilka frekvenser som är tillgängliga för opportunistisk användning varierar mellan olika geografiska positioner. Frekvenser som används opportunistiskt måste därför väljas dynamiskt för att hantera mobilitet. Vilka frekvenser som kan anses vara tillgängliga i varje position beror på den interferens som uppstår och hur interferensen kan tolereras av de system som utnyttjar samma frekvensband. Exempelvis, om ett taktiskt radiosystem använder samma frekvensband som används för TV-sändningar så påverkas TV-mottagare av störning från det taktiska radiosystemet och det taktiska radiosystemet påverkas av störning från TV-sändarna. För att en frekvens ska kunna användas opportunistiskt av ett taktiskt radiosystem, och därmed betraktas som tillgänglig, i en given position måste alltså interferenserna som systemen skapar vara acceptabel med hänsyn till prestandakrav för vart och ett av systemen. Det visades i [4] att opportunistisk spektrumaccess genom geografisk återanvändning kan ge ökad kapacitet, speciellt om kommunikationsavstånden är betydligt mindre för det sekundära systemet jämfört med det primära systemet. Detta gäller t.ex. för ett taktiskt radionät som utnyttjar TV-kanaler.

1.1 Syfte och mål

Syftet med denna studie är att bidra till Försvarsmaktens förmåga att använda fler bredbandiga kanaler genom opportunistisk spektrumaccess. Målet är att undersöka under vilka förutsättningar som Försvarsmakten kan utnyttja TV-frekvenser opportunistiskt samt vilka vinster användning av TV-frekvenser skulle innebära för ett frekvenshoppande radiosystem i form av kapacitetsvinst och ökat störskydd.

1.2 Läsanvisningar

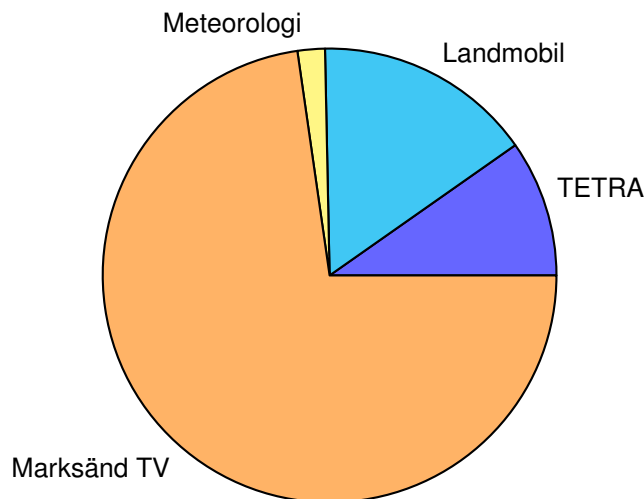
Kapitel 2 beskriver vilka frekvensband som kan vara aktuella för opportunistisk frekvensanvändning i frekvensområdet 380-694 MHz. Kapitel 3 analyserar vilken påverkan ett frekvenshoppande radiosystem kan ge på TV-sändningar och Kapitel 4 analyserar omvänt vilken påverkan TV-sändningar kan få på ett frekvenshoppande radiosystem. Kapitel 5 beskriver realiserbarheten för att utnyttja hela frekvensbandet 225-700 MHz med befintliga radiosystem och antenner. Kapitel 6 presenterar rapportens slutsatser.

2 Frekvensområdeskandidater

Frekvensområden över det militära UHF-bandet, 225-380 MHz, är av intresse i denna studie. Inom frekvensområdet 380-694 MHz finns flertalet civila sändningstillstånd. En undersökning av vilka tillstånd som finns inom detta frekvensområde samt en bedömning av om de vore möjligt att nyttja frekvensområdet för bredbandiga kanaler för ett frekvenshoppande system presenteras i detta kapitel.

2.1 Kategorier av sändningstillstånd

Inom frekvensområdet 380 - 694 MHz finns i huvudsak fyra kategorier av sändningstillstånd: TETRA, Landmobil radio, Meteorologi och Marksänd TV [5]. I figur 2.1 visas fördelningen av frekvenser mellan respektive kategori av sändningstillstånd inom 380 - 694 MHz. De olika kategoriernas frekvenser är inte nödvändigtvis konsekutiv utan den kan vara spridda inom frekvensområdet 380-694 MHz. Sändningstillstånd för Marksänd TV är den kategori som har störst frekvenstilldelning, se figur 2.1.



Figur 2.1: Fördelning av frekvensspektrum uppdelat på olika typer sändningstillstånd inom 380-694 MHz.

Sändningstillstånden för meteorologitjänster har minst bandbredd relativt sett. Försvarmakten är dessutom en användare av diverse meteorologitjänster. Därför är det inte aktuellt att undersöka vidare om dessa frekvenser skulle kunna användas även för taktiska radiosystem.

En kategori av sändningstillstånd som inte är aktuell för taktiska radiosystem är TETRA. Sändningstillstånd för TETRA används av Rakel-systemet som är det kommunikationssystemet som exempelvis används av blåljusmyndigheter och även Försvarmakten. Två anledningar till att samexistens med TETRA bör undvikas är att användningen av TETRA inom ett område är svårt att bestämma samt risken för att störa kritisk radiokommunikation.

Kvar är kategorierna Landmobil radio samt Marksänd TV. Vilka radiosystem som använder frekvenser inom kategorin Landmobil radio varierar, exempelvis med tillämpningen telemetri, fjärrstyrning och medicinska implantat. Gemensamt för systemen inom Landmobil radio är det att de kan vara mobila, vilket gör det svårt att på förhand veta vart sändare befinner sig. Det är möjligt att mäta in sändare, men det ökar komplexiteten. Protokoll, vågform och uteffekt hos dessa system varierar också vilket ökar komplexiteten ytterligare.

Sändningstillstånd för Marksänd TV upptar störst andel spektrum inom frekvensområdet 380-694 MHz. TV-sändarna har bestämda platser och respektive sändares täckning går att beräkna utifrån information om position, masthöjd och utstrålad effekt.

Beroende på hur frekvensplaneringen av TV-sändarna är utformad så finns det möjlighet att använda TV-frekvenserna utan att orsaka störning av TV-mottagarna. Eftersom alla frekvenser avsedda för TV inte används för hela Sverige så kommer det finnas geografiska områden där vissa frekvenser är lediga. Därför kommer frekvensområdet för marksänd TV undersökas om det är lämplig att användas för taktisk radiokommunikation.

2.2 Analys av TV-frekvenser

Sändningstillstånd för marksänd TV avser frekvenser från 470 MHz till 694 MHz. Detta frekvensområde används också av trådlösa mikrofoner med restriktionen att utstrålad effekt inte får överstiga 50 mW [6]. I denna studie beaktas inte de trådlösa mikrofonerna. Frekvensområdet 470-694 MHz är indelat i ett kanalaraster med bandbredden 8 MHz. Detta gör att det finns totalt 28 st tillgängliga kanaler där varje kanal har bandbredden 8 MHz. En tillgänglig TV-kanal resulterar därför i åtta bredbandig 1 MHz kanaler för taktisk radiokommunikation.

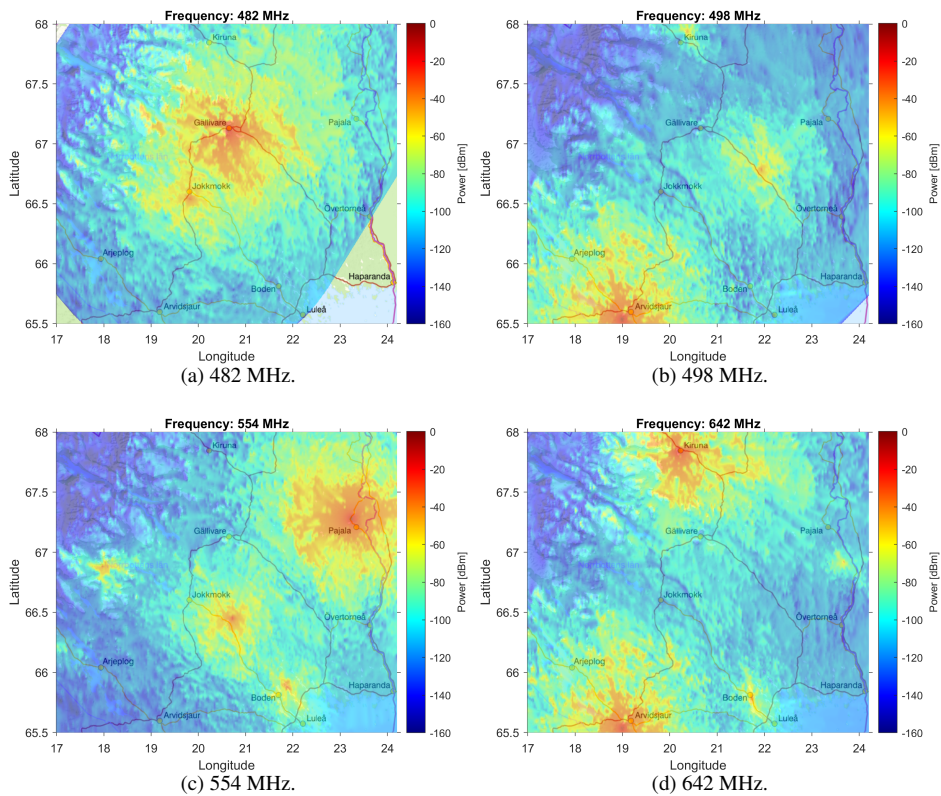
Teracom är ett statligt ägt bolag som driver bl.a. marknätet för digital TV i Sverige. Utifrån data från Teracom om sändarna i marknätet för digital-TV skapas täckningskartor för respektive centerfrekvens. För att skapa täckningskartorna krävs information om sändarposition, mästhöjd samt utstrålad effekt. Egentligen krävs också information om sändarantennernas riktverkan, men den informationen saknas i detta arbete. Istället har det antagits att antennen är rundstrålande, dvs. utstrålad effekt är samma i alla riktningar och elevationer. För att beräkna täckningskartorna har Mathworks Matlab [7] används med kanalmodellen Longley-Rice [8]. För beräkningarna används terrängdatabasen GMTED2010 [9] vilken har en upplösning på 250 meter.

Frekvensanvändningen hos marknätet för digital TV studeras för två områden i Sverige som författarna bedömer vara dimensionerande. Det första området är norra Sverige (med Arvidsjaur som södra gräns och till gränsen mot Finland och Norge) och det andra området är kring Arlanda (med Stockholm som gräns i söder och Uppsala som gräns i norr). Områdena är olika stora, befolkningstätheten skiljer sig åt samt att terrängen är antingen fjällmiljö eller flack mark med skog eller åkermark.

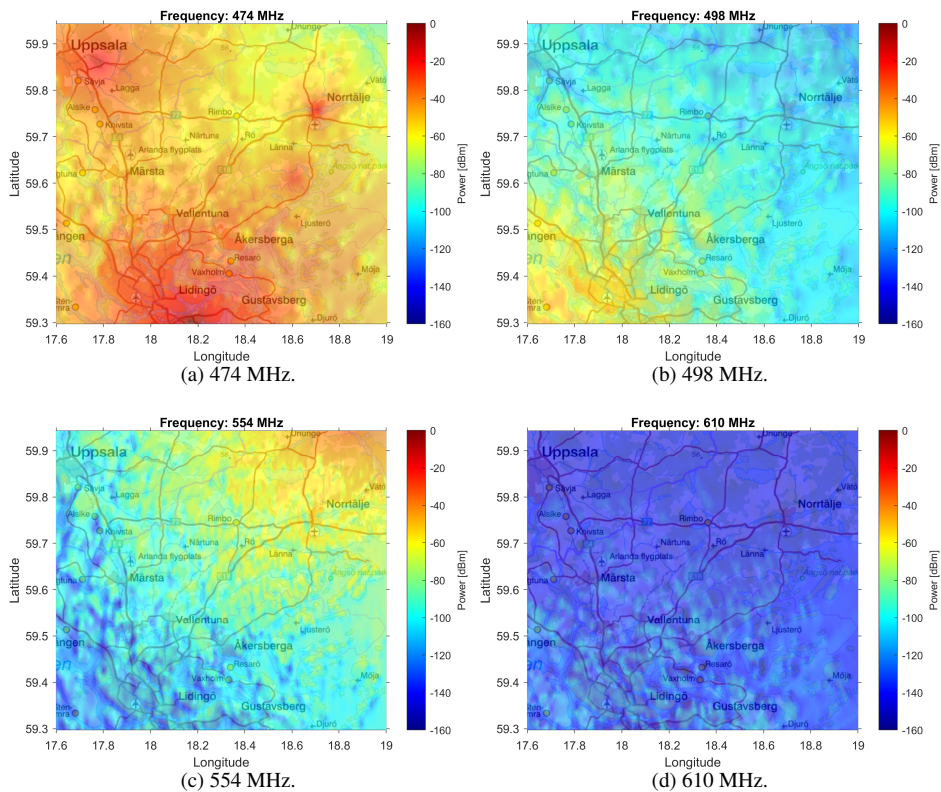
I figur 2.2 visas exempel på täckningskartor (observera att detta inte är officiella täckningskartor från Teracom.) för fyra frekvenser i norra Sverige. Motsvarande täckningskartor för området kring Arlanda visas i figur 2.3. Frekvenserna i exemplen av täckningskartorna är valda så att de ska representera olika sändarpositioner med olika mästhöjd och uteffekt. Täckningskartorna visar förväntad signalstyrka över området, sändarnas positioner återfinns i centrum av det rödaste området. I ITU:s rapport om frekvens och nätplaneringsaspekter för DVB-T2 (digital-TV) [10] anges signalstyrkan för att ta emot TV-sändningen felfritt för olika moder. Beroende på vilken mod som avses, varierar kravet för minsta signalstyrka från -75 dBm till -91 dBm. I denna rapport används -83 dBm som gräns för att ta emot TV-sändningen felfritt.

Genom att visuellt studera figur 2.2 och 2.3 går det att konstatera, speciellt för fallet i Norrland, att det finns områden för varje frekvens där signalstyrkan understiger -83 dBm. I dessa områden borde ingen TV-mottagare befinna sig som nyttjar den frekvensen, eftersom det inte går att ta emot TV-signalen felfritt. Inom dessa områden skulle det därför vara möjligt att använda frekvensen för taktisk radiokommunikation. Dock får det taktiska radiosystemet inte orsaka någon störning som påverkar TV-mottagare som har tillräcklig signalstyrka för att felfritt ta emot TV-signalen.

Kring Arlanda är situationen besvärligare, det beror dels på att terrängen är flackare och att avstånden är kortare. Det kan tyckas att kanalen på 610 MHz är lämplig att använda, se figur 2.3d. Men figuren kan i detta fall vara vilseledande eftersom enbart sändarna från Uppsala- och Stockholms län är med i beräkningarna för täckningskartorna. Det är möjligt att det finns TV-sändare i angränsade län som använder frekvensen 610 MHz.



Figur 2.2: Exempel på täckningskartor för fyra olika frekvenser med olika sändarpositioner, masthöjd och uteffekt i Norrland. Karta ©Lantmäteriet.



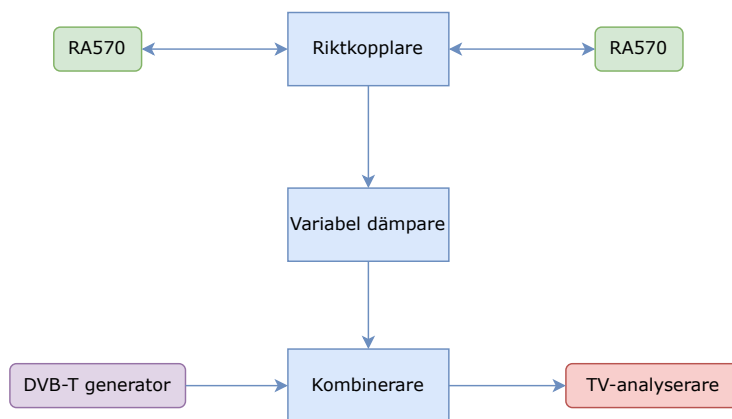
Figur 2.3: Exempel på täckningskartor för fyra olika frekvenser med olika sändarpositioner, masthöjd och uteffekt kring Arlanda i Uppland. Karta ©Lantmäteriet.

3 Påverkan på TV-mottagare

I detta avsnitt studeras hur ett taktiskt radiosystem påverkar mottagningen av en TV-signal. I arbetet antas att det taktiska radiosystemet använder en bandspridningsteknik i form av frekvenshopp. Detta gör att det taktiska radiosystemet kommer att emittera på flera olika frekvenser, dock en frekvens åtgången.

3.1 Påverkan från taktiskt radiosystem

Påverkan från ett frekvenshoppande taktiskt radiosystem på en TV-mottagare undersöks med praktiska försök i labbmiljö. Vid mätningarna används två Ra570 stationer som exempel på ett frekvenshoppande radiosystem. En TV-signal (DVB-T) skapas med en signalgenerator (R&S SMCV100B signal generator). Istället för att använda en kommersiell TV-mottagare används en TV-analysator (R&S ETL TV Analyzer). Ra570 sammankopplas med TV-signalen enligt figur 3.1. En ställbar dämpare används för att variera interferenseffekten från Ra570 in i TV-analysatorn. Hur Ra570 påverkas av TV-signalen är inte undersökt.



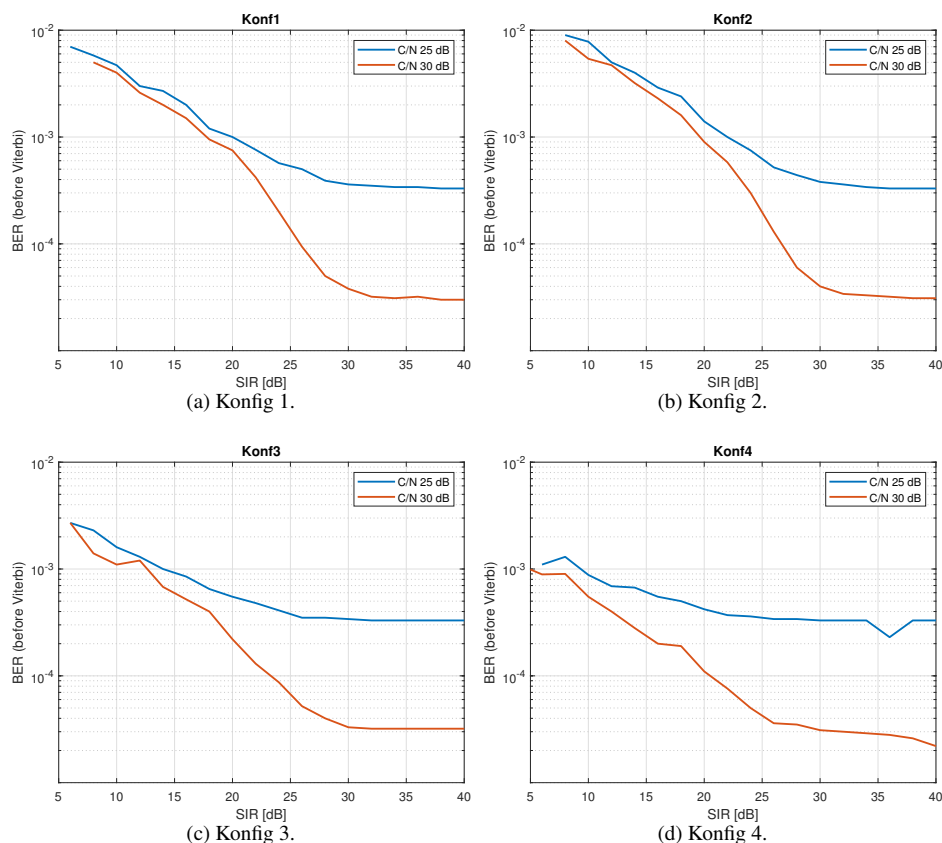
Figur 3.1: Schematisk bild över mätupställningen.

Signalgeneratoren genererar en TV-signal (64 QAM, FFT 8k, GI 1/8, kodtakt 2/3, 1/2, motsvarar inställningar som SVT-kanalerna sänds med) med centerfrekvensen 474 MHz. Signalen som skapas är en OFDM signal där 8k är en mode i DVB-T standarden som resulterar i att OFDM symbolen har 6817 underbärvågor där varje underbärvåg är modulerad med 64 QAM. Vardera OFDM symbol har ett guard intervall om 1/8 av symboltiden. Informationsbitarna är kodade med en yttre respektive inre kod med kodtakterna 2/3 och 1/2. Signal till brusförhållande (C/N) hos TV-signalen kontrolleras med signalgeneratoren. Fyra olika frekvenshopptabeller användes i Ra570, se tabell 3.1, för att undersöka hur frekvenshoppet påverkar mottagningen av TV-signalen. De olika frekvenshopptabellerna innebär olika sannolikhet att ett frekvenshopp är i frekvenskonflikt med TV-signalen och därmed potentiellt orsakar störningar.

Tabell 3.1: Fördelning av frekvenser vid mätning.

Konfig	UHF	TV	Varav interfererande	Sannolikhet för störning
1	10	20	8	27 %
2	10	8	8	44 %
3	10	1	1	9 %
4	29	1	1	3 %

I figur 3.2 visas uppmätt bitfelshalt (BER) före Viterbi-avkodningen uppmätta i TV-analysatorn. BER planar ut då signal-interferens förhållandet (SIR) är det samma som C/N, vilket är att förvänta.



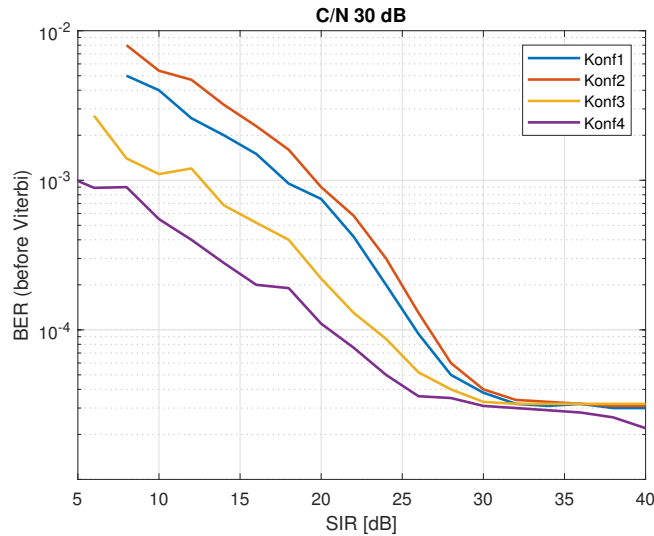
Figur 3.2: Uppmätt bitfelshalt före Viterbi-avkodningen.

En jämförelse av hur frekvenshoppstabellerna påverkar BER för samma C/N visas i figur 3.3. Lutningen för kurvorna i figur 3.3 beror på sannolikheten för att en störning sker av frekvenshoppet. Högst BER orsakar den frekvenshoppstabell som har störst sannolikhet för störning i enligt tabell 3.1. Bitfelshalten planar ut för alla frekvenshoppstabellerna vid SIR 30 dB. Detta innebär att det termiskabruset dominerar över störningen från det taktiska radiosystemet. För 10 dB SIR är BER för alla frekvenshoppstabellerna mindre än 10^{-2} . Enligt [11] är BER 10^{-4} efter Viterbi-avkodningen tillräckligt för mottagning av TV-signalen. Omräknat till BER före Viterbi-avkodning motsvarar det 2×10^{-2} [12], [13], [14]. Således klarar en TV-mottagare av en störning från ett frekvenshoppande taktiskt radiosystem som är 10 dB svagare än TV-signalen, givet att TV-signalen utan störning är tillräckligt stark för att tas emot korrekt och att sannolikheten för en frekvenskonflikt är mindre än 44%.

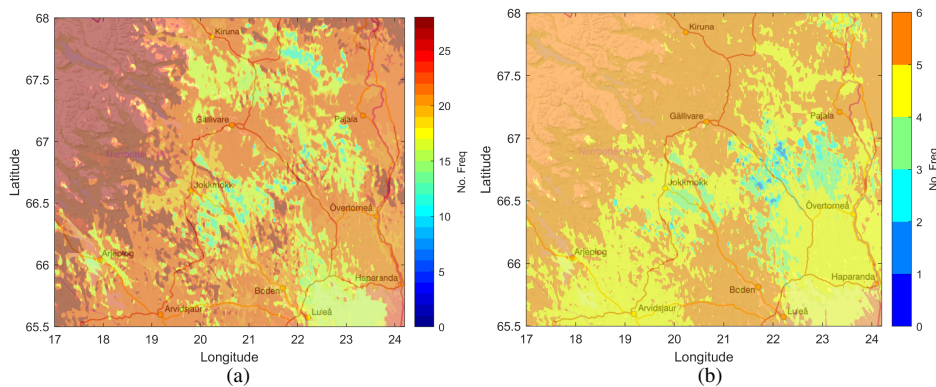
3.2 Antal tillgängliga TV-kanaler

Frekvensplaneringen av TV-sändarna är sådan att det kan finnas lediga frekvenser i lokala geografiska områden. En frekvens definieras som ledig utifrån mottagen signalnivå av TV-signalen där mottagning inte längre är möjlig, i denna rapport används -83 dBm (16 dB C/N) som gränsvärde. Utöver detta gränsvärde krävs ett ytterligare skyddsavstånd för att TV-mottagare som ligger på mottagningsgränsen inte ska påverkas av annan användning av TV-kanalen. Genom att summera lediga frekvenser, från respektive TV-kanal, över ett område erhålls antalet lediga TV-kanaler i varje punkt i kartan.

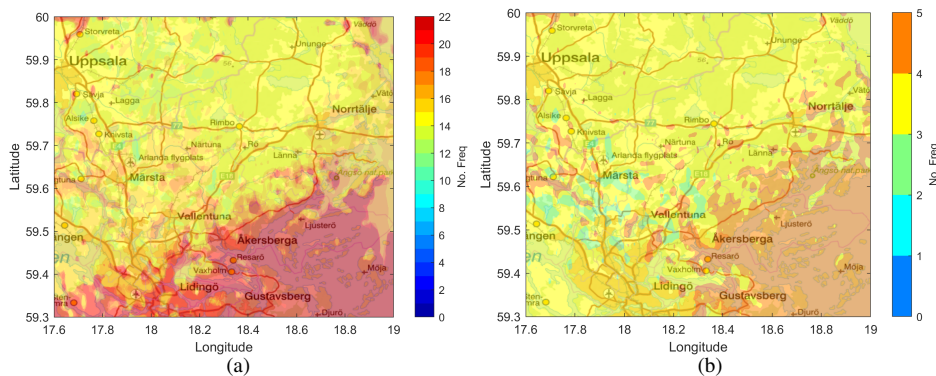
Figur 3.4 visar antalet tillgängliga TV-kanaler i norra Sverige som kan användas för taktiska radiosystem utan hänsyn till skyddsavstånd. I praktiken kommer frekvenserna vara färre och områdena mindre då ett skyddsavstånd införs. I Figur 3.4 visas totalt



Figur 3.3: Jämförelse av uppmätt bitfelshalt före Viterbi-avkodningen för de olika undersökta frekvenshoppstabellerna.



Figur 3.4: Antal TV-kanaler (8 MHz) som kan användas av taktiska radiosystem i norra Sverige, exklusive skyddsavstånd. I (a) hela frekvensområdet 470-690 MHz, i (b) 470-512 MHz. Karta ©Lantmäteriet.



Figur 3.5: Antal TV-kanaler (8 MHz) som kan användas för taktiska radiosystem i Uppland. I (a) hela frekvensområdet 470-690 MHz, i (b) 470-512 MHz. Karta ©Lantmäteriet.

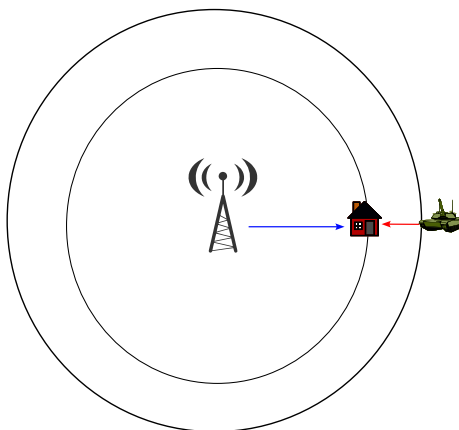
antal tillgängliga frekvenser. Det innebär att om exempelvis 18 kanaler är lediga så kan det inom detta område variera vilka 18 frekvenser som är lediga. Figur 3.4a visar antalet TV-kanaler för frekvensområdet 470-690 MHz medan 3.4b visar antalet TV-kanaler för frekvensområdet 470-512 MHz. Från figur 3.4a konstateras att det finns åtminstone

tio stycken lediga TV-kanaler över hela området, dvs. 80 stycken 1 MHz kanaler, i norra Sverige. Det är betydligt fler kanaler än vad som idag finns för bredbandig kommunikation. I praktiken blir det något färre än 80 kanaler när ett skyddsavstånd adderas för att skydda de TV-mottagare som är längst ifrån TV-sändarna.

Situationen kring Arlanda skiljer sig mot norra Sverige. I figur 3.5 visas antalet lediga frekvenser kring Arlanda, exklusive skyddsavstånd. Det ser ut att vara 10-14 tillgängliga frekvenser, men 10 av dessa är inte planerade för Stockholms- eller Uppsala län. Beräkningarna baseras bara på sändare i dessa två län. De tio ickeplanerade frekvenserna är planerade i angränsade län, exempelvis sändaren i Västerås använder sex av dessa tio frekvenser. Detta gör att figuren är väl optimistisk.

3.3 Skyddsavstånd

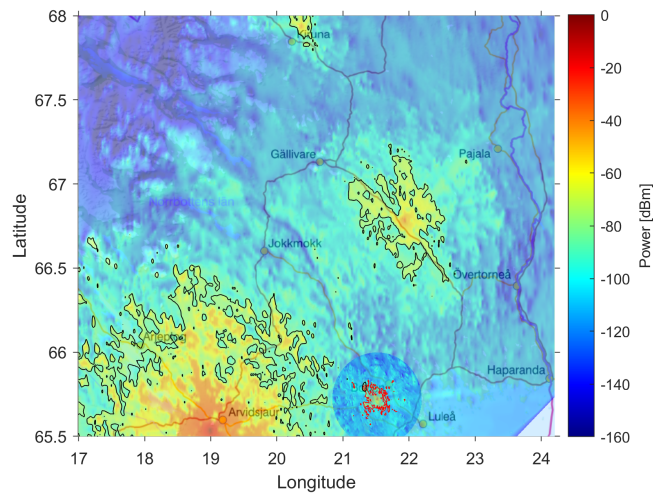
Genomförda mätningar visar att om radiosignalen från ett frekvenshoppande taktiskt radiosystem är 10 dB lägre än den mottagna effekten av TV-signalen så kommer TV-signalen tas emot korrekt. Med kravet om att den mottagna effekten för TV-signalen ska vara starkare än -83 dBm fås kravet att radiosignalen inte får vara starkare än -93 dBm vid TV-mottagaren. I figur 3.6 visas en skiss av principen för skyddsavståndet mellan ett fordon och en TV-mottagare i ett hus. Skyddsavståndet till huset illustreras med längden av den röda pilen. Om utbredningen av TV-signalen skulle vara helt symmetrisk så skulle TV-sändarens täckningsområde kring sändaren vara innanför en cirkel med en given radie, se den inre cirkeln i figur 3.6. Den yttre cirkeln i figur 3.6 är en gräns för hur nära TV-sändaren ett taktiskt radiosystem får komma utan att den störa någon möjlig mottagare. Skyddsavståndet till en TV-mottagaren resulterar således till en gräns (yttre cirkeln) för hur nära det taktiska radiosystemet får komma TV-sändaren. Detta eftersom TV-sändarnas positioner är kända medans TV-mottagarnas (som ska skyddas) positioner inte är kända i förväg.



Figur 3.6: Skyddsavstånd till TV-mottagare.

I figur 3.7 ges ett exempel där den svarta konturen visar att TV-signalen är -83 dBm och den röda konturen visar signalstyrkan -93 dBm från en radio placerad på övningsfältet i Boden med uteffekten 50 Watt. I exemplet går det att använda frekvensen 498 MHz i Boden utan att orsaka någon störning av TV-mottagarna.

Ett skyddsavstånd för TV-mottagare beror på ett flertal faktorer från det andra radiosystemet eller radiosystemen som exempelvis uteffekt, antenntyp, antennhöjd etc. Om det andra radiosystemet är ett taktiskt radiosystem med nät-funktionalitet kommer antal noder och hur de är grupperade också att inverka på skyddsavståndet. En studie om hur skyddsavstånd till TV-mottagarna ska utformas har inte utförts i detta arbete utan är något som bör studeras i fortsättningen.



Figur 3.7: Täckningskarta där -83 dBm är markerat med en svart kontur. Den röda konturen visar signalstyrkan -93 dBm från ett radiosystem med uteffekten 50 Watt. Karta ©Lantmäteriet.

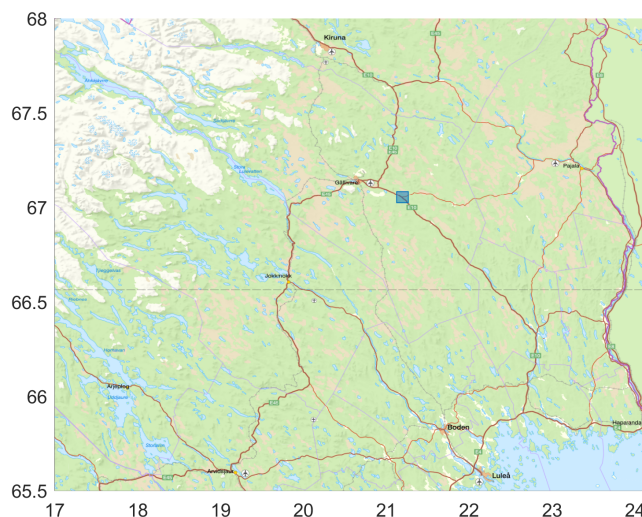
4 Påverkan på frekvenshoppande radiosystem

I detta avsnitt studeras påverkan från TV-sändarna på ett frekvenshoppande taktiskt radiosystem genom att analysera hur bitfelshalten för det taktiska radiosystemet påverkas av att använda frekvenser som samtidigt används för TV-sändningar. I studien analyseras både statisk användning av alla TV-frekvensband samt dynamisk användning, då enbart TV-frekvenser med tillräckligt låg mottagen interferenseffekt i varje position används.

4.1 Simuleringsmodell

Simuleringar har gjorts av ett frekvenshoppande radiokommunikationssystem som använder egna exklusivt tilldelade frekvenser samt TV-frekvenser. Modellen av det frekvenshoppande systemet är avsett att motsvara ett modernt taktiskt radiosystem. Systemet använder QPSK-modulation, felrättande kodning i form av en Turbokod med kodtakt $R \approx 1/3$ för varje frekvenshopp samt en Reed-Solomon-kod ($n=255, k=223, R=6/7$) över sju frekvenshopp. I simuleringarna antas att det finns 20 egna exklusivt tilldelade kanaler i frekvensbandet 225-400 MHz samt antingen fem eller 28 tillgängliga 8 MHz TV-kanaler. Radiosystemet hoppar slumpmässigt, enligt en likformig fördelning, på alla använda kanaler.

Mottagen effekt inom 1 MHz bandbredd från TV-sändare modelleras för varje 8 MHz TV-kanal enligt tabell 4.1. Interferenseffekten för varje kanal har beräknats som medelvärde, inom ett område begränsat av en kvadrat med ungefär 4 km sidlängd, av total mottagen effekt från alla TV-sändare. Det kvadratiska området är placerat i närheten av Leipojärvi, se figur 4.1, och används som exempel på mottagarposition för att visa konsekvenserna av olika frekvensval. Det frekvensberoende bakgrundsbruset är beräknat enligt ITU-R P.372-8.



Figur 4.1: Karta över det utvärderade exempelområdet i närheten av Leipojärvi (markerat med kvadrat). Karta ©Lantmäteriet.

4.2 Numeriska resultat

Följande avsnitt redovisar resultat av simuleringarna. De fem varianter på frekvensanvändning som utvärderas är att förutom att använda de 20 egna frekvenserna använda

- inga TV-kanaler (0 TV)

- alla fem TV-kanaler mellan 470-510 MHz (5 TV)
- selektiv användning av de fem TV-kanalerna mellan 470-510 MHz (4/5 TV)
- alla 28 TV-kanaler mellan 470-694 MHz (28 TV)
- selektiv användning av de 28 TV-kanalerna mellan 470-694 MHz (22/28 TV).

Vid selektiv användning av TV-frekvenser nyttjas enbart de frekvenser med mottagen interferenseffekt som är lägre än 10 dB över bakgrundsbrusets effekt. Gränsen är vald som ett exempel för att påvisa hur bitfelsprestanda kan förbättras genom att välja bort de sämsta kanalerna. Hur gränsen ska väljas för att uppnå bästa prestanda i ett givet scenario för både det frekvenshoppande systemet och för TV-mottagarna bör studeras vidare. Notera att denna tröskel är oberoende av det skyddsavstånd som krävs för att skydda TV-mottagare och de frekvenser som är användbara inom ett område beror på båda dessa krav. det utvärderade exemplet har TV-kanalerna med centerfrekvenserna 482, 530, 570, 626, 650 och 674 MHz för hög mottagen interferenseffekt (se 4.1). Detta innebär att fyra av de fem TV-kanalerna upp till 510 MHz samt 22 av de 28 TV-kanalerna upp till 694 MHz används vid selektivt frekvensval i detta exempel. Frekvensanvändningen för de fem utvärderade varianterna av frekvensanvändning visas sammanfattad i Tabell 4.2.

Figur 4.2 visar bitfelshalt som funktion av mottagen effekt på nyttsignalen, för en frekvenshoppande radiomottagare placerad i det kvadratiska området i figur 4.1. För

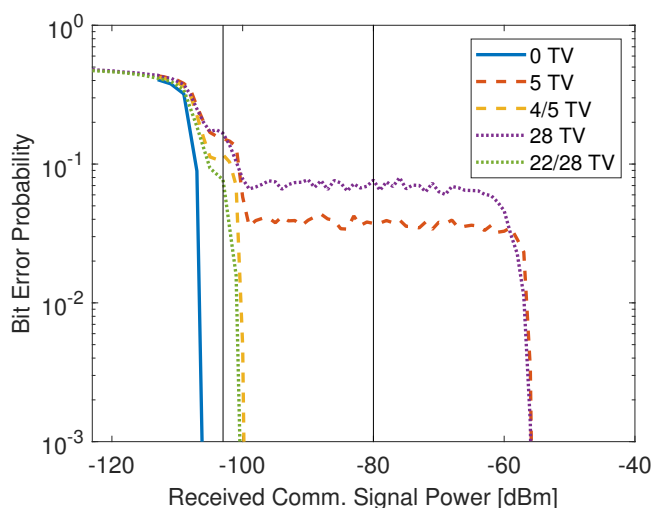
Tabell 4.1: Ackumulerad mottagen interferenseffekt (I) och bruseffekt (N) med 1 MHz bandbredd för varje TV-kanal.

Centerfrekvens [MHz]	I [dBm]	N [dBm]
225-400	—	-103
474	-108	-103
482	-52	-103
490	-97	-103
498	-97	-103
506	—	-103
514	-108	-103
522	-108	-103
530	-52	-103
538	-108	-103
546	—	-103
554	-98	-103
562	-98	-104
570	-53	-104
578	-99	-104
586	-108	-104
594	-124	-104
602	-99	-104
610	-125	-104
618	-110	-104
626	-56	-104
634	-127	-104
642	-109	-104
650	-54	-104
658	-109	-104
666	-111	-104
674	-56	-104
682	-105	-105
690	-112	-105

Tabell 4.2: Utvärderade varianter av frekvensanvändning.

	0 TV	5 TV	4/5 TV	28 TV	22/28 TV
Tillg. TV-kanaler	0	5	5	28	28
Anv. TV-kanaler	0	5	4	28	22
Egna kanaler	20	20	20	20	20
Anv. 1 MHz-kanaler	20	60	52	244	196
Störbandbredd [MHz]	20	60	60	244	244

de varianter (5 TV och 28 TV) som använder samtliga TV-kanaler inom det möjliga frekvensbandet skapas en plåtå av bitfelshalten vid relativt hög bitfelshalt. Detta beror på att de TV-kanaler som används av den närmaste TV-sändaren har avsevärt högre, ca 50 – 70 dB, interferenseffekt än övriga TV-kanaler. På dessa kanaler är interferensen så kraftig att turbokoden inte kan rätta fel. I ett intervall av ungefär motsvarande storlek för effekten på nyttsignalen kommer därför varje frekvenshopp på en sådan frekvens med hög interferens att generera fel, medan frekvenshopp på frekvenser med låg interferenseffekt tas emot felfritt. Felhalten i detta intervall motsvaras därför av andelen använda frekvenser med hög interferenseffekt relativt det totala antalet använda frekvenser. Genom att välja bort dessa dåliga TV-kanaler erhålls bättre prestanda som närmar sig den som enbart använder de egna ostörda frekvenserna.



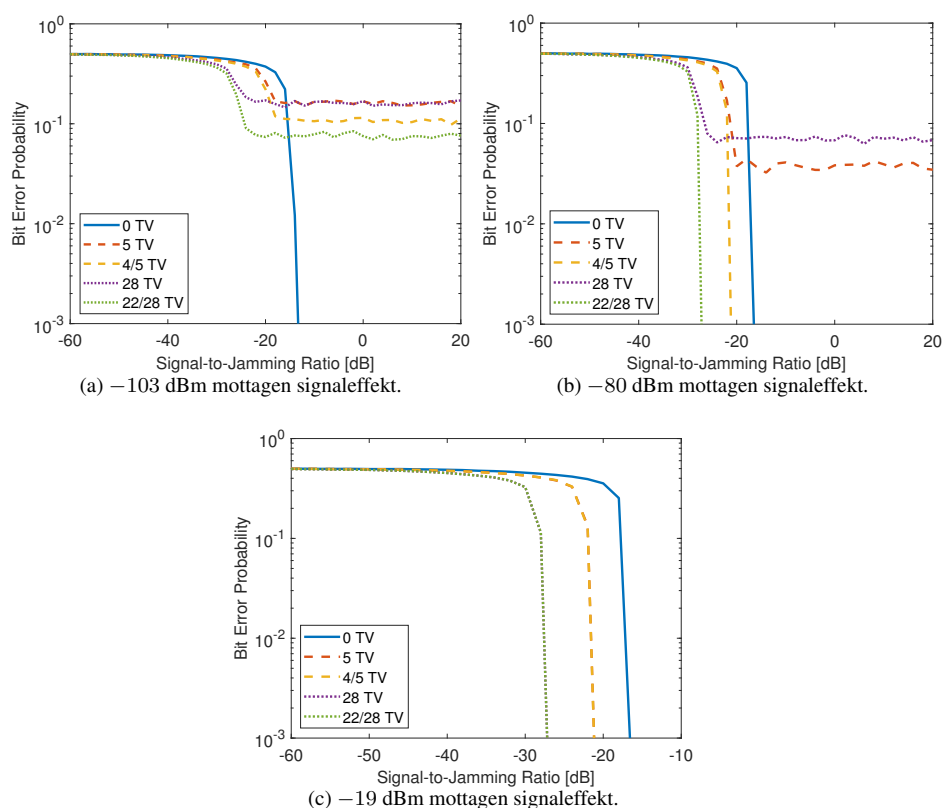
Figur 4.2: Bitfelshalt för frekvenshoppande radio med opportunistisk användning av TV-band för ett exempel i området kring Leipojärvi.

Figur 4.3 visar resultat när radiosystemet utsätts för bredbandsstörning. Bredbandsstöraren antas känna till det frekvenshoppande radiosystemets 20 exklusivt tilldelade frekvenser samt om systemet kan använda TV-kanaler från 470 MHz upp till 510 MHz eller upp till 694 MHz. Den totala bandbredd som störaren sänder effekt på är därför 20, 60 eller 244 MHz enligt Tabell 4.2. Den bredbandiga störningen antas sända med lika effekt på alla störda 1 MHz-kanaler. Figur 4.3 visar bitfelshalt som funktion av signal-till-stör-effektskvot (S/J) för tre olika nivåer av mottagen nyttsignaleffekt, -103 dBm i Figur 4.3a, -80 dBm i Figur 4.3b och -19 dBm i Figur 4.3c. J är den störarsignalens totala effekten fördelad över olika stor bandbredd för de olika systemalternativen. Dessa nivåer av nyttsignaleffekt visas också med vertikala linjer i Figur 4.2.

Vid höga S/J konvergerar bitfelshalten mot den prestanda som uppnås av respektive frekvensalternativ i Figur 4.2 vid motsvarande mottagen nyttsignaleffekt. Vid -103 dBm mottagen nyttsignaleffekt i Figur 4.3a innebär detta att all opportunistisk frekvensanvändning når en plåtå vid relativt höga bitfelshalter. Detta sker eftersom prestanda vid denna låga mottagna nyttsignaleffekt redan utan störning har dålig prestanda.

Vid -80 dBm mottagen nyttsignaleffekt i Figur 4.3b uppstår en plattå på relativt hög bitfelshalt för de alternativ som använder alla TV-kanaler utan selektivitet. Denna nyttsignaleffekt befinner sig i det intervall där andelen TV-kanaler med mycket hög interferenseffekt begränsar felhalten. I detta intervall är vinsten med selektiv användning av TV-frekvenserna tydlig jämfört med att använda alla TV-kanaler.

I Figur 4.3c med -19 dBm mottagen nyttsignaleffekt når alla frekvensval låg bitfelshalt oavsett om TV-kanalerna används selektivt eller ej. Detta beror på att nyttsignaleffekten är så hög att alla frekvenser har högt SNR och ger låg bitfelshalt. Förskjutningen mellan kurvorna, dvs. det ökade störskyddet mot en bredbandsstörare, beror på processvinsten tack vare den större utnyttjade bandbredden. Det innebär alltså att störaren tvingas sprida sin effekt över en större bandbredd. Sådana vinster kan även ses i Figur 4.3a och Figur 4.3b, men då erhålls vinsten enbart inom ett mindre intervall p.g.a. att prestanda begränsas av interferens med TV-signalerna. I detta exempel kan det frekvenshoppande systemet som utnyttjar TV-kanaler tåla ca 4-10 dB högre total störningseffekt från en bredbandsstörare än ett system som enbart använder de egna unikt tilldelade frekvenserna. Detta motsvarar processvinsten av att utnyttja 52-244 MHz istället för 20 MHz total bandbredd.



Figur 4.3: Bitfelshalt för frekvenshoppande radio med opportunistisk användning av TV-band, utsatt för bredbandsstörning, för tre olika nivåer av mottagen signaleffekt.

4.3 Sammanfattning

Detta avsnitt har visat exempel på hur bitfelshalten påverkas av att använda TV-kanaler utöver de redan tillgängliga exklusivt tilldelade frekvenserna. Att bitfelshalten blir aningen sämre av att utnyttja frekvenser som används av ett annat interfererande system är naturligt. Det är dock viktigt att poängtera att det finns stora vinster med att använda denna större bandbredd för att allokera fler radionät och ge ökat störskydd. Det är också tydligt att det är nödvändigt att allokera de opportunistiskt använda TV-

kanalerna dynamiskt i ett taktiskt radiosystem. Anledningen till detta är för att mobilitet överhuvudtaget ska vara möjligt samt för att förbättra prestanda i det taktiska radiosystemet genom att undvika frekvenser som påverkas av kraftig interferens. I denna rapport studerades enbart enkla val av frekvenser för att påvisa potentialen i att utöka bandbredden genom opportunistisk frekvensanvändning. Hur detta dynamiska val av frekvenser ska göras på bästa sätt bör studeras vidare.

5 Realiserbarhet

För att kunna utnyttja frekvenser inom TV-bandet, 470-694 MHz, bör radion täcka hela frekvensområdet både i mottagning och sändning. Radion måste med all sannolikhet behöva kunna frekvenshoppa med medel till hög hopptakt samt att frekvenstabellen måste smidigt kunna ställas om, troligen via radionätet. Dessutom underlättar det om radion har sådan modulation och kodning att den hanterar måttliga signalnivåer från TV-sändare och andra källor i frekvensområdet utan alltför hög bitfelshalt.

Försvarsmakten har idag ett flertal radiosystem som kan använda frekvenser i andra frekvensområden än vad som idag används. Nedan görs en sammanställning av olika radiosystem och hur lämpliga de kan vara för användning inom TV-bandet. Enligt uppgift från tillverkaren kan Ra570 frekvenshoppa i frekvensområdena 30-512 MHz och 1000-1800 MHz. Frekvensområdet 512-1000 MHz kan inte hanteras. I nuvarande utförande kan radions frekvenstabell inte omprogrammeras i den utsträckning som är nödvändigt för att opportunistiskt använda TV-frekvenser i ett mobilt scenario. Dock är radion så modern att det kan tänkas vara möjligt att införa denna funktion i en senare version. Om så verkligen är fallet eller till vilken kostnad har inte undersökts.

Ra1570 har ett frekvensområde på 350-450 MHz opererar endast i fix-frekvensmod vilket gör den mindre lämplig att använda i detta syfte. Dessutom ligger radions frekvensområde under TV-bandet vilket ytterligare minskar användbarheten. Detta gör att denna radio inte är aktuell att användas.

Radion från R&S (M3SR), Ra734x, finns i flera varianter och har ett frekvensområde om 100-512 MHz. Ra734x är av typen mjukvaruradio och kan frekvenshoppa med relativt hög hopptakt. Frekvensmässigt täcker den en del av det studerade TV-bandet samt kan frekvenshoppa med relativt hög hopptakt. Bedömningen är dock att radions frekvenstabell inte kan omprogrammeras i den utsträckning som är nödvändigt för att opportunistiskt använda TV-frekvenser i ett mobilt scenario.

Frekvensområdet för Ra1550/1551 är 30-512 MHz och radion frekvenshoppar. Bedömningen är att radions frekvenstabell inte kan omprogrammeras i den utsträckning som är nödvändig i ett mobilt scenario.

Efter en genomgång av troliga radiosystem som skulle kunna använda frekvenser inom frekvensområdet 470-694 MHz går det att konstatera att Ra570, Ra734x samt Ra1550/1551 klarar det frekvensmässigt upptill 512 MHz. Men ingen av dessa radiosystem klara idag av att byta frekvenshoppstabell tillräckligt dynamiskt för att använda dessa frekvenser opportunistiskt i mobila scenarion. Det är möjligt att det går att finna lokala områden där frekvenser mellan 470 MHz och 512 MHz kan användas i något enstaka fall.

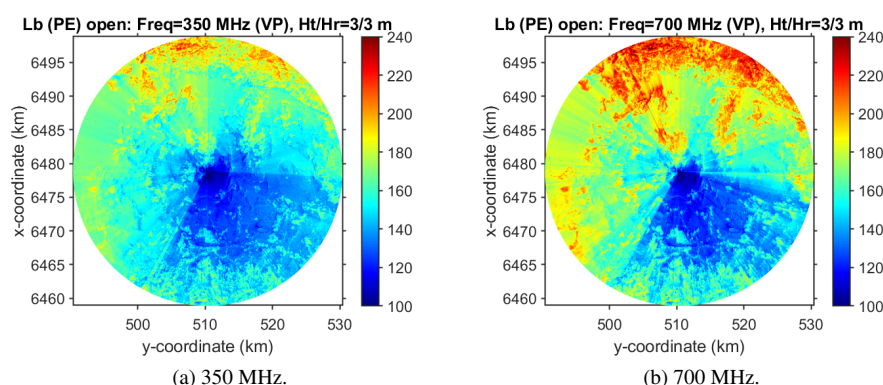
5.1 Antenner

Till exempelvis Ra570 används en dual-band antenn från Comrod (VHF30450DB) som klarar 30-88 MHz samt 225-450 MHz. Från samma tillverkare finns antennen VHF30512DB (längd 1,53 m) har frekvensområdena 30-88 MHz samt 225-512 MHz med likvärdig antennvinst som dagens (VHF30450DB) dual-band antenn.

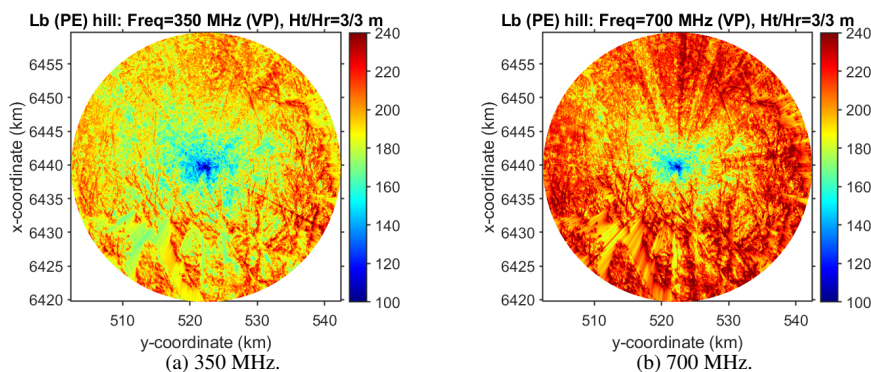
Det finns ytterligare en antennen VHF302000DB-2 från Comrod med obetydlig ökning i längd (från 1,57 m till 1,63 m). Antennen har två frekvensområden 30-512 MHz och 225-2000 MHz där det övre frekvensområdet har bra antennvinst men där det lägre frekvensområdet (särskilt delen 30-88 MHz) har sämre antennvinst än dagens (VHF30450DB) dual-band antenn. Därmed är denna (VHF302000DB-2) antenn mindre lämpad för detta sammanhang. Det finns även andra antenner från Comrod som elektriskt skulle vara användbara men dessa är betydligt längre (2,4-2,9 m) vilket talar för att de är mindre lämpliga för fordonsbruk. Sammantaget innebär detta att det finns antenner som klarar upp till 512 MHz och som har likvärdiga prestanda i övrigt som dagens dual-band antenn. För frekvenser över 512 MHz finns det fungerande antenner från Comrod men dessa tycks ge sämre prestanda i området 30-88 MHz.

5.2 Räckviddsjämförelse

Generellt så ökar transmissionsförlusterna med ökande frekvens, exempelvis blir dämpningen större från skog och byggnader för högre frekvenser. Användning av frekvenser i TV-bandet 470-694 MHz innebär en ökning i frekvens mot dagens bredbandiga kanaler som nyttjar frekvenser kring 350 MHz. Beräkningar av transmissionsförlusterna utförs med vågutbredningsmodellen Detvag90, med delmodell PE Split Step, för två områden i Östergötland. Område 1 är på Östgötaslätten med enstaka kullar och mindre områden av vegetation. Område 2 är beläget i södra Östergötland och är betydligt mer kuperat och med stort inslag av skog. Beräkningarna genomförs för 350 samt 700 MHz och med Detvag90:s delmodell PE Split Step. I figur 5.1 och 5.2 visas transmissionsförlusterna för område 1 respektive 2. Transmissionsförlusten beräknas från en sändare på 3 meters höjd över marken ut till en tänkt mottagare på höjden 3 meter över marken. Ingen hänsyn tas till antennvinst i något fall. Beräkningarna utförs kring sändaren ut till en radie om maximalt 20 km.



Figur 5.1: Transmissionsförlust på Östgötaslätten.



Figur 5.2: Transmissionsförlust i Kisatrakten.

Antag att ett radiosystem för UHF-bandet klarar av att överföra information för transmissionsförluster mindre än 140 dB. För område 1, figur 5.1, innebär det att kommunikationsavståndet marginellt påverkas om bärvågsfrekvensen ändras från 350 MHz till 700 MHz. Sändaren i figur 5.1 är placerad i en skogskant med öppen åkermark i sydostlig riktning, vad som framgår är att transmissionsförlusten ökar markant för skogen (nord och nordvästlig riktning). I område 2 som är kuperat och i skog, figur 5.2, ökar transmissionsförlusten markant om bärvågsfrekvensen går från 350 MHz till 700 MHz. Den ökade transmissionsförlusten gör att kommunikationsavståndet på 700 MHz för det antagna UHF-radiosystemet reduceras till ungefär en tredjedel av kommunikationsavståndet för 350 MHz.

Beräkningarna av transmissionsförluster visar att kommunikationsräckvidden minskar om frekvensen ökar från 350 MHz upp till frekvenser i det undersökta TV-bandet.

Störst påverkan och minskning av kommunikationsräckvidden sker då radiovågorna måste propagera genom skog. Påverkan är mindre över öppen åkermark.

5.3 Implementation

Opportunistic användning av TV-kanaler kräver, förutom att radiosystem och antenner kan hantera dessa frekvenser, information om vilka TV-kanaler som anses lediga vid olika geografiska positioner. En databas över lediga TV-kanaler kan skapas utifrån information om TV-sändarna (position, uteffekt, masthöjd, antennegenskaper, frekvenser etc.) i Sverige. Information om grannländernas TV-sändare behöver också inkluderas i en sådan databas. Detta för att det ska gå att använda TV-kanaler även i gränsområden. Databasen behöver sedan sammankopplas med olika förbands positioner. Utifrån ett förbands position och gruppering över ytan kan sökningar i databasen utföras för att få reda på vilka TV-kanaler som kan nyttjas av de taktiska radiosystemen.

En databas över var varje TV-kanal är ledig och kan användas av en annan användare är ingen ny företeelse utan det tillåts redan i exempelvis USA [15]. Där tillåts s.k. *white space devices* använda TV-kanaler där det är möjligt. Även trådlösa mikrofoner tillåts utnyttja samma spektrum som används för TV-sändningar. I Sverige finns en databas¹ över TV-kanaler som är lediga och får användas för trådlös ljudöverföring. För att få använda dessa TV-kanaler krävs tillstånd samt att uteffekten begränsas till 50 mW.

¹<https://wirelessaudio.pts.se/>

6 Slutsatser

Inom frekvensområdet 380-694 MHz finns i huvudsak fyra kategorier av sändningstillstånd: TETRA, landmobil radio, meteorologi och marksänd TV. Sändningstillstånd för marksänd TV är den kategori som bedöms mest lämplig att studera för opportunistisk användning, medan övriga inte bedöms vara lämpliga. Marksänd TV upptar den största andelen inom frekvensområdet 380-694 MHz. TV-sändarna har bestämda platser och respektive sändares mästhöjd och utstrålad uteffekt är känd. Detta gör det möjligt att beräkna områden för var och en av TV-kanalerna som går att använda av ett taktiskt radiosystem.

Beräkningar av möjliga områden där TV-kanalerna kan användas opportunistiskt visar på att det finns åtminstone tio TV-kanaler, om 8 MHz vardera, tillgängliga om inget skyddsavstånd används i norra Sverige. För att realisera opportunistisk användning av TV-kanaler måste ett skyddsavstånd adderas för inte störa en TV-mottagare vid räckviddsgränsen för systemet. Skyddsavståndet kommer att göra områdena mindre och därmed reducera antalet tillgängliga TV-kanaler i varje given position. Bedömningen är att det kommer att finnas åtminstone fem 8 MHz kanaler tillgängliga i norra Sverige även med ett skyddsavstånd. Detta innebär tillgång till ytterligare 40 bredbandiga kanaler för ett taktiskt radiosystem.

För att utnyttja dessa ytterligare kanaler opportunistiskt i ett mobilt taktiskt radiosystem krävs dynamisk allokering av frekvenserna. Detta är nödvändigt både för att skydda TV-mottagarna, men också för att erhålla önskad prestanda i det taktiska radiosystemet. Inom varje geografiskt område måste de TV-kanaler identifieras som ger alltför hög interferens från TV-sändare. Dessa kanaler kan inte användas av det taktiska radiosystemet eftersom de ger alltför stor försämring av prestanda.

Att utnyttja TV-kanaler opportunistiskt ger tillgång till större bandbredd och därmed ökad systemkapacitet och möjlighet att allokera fler radionät. Om frekvensvalet görs på ett bra sätt ger den extra bandbredden också ett ökat störskydd genom den processvinst som erhålls av en större bandbredd. Det utvärderade exemplet visar att ett frekvenshoppande system som utnyttjar TV-kanaler kan tåla ca 4-10 dB högre total störningseffekt från en bredbandsstörare än ett system som enbart använder de egna unikt tilldelade frekvenserna.

Idag har Försvarsmakten inga taktiska radiosystem som kan nyttja frekvenser i frekvensområdet 470-694 MHz. Det finns radiosystem som kan använda frekvenser upp till 512 MHz, men befintliga antenner fungerar bara upp till 450 MHz. Räckvidden förkortas dessutom om frekvensen ändras från 350 MHz till 700 MHz, vilket påverkar hur förbandet kan uppträda om sambandet ska upprätthållas.

7 Fortsatt arbete

Den genomförda analysen av möjligheten till att använda TV-frekvenser för taktisk radio har i huvudsak baserats på exempel i norra Sverige. Motsvarande analys som har gjorts för norra Sverige behöver utföras för hela Sverige. För att genomföra det behövs information från Teracom om samtliga sändare i Sverige. Vid beräkning av täckningskartor behöver även TV-sändare från grannländerna beaktas, då det kommer att påverka resultaten längs med Sveriges gränser. Även eventuella sidband för TV-kanalerna skulle kunna påverka antalet tillgängliga frekvenser. Speciellt eftersom de kan vara starka i förhållande till den signal som ska tas emot. På motsvarande sätt kan Försvarsmaktens radiosystem påverka känsliga TV-mottagare.

Metoder för att beräkna skyddsavstånd för att skydda TV-mottagarna mot störningar, från det taktiska radiosystem som påverkar mottagningen, behöver utvecklas. Onödigt stora skyddsavstånd gör att frekvensspektrum förblir oanvänt. Skyddsavståndet beror på systemparametrar för det taktiska radiosystemet. Det är exempelvis uteffekt, antennvinst och frekvenshoppstabell som påverkar sannolikheten för störning. Vidare kommer terrängen att påverka utbredning från det taktiska radiosystemet.

Användning av ett taktisk radiosystem innebär att varje nod (radiosändtagare) i det taktiska radiosystemet förflyttas utifrån ett taktiskt scenario. Mobiliteten hos radiosystemet behöver studeras för att kunna svara på hur ofta radiosystemets frekvenstabell, innehållande olika TV-frekvenser, behöver uppdateras. En sådan studie kan också svara på om hela nätet kan ha samma frekvenstabeller eller om det blir lokala skillnader i frekvenstabellerna på grund av olika avstånd till TV-sändarna.

Att byta frekvenshoppstabell i ett radionät kräver att mer kontrollinformation skickas. Snabbare byte av frekvenshoppstabell ger ökat behov av kontrollinformation, och därmed minskat utrymme för att skicka nyttoinformation. Samtidigt ökar spektrumutnyttjandet genom att snabbare byta frekvenshoppstabell, speciellt vid hög mobilitet i nätet, vilket ger möjlighet till ökad kapacitet. Detta är en kompromiss som bör studeras. Den prestandaförsämring som interferensen på TV-kanalerna ger i det taktiska radiosystemet beror på hur dessa ytterligare kanaler utnyttjas. Metoder för hur TV-kanalerna kan utnyttjas opportunistiskt på bästa sätt samt analyser av prestanda för dessa metoder kräver vidare studier.

Om det går att göra frekvensplaneringen annorlunda för TV-nätet som skapar än bättre förutsättningar för att dela spektrumet med taktiska radiosystem är också möjligt att studera. Bättre förutsättningar för spektrumdelning kan öka spektrumutnyttjandet och effektivisera det på nationell nivå inom detta frekvensområde.

Referenser

- [1] A. Goldsmith, S. A. Jafar, I. Maric och S. Srinivasa, "Breaking spectrum gridlock with cognitive radios: An information theoretic perspective," *Proc. IEEE*, vol. 97, nr. 5, s. 894–914, 2009.
- [2] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, s. 201–220, febr. 2005.
- [3] I. J. Mitola, "Software radios: Survey, critical evaluation and future directions," *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 8, s. 25–36, april 1993.
- [4] E. Axell, E. G. Larsson och D. Danev, "Capacity considerations for uncoordinated communication in geographical spectrum holes," *Physical Communication*, vol. 2, nr. 1-2, s. 3–9, 2009.
- [5] Post- och telestyrelsen, "Post- och telestyrelsens allmänna råd (PTSFS 2019:1) om den svenska frekvensplanen," 2019.
- [6] CEPT ECC, "ERC Recommendation 70-03 Relating to the use of Short Range Devices (SDR)," 2019.
- [7] MATLAB, *9.12.0.1884302 (R2022a)*. Natick, Massachusetts: The Math-Works Inc., 2022.
- [8] G. A. Hufford, A. G. Longley och W. A. Kissick, "A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode," NTIA Report 82-100, National Telecommunications and Information Administration, 1982.
- [9] J. J. Danielson och D. B. Gesch, "Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010)," U.S. Geological Survey, 2011.
- [10] International Telecommunications Union, "Frequency and network planning aspects of DVB-T2," ITU-R BT.2254-5, 2021.
- [11] —, "DVB-T coverage measurements and verification of planning criteria," ITU-R SM.1875-3, 2019.
- [12] ROVER Instruments, "Understanding digital TV," 2013.
- [13] M. Trezise, "Understanding the measures of signal quality in dvb systems," *1997 International Broadcasting Convention IBS 97*, 1997, s. 488–492.
- [14] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVBSystems," ETSI TR 101 290 V1.4.1 (2020-06), 2020.
- [15] Federal Communications Commission (FCC), "Unlicensed Use of TV Band and 600 MHz Band Spectrum," <https://www.federalregister.gov/documents/2015/11/23/2015-29496/unlicensed-use-of-tv-band-and-600-mhz-band-spectrum>, 2015.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se