



Underlag för kravställning

Störningsmiljöns påverkan på radiosystem

KARINA FORS, ÅSA WAERN, ARWID KOMULAINEN

Karina Fors, Åsa Waern, Arwid Komulainen

Underlag för kravställning

Störningsmiljöns påverkan på radiosystem

Titel	Underlag för kravställning – Störningsmiljöns påverkan på radiosystem
Title	Basis for requirement specifications – Environmental interference effects on radio systems
Rapportnr/Report no	FOI-R--4071--SE
Månad/Month	mars
Utgivningsår/Year	2015
Antal sidor/Pages	27 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FMV
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E324213
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	IAS

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Denna rapport redovisar en vidareutveckling av projektet *Underlag för kravställning* som genomfördes på uppdrag av FMV under 2013. I det arbetet analyserades hur störningar, lokalt alstrade på en plattform där radioutrustning finns monterad, påverkar en radiomottagares upplevda brusmiljö i form av en brusfaktor, [1]. I denna rapport undersöks hur räckvidden påverkas när mottagaren utsätts för varierande nivåer av störningar från på plattformen samlokaliserade elektriska utrustningar tillsammans med störningar från aktuell bakgrundsmiljö.

Räckviddsberäkningarna har gjorts med hjälp av en länkbudget för två fall, utan och med de störningar vars effekt på räckvidden vi vill studera. Rimligt är att anta att den maximala räckvidden beräknas för fallet då vi tar hänsyn till alla störningar vars nivåer vi inte lätt kan påverka. Däribland bör vi inkludera störningar från bakgrundsmiljön och mottagarens interna brusnivå. Nivåerna på dessa störningar kan i princip påverkas t.ex. genom att använda en mer känslig radiomottagare vilken har ett lägre mottagarbrus eller genom att förflytta plattformen till annan bakgrundsmiljö.

Prestandan hos ett radiosystem kan vara svår att prediktera eftersom störningar som alstras på plattformen kan få en betydande påverkan på radiosystemets förmåga. Rapporten visar exempel på resultat om plattformsstörningarna antas komma från samlokaliserade elektriska utrustningar. Dessa antas bestå av tre datorer vilka strålar i nivå med tillåtna nivåer enligt MIL-STD-461F, RE 102 eller i nivå med ett värsta fall som har tagits fram från ett antal uppmätta datorer.

I fallet då tre COTS-datorer är samlokaliserade med aktuell radioutrustning på plattform strf9040 orsakar dessa en räckviddsminskning. Om dessa, på frekvensen 49 MHz, strålar emissionsnivåer i nivå med:

- RE 102: leder det till en räckviddsminskning på 12 %.
- Utvalda högsta emissionsnivåer från ett antal uppmätta datorer leder till en räckviddsminskning på 38 %.

Rapporten avslutas med några radionätssimuleringar som visar hur paketförlusten ökar då vi inkluderar effekter från bakgrundsmiljön och plattformsstörningar. Resultatet visar att det vid kravställning av elektrisk utrustning är viktigt att krävställa hela systemet. För radiosystem innebär det hela kedjan från radion, kablage till antenn.

Nyckelord:

Brusfaktor, radio, räckvidd, bakgrundsmiljö, plattformsbuss

Summary

This report presents a further work of the project *Basis for requirements specification* which took place in 2013. In that work we analyzed how disturbances, locally generated on a platform where the radio equipment is installed, affecting a radio receiver up-lived noise environment in the form of a noise factor [1]. This report examines how the radio range is affected when the receiver is exposed to varying levels of interference from, on the platform collocated electrical equipment along with interference from the background environment.

The range calculations have been made using a link budget for two cases; with and without the interference whose effect on the range we want to study. It is reasonable to assume that the maximum range is calculated for the case when we take into account all disturbances whose levels we cannot easily control. Among them we must include interference from background environment and the receiver's noise level. The levels of these disorders can in principle be affected eg by using a more sensitive radio receiver which has a lower receiver noise or move the platform to other background environments.

The performance of a radio system can be difficult to predict because the interference generated on the platform may have a significant impact on the radio system capacity. The report shows examples of the results if the platform interference is assumed to come from co-located electrical equipment. These are assumed to consist of three computers which radiate according with the levels permitted under the MIL-STD-461F, RE102 or on par with a worst-case scenario that has been produced from a number of measured computers.

In the case where three COTS computers are co-located with the current radio equipment on the platform strf9040 causes these a range reduction. If these, on the frequency of 49 MHz, rays emission levels on par with:

- RE 102: it leads to a range reduction of 12%.
- Selected highest emission levels from a number of measured computers leads to a range reduction of 38%.

The report concludes with some radio network simulations that show how packet loss increases when we include the effects of background environment and platform disorders. The result shows that when determining requirements of electrical equipment it is important to set the requirements for the entire system. For radio, it means everything from the radio to the cabling and the antenna.

Keywords:

Noise Factor, radio, radio range, background environment, platform-noise

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Andelen räckvidd för en mottagare	8
2.1	Länkbudget	8
2.2	Modell för transmissionsförlust	8
2.3	Maximal räckvidd	9
2.4	Möjlig räckvidd	10
2.5	Andelen räckvidd	10
3	En mottagares störningsmiljö	11
3.1	Bakgrundsmiljön.....	11
3.2	Exempel på EMI-källor på en plattform.....	11
3.3	Den totala störningsmiljön.....	12
4	Andelen räckvidd på en länk	14
4.1	Beroendet av utbredningsdämpningen.....	14
4.2	Andelen räckvidd för olika fall	14
4.3	Påverkan från COTS.....	17
4.4	Påverkan från en SNR-ändring.....	18
5	Störningspåverkan på ett radionät	20
5.1	Den totala systembrusfaktorn i nätsimuleringar.....	20
5.2	Resultat från nätsimulering	20
6	Slutsatser och diskussion	24
6.1	Sammanfattning räckvidd	24
6.2	Sammanfattning för radionät.....	24
6.3	Förslag på fortsatt arbete.....	24
7	Använda förkortningar och begrepp	26
8	Referenser	27

1 Inledning

I ett tidigare arbete analyserades hur störningar, lokalt alstrade på en plattform där radioutrustning finns monterad, påverkar en radiomottagares upplevda brusmiljö i form av en brusfaktor, [1]. Mottagarens förhöjda störningsnivå kan påverka radiosambandet t.ex. genom att räckvidden minskas. I det här arbetet undersöks därför hur radoräckvidden påverkas när mottagaren utsätts för varierande nivåer av störningar från på plattformen samlokaliserade elektriska utrustningar tillsammans med störningar från aktuell bakgrundsmiljö.

En förutsättning för räckviddsberäkningarna är att för ett givet signalbrusförhållande, SNR, göra en länkbudget. Länkbudgetberäkningen utförs för två fall, utan och med de störningar vars effekt på räckvidden vi vill studera. I länkbudgetsberäkningen är det viktigt att en lämplig modell för utbredningsdämpningen av den utsända signalen används. I det här arbetet används den modell som togs fram i projektet FMV FoT Underlag för kravställning 2013, [1].

Som en del av det här arbetet belyses hur resultatet av andelen räckvidd påverkas för vilka störningar som den maximala räckvidden beräknas. Rimligt är att anta att den maximala räckvidden beräknas för fallet då vi tar hänsyn till alla störningar vars nivåer vi inte lätt kan påverka. Däribland bör vi inkludera störningar från den allmänna bakgrundsmiljön och mottagarens interna brusnivå. Nivåerna på dessa störningar kan i princip påverkas t.ex. genom att använda en mer känslig radiomottagare vilken har ett lägre mottagarbrus eller förflytta plattformen till annan bakgrundsmiljö.

Arbetet avslutas med att visa exempel på resultat om plattformsstörningarna antas komma från samlokaliserade elektriska utrustningar. Dessa antas i detta fall bestå av tre datorer vilka strålar i nivå med tillåtna nivåer enligt MIL-STD-461F, RE 102 eller i nivå med ett värsta fall som har tagits fram från ett antal uppmätta datorer som ska klara de civila kraven CISPR 22, EN 55022.

Slutligen visar vi hur ett radionät kan påverkas av störningsmiljön.

2 Andelen räckvidd för en mottagare

I det här avsnittet visas hur räckvidden för ett radiosystem beräknas. Resultaten gäller för en länk mellan en sändare och en mottagare. För detta ändamål används en länkbudget för att bestämma det möjliga sambandsavståndet för givet SNR. Därefter beskrivs använd modell för att beräkna transmissionsförlusten mellan sändaren och mottagaren. Avsnittet beskriver också hur andelen räckvidd beräknas med maximal räckvidd och möjlig räckvidd.

2.1 Länkbudget

I beräkningarna för att ta fram räckviddspåverkan används en länkbudget för att bestämma signalbrusförhållandet, SNR. SNR beräknas som

$$SNR = \frac{P_r}{P_n} = \frac{P_t G_t G_r}{L_b P_n}, \quad (1)$$

där P_r mottagen effekt, P_t utsänd effekt, P_n mottagarens interna bruseffekt, G sändarens respektive mottagarens antennvinster och L_b är transmissionsförlusten. Bruseffekten P_n beräknas som $kT_0 F_{\text{tot}} B$ där k är Boltzmanns konstant [J/K], T_0 aktuell brustemperatur [K], och faktorn F_{tot} det totala systembruset som varierar beroende på aktuell störningsmiljö och B systemets bandbredd. Den totala systembrusfaktorn består av mottagarens brusfaktor F_r , samt den externt genererade brusfaktorn F_a och beräknas från $\Delta P/kT_0 B$ vilket är skillnaden i störningseffekt relaterat till det termiska bruset (linjär skala) genom följande

$$F_{\text{tot}} = \frac{\Delta P}{kT_0 B} = \frac{kT_0 F_r + kT_0 F_a - kT_0 B}{kT_0 B} = F_a + (F_r - 1). \quad (2)$$

Den externt genererade brusfaktorn F_a kan sedan delas upp i två faktorer

$$F_a = F_{\text{env}} + F_{\text{emi}}, \quad (3)$$

där F_{env} är brusfaktorn för omgivningens bakgrundsbrus och F_{emi} är brusfaktorn för det på plattformen lokalt alstrade bruset. Vanligt är att F_{tot} ges i dB som $10 \log_{10}(F_{\text{tot}})$.

Med hjälp av länkbudgeten i (1) tillsammans med F_{tot} från (2) och (3) kan vi beräkna nödvändigt SNR för ett bestämt sambandsavstånd d m. Transmissionsförlusten L_b beräknas med modell beskriven i avsnitt 2.2.

2.2 Modell för transmissionsförlust

En förutsättning för att göra en rimlig länkbudget är att lämplig modell används för att estimerar hur mycket den utsända nyttsignalen dämpas med utbredningsavståndet mellan sändaren och mottagaren. I syfte att ta fram lämplig modell har kanalbeskrivningar för 3 områden med olika terrängtyp tagits fram, [1]. Dessa är Östergötland, ett relativt flackt slättnområde, Jämtland, med förhållandevis kuperad terräng samt Skåne vilket också är relativt flackt men mer kuperat än Östergötland. Kanalbeskrivningarna har sedan använts i arbetet med att ta fram en modell för transmissionsförlustens avståndsberoende. Modellen beskrivs genom

$$L_{\text{mod}} = a \left(\frac{d}{d_{\text{ref}}} \right)^n \quad (4)$$

där a är en konstant faktor som motsvarar dämpningen vid referensavståndet d_{ref} , d är utbredningsavståndet och n bestämmer modellens avståndsberoende (dämpning med av-

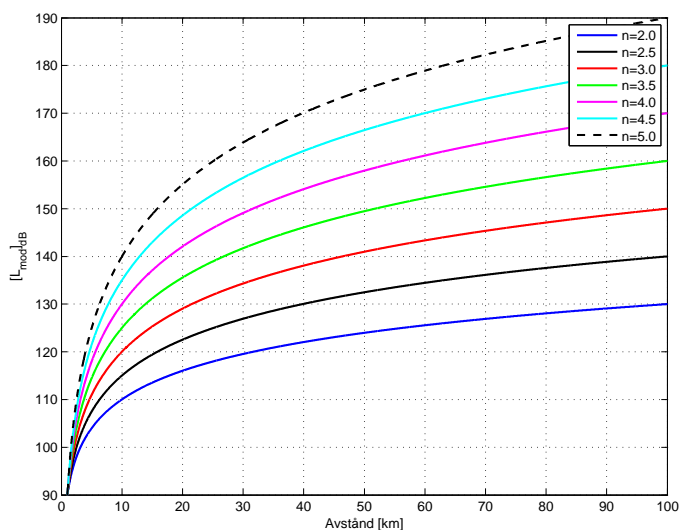
ståndet). Parametern $d_{\text{ref}} = 1$ km användes i arbetet för att skatta modellparametrarna men d_{ref} kan i princip väljas godtyckligt. Dämpningen uttrycks i decibel som

$$[L_{\text{mod}}]_{\text{dB}} = A + n10 \log_{10} \left(\frac{d}{d_{\text{ref}}} \right) \quad (5)$$

där $A = 10 \log_{10} a$.

Tabell 1 Sammanställning av modellparametrar A och n för de 3 valda terrängtyperna.

Område		49 MHz		300 MHz	
Nr	Namn	A	n	A	n
1	Östergötland	97,8	4,0	103,7	4,0
2	Jämtland	97,4	4,1	113,3	4,6
3	Skåne	98,8	3,8	104,3	3,9



Figur 1 Beräknad transmissionsförlust $[L_{\text{mod}}]_{\text{dB}}$ med $A=90$ dB, olika n och avstånd.

I Figur 1 visas exempel på med ekvation (5) beräknad transmissionsförlust. Parametern A har valts till 90 dB vilken gäller vid referensavståndet $d_{\text{ref}} = 1$ km. Resultatet visar tydligt att dämpningen blir mycket högre för $n=5.0$ än för $n=2.0$, t.ex. vid avståndet 30 km skiljer det ungefär 45 dB i transmissionsförlust. En mer otillgänglig terräng leder till ett högre värde på n .

2.3 Maximal räckvidd

Den maximala räckvidden d_1 beräknas för situationen utan störningar för två olika fall då det totala systembruset $F_{\text{tot},1}$ består av följande brusfaktorer:

- Mottagarens interna brusnivå, benämns som $F_{\text{tot},1} = F_i$. Detta fall kan ses som ett bästa fall eftersom det alltid kommer att finnas störningar från den aktuella bakgrundsmiljön.

- Summan av mottagarens interna brusnivå samt störningar från aktuell bakgrundsmiljö, $F_{\text{tot},1} = F_a + (F_r - 1) = F_{\text{env}} + (F_r - 1)$. Det betyder att vi utifrån en viss samlokaliseringssituation undersöker hur störningarna påverkar det faktiska sambandsavståndet.

2.4 Möjlig räckvidd

I en samlokaliseringssituation där en radiomottagare är monterad på en plattform kommer den att vara utsatt för störningar från aktuell bakgrundsmiljö samt lokalt alstrade störningar från samlokaliserade elektriska utrustningar. Den möjliga räckvidden d_2 beräknas för en samlokaliseringssituation med det totala systembruset $F_{\text{tot},2}$, bestående av följande brusfaktorer:

- Summan av mottagarens interna brusnivå samt störningar från aktuell bakgrundsmiljö, $F_{\text{tot},2} = F_a + (F_r - 1) = F_{\text{env}} + F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$.

2.5 Andelen räckvidd

Andelen räckvidd beräknas från ett visst SNR genom följande moment:

1. SNR_1 : beräknas med (1) och brusfaktorerna F_r , och $F_a = 0$ dB eller $F_a = F_{\text{env}}$ i (3), inget lokalt alstrat brus, F_{emi} . Detta ger oss systembrusfaktorn $F_{\text{tot},1}$.
2. SNR_2 : beräknas med (1) och brusfaktorerna F_r , och antennbrusfaktorn $F_a = F_{\text{env}} + F_{\text{emi}}$. Detta ger oss systembrusfaktorn $F_{\text{tot},2}$.
3. Med antagandet att $\text{SNR}_2 = \text{SNR}_1$ beräknas d_1 och d_2 vilket ger andelen möjlig räckvidd av den maximala räckvidden som $\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{F_{\text{tot},1}}{F_{\text{tot},2}}\right)^{1/n}$, där n är utbredningsdämpningen i ekvation (4).

Andelen räckvidd beräknas för fallen som visas i tabellen nedan. Resultaten presenteras i kapitel 4.2.

Tabell 2 Sammanställning av parametrar som används för att beräkna det totala systembruset F_{tot} (linjär skala) och värden på använda brusfaktorer. Brusfaktorerna anges i dB och består av mottagarbruset F_r , bakgrundsmiljön F_{env} och plattformbruset F_{emi} .

Fall nr/ Figur nr	$F_{\text{tot},1}$	$F_{\text{tot},2}$	F_r	F_{env}	F_{emi}
1/2	F_r	$F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$	10	-	varieras
2/3	$F_{\text{env}} + (F_r - 1)$	$F_{\text{env}} + F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$	10	10	varieras
3/4	F_r	$F_{\text{env}} + F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$	10	10	varieras
4/5	$F_{\text{env}} + (F_r - 1)$	$F_{\text{env}} + F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$	10	20	varieras
5/6	F_r	$F_{\text{env}} + F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$	10	20	varieras

3 En mottagares störningsmiljö

Kapitlet beskriver kortfattat val av bakgrundsmiljö som används i det här arbetet. Därefter visas hur EMI-källorna på plattformen modelleras. Kapitlet avslutas med att redogöra för beräknade resultat på mottagarens totala systembrusfaktor.

3.1 Bakgrundsmiljön

Förutom lokala störningar på plattformen finns även störningar i omgivande miljö där plattformen är positionerad. Störningar från bakgrundsmiljön orsakar tillsammans med EMI-källorna en nivåhöjning av mottagarens upplevda mottagarbrus. Dessa störningar är, ur mottagarens perspektiv, externt genererade och benämns ofta som en dimensionslös antennbrusfaktor F_a . I Tabell 3 visas antennbrusfaktorer för olika bakgrundsmiljöer för frekvensen 49 MHz (ITU) och 300 MHz (Hagn) [2].

Tabell 3 Visar antennbrusfaktorer F_{env} [dB] för olika ITU miljöer för 49 MHz samt Hagn för 300 MHz.

Bakgrundsmiljö	Antennbrusfaktor F_{env} [dB] vid 49 MHz	Antennbrusfaktor [dB] F_{env} vid 300 MHz
Business	30	10
Residential	26	6
Rural	20	0
Quiet rural	5	-

3.2 Exempel på EMI-källor på en plattform

På plattformar finns det ofta ett antal elektriska utrustningar som t.ex. datorer installerade. Dessa benämns fortsättningsvis i den här rapporten som EMI-källor. I det här arbetet modelleras EMI-källorna på två sätt, antingen strålar de emissionsnivåer i aktuellt frekvensband i nivå med tillåten standard eller i nivå med mätningar. Emissionsnivåerna räknas sedan om till påverkan på en mottagare i form av en brusfaktor F_{emi} [dB].

Beskrivning av använda alternativa EMI-källor:

1. En elektrisk utrustning som antas stråla i nivå med tillåten nivå för RE102 [3] för marktillämpning (armé).
2. En elektrisk utrustning vilken antas stråla i nivå med EN55022 Class B [4] för kontorsmiljö enligt civil standard CISPR22.
3. En EMI-källa vilken modelleras utifrån utförda emissionsmätningar på 10 datorer. Mätresultaten har sammanvägts genom att för varje mätfrekvens välja det högsta mätvärdet från 10 uppmätta datorer. EMI-källan benämns fortsättningsvis som COTS och störningsnivåerna orsakade av COTS kan ses som ett värsta fall.

I [1] användes tidigare genomförda kopplingsmätningar på strf9040 för att ta fram brusfaktorer F_{emi} för två olika fall, med öppna stridsluckor och stängda stridsluckor. Brusfaktorerna är framtagna för 49 MHz och 300 MHz då plattformbruset orsakas av följande EMI-källor:

- 3 källor av alternativ 1 (RE 102)
- 3 källor av alternativ 2 (Class B)
- 1 källa av alternativ 2 (Class B)
- 3 källor av alternativ 3 (COTS)

I Tabell 4 presenteras F_{emi} för ovanstående EMI-källor.

3.3 Den totala störningsmiljön

Mottagarens totala störningsmiljö bestäms som en systembrusfaktor F_{tot} vilken beräknas med (1). I

Tabell 5 visas en sammanställning över framtagna F_{tot} för de 4 kombinationerna av EMI-källor som beskrevs i avsnitt 3.2. För varje kombination beräknades även F_{tot} för respektive situation då stridsluckorna på plattformen strf9040 var stängda respektive öppna. Effekterna av öppna stridsluckor påverkar inte F_{tot} för frekvensen 49 MHz men för 300 MHz. För 300 MHz är systembrusfaktorn ca 3 dB högre då stridsluckan är öppen jämfört med då stridsluckan är stängd. Storleken på stridsluckans öppning gör att störningen på 300 MHz lättare kan passera genom öppningen eftersom dess våglängd är kortare. I beräkningarna antas brusfaktorn för mottagarbruset vara 10 dB för 49 MHz och 7 dB för 300 MHz. Nivåer på antennbrusfaktorn F_{env} för respektive bakgrundsmiljö är hämtade från Tabell 3 och antennbrusfaktorerna för plattformensbruset är hämtade från Tabell 4 och resultatet presenteras i tabell 5.

Tabell 4 Beräknade brusfaktorer F_{emi} [dB] för tre olika störningskällor på plattform strf9040 och för fallen stängda stridsluckor och öppna stridsluckor.

Beskrivning av EMI-källa	F_{EMI} vid 49 MHz	F_{EMI} vid 300 MHz
3 källor av alternativ 1: Tillåten nivå enligt RE102: Stängda stridsluckor Öppna stridsluckor	18.3 18.3	12.6 15.6
3 källor av alternativ 2: Tillåten nivå enligt Class B: Stängda stridsluckor Öppna stridsluckor	43.5 43.5	34.8 37.8
1 källa av alternativ 2: Tillåten nivå enligt Class B: Stängda stridsluckor Öppna stridsluckor	38.8 38.8	30 33
3 källor av alternativ 3: uppmätta COTS-datorer: Stängda stridsluckor Öppna stridsluckor	28.3 28.3	19.6 22.6

Tabell 5 Visar beräknade F_{tot} [dB] enligt ekvation (3) för olika bakgrundsmiljöer och olika antal EMI-källor. Dessutom används kopplingsmätningar [5] för att undersöka inverkan från öppen/stängd stridslucka.

Beräknade F_{tot} [dB] för olika miljöer och EMI på plattform								
Miljö	Business		Residential		Rural		Quiet Rural	
Frekvens [MHz]	49	300	49	300	49	300	49	300
3 källor av alternativ 1: Tillåten nivå enligt RE102: stängd/öppen stridslucka	30.3 30.3	15.1 17	26.8 26.8	14.2 16.5	22.5 22.5	13.7 16.2	19 19	13.7 16.2
3 källor av alternativ 2: Tillåten nivå enligt Class B: stängd/öppen stridslucka	43.7 43.7	34.8 37.8	43.6 43.6	34.8 37.8	43.5 43.5	34.8 37.8	43.5 43.5	34.8 37.8
1 källa av alternativ 2: Tillå- ten nivå enligt Class B: stängd/öppen stridslucka	39.3 39.3	30.1 33	39 39	30 33	38.9 38.9	30 33	38.8 38.8	30 33
3 källor av alternativ 3: uppmätta COTS-datorer stängd/öppen stridslucka	32.3 32.3	20.2 22.9	30.3 30.3	20 22.8	28.9 28.9	19.8 22.7	28.4 28.4	19.8 22.7

4 Andelen räckvidd på en länk

I det här avsnittet presenteras andelen räckvidd för olika kombinationer av brusfaktorer enligt 5 fall som presenteras i Tabell 2 i avsnitt 2.5. Den främsta skillnaden mellan fallen beror på vilka brusfaktorer som använts för att beräkna räckvidderna d_1 och d_2 .

4.1 Beroendet av utbredningsdämpningen

I Figur 1 i avsnitt 2.2 visas ett exempel på beräknad transmissionsförlust för $A = 90$ dB vid referensavståndet $d_{\text{ref}} = 1$ km och för olika n (utbredningsdämpningen). Ju högre n desto mer dämpas signalen med avståndet. En mer otillgänglig terräng leder till ett högre värde på n . Exempelvis skiljer det ca 45 dB mellan resultaten för $n = 5.0$ och $n = 2.0$ vid avståndet 30 km.

I Figur 2 visas ett exempel på hur andelen räckvidd påverkas för olika val av modellparametern n i (4) för ökad nivå på plattformbruset. Resultaten visar att andelen räckvidd är högre då n ökas för en given nivå på plattformbruset F_{emi} . Från detta dras slutsatsen att mottagaren tål högre störningsnivåer på plattformbruset F_{emi} med ökande n . Därför kan det i vissa situationer även vara lämpligt att redovisa den maximala räckvidden d_1 samt den möjliga räckvidden d_2 . Den maximala räckvidden d_1 minskar med ökande n eftersom utbredningsdämpningen med avståndet är högre.

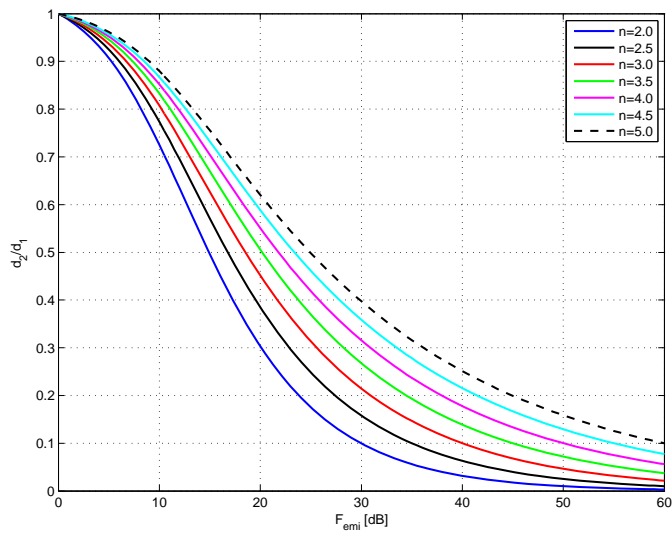
4.2 Andelen räckvidd för olika fall

Andelen räckvidd beräknas för de 5 fall som presenterades i Tabell 2, i avsnitt 2.5. Brusfaktorn för mottagarbruset är lika i samtliga fall d.v.s. $F_r = 10$ dB. När resultaten beskrivs i texten nedan för olika fall är det fall 1-5 i Tabell 2 som avses.

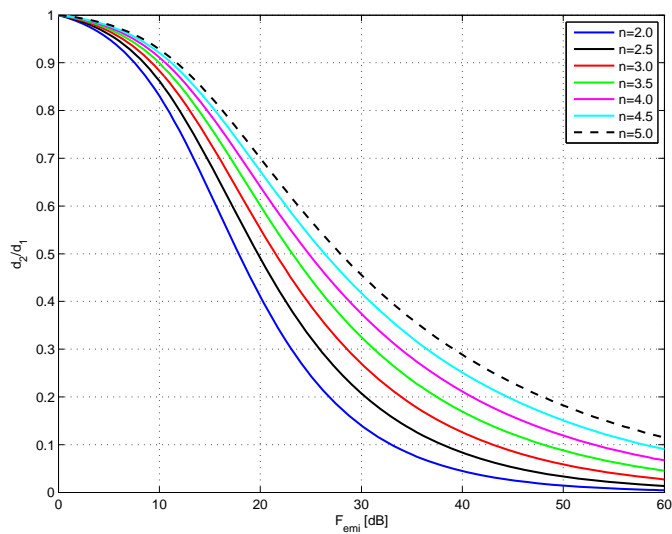
Andelen räckvidd för fall 2 (Figur 3) och 4 (Figur 5), med störningar från bakgrundsmiljön F_{env} på 10 dB och 20 dB, jämförs med resultatet för fall 1 (Figur 2) utan störningar från bakgrundsmiljön. När plattformbruset ökas från 0 dB till 10 dB respektive från 0 till 20 dB innebär detta en räckviddsförsämring till 70 % respektive 30 % för $n = 2.0$ jämfört med fall 1 utan störningar från bakgrundsmiljön. Resultaten som visas i Figur 3 och Figur 5, är normerade på så sätt att den maximala räckvidden d_1 beräknas med bidrag både från mottagarbruset och störningar från bakgrundsmiljön, och på så sätt är det bara påverkan från på plattformen egengenererade störningar som ger räckviddspåverkan. En annan slutsats är en mottagare placerad i en bakgrundsmiljö med högre störningsnivåer (fall 2: $F_{\text{env}} = 10$ dB respektive fall 4: $F_{\text{env}} = 20$ dB) tål högre nivåer på det lokalt altrade plattformbruset eftersom störningarna från plattformen är låga i förhållande till störningarna från bakgrundsmiljön.

När resultaten för andelen räckvidd för fall 3 och fall 5 som visas i Figur 4 och Figur 6 studeras ses att för $F_{\text{env}} = 0$ dB erhålls andelen räckvidd på 70 % respektive 30 %. Vilket överensstämmer med resultatet i avsnittet ovan. I resultatet som visas för fall 3 och 5 har inte effekten från bakgrundsmiljön normerats bort vilket medför att vid $F_{\text{emi}} = 0$ dB beräknas $d_2/d_1 \neq 1$. Den möjliga räckvidden d_2 kan därmed aldrig bli lika lång som den maximala vid d_1 . Dessutom ses tydligt att med ökade störningsnivåer från omgivande bakgrundsmiljö blir räckviddsförändringen mindre då F_{emi} ökas.

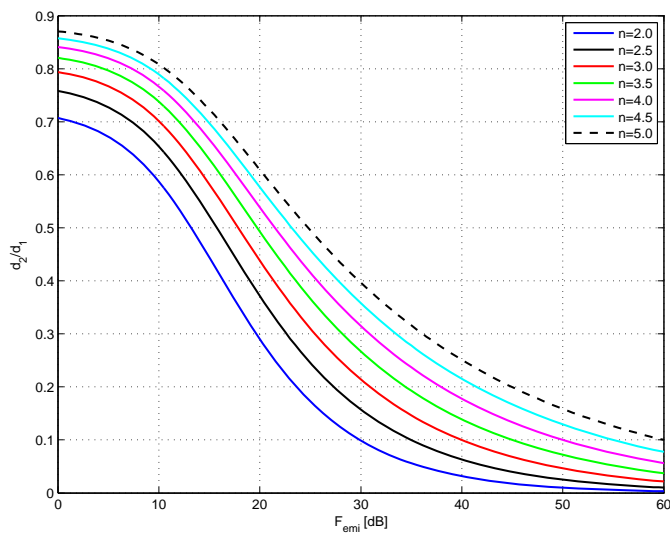
En annan slutsats från resultaten är att det är viktigt att vara tydlig med vilka störningssignaler (brusfaktorer) andelen räckvidd normeras mot.



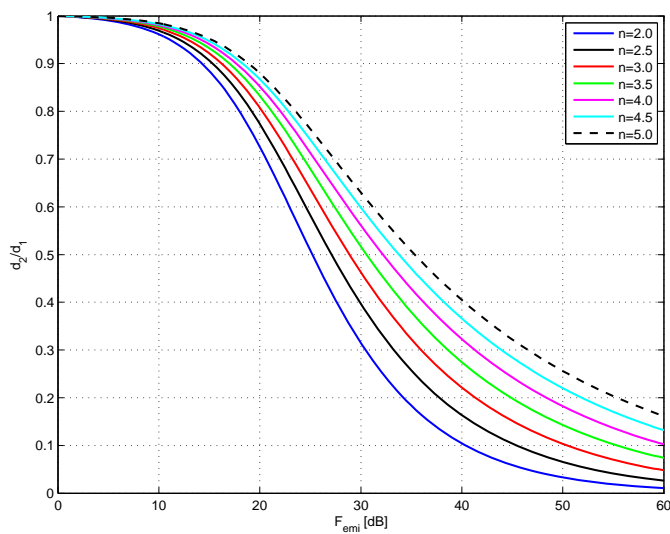
Figur 2 Andelen räckvidd d_2/d_1 visas för fall 1 med ökande grad av störning från plattformen, F_{emi} . Resultatet visas för olika utbredningsdämpningar n . Räckvidden d_1 beräknas då systembruset bara består av mottagarens interna brus.



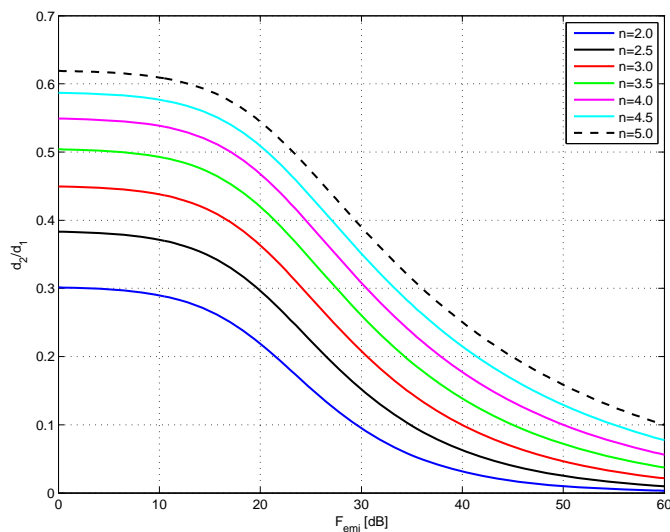
Figur 3 Andelen räckvidd d_2/d_1 visas för fall 2 med ökande grad av störning från plattformen, F_{emi} . Resultatet visas för olika utbredningsdämpningar n . Räckvidden d_1 beräknas då mottagarens interna brus samt störningar från aktuell bakgrundsmiljö ingår i det totala systembruset.



Figur 4 Andelen räckvidd d_2/d_1 visas för fall 3 med ökande grad av störning från plattformen, F_{emi} . Resultatet visas för olika utbredningsdämpningar n . Räckvidden d_1 beräknas då systembruset bara består av mottagarens interna brus.



Figur 5 Andelen räckvidd d_2/d_1 visas för fall 4 med ökande grad av störning från plattformen, F_{emi} . Resultatet visas för olika utbredningsdämpningar n . Räckvidden d_1 beräknas då mottagarens interna brus samt störningar från aktuell bakgrundsmiljö ingår i det totala systembruset.



Figur 6 Andelen räckvidd d_2/d_1 visas för fall 5 med ökande grad av störning från plattformen, F_{emi} . Resultatet visas för olika utbredningsdämpningar n . Räckvidden d_1 beräknas då systembruset bara består av mottagarens interna brus.

4.3 Påverkan från COTS

För att uppskatta vilken räckviddspåverkan plattformsstörningarna kan orsaka för en sambandslösning kan den totala systembrusfaktorn användas.

En mottagare är installerad på plattform strf9040. Plattformen finns positionerad i en bakgrundsmiljö vilken enligt ITU klassas som "rural" vilket motsvarar $F_{env} = 20$ dB för frekvensen 49 MHz. Mottagarens egengenererade interna brus är $F_r = 10$ dB.

På strf9040 är mottagaren samlokaliserad med tre stycken COTS-datorer. Störningarna från datorerna orsakar en systembrushöjning med $F_{emi} = 18.3$ dB respektive $F_{emi} = 28.3$ dB, hämtade från Tabell 4. Första nivån gäller för fallet då datorerna anses avge emission i nivå med tillåten nivå för RE102 och andra nivån gäller fallet då datorerna anses stråla i nivå med uppmätta COTS-datorer.

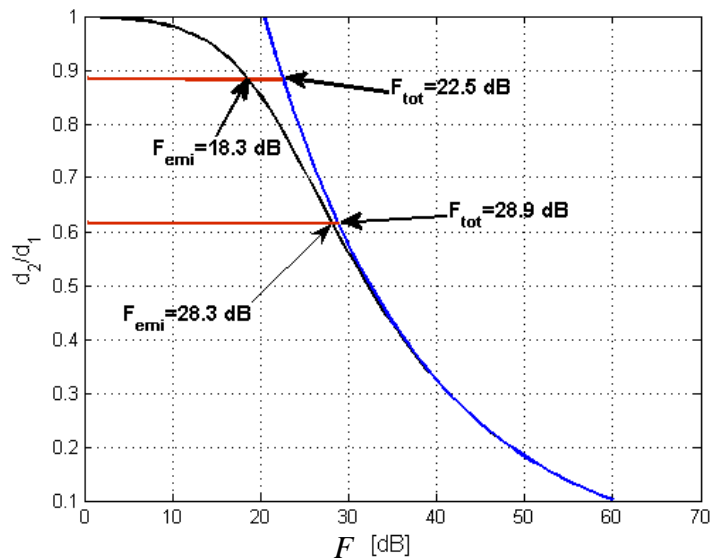
För att modellera hur den utsända signalen dämpas med avseende på utbredningsavståndet används modellen för transmissionsförlust enligt ekvation (4). I [1] skattades värden på modellparametrarna A och n för tre områden med olika terrängtyper för frekvenserna 49 MHz och 300 MHz, se Figur 1. För frekvensen 49 MHz kan vi se att $n = 4.0$ är ett rimligt värde och eftersom beräkningen enligt punkt tre i avsnitt 2.5 om möjliga räckvidder inte är beroende av A -parametern behöver inte parametern sättas till något värde.

Med ovanstående val av brusfaktorer visas resultatet i form av andel räckvidd i Figur 7. Den svarta linjen med avseende på plattformbruset F_{emi} och den blå linjen med avseende på det totala systembruset F_{tot} . En plattformsstörning F_{emi} på 18.3 dB respektive 28.3 dB motsvarar en total systembrusfaktor F_{tot} på 22.5 dB respektive 28.9 dB. Andelen räckvidd för dessa nivåer estimeras i figuren som:

- För COTS-datorer vilka strålar i tillåtna nivåer på 49 MHz enligt RE 102. Den möjliga räckvidden estimeras till 88 % av maximala räckvidden vilket är detsamma som att vi får en räckviddsminskning på 12 %.

- Om COTS-datorerna strålar i nivå med uppmätta datorer kan andelen räckvidd estimeras till 62 % av maximal räckvidd vilket innebär en räckviddsminskning med 38 %.

När vi studerar Figur 7 ytterligare ses att ungefär vid 30 dB kommer de lokala störningarna på plattformen att dominera över den sammanlagda störningen från bakgrundsmiljön och det interna mottagarbruset.



Figur 7 Visar skillnaden i andelen räckvidd med avseende på F_{emi} [dB] (svart linje) respektive F_{tot} [dB] (blå linje).

4.4 Påverkan från en SNR-ändring

Hittills har andelen räckvidd av den maximalt möjliga räckvidden studerats. Olika frågeställningar har belysts med fokus på hur andelen räckvidd skiljer beroende på om störningarna från bakgrundsmiljön tas med i normeringen, d.v.s. om den maximala räckvidden beräknas för fallet med bara interna mottagarbruset eller för fallet då även bakgrundsmiljön tas med. Det första alternativet kan ses som ett teoretiskt fall eftersom den totala störningsmiljön i praktiken aldrig bara består av mottagarbruset och fall två som ett något mer verklighetsanpassat. I samtliga fall har vi antagit att samma SNR gäller för fallen då den maximala räckvidden d_1 samt den möjliga räckvidden d_2 beräknats ($SNR_2 = SNR_1$). Därför är det intressant att undersöka hur andelen räckvidd kan anpassas till att ta hänsyn till påverkan från en SNR-ändring.

I avsnitt 2.5 visades hur andelen räckvidd av den maximala räckvidden beräknades som

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{F_{tot,1}}{F_{tot,2}} \right)^{1/n}, \quad (6)$$

där avstånden d_1 och d_2 är den maximala respektive den möjliga räckvidden (för en aktuell situation), $F_{tot,1}$ och $F_{tot,2}$ de totala systembrusfaktorerna för respektive fall. Om vi exempelvis antar att mottagarens förutsättningar för att ta emot nyttsignalen förbättras innebär det att mottagarens SNR ökas, d.v.s. $SNR_2 > SNR_1$, och den möjliga räckvidden d_2 blir längre än för fallet $SNR_2 = SNR_1$. Andelen räckvidd i (6) kan då lämpligen modifieras med SNR-ändringen genom att justera den totala systembrusfaktorn $F_{tot,2}$. Det innebär att $F_{tot,2}$

justeras till ett lägre värde vid en SNR-ökning respektive ett högre värde för en SNR-minskning.

Den totala systembrusfaktorn $F_{\text{tot},2}$ i (6) justeras med ΔSNR (SNR-ändringen) till ny systembrusfaktor genom följande

$$(F_{\text{tot},2,\text{ny}})_{\text{dB}} = (F_{\text{tot},2})_{\text{dB}} - \Delta\text{SNR}_{\text{dB}}. \quad (7)$$

Efter SNR-justeringen beräknas andelen räckvidd av den maximala räckvidden som

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{F_{\text{tot},1}}{F_{\text{tot},2,\text{ny}}} \right)^{1/n}, \quad (8)$$

där $F_{\text{tot},2,\text{ny}}$ gäller för det nya SNR-värdet.

En rimlighetsbedömning av (8) ger följande fall (givet att $F_{\text{tot},2} < F_{\text{tot},1}$, samt att $F_{\text{tot},1}$ består av både mottagarens interna brus F_r samt störningar från omgivande bakgrundsmiljö F_{env}) innan SNR-ändringen:

- $F_{\text{tot},2,\text{ny}} < F_{\text{tot},1}$, andelen räckvidd är större än 1 vilket betyder en räckvidd över 100 %. Det betyder att plattformbruset är lägre än SNR-ökningen. Rimliga värden på måttet andelen räckvidd ligger inom intervallet $[0,1]$ och därför anses detta fall orimligt.
- $F_{\text{tot},2,\text{ny}} = F_{\text{tot},1}$, SNR-ökningen ger att andelen räckvidd beräknas till 1, d.v.s. 100 % räckvidd, vilket betyder att ökningen i SNR är lika som nivån på plattformbruset.
- $F_{\text{tot},2,\text{ny}} > F_{\text{tot},1}$ betyder att ändringen i SNR är en försämring vilket leder till att andelen räckvidd minskar jämfört med innan SNR-ändringen.

I nedanstående exempel används $n=4$ i modellen för utbredningsdämpningen.

Påverkan från en SNR-ändring och beräkning med F_{tot} :

Låt oss nu betrakta två olika fall, en minskning av SNR med 3 dB d.v.s. $\Delta\text{SNR} = -3$ respektive en ökning av SNR med 3 dB vilket ger $\Delta\text{SNR} = 3$. I Figur 7 visas andelen räckvidd med avseende på plattformbruset F_{emi} (svart linje) eller det totala systembruset F_{tot} (blå linje). Vi väljer $F_{\text{tot}} = 30$ dB som ett rimligt värde på den totala systembrusfaktorn och för detta värde ser vi att andelen räckvidd kan läsas av till 0.58. Eftersom SNR-ökningen leder till att F_{tot} minskar med 3 dB kan vi läsa av i figuren att andelen räckvidd blir 0.68 för $F_{\text{tot}} = 27$ dB. Effekten av att SNR ökar med 3 dB leder till att andelen räckvidd ökar med 10%. För SNR-minskningen erhålls den nya andelen räckvidd som 0.48 vilket ger en räckviddsminskning med 10 %.

Påverkan från en SNR-ändring och beräkning med F_{emi} :

I det här avsnittet studeras samma fall som ovan men med fokus på plattformbruset (F_{emi}). Först räknas den totala systembrusfaktorn på 30 dB om till motsvarande nivå på F_{emi} . Det totala systembruset beräknas som $F_{\text{tot},2} = F_{\text{env}} + F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$, och med F_{env} på 20 dB och F_r på 10 dB beräknas F_{emi} till 29.5 dB. Andelen räckvidd för denna brusfaktor läses av i Figur 7 till 0.58. På samma sätt beräknas F_{emi} till 32.8 dB för SNR-minskning på 3 dB respektive 25.9 dB för SNR-ökning på 3 dB. Detta motsvarar 0.48 och 0.68 på andelen räckvidd vilket ger 10 % minskning respektive ökning av andelen räckvidd.

5 Störningspåverkan på ett radionät

Hittills har vi studerat effekterna av brusmiljön för en radiolänk. I ett realistiskt scenario är radiosystemen sammankopplade i ett nät och det är därför intressant att studera hur radionätet påverkas av störningsmiljön.

Det nät som simuleras består av 60 noder som rör sig enligt en så kallad ”Random walk”-modell. Området som noderna rör sig över är kvadratisk och sidlängden på området varierar mellan 2-16 km. Då områdets storlek ökas följer att nätet blir mindre förbundet och noderna får i snitt färre grannar (noder som kan nås med ett hopp). Två terrängar av typen rural har utvärderats, Jämtland (kuperad) och Skåne (platt), för frekvenserna: 50 respektive 300 MHz. Topologin för nätet ser olika ut vid de två frekvenserna eftersom vi får längre räckvidd på 50 MHz. Måttet som undersöks är andelen mottagna paket i medel med avseende på sidlängden på området inom vilket radionoderna rör sig. Tillräckligt bra prestanda i nätet upprätthålls om maximalt 2.5 % av paketen förloras på vägen till destinationsnoden.

5.1 Den totala systembrusfaktorn i nätsimuleringar

I våra simuleringar har vi angett den totala systembrusfaktorn F_{tot} på nätnivå, dvs. alla noder i nätet förutsätts ha samma brusfaktor under en nätsimulering. Brusfaktorn påverkar vilka länkar en nod kommer att uppfatta att den kan sända på, vilket i sin tur typiskt påverkar prestandan hos routing-protokollet. Med en högre brusfaktor kommer svaga (långa) länkar inte kunna användas och fler återutsändningar kommer därför behövas för att nå alla noder i nätet. För dessa nätsimuleringar används OLSR [6] som routing-protokoll; detta är ett protokoll som används i många av dagens radiolösningar. För att modellera den trådlösa kanalen används en stokastisk kanalmodell, som beskrivs i [7]. Kanalmodellen modellerar både den avståndsberoende dämpningen och den storskaliga fädningen.

Som trafikälla ansätts en Poisson-källa av broadcast-typ där sändaren slumpas för varje nytt paket. I simuleringarna mäts hur stor andel av noderna som tar emot varje paket och i figurerna anges medelvärdet för alla skickade paket.

Radionätet antas vidare vara placerat i en miljö av typen rural, vilket motsvarar en landsbyggd- eller småstadsmiljö.

5.2 Resultat från nätsimulering

Nätsimuleringarna genomfördes för två olika terrängtyper, kuperad respektive platt terräng för 50 MHz och 300 MHz. Uteffekten hos noderna sattes till 5 W. Tre olika värden antogs för den totala systembrusfaktorn: enbart mottagarbrus; mottagarbrus och bakgrundsmiljö samt mottagarbrus, bakgrundsmiljö och EMI. Som EMI-källa antogs att plattformen är utrustad med tre elektriska utrustningar som strålar i nivå med tillåten nivå för RE 102, enligt avsnitt 3.2

F_{tot} beräknas enligt ekvation (2) och (3) till $F_{tot} = F_{env} + F_{emi} + (F_r - 1)$.

Tabell 6 F_{tot} för de tre beräknade fallen; enbart mottagarbrus; mottagarbrus och bakgrundsmiljö samt mottagarbrus, bakgrundsmiljö och EMI.

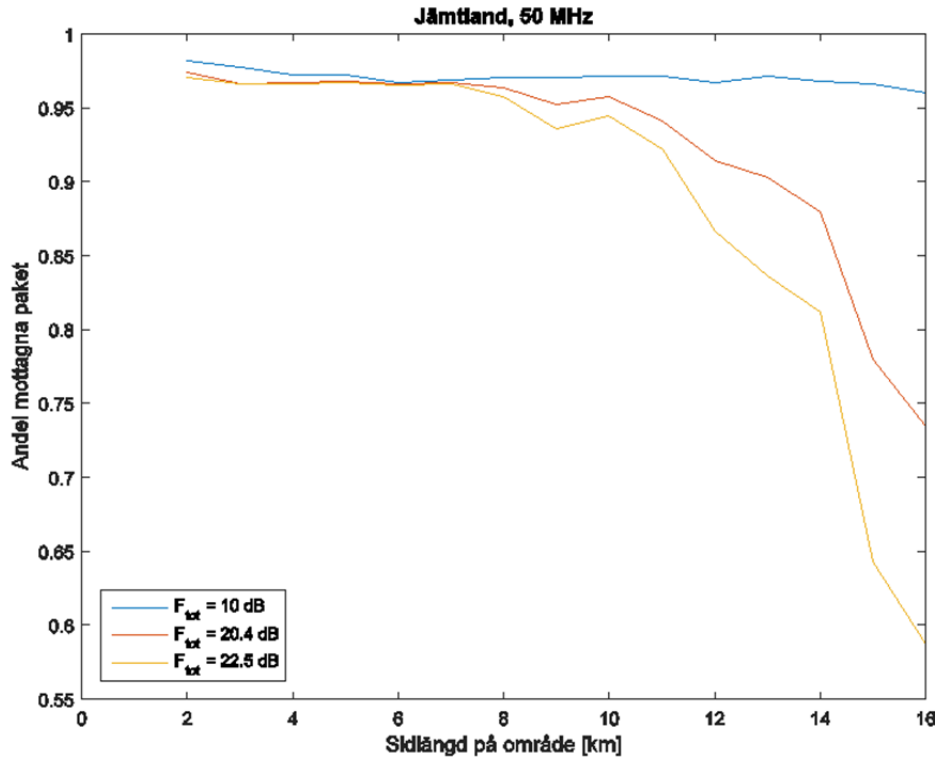
Fall	F_{tot}	F_{tot} [dB]	
		50 MHz	300 MHz
1	F_r	10	7
2	$F_{\text{env}} + (F_r - 1)$	20,4	7
3	$F_{\text{env}} + F_{\text{emi}} + (F_r - 1)$	22,5	16,2

I Figur 10 och Figur 11 visas andelen mottagna paket för de två terrängtyperna för 50 MHz.

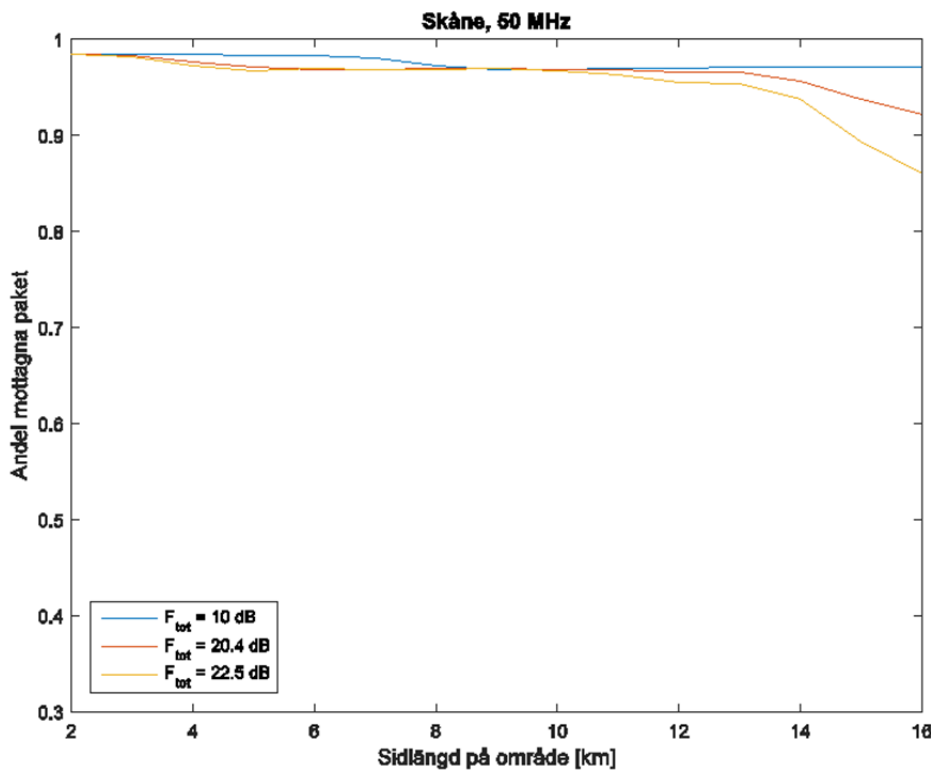
I Figur 10 och Figur 11 visas andelen mottagna paket för de två terrängtyperna för 300 MHz.

Då radionätet sänder med 50 MHz följer kurvorna varandra oavsett brusfaktor upp till en täckningsyta på 7 x 7 km om terrängen är kuperad. Jämför vi med en platt terräng så klarar vi en yttäckning på 12 x 12 km. Därefter ger bakgrundsmiljön och EMI-källorna upphov till stora paketförluster.

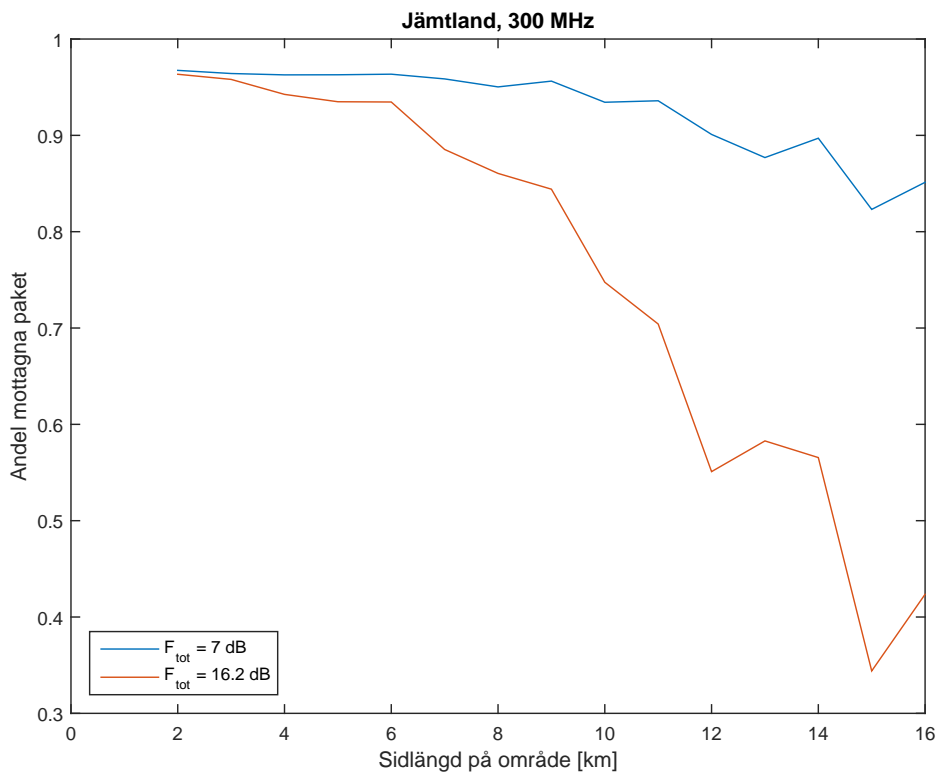
Om radionätet sänder på 300 MHz uppstår skillnaden mycket tidigare, speciellt i en kuperad terräng. Vid 300 MHz är bakgrundsbruset 0 dB vilket ger samma värde på F_{tot} som för fallet med enbart mottagarbrus. Fall 1 och fall 2 ger alltså samma värde och det är EMI-källorna som ökar brusfaktorn. EMI-källorna påverkar prestandan redan vid en yttäckning av 3 x 3 km om terrängen är kuperad. Paketförlusterna som dessa källor ger upphov till är svåra att hämta igen på annat sätt än krav på hur mycket ett system får stråla på en plattform. Vid kravställningar bör följaktligen hela radiosystemet beaktas, dvs radion inklusive antenn och antenkopplingar.



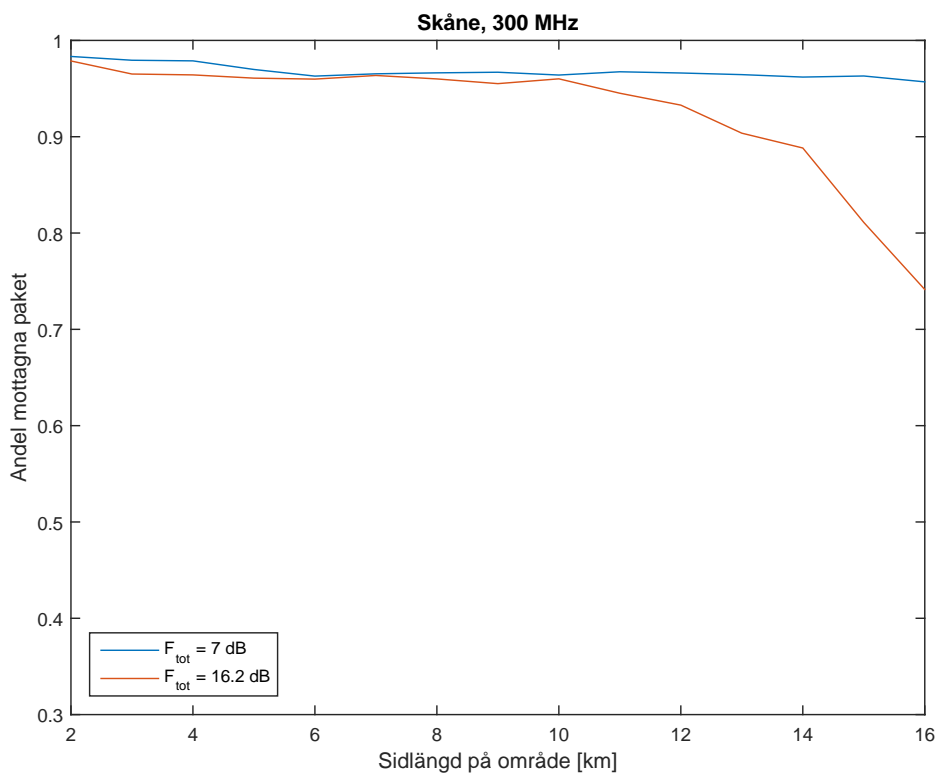
Figur 8 Visar andelen mottagna paket med avseende på hur stor yta noderna i nätet rör sig över. Simuleringen är utförd för tre olika systembrusfaktorer på 10 dB, 20.4 dB och 22.5 dB för terrängen Jämtland, rural och frekvensen 50 MHz.



Figur 9 Visar andelen mottagna paket med avseende på hur stor yta noderna i nätet rör sig över. Simuleringen är utförd för tre olika systembrusfaktorer på 10 dB, 20.4 dB och 22.5 dB för terrängen Skåne, rural och frekvensen 50 MHz.



Figur 10 Visar andelen mottagna paket med avseende på hur stor yta noderna i nätet rör sig över. Simuleringen är utförd för två olika systembrusfaktorer på 7 dB och 16.2 dB för terrängen Jämtland, rural och frekvensen 300 MHz.



Figur 11 Visar andelen mottagna paket med avseende på hur stor yta noderna i nätet rör sig över. Simuleringen är utförd för två olika systembrusfaktorer på 7 dB och 16.2 dB för terrängen Skåne, rural och frekvensen 300 MHz

6 Slutsatser och diskussion

6.1 Sammanfattning räckvidd

I arbetet undersöks hur radoräckvidden påverkas när en radiomottagare utsätts för varierande nivåer av störningar från på plattformen samlokaliserade elektriska utrustningar tillsammans med störningar från aktuell bakgrundsmiljö. Radoräckvidden benämns i rapporten som andelen räckvidd som bestäms som kvoten mellan den möjliga räckvidden och den maximala räckvidden. Den maximala räckvidden bestäms för fallet utan störningar på aktuell plattform och den möjliga med störningar på plattformen. Beräkningen av andelen räckvidd är beroende av vald modell för utbredningsdämpningen, i vilken parametern n används för att modellera hur mycket den utsända nyttsignalen dämpas med utbredningsavståndet. I [1] har parametern n bestämts för frekvenserna 49 MHz och 300 MHz och för tre typer av terräng. I avsnitt 4.2 visas att andelen räckvidd är mycket beroende av n .

Prestandan hos ett radiosystem kan vara svår att prediktera eftersom störningar som alstras på plattformen kan få en betydande påverkan på radiosystemets förmåga. Rapporten visar exempel på resultat om plattformsstörningarna antas komma från samlokaliserade elektriska utrustningar. Dessa antas bestå av tre datorer vilka strålar i nivå med tillåtna nivåer enligt MIL-STD-461F, RE 102 eller i nivå med ett värsta fall som har tagits fram från ett antal uppmätta datorer.

I fallet då tre COTS-datorer är samlokaliserade med aktuell radioutrustning på plattform strf9040 orsakar dessa en räckviddsminskning. Om dessa, på frekvensen 49 MHz, strålar emissionsnivåer i nivå med:

- RE 102: leder det till en räckviddsminskning på 12 %.
- Utvalda högsta emissionsnivåer från ett antal uppmätta datorer leder till en räckviddsminskning på 38 %.

I vissa fall vill man kunna ta hänsyn till att andelen räckvidd kan ändras om exempelvis mottagningsförhållandena ändras. I rapporten visas att det är möjligt att korrigera andelen räckvidd till det nya mottagningsförhållandet. Exempelvis, för $n=4$, kan man se en SNR-ökning på 3 dB som att det totala systembruset (parametern $F_{\text{tot},2,\text{ny}}$, se avsnitt 4.4) minskar med 3 dB vilket resulterar i att andelen räckvidd ökar från 58 % till 68 % dvs att andelen räckvidd ökar med 10 %-enheter.

6.2 Sammanfattning för radionät

Rapporten avslutas med några radionätsimuleringar som visar hur paketförlusten ökar då vi inkluderar effekter från bakgrundsmiljön och plattformsstörningar. Resultatet visar att det vid kravställning av elektrisk utrustning är viktigt att krävställa hela systemet. För radiosystem innebär det hela kedjan från radion, kablage till antenn. Radionätsimuleringarna visar att det finns en risk att överskatta storleken på området över vilket ett nät är sammanbundet och en tillräcklig prestanda kan uppnås, om inte hänsyn tas till effekter från bakgrundsmiljö och EMI.

6.3 Förslag på fortsatt arbete

I det här arbetet har en inledande arbete utförts där ett radiosystems räckviddspåverkas från omgivande störningar där speciellt störningar på aktuell plattform har beaktats. Frekvenser som använts i analysen är 49 MHz och 300 MHz vilka typiskt ligger inom frekvensbandet för ett VHF- respektive ett UHF-radiosystem.

Exempel på fortsatt arbete på länknivå är att inkludera störningar från andra plattformar. Störningar från andra användare i ett radionät kan också vara intressant att ta med i analysen. Även aspekten att radiosystem har olika utombandsegenskaper är intressant. Sändande system har en specificerad bandbredd där det är tänkt att systemet ska sända effekt men i praktiken hamnar en del av sändareffekten även utanför den avsedda bandbredden. Räckviddspåverkan från dessa störningar kan förslagsvis ingå i fortsatt arbete.

Förutom räckviddspåverkan på en länk har nätsimuleringar utförts där alla noder i nätet upplever samma störningspåverkan i form av en total systembrusfaktor. Störningspåverkan på nätet har kvantifierats genom att mäta andelen mottagna paket med avseende på hur stort område inom vilken nätets noder rör sig. Två olika terrängtyper har använts i simuleringarna.

Ett förslag på fortsatt arbete när det gäller störningspåverkan på ett nät är att, givet ett krav på andelen mottagna paket som kommer fram, ta fram vilket systembrus nätet klarar av att hantera. Kravet på antalet mottagna paket bör här relateras till en viss typ av tjänst och en vidare utvidgning kan vara att undersöka vilka typer av tjänster som kan användas i ett visst nät givet en viss systembrusfaktor.

Ytterligare förslag är att undersöka effekter av att enbart enstaka noder störs ut och hur detta påverkar exempelvis routing-algoritmerna som används.

7 Använda förkortningar och begrepp

Räckvidd	ett radiosystems möjliga sambandsavstånd
Maximal räckvidd	radiosystemets maximala sambandsavstånd då lägsta nivå för givna prestandakrav uppfylls
d_1	den maximalt möjliga räckvidden, sambandskvaliten påverkas antingen bara av interna mottagarbruset eller av både mottagarbruset samt störningar i omgivande miljö
d_2	den möjliga räckvidden, sambandskvaliten påverkas av den totala störningsmiljön, det totala systembruset består av mottagarens interna brus, omgivande miljö samt störningar lokalt på eller på annan plattform lokaliserad nära aktuell plattform
d_2/d_1	andelen möjlig räckvidd
SNR	signalbrusförhållandet
L_{mod}	modell för transmissionsförlust
EMI-källa	en elektrisk utrustning vilka strålar med en viss emissions nivå
F_{tot}	total systembrusfaktor, uttrycks i linjär eller logaritmisk skala, i avsnittet används $F_{tot,1}$ och $F_{tot,2}$, där 1 och 2 anger vilka brusfaktorer som ingår i den totala systembrusfaktorn
F_a	antennbrusfaktor, för mottagaren extern genererat brus (störningar)
F_{emi}	brusfaktor för störningar lokalalt alstrade på plattform, eller i dess närmaste omgivning
F_{env}	brusfaktor för störningar från aktuell bakgrundsmiljö, enligt ITU eller Hagn
COTS	Commercial-off-the-shelf, kommersiell hyllvara, hårdvara eller mjukvara som kan köpas från en öppen marknad

8 Referenser

- [1] Nilsson, J., m.fl., "Underlag för kravställning av radiosystem på plattformar", FOI---3699--SE, Juni 2013
- [2] Recommendation ITU-R P.372-10 "Radio Noise", P Series Radiowave propagation, 2009.
- [3] AMSC 9034, Department Of Defense Interface Standard, "Requirement For The Control Of Electromagnetic Interference Characteristics Of Subsystem And Equipment", MIL-STD-461F, 10 December 2007.
- [4] CISPR 22 Ed 5.0 Am 1.EN 55022, Class B.
- [5] Jan Welinder, "Analys av strålade emissionsspektra 30 MHz-6 GHz från PC", SP, Beteckning F515342, 2005.
- [6] T. Clausen och P. Jacquet (Editors). Optimized link state routing protocol (OLSR). IETF, Request for Comments 3626, Oct 2003.
- [7] Komulainen, A., m.fl., "Stochastic Channel Model", FOI-RH--1570--SE, Februari 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