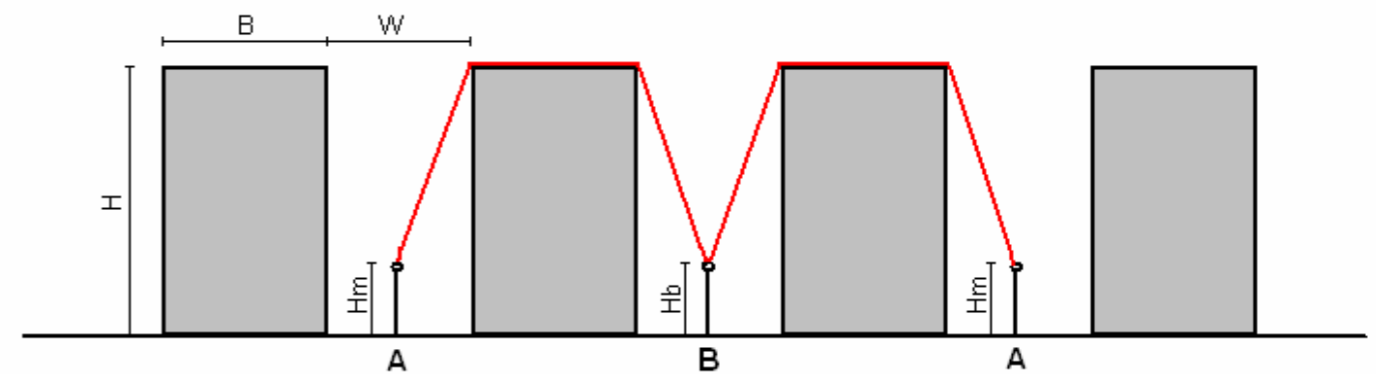


ÅSA WAERN, BÖRJE ASP, PETER HOLM, MAGNUS UPPSÄLL



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1250 anställda varav ungefär 900 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.

Åsa Waern, Börje Asp, Peter Holm, Magnus Uppsäll

# Sensorteknik och kommunikation i urban miljö - ett exempel

<b>Utgivare</b> FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--2124--SE	<b>Klassificering</b> Metodrapport
	<b>Forskningsområde</b> 7. Ledning med MSI	
	<b>Månad, år</b> Februari 2007	<b>Projektnummer</b> E7107
	<b>Delområde</b> 71 Ledning	
	<b>Delområde 2</b>	
<b>Författare/redaktör</b> Åsa Waern Börje Asp Peter Holm Magnus Uppsäll	<b>Projektledare</b> Kia Wiklundh	
	<b>Godkänd av</b> Sören Eriksson	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FM	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Åsa Waern	
<b>Rapportens titel</b> Sensorteknik och kommunikation i urban miljö - ett exempel		
<b>Sammanfattning</b> <p>Militära insatser i urban terräng innebär extra svårigheter att upprätthålla kommunikationen. Denna rapport ger ett exempel på sensorsystem inklusive dess kommunikationsmöjlighet som kan bidra till lägesuppfattningen under reträtt och framför allt registrera förändringar i reträttvägen för de fall då den är densamma som anfalls- eller patrulleringsvägen.</p> <p>Systemet består av en eller flera IR-sensorer som kommunicerar via ett WiMAX-system. En grov analys har gjorts för att undersöka om det är möjligt att i det presenterade scenariot kunna överföra den datamängd som krävs med ett WiMAX-system. Med de antaganden som gjorts visar räckviddsberäkningarna att kravet på överföringskapacitet bör kunna uppnås.</p>		
<b>Nyckelord</b> WiMAX, IR-sensor, urban miljö, vågutbredning, dataatak		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 17 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--2124--SE	<b>Report type</b> Methodology report
	<b>Programme Areas</b> 7.	
	<b>Month year</b> February 2007	<b>Project no.</b> E7107
	<b>Subcategories</b> 71	
	<b>Subcategories 2</b>	
<b>Author/s (editor/s)</b> Åsa Waern Börje Asp Peter Holm Magnus Uppsäll	<b>Project manager</b> Kia Wiklundh	
	<b>Approved by</b> Sören Eriksson	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Åsa Waern	
<b>Report title (In translation)</b> Sensor technology and communication in urban environments - one example		
<b>Abstract</b> Military operations in urban terrain bring extra difficulties in maintaining communication. This report gives an example of a sensor system including the communication system that can contribute to the situation awareness during retreat, especially changes along the path when it is the same as the attack or patrol path. The system consists of one or several IR-sensors and a WiMAX communication system. A rough analysis is performed to examine the possibility, in the presented scenario, to achieve the necessary data rates. Some assumptions about the WiMAX system are presented and wave propagation calculations show that the necessary capacity is likely to be achieved.		
<b>Keywords</b> WiMAX, IR-sensor, urban environment, wave propagation, data rate		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 17 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	



## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning.....</b>	<b>6</b>
1.1	Bakgrund.....	6
1.2	Scenario.....	6
<b>2</b>	<b>Sensorteknik.....</b>	<b>8</b>
2.1	Signalbehandling och förändringsanalys .....	9
2.2	Trafiklast .....	10
<b>3</b>	<b>Trådlös sensorkommunikation.....</b>	<b>11</b>
3.1	Mobile WiMAX.....	12
3.2	OFDM.....	12
3.3	Räckviddsberäkningar.....	14
<b>4</b>	<b>Resultat och slutsatser .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Referenser.....</b>	<b>17</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

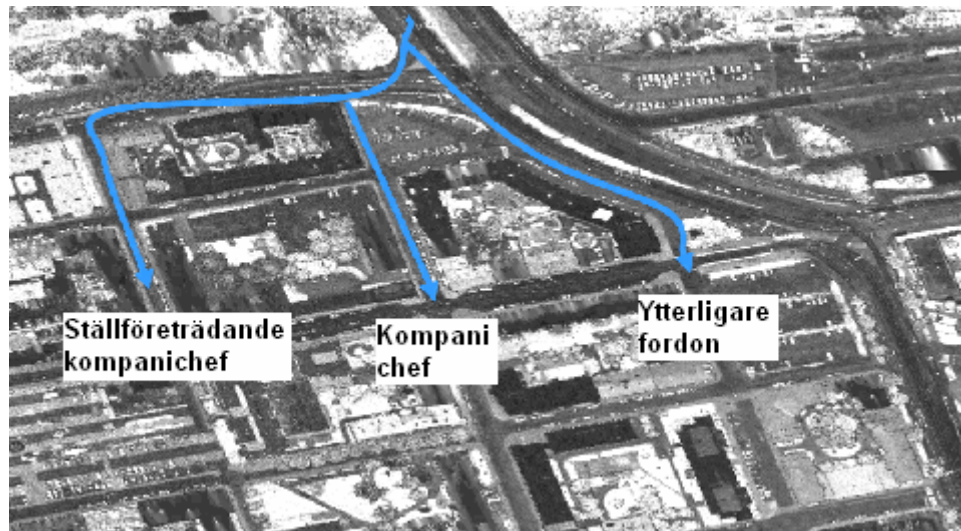
Militära insatser kommer med stor sannolikhet utövas i urban terräng och den urbana terrängen är svår att hantera. Avstånden mellan olika grupperingar kan vara mycket korta. Skådeplatsen är 3-dimensionell där en fiende kan befinna sig under jord, i gatuplan, inomhus eller på hustak. På grund av de korta avstånden, den besvärliga terrängen och problemet med lägesbilden kan situationen snabbt förändras. På förhand uppgjorda planer kommer att behöva förändras och det är viktigt att våga och framför allt orka ändra och tänka nytt. Detta innebär också att information och underrättelse måste komma nerifrån och upp. Strid i urban miljö kräver att soldater till fots såväl som fordonsbundna har information och lägesuppfattning om närområdet. Materiel som tas fram måste därför tjäna till att minska den enskilde soldatens fysiska och psykiska påfrestningar.

För anfall eller patrulleringsuppdrag finns ett flertal sensortekniker som kan vara intressanta, vilket även studeras i flera projekt [1][2][3]. Dessa system måste tas fram med hänsyn till soldatens uppgift och taktiska beteende. Vid reträtt är beteendet med största sannolikhet annorlunda. Behov av plötslig reträtt startar på grund av någon misräkning. Den blir snabb och riskerar att bli okontrollerbar. För att minska den psykologiska pressen vid en reträtt kan även här olika sensorsystem användas. Denna rapport exemplifierar detta med ett kombinerat sensor- och kommunikationssystem som kan bidra till lägesuppfattningen under reträtt och framför allt registrera förändringar i reträttvägen för de fall då den är densamma som anfalls- eller patrulleringsvägen.

## 1.2 Scenario

En bataljons eller ett kompanis uppgift i urban miljö kan delas in i två huvudtyper, att anfalla in i bebyggelse för att ta territorium och hantera fredsbevarande uppgifter, typ NBG - separera stridande [3]. Vid anfall är uppgiften att söka fri väg fram till målet. Många gånger sker framryckningen på flera täter, längs parallella gator, för att lättare kunna ge understöd till varandra ifall någon skulle stöta på ett hinder.

Vi tänker oss ett litet scenario där vi har tillgång till en del av ett kompani och terrängen är sådan att man väljer att göra en uppsutten framryckning på tre parallella gator. Kompanichefen framrycker längs en gata, hans ställföreträdare längs parallellgatan på höger sida och ytterligare ett fordon längs parallellgatan på vänster sida, Figur 1. Framryckning längs flera gator ger fördelen att det är möjligt att samla in omvärldsinformation från ett större område under framryckningen. Omvärldsinformationen, d.v.s. information om anfallsvägens utseende sprids mellan fordonen, där kompanichefens fordon fungerar som en sambandscentral. Det innebär att all information sänds till sambandscentralen som sedan sprider den vidare till övriga berörda fordon. Vid en eventuell reträtt så finns omvärldsinformation även om man själv inte använde den framryckningsvägen. En förutsättning är dock att omvärldsinformationen sänds på ett sådant sätt att närliggande fordon kan ta emot informationen.



**Figur 1:** Framryckning i bebyggelse sker i allmänhet på flera tåter längs parallella gator. I vårt scenario delar fordonen upp sig på tre parallella gator där Kompanichefen tar den mittersta vägen med andra fordon på var sida om sig.

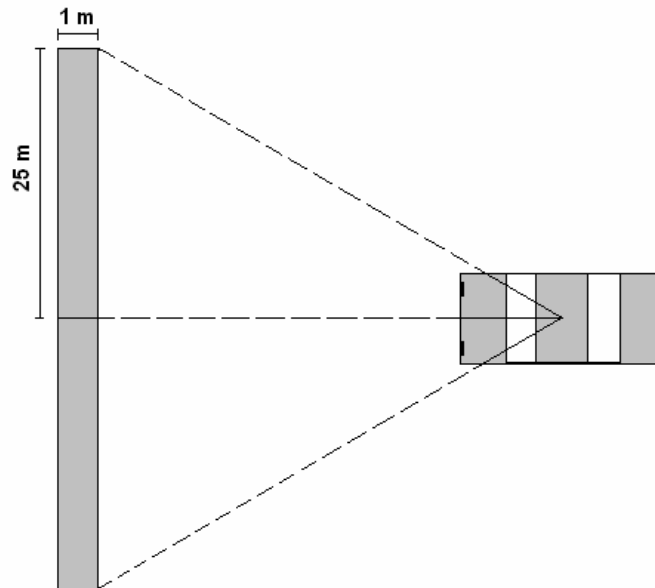


## 2 Sensorteknik

I vårt scenario samlar vi in information om utseendet längs anfallsvägarna, d.v.s. fordonen har utrustats med system som karterar framryckningsvägen. Syftet med karteringen måste i första hand vara att upptäcka hot för stridsfordonet längs framryckningsvägen. Detta kan ske genom att i realtid jämföra karterat data med kända föremål som t.ex. en mina. Detta förutsätter att vi har tillgång till en databas över ett antal hotobjekt.

Genom att tillföra ytterligare sensorer som blickar bakåt/snett bakåt kan även kartering av området bakom fordonet ske. Denna kartering kan lagras och spridas och användas om förhållandena ändras så att fordonet eller något annat fordon i gruppen snabbt måste retirera. Den lagrade karteringen av området kan då användas som underlag för att upptäcka eventuella förändringar i reträttvägen. Det vi menar med förändringar i detta fall är utplacering av minor som är stora nog att vara ett hot för stridsfordonet.

Ett realistiskt sensorsystem borde kunna upptäcka en utplacerad mina i dm-storlek och på ett avstånd upp till 25 m. För att lyckas med det krävs att sensorerna kan placeras högt på fordonet så att sikten i det direkta närområdet inte skymms. I vårt exempel förutsätter vi att det räcker med en eller ett par IR-sensorer som blickar bakåt/snett bakåt för att uppnå en spaningsbredd på +/- 25 m, Figur 2. I praktiken betyder det att det måste vara plan mark och att det inte får finnas några skylande objekt längs anfallsvägen. Sensorinformation kan sedan användas vid reträtt då fordonet backar tillbaka. Om fordonet vänt innan reträtt kan de framåtblickande sensorerna som karterar framryckningsvägen användas.



**Figur 2:** Om sensorerna placeras högt på fordonet kan de avsyna ett område på +/- 25 m på 25 m avstånd.

I en mer komplicerad omgivning krävs spaning såväl framåt som bakåt under framryckningen samt en 3D terrängmodell. Dessutom behövs troligen laserradar för att matcha sensordata med terrängmodellen, ett scenario som vi inte behandlar i denna rapport.

För att kunna knyta sensorinformationen till punkter på en karta behöver all data geolokaliseras. Detta görs med hjälp av sensorer som registrerar position och orientering av de bildalstrande sensorerna. Det geolokaliserade sensordatat behålls i fordonet samt skickas till sambandscentralen, Kompanichefens fordon, för spridning till övriga fordon i omgivningen. Förändringsdetektionen, d.v.s. analysen om något förändrats i omgivningen, sker i det retirerande fordonet genom att geolokaliserat data automatiskt jämförs med nytt geolokaliserat data i det retirerande fordonet. I och med att all karterad data skickas till sambandscentralen så kan de andra fordonen också få tillgång till karteringen. På så sätt kan ett fordon som retirerar på ”någon annans” väg använda det karterade datat från sträckan. Ett alternativ skulle kunna vara att använda en mänsklig operatör för att manuellt göra förändringsanalysen, men det reducerar reträtthastigheten onödigt mycket.

Sensorerna som används består av en IR-kamera, som registrerar värme och som klarar mörkerseende. En IR-kamera med våglängdsområdet 8-12  $\mu\text{m}$  har bättre prestanda i rök och damm än en kamera i området 3-5  $\mu\text{m}$ . Vidare så förutsätts att signalbehandling, komprimering och eventuell kryptering sker på plattformen innan data förs över till sambandscentralen.

## 2.1 Signalbehandling och förändringsanalys

I signalbehandlingssteget ingår att ta hänsyn till sensorernas optiska axel och kompensera på så sätt att varje pixel i bilden som ska överföras till sambandscentralen motsvarar erforderlig upplösning på marken. Det betyder att sensors bildelement som avbildar punkter nära fordonet kan ”slås ihop” för att inte få en upplösning på marken som varierar med avståndet. Bilderna omsamlas således adaptivt med avståndsinformation som parameter. Varje punkt i naturen avbildas bara en gång i de data som skickas över länken (inget överlapp). Dessutom ombesörjs att den rumsliga upplösningen i data som skickas över länken inte varierar över det avbildade området.

Förändringsanalys används som metod för att detektera hot som tillkommit efter framryckningen. Detta sker genom att sensordata som genererats under framryckningsfasen med något fordon från den egna sidan som sensorplattform, geolokaliseras och skickas till sambandscentralen som vidarebefordrar samma data till det fordon som skall använda den tidigare framryckningsvägen som reträttsväg. Klassificering av de områden som segmenterats fram i förändringsanalysen sker med sensordata från det retirerande fordonet som underlag. För att kunna detektera förändringar och klassificera hoten behöver dock algoritmer för detta utvecklas ytterligare.

## 2.2 Trafiklast

Vi använder en IR-kamera (värmekamera) för mörkerkapacitetens skull. Objekten som skall detekteras har en storlek av minst  $1 \text{ dm}^2$ . IR-data som ska föras över på datalänken antas ha 12 bitars radiometrisk upplösning och spatiell upplösning av 4 pixlar på objektet dvs 4 st 12-bitars pixlar/ $\text{dm}^2 = 48 \text{ bitar}/\text{dm}^2 = 4800 \text{ bitar}/\text{m}^2$ .

För överföring på datalänken kombineras IR-data med antingen:

1. Spatiellt högupplöst monokrom data inom VIS/NIR (visuellt- och när-IR) för att göra förändringsdetektion genom analys av rumsliga egenskaper. För detta antar vi att det behövs  $5 \times 5$  stycken 12-bitars pixlar på objektet, dvs 25 st 12-bitars pixlar/ $\text{dm}^2 = 300 \text{ bitar}/\text{dm}^2 = 30000 \text{ bitar}/\text{m}^2$ .
2. RGB-data för visuella våglängder som utnyttjar spektral information för förändringsdetektion. Till detta antas åtgå 4 st 12-bitars pixlar på objektet för varje spektralband, dvs  $3 \times 4$  st 12-bitars pixlar/ $\text{dm}^2 = 144 \text{ bitar}/\text{dm}^2 = 14400 \text{ bitar}/\text{m}^2$ .

Trafiklasten per meter framryckning, enligt Figur 2, blir då

1.  $(25+25) \times 1 \text{ m}^2 \times (4800+30000) \text{ bitar}/\text{m}^2 = 1740000 \text{ bitar} (1,74 \text{ Mbit})$ .
2.  $(25+25) \times 1 \text{ m}^2 \times (4800+14400) \text{ bitar}/\text{m}^2 = 960000 \text{ bitar} (0,96 \text{ Mbit})$ .

Till sensordata kommer också data för geolokalisering, men den datamängden torde vara marginell i sammanhanget eftersom sådana data kan hanteras mer globalt och inte behöver associeras med varje pixel.

Erforderlig kanalkapacitet beror på framryckningshastighet. Vid en hastighet av 10 m/s blir kanalbehovet ifall inte hänsyn tas till komprimeringspotential:

1. 17,4 Mbit/s
2. 9,6 Mbit/s

Datakomprimering kan reducera kanalbehovet. Denna måste vara av typen ickeförstörande eftersom jämförelser skall göras med data direkt från sensorerna. En god gissning är att vi kan komprimera datamängden med 75 %, vilket skulle ge ett kapacitetsbehov av ungefär 4,5 Mbit/s resp. 2,5 Mbit/s. I de fall man nöjer sig med visuell inspektion, är 90 % datareduktion ett rimligt antagande.

I de fall en tidsfördröjning av data kan accepteras så reduceras också kanalbehovet. Data kan i så fall buffras och överföras från det framryckande fordonet till sambandscentralen efter det att framryckningen är klar. Karterade data kan också skickas över från sambandscentralen till alla fordon inom området som en förberedelse för en reträtt som ännu inte blivit aktuell.

### 3 Trådlös sensorkommunikation

För att ett sensorsystem skall vara praktiskt användbart måste det vara kopplat till ledningssystemet på något sätt, Figur 3. I vårt exempel tänker vi oss att informationen från sensorerna endast är intressant för de tre fordonen längs de tre parallella gatorna. Kommunikationssystemet som förmedlar sensordata behöver alltså inte ha så lång räckvidd och kan därför tillåtas att sända på högre frekvenser vilket medger högre dataakt.

Om fordonet i vårt exempel framförs i en hastighet av 10 m/s (36 km/h) krävs en överföringshastighet på 17,4 resp 9,6 Mbit/s för de olika sensorteknikerna. Även på höga frekvenser är det stora datamängder och därför bör någon form av komprimering ske. Mellan tummen och pekfingeret kan olika komprimeringsalgoritmer reducera kapacitetskravet med ca 75 %. Vi tänker oss därför ett behov av överföringskapacitet på 4,5 Mbit/s resp. 2,5 Mbit/s som realistiskt. Nästa krav på kommunikationslänken är att den klarar mobilitet så att fordonet kan sända och ta emot data under förflyttning. Av befintliga standarder för mobil kommunikation har vi valt att studera IEEE 802.16e, även kallad Mobile WiMAX, lite närmare.



**Figur 3:** För att sensorsystemet skall tillföra någon större nytta bör det anslutas till ledningssystemet. Sensorn är placerad högst upp på fordonet och anslutningen till ledningssystemet kan ske med en antenn monterad bredvid.

### 3.1 Mobile WiMAX

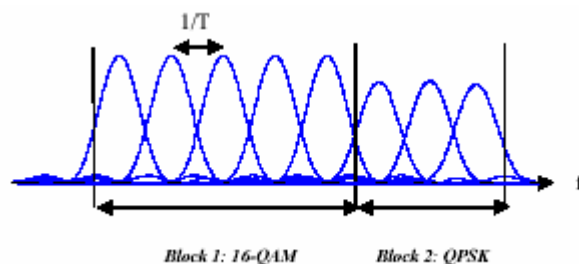
Mobile WiMAX, baserad på IEEE 802.16e, är en mobil trådlös bredbandsteknik som i Release-1 opererar i frekvensområdena 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz och 3,5 GHz med bandbredderna 5 MHz, 7 MHz, 8,75 MHz och 10 MHz. Det är ett adaptivt system som erbjuder ett antal modulations- och kodningstekniker med olika överföringskapacitet. Tekniken som möjliggör koppling mellan mobila och fasta bredbandsnät har sin styrka i den höga kapaciteten. WiMAX bygger på öppna standarder och har i och med det fått en stor spridning inom industrin vilket håller ner kostnaderna och bäddar för fortsatt utveckling. Standarden bygger på en basstationslösning, d.v.s. man har en upphöjd basstation och flera mobila enheter.

I vårt scenario behöver vi en basstation och två mobila enheter för de tre fordonen och vi gör en del antaganden om funktionen som avviker mot normal (tänkt) användning av detta system. Vi tänker oss att Kompanichefens vagn kan utrustas som basstation men att antennen placeras på samma höjd som på de övriga fordonen eller de s.k. mobila enheterna. Vi antar också att vi kan ha samma uteffekt på basstationen och de mobila enheterna. Vidare antar vi att det är möjligt att justera kapacitetsförhållandena i upp- och nerlänk (upp till basstationen resp. ner från basstationen) så att vi får en högre kapacitet i upplänken eftersom den skall delas av två mobila enheter (eftersom TDD = Time Division Duplex används). Den totala kapaciteten är fortfarande oförändrad.

Mobile WiMAX använder OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Anledningen är att OFDM är utvecklad för att klara flervägsutbredning vilket är vanligt i urbana miljöer, speciellt då vi inte har fri sikt mellan sändare och mottagare.

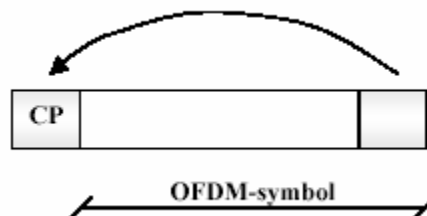
### 3.2 OFDM

Den grundläggande idén bakom OFDM [4] är att omvandla en bredbandig signal till ett antal smalbandiga signaler som är mindre känsliga för störningar. Detta görs genom att dela upp datamängden som skall sändas till ett antal parallella dataströmmar som var och en sänds med reducerad hastighet i separata subkanaler eller subbärvågor, Figur 4. Fördelen med att göra subkanalerna smalbandiga blir att eventuell störning enbart drabbar någon enskild underbärvåg istället för hela signalen. Skulle signalen bli störd kan man återställa informationen med hjälp av felrättande koder.



Figur 4: Illustration av ett OFDM-spektrum med åtta underbärvågor. Mottagen signalstyrka kan variera för underbärvågorna.

Till varje OFDM-symbol adderas ett cykliskt prefix, Figur 5. Syftet är att om prefixet är tillräckligt långt (minst lika långt som kanalens tidspridning) så kommer samtliga flervägsutbredningskomponenter (från föregående OFDM-symbol) att infalla inom denna tid. Genom att klippa bort prefixet i mottagaren undviks eventuell intersymbolinterferens.



**Figur 5: Addition av cykliskt prefix (CP) sker genom att den sista delen av OFDM-symbolen kopieras och läggs till även i början av OFDM-symbolen.**

Radiokanalen kommer att införa tids- och frekvensfel på den sända kanalen, vilket OFDM är känslig för. Dessa fel måste kompenseras för innan demodulering kan göras och sändare och mottagare måste således synkroniseras.

En teknik för att i mottagaren utföra synkronisering i OFDM är att använda det cykliska prefixet, vilket inför en korrelation mellan sampel inom en OFDM-symbol. Detta kan användas för att hitta tids- och frekvenssynkronisering. En annan intressant teknik använder sig av pilottoner, d.v.s. en känd datasymbol som sänds på en specificerad underbärvåg från vilken tids- och frekvensfel kan uppskattas och kompenseras för. Efter att synkroniseringen hittats kan OFDM-moduleringen ske.

Ur militär synvinkel kan användningen av det cykliska prefixet ställa till problem. Teknikerna innebär en upprepad signal som kan användas vid signalspaning. Ett signalspaningssystem skulle kunna söka efter det cykliska prefixet eller pilottonen och på så sätt upptäcka kommunikationslänken. I vårt scenario uppskattar vi risken att utsättas för signalspaning mycket liten. Vi dimensionerar en kommunikationslänk med mycket kort räckvidd utmed marken, vilket innebär att signalspaningsutrustningen skulle behöva finnas precis i närheten. Om vi i vårt scenario även kommunicerade med en UAV skulle vi däremot riskera att utsättas för signalspaning.

### 3.3 Räckviddsberäkningar

För att klargöra om WiMAX-tekniken överhuvudtaget kan användas behöver vi göra en räckviddsberäkning utgående från standarden.

I vårt scenario väljer vi att IR-data kombineras med spatiellt högupplöst monokrom data inom VIS/NIR och att fordonet håller en hastighet på 10 m/s. Det ger ett behov av en överföringskapacitet på 17,4 Mbit/s. Vi antar att vi kan komprimera informationen så att behovet av överföringskapacitet reduceras till 4,5 Mbit/s.

De två yttre fordonen utrustas som mobila enheter med en kommunikationsantenn på taket, antennhöjden 3 m. Vi räknar med en antennvinst,  $G$ , på 4 dB vardera. Kompanichefens vagn utrustas med kommunikationssystemets basstation med en antennhöjd på 3 m. Antennvinsten är även här 4 dB. Frekvensen är 2,5 GHz och maximal uteffekt,  $P$ , är 10 W för samtliga stationer vilket motsvarar +40 dBm. Den höga uteffekten från samtliga stationer är ett avsteg från normal konfiguration av mobil WiMAX, normalt har mobilen betydligt lägre effekt än basstationen.

För att klara överföringen så sänds informationen ut som ett broadcast-meddelande från basstationen till de mobila enheterna vilket innebär att vi behöver en datatakt på 4,5 Mbit/s i nerlänk. I upplänken, till basstationerna, måste vi dubblera datatakten eftersom det finns två mobila enheter i systemet som ska dela på överföringskapaciteten. Upplänken behöver därför ha en överföringskapacitet på minst 9 Mbit/s. Tittar vi i tabellverk [5] för ett WiMAX-system med frekvensen 2,5 GHz, en bandbredd på 10 MHz och med felrättande kod typ 64-QAM med  $\frac{3}{4}$  CTC kodtakt så får vi en rå överföringshastighet på 28,51 Mbit/s i nerlänk och 21,17 Mbit/s i upplänk. I ett reellt fall kan vi inte på långa vägar nå upp till en sådan datatakt utan vi får kanske räkna med maximalt halva kapaciteten. Eftersom vi trots den begränsningen ligger över våra kapacitetskrav skulle systemet kunna fungera. Enligt standarden 802.16-2004, som ligger till grund för standarden 802.16e, behöver vi ett  $R_{ss}$  (received signal strenght) på -68 dBm för aktuell kodning. Eftersom systemet är mobilt lägger vi till en extra fädningsmarginal på 14 dB. Dessutom har vi kabeldämpningar vid sändaren och mottagaren på uppskattningsvis sammanlagt 2 dB.

Länkbudgeten för informationsöverföringen mellan en mobil enhet och basstationen kan då beräknas med följande ekvation:

$$L_B(dB) = P(dB) + G_S(dB) + G_M(dB) - Fädning(dB) - Kabel(dB) - R_{ss}(dB)$$

$$P = 40 \text{ dBm}$$

$$G_S = G_M = 4 \text{ dB}$$

$$Fädning = 14 \text{ dB}$$

$$Kabel = 2 \text{ dB}$$

$$R_{ss} = -68 \text{ dBm}$$

Den högst tillåtna totala länkdämpningen blir således,  $L_B \sim 100$  dB

För att få en uppfattning om vilken räckvidd vi kan få med maximalt tillåten länkdämpning på 100 dB gör vi några beräkningar med hjälp av vågutbredningsmodellen COST 231 - Walfisch-Ikegami [6].

COST 231 - Walfisch-Ikegami modellen är en kombination mellan Walfischmodellen och Ikegamimodellen som arbetades fram inom COST 231. Det är en statistisk modell som är avsedd att arbeta med parameteruppsättningarna inom nedanstående gränser:

f: 800 - 2000 MHz

Hb: 4 - 50 m

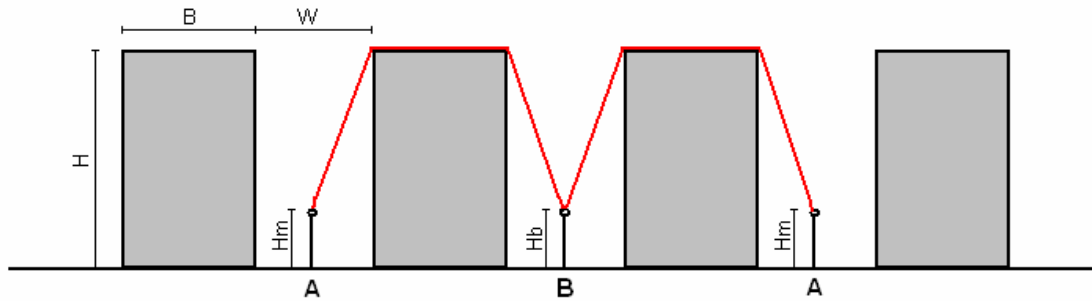
Hm: 1 - 3 m

D: 0,02 - 5 km

D är avståndet mellan basstationen och mobilen. Övre gränsen för frekvensen är 2 GHz vilket innebär att vi använder modellen utanför sitt avsedda område vilket kan ge ett felaktigt värde. Vidare så är modellen i första hand avsedd för mobiltelefonberäkningar där basstationen är placerad över hustaken. Hb och Hm är antennhöjder för basstationen respektive mobila enheter. För de fall då basstationen är placerad under hustakshöjd kan modellen underskatta signalstyrkan eftersom den inte tar hänsyn till flervägsutbredning. Å andra sidan förutsätter modellen en plan mark vilket skulle överskatta signalstyrkan för de fall då marken i själva verket är kuperad. Vi kan därför bara tolka resultatet "på ett ungefär". Modellen skiljer mellan suburban och urban, d.v.s. mellan förorts- och stadsmiljöer och vi har beräknat länkdämpningen för båda fallen.

Frågan vi ställde oss inför beräkningarna var om signalen överhuvudtaget når från basstationen till en mobil enhet och tvärtom. Beräkningarna är därför starkt förenklade där vi tänker oss två vägar med hus på vardera sidan. Eftersom modellen är 2-dimensionell och inte tar hänsyn till flervägsutbredning kan vi se det som att husen har en oändlig utsträckning i längsled. Vi beräknade länkdämpningen för 6 fall för en av utbredningsvägarna enligt Figur 6 och Tabell 1.





**Figur 6:** Räckviddsberäkningarna är gjorda utifrån en skiss med hus och gator. Höjd (H) och bredd (B) på husen har varierats liksom bredden på mellanliggande gata (W). Antennhöjderna (Hb, Hm) är 3 m för samtliga fall.

Resultaten av beräkningarna framgår av tabell 1. L är den beräknade länkdämpningen mellan sändaren och mottagaren för den utbredningsväg som illustreras i Figur 6. Den maximala länkdämpningen får inte överstiga 100 dB.

**Tabell 1: Resultat från beräkningar av Länkdämpningar (L) för de olika fallen vid frekvensen 2,5 GHz.**

Fall	Miljö	H	B	W	Hb	Hm	L
1	Urban	20 m	35 m	20 m	3 m	3 m	100 dB
2	Suburban	20 m	35 m	20 m	3 m	3 m	95 dB
3	Urban	10 m	35 m	20 m	3 m	3 m	94 dB
4	Suburban	10 m	35 m	20 m	3 m	3 m	90 dB
5	Urban	15 m	30 m	15 m	3 m	3 m	100 dB
6	Suburban	15 m	30 m	15 m	3 m	3 m	95 dB

Trots våra pessimistiska beräkningar så klarar vi gränsen för maximalt tillåten länkdämpning på 100 dB. I ett verkligt fall borde räckvidden bli bättre, framför allt då vi passerar tvärgator. Beräkningarna visar dock att man inte får någon större räckvidd med systemet, framförallt beroende på de låga antennhöjderna. I vårt fall kan systemet användas om kompaniet delar upp sig på tre vägar med basstationsvagnen på vägen i mitten.

## 4 Resultat och slutsatser

Vi har här redovisat en första grovt förenklad ansats för att se om det är möjligt att med COTS-teknik sprida sensorinformation i ett närområde. Analysen av konceptet är i sin helhet teoretisk och det skulle vara intressant att genomföra ett verkligt försök.

Beräkningarna bygger på ett antal antaganden men resultatet visar ändå att det borde vara möjligt att överföra stora mängder data men att avstånden mellan sändare och mottagare inte får vara speciellt stort.

WiMAX bygger på OFDM-teknik som behöver synkroniseras. Denna synkronisering, som sker med hjälp av det cykliska prefixet, kan ställa till problem, ur militär synvinkel. Anledningen är att den ger upphov till en upprepad signal som lätt kan upptäckas med ett signalspaningssystem. Det finns idéer om olika sätt att minska problemet men för att hitta en bra lösning krävs en omfattande arbetsinsats.

## 5 Referenser

- [1] D. Letalick, P. Andersson, T. Chevalier, C. Grönwall, A. Linderhed, H. Larsson, D. Menning, C. Nelsson, P. Nilsson, S. Nyberg, S. Sjökvist, O. Steinvall, G. Tolt, M. Uppsäll, MOMS - Progress report 2006, FOI-R--2147--SE, 2006.
- [2] M. Holmberg, L. Svensson, M. Gustavsson, P. Rindstål, Behov av sensorsystem i urban miljö, FOI-R--2161--SE, December 2006
- [3] Å. Waern, P. Johansson, M. Pettersson, Kommunikation vid urban krigföring - Radio och Laser, FOI-R--1279--SE, Juni 2004.
- [4] OFDM, L. Ahlin, P. Johansson, S. Linder, L. Pääjärvi, J. Rantakokko, H. Tullberg, Demonstration av adaptiv radionod, FOI-R--1208--SE, Mars 2004
- [5] WiMAX Forum, Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, August 2006
- [6] Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems - COST 231 Final Report