

Umeå Universitet
Institutionen för datavetenskap
Examensarbete 20p

WLAN-positionering

Författare:

Jonas Häggström
ens00jhm@cs.umu.se

Handledare:

Frank Drewes
drewes@cs.umu.se

Anders Broberg
bopspe@cs.umu.se

Abstract

A lot of research and work has been done in the last few years to develop location-aware applications for mobile devices. Being able to position and track users with mobile devices is a necessity when deploying these location-aware applications. This paper addresses the way to do this in an indoor environment by using the characteristics of a WLAN infrastructure.

Some commercial systems for indoor positioning and tracking exist but most of them rely on specialized hardware that needs to be installed in order to get an accurate positioning. In this paper we have examined analytically and evaluated empirically some hardware-independent methods that have been proposed for indoor positioning. We also discuss a couple of algorithms that can enhance the precision and accuracy of WLAN positioning.

Research carried out by others shows that there currently exist two types of methods for hardware-independent WLAN positioning, the deterministic types reported in [1,2,3,4] and the probabilistic types reported in [5,6,7,9,10]. A report [8] on this subject that analytically compares these types of methods proves that the probabilistic types are better in estimating the position of the user and we have therefore designed, implemented and compared a new refined method of this type with older methods.

Sammanfattning

På senare år har mycket forskning och arbete gjorts för att utveckla positionsmedvetna program till mobila enheter. För att kunna utveckla dessa program behöver vi kunna positionsbestämma och följa användare med mobila enheter. Denna rapport beskriver ett sätt att göra detta i en inomhusmiljö genom att använda egenskaperna för ett trådlöst nätverk av typen IEEE 802.11a/b/g.

Det finns flera kommersiella system för inomhuspositionering på marknaden men de flesta är beroende av speciell hårdvara som måste installeras för att få en noggrann positionering. I den här rapporten har vi analytiskt undersökt och empiriskt testat några hårdvaruoberoende metoder som föreslagits för positionering inomhus. Vi diskuterar även ett par algoritmer som kan förbättra precisionen och riktighet vid positionering i trådlösa nätverk.

Forskning som utförts av andra visar att det för närvarande finns två typer av metoder för hårdvaruoberoende positionering i trådlösa nätverk, deterministiska typen som beskrivits i [1,2,3,4] och sannolikhetsbaserade typen som beskrivs i [5,6,7,9,10]. I en rapport [8] som analytiskt jämför dessa två typer bevisas att den sannolikhetsbaserade typen är bättre på att bedöma den trådlösa enhetens position och vi har därför designat, implementerat och jämfört en ny förbättrad sannolikhetsbaserad metod med äldre metoder.

Innehåll

1	Inledning.....	7
1.1	Bakgrund.....	7
1.2	Mål.....	7
1.3	Metod.....	8
1.4	Relaterade arbeten.....	8
1.5	Rapportens struktur.....	9
2	Positioneringsalgoritmer.....	11
2.1	Grundläggande begrepp.....	11
2.2	Allmänt om teoretiska modeller.....	12
2.3	Positionering med radiokarta.....	13
2.4	Ett exempel på två empiriska positioneringsmetoder.....	17
3	Teori och verklighet – Faktorer som påverkar signalstyrkan.....	19
3.1	Fler faktorer som påverkar signalen.....	22
4	Radiokartan.....	27
4.1	Radiokartans kvalitet.....	28
4.2	Radiokarta MIT-huset våning 4.....	29
4.3	Radiokarta MIT-huset Mitum.....	31
4.4	Mätning av radiokarta.....	32
4.5	Analys av radiokartans signaldata.....	33
5	Analys av faktorer som påverkar radiokartan.....	37
5.1	Folkmassor absorberar signalen.....	37
5.2	Inverkan av basstationernas placering.....	41
6	MATLAB.....	45
6.1	MATLAB Engine.....	45
7	Positioneringsalgoritm till Location Lab.....	47
7.1	Datinsamling.....	47
7.2	Matchning grundad på sannolikhet.....	48
7.3	Viktat resultat av matchning.....	49
7.4	Bayesiskt filter.....	49
7.5	Beräkning av slutgiltiga koordinater.....	51
8	Test av positioneringsalgoritm.....	55
9	Framtida arbete.....	57
9.1	Förbättra positioneringsprocessen.....	57
9.2	Utvärdering av Location Lab.....	58
9.2	Location-aware applications.....	59
10	Slutsats.....	61
11	Tack.....	62
	Bilaga 1 - Användarhandledning.....	65
	Bilaga 2 – Störande radiosändare.....	68
	Bilaga 3 – Signalstyrkans fördelning.....	68
	Bilaga 4 – TomVSFullLokal.....	68

1 Inledning

Att kunna fastställa och följa mobila användares fysiska position är grunden för användandet av *positionsmedvetna* system. För positionering utomhus har GPS blivit en standard som de flesta kommersiella företag följer men än har ingen kunnat hitta någon bra metod för att positionera och följa en mobil användare inomhus där täckning för GPS saknas. Vid inomhuspositionering finns krav på en relativt bra precision samt att kostnad för implementation och underhåll inte blir alltför hög. Många förslag på sådana system har de sista åren lagts och flera kommersiella alternativ finns redan på marknaden, se t.ex. [1,13,14,15,16], men ingen metod har ännu blivit accepterad som standard. Detta kan bero på att företagen som ligger bakom tekniken vill behålla den för sig själva och på så sätt minimera konkurrensen för deras produkter.

1.1 Bakgrund

Den här uppsatsen är en del av ett examensarbete på D nivån i ämnet datavetenskap. Examensarbetet utförs som ett uppdrag åt Umeå Centre for Interaction Technology (UCIT) vid Umeå Universitet. Idén till detta examensarbete uppkom under Nolia mässan 2003 då det i ett projektsamarbete mellan UCIT, CDT, Interactive Institute och NOLIA kallat "Fair" testade ett flertal positionsmedvetna system, bland annat ett positioneringssystem kallat "Located". Målet var att på ett enkelt sätt kunna fastställa användarens position genom att använda signalstyrkorna från basstationerna i det befintliga trådlösa nätverket. Detta visade sig vara ett problem då det märktes att de omgivande faktorerna (vilket troligtvis var folkmassor som absorberade RF-signalen) i hög grad försämrade positioneringen. För att komma till rätta med detta problem utvecklade Anton Gustavsson vid institutionen för datavetenskap, en testmiljö för att utvärdera olika positioneringsalgoritmer. Nu är detta testsystem i stort sett färdigt och det används i detta examensarbete som en del av testbädden för ett antal positioneringsalgoritmer. Genom att jämföra olika algoritmer i en gemensam testmiljö hoppas vi kunna urskilja vilka typer av algoritmer som fungerar bäst samt hur olika faktorer i algoritmen och radiokartan påverkar positioneringen.

1.2 Mål

Målet med detta examensarbete är att undersöka vilka faktorer som påverkar precision och säkerhet i positioneringsprocessen.

Med testmiljön Location Lab kan vi jämföra positioneringsalgoritmer och undersöka olika faktorer inverkan på positioneringen. För att positionera sig med Location Lab behövs en radiokarta över området där användaren befinner sig. Området som undersöks i denna rapport ligger på våning 2 i MIT huset vid Umeå universitet. Radiokartan har som ett delmål i examensarbetet, mäts upp och beskrivs närmare i avsnitt 2.3. Nästa delmål är att undersöka ett sätt att få tillgång till MATLAB från en befintlig algoritm. På detta sätt kan vi använda oss av MATLABs bibliotek som kan

användas för att utveckla nya algoritmer. De algoritmer som undersöks i denna rapport kräver ingen speciell hårdvara utöver ett befintligt trådlöst nätverk samt en bärbar pc och ett trådlöst nätverkskort. Andra typer av system som kräver installation av hårdvara utöver det befintliga trådlösa nätverket och/eller speciell konfigurering av hårdvara kommer inte att behandlas i denna rapport. Examensarbetet skall resultera i en tryckt rapport som inkluderar sammanfattningar och referenser till litteratursökningen inom ämnet WLAN- positionering samt förklaringar till vilka faktorer som undersökts och dess inverkan på positioneringen. De algoritmer som undersöks kommer även att finnas implementerade som dll filer i testsystemet Location Lab.

1.3 Metod

För att identifiera vilka faktorer som påverkar positioneringen görs en litteratursökning av tekniska artiklar som publicerats om WLAN-positionering. Detta för att skaffa sig förståelse för vad WLAN-positionering är och vilka metoder som används. Därefter mäts radiokartor upp för att utföra undersökningar av hur faktorer i omgivningen påverkar radiosignalen och positioneringsprocessen. För att testa olika faktorer inverkan på positioneringsprocessen implementeras en eller flera algoritmer i testmiljön ”Location Lab” varefter resultaten jämförs för att se vilken inverkan olika faktorer har på positioneringen.

1.4 Relaterade arbeten

Mjukvarubaserade system [1-13] som utvecklats för WLAN-positionering kan indelas i två typer, *deterministiska* och *sannolikhetsbaserade*. Båda typer använder sig av en radiokarta som måste mätas upp först. Radiokartan innehåller information om signalstyrkor från basstationerna.

I rapporten ”On the Optimality of WLAN Location Determination Systems” [8] bevisas att de sannolikhetsbaserade metoderna är bäst lämpade för inomhuspositionering och ett exempel på en sådan metod beskrivs närmare i rapporten ”WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions” [7]. Ett kommersiellt system som sägs vara marknadsledande inom WLAN-positionering, EPE [13] marknadsförs och säljs av Ekahau, Inc. EPE har sin grund i en sannolikhetsbaserad metod som utvecklats av Complex Systems Computation Group vid Helsingfors universitet och sägs kunna leverera x, y och våningskoordinater samt riktning och hastighet med en medelprecision på 1 meter givet signalstyrkor från fyra basstationer. Tyvärr avslöjar inte företaget detaljerna kring positioneringsmetoden som används men en gratisversion av EPE finns att ladda ner på deras hemsida.

1.5 Rapportens struktur

Rapporten inleds med grundläggande information som behövs för att förstå begreppen som behandlas i rapporten. Kapitel 2 behandlar de teoretiska modeller som ligger till grund för positionering i WLAN d.v.s. trådlösa nätverk av typen IEEE 802.11a/b/g samt hur det praktiskt går till att utföra positionering med radiokarta och kapitlet avslutas med ett exempel på ett positioneringsproblem. I kapitel 3 undersöks vilka fysiska faktorer som påverkar radiosignalen och hur dessa hanteras i positioneringsprocessen. Kapitel 4 inleds med en beskrivning av de faktorer i radiokartan som inverkar på positioneringen och kort om vilka faktorer i omgivningen som påverkar signaldata i radiokartan. Avsnitt 4.2-4.4 beskriver 2 stycken radiokartor som mäts upp som delmål i examensarbetet och beskriver även vilken hårdvara och mjukvara som använts för att mäta upp radiokartorna. Avsnitt 4.5 analyseras data från en av radiokartorna i avseende att bestämma hur sannolikhetsberäkning för referenspunkterna skall göras. I kapitel 5 analyseras folkmassors påverkan på signaldata i radiokartan samt hur basstationernas placering kan minska folkmassors påverkan. Kapitel 6 beskriver hur algoritmer kan anropa funktioner i MATLAB för att utföra beräkningar som är krävande att implementera i C++, vilket var ett delmål i examensarbetet. Kapitel 7 är en algoritmbeskrivning som förklarar alla moment som utförs i positioneringsalgoritmen. Kapitel 8 förklarar vilka möjligheter som Location lab erbjuder i fråga om testning av algoritmer. Kapitel 9 tar upp förslag till framtida arbete på testmiljön och algoritmer samt exempel på ett antal applikationer som kan byggas kring tekniken för WLAN-positionering. Sista kapitlet redogör för resultaten av examensarbetet samt vilka slutsatser som dragits utifrån litteraturen i referenslistan samt de analyser som gjorts i rapporten. Bilaga 1 innehåller en översikt samt en användarhandledning till Location Lab

2 Positioneringsalgoritmer

Kapitlet behandlar två olika typer av positioneringsalgoritmer och förklarar varför sannolikhetsmetoder är bättre än deterministiska metoder på att bestämma en användares fysiska position. För att lättare förstå de begrepp som används i rapporten inleds kapitlet med en beskrivning av några tekniska termer som förekommer frekvent i rapporten. Kapitlet avslutas med ett exempel på ett positioneringsproblem för att illustrera hur positioneringen går till.

2.1 Grundläggande begrepp

För att lättare komma in i sammanhanget som diskuteras i detta och nästkommande kapitel krävs en förklaring av några begrepp som är viktiga att förstå och som förekommer frekvent i rapporten. *Positionering* avser processen som utförs när vi vill fastställa en persons eller ett objekts koordinater i en miljö där vi har tillgång till ett trådlöst nätverk (WLAN) av typen IEEE 802.11a/b/g och en karta över det trådlösa nätverkets omgivning. Det trådlösa nätverket kan enkelt sägas bestå av *basstationer* som trådlöst kommunicerar med ett antal *klienter*. Där en klient kan vara en person eller ett objekt försedd med en trådlös sändare/mottagare. Det bör påpekas här att Location Lab kräver tillgång till mjukvara hos klienten vilket tas upp närmare i bilaga 1.

För att utföra positioneringen på det sätt som beskrivs i denna rapport behövs tillgång till någon typ av referens. Referenser som används består av signaldata från basstationer i det trådlösa nätverket som uppmätts på olika fysiska platser innan positioneringsprocessen. Dessa referenser representeras i en databas som kallas *radiokarta*. Med begreppet *referenspunkt* avses en fysisk plats och riktning där det görs en mätning av signalstyrkan från basstationer i omgivningen. Begreppet förekommer ofta då radiokartan beskrivs och den fysiska platsen avser då koordinater i $x, y, (z^1)$ led i det koordinatsystem som används av radiokartan och riktningen avser i vilken riktning användaren är vänd vid mätningen. Förutom koordinater och riktning innehåller en referenspunkt även signaldata från basstationer, basstationernas MAC-adresser² mm.

Begreppet *position* används ofta i det sammanhang där klienten befinner sig på en fysisk plats som vi vill fastställa. Detta beskrivs i rapporten som "*den position vi ska bestämma*".

¹ Location Lab stödjer positionering i tre dimensioner. Positionering i höjddled kan utföras givet att det finns radiokartor skapade för varje våningsplan i byggnaden. Således talar z parametern i Location Lab om vilket våningsplan användaren befinner sig på. Nuvarande algoritmer stödjer dock endast positionering i x och y led.

² MAC-adress är en förkortning för Media Access Control Adress och är en hårdvaruadress som unikt identifierar varje nod i ett nätverk. Denna adress programmeras in i nätverkskortet av tillverkaren och kan inte ändras

Ett annat begrepp som ofta förekommer i denna rapport och i referenslitteraturen är ”LOS” som är en förkortning av ”line of sight”. Detta betecknar en rak väg som inte störs av några fysiskt avgränsande objekt mellan en basstation och någon plats där vi mäter signalstyrkan till basstationen. Dessa objekt kan vara till exempel väggar, golv eller människor.

Radiosignalen i ett trådlöst nätverk präglas av mycket *brus*. Med brus menas i denna rapport störningar av mätdata. Exempel på detta är t.ex. då signalen försvagas av förbipasserande människor, signaler som utsatts för störande radiosändare samt signaler som reflekteras av väggar och golv och genom detta släcker ut eller förstärker sig själv.

2.2 Allmänt om teoretiska modeller

För att förstå problemen som uppkommer vid positionering i WLAN bör teorin bakom tekniken beaktas. Positionering i ett trådlöst nätverk möjliggörs av det faktum att radiosignalen från basstationerna försvagas med avståndet. Den teoretiska modellen för signalens försvagning kallad ”*free-space-regeln*”, säger att radiosignalens försvagning då avståndet till basstationen ökas är proportionell mot $1/d^2$. Detta fenomen gör att olika fysiska positioner kan skiljas åt genom att titta på signalstyrkan som uppmäts på en plats och sedan räkna ut hur långt ifrån basstationen klienten befinner sig. När det finns tillgång till flera basstationer kan vi sedan triangulera fram x,y,z koordinater för klientens position. Free-space-regeln stämmer bra överrens med verkligheten då mätningar och positionering utförs utomhus där det inte finns några fysiska hinder förutom luft. Vid inomhuspositionering där signalen reflekteras, försvagas, förstärks och absorberas av fysiska hinder räcker dock inte denna enkla regel till. Flera undersökningar har resulterat i nya teoretiska modeller för radiosignalens försvagning där fysiska hinder som väggar och golv mm. vägs in i modellen. Några av dessa är WAF och FAF som beskrivs i artikeln om Radar [1]. Fördelen med en teoretisk modell är att den tidskrävande uppgiften att skapa en radiokarta ej behövs och om vi hade tillgång till en modell som exakt beskriver radiosignalens utbredning i den omgivning vi skall positionera oss i hade vi lätt kunnat utveckla en teknik för att göra en precis och säker positionering. På grund av att omgivningens karaktär varierar kraftigt inomhus (väggar och andra föremål reflekterar, försvagar och i vissa fall helt absorberar signalen) och att radiosignalens utbredning inomhus är svår att förutsäga så är det med dagens kunskap svårt om inte omöjligt att hitta en generell teoretisk modell som går att tillämpa i alla sammanhang. Det största problemet är att ingen av dagens modeller väger in det faktum att folkmassor som rör sig i omgivningen till stor del absorberar radiosignalen. Detta problem tas upp närmare i kap. 3. En annan praktisk begränsning av teoretiska modeller är att vi behöver veta koordinaterna för basstationerna för att kunna utföra själva positioneringen. I Location Lab tillämpas därför en empirisk metod som använder en radiokarta med referenspunkter.

Även om teoretiska modeller inte är direkt applicerbara vid inomhuspositionering finns det mycket att lära från dom om radiosignalens egenskaper vilket har undersökts närmare i kapitel 3.

2.3 Positionering med radiokarta

De system som bygger på referensdata i form av en radiokarta beskrivs i rapporterna [1-13] kan delas in i två typer. Den ena typen, s.k. *deterministiska positioneringssystem* [1,3] använder en metod där signalstyrkan för en basstation representeras av ett skalärt värde, t.ex. medelvärde av uppmätt signalstyrka, och använder inte sannolikhetsbaserade metoder för att uppskatta klientens position. Ett exempel är NNSS "nearest neighbour in signal space" algoritmen som beskrivs i rapporten om systemet RADAR[1]. Den andra typen, så kallade *sannolikhetsbaserade positioneringssystem*, sparar information om signalstyrkans sannolikhetsfördelning i radiokartan och använder sannolikhetsmetoder för att uppskatta klientens position, t.ex. en metod som hittar den position i radiokartan som har den största sannolikheten givet de signaldata som uppmäts vid själva positioneringsprocessen. För att på ett bra sätt kunna bestämma sannolikhetsvärde för en position krävs att systemet har kännedom om fördelningen av signalstyrkor i eller omkring positionen som skall bestämmas. I de system som undersöks i denna rapport antas att basstationernas signalstyrka är normalfördelad i referenspunkterna. Detta undersöks närmare och bekräftas i kapitel 6.

Sannolikhetsbaserade system har visat sig, både analytiskt och empiriskt, ge mindre fel i positioneringen än de deterministiska systemen. För att analytiskt bevisa detta [8] utgår vi från ett teorem som säger att om l är en plats vi tror oss befinna oss i enligt vår sannolikhetsmetod och s är mängden av signalstyrkor vi uppmäts där vi står så gäller:

Teorem 1 Att välja den plats l som maximerar sannolikheten $P(s | l) * P(l)$ är både nödvändigt och tillräckligt för att minimera sannolikheten för fel.

$P(l)$ betecknar sannolikheten att klienten kan befinna sig i referenspunkten l . Detta baseras på en användarprofil som kan användas för att bestämma om det är möjligt för en person att befinna sig på platsen som undersöks givet fakta om personens tidigare position. Vid en jämviktsfördelning av möjliga platser är $P(l)=1$. Detta är fallet då positioneringsprocessen startar och systemet inte har någon information om personens tidigare position.

Genom att bevisa Teorem 1 fastställer de i [8] att den optimala positioneringsmetoden skall spara signalstyrkefördelningen i radiokartan för att kunna beräkna $P(s | l)$. De bevisar även i [8] att en deterministisk metod inte är optimal. Skillnaden mellan säkerheten i deterministiska och sannolikhetsbaserade system kan illustreras med hjälp av nedanstående bilder med förklaringar.

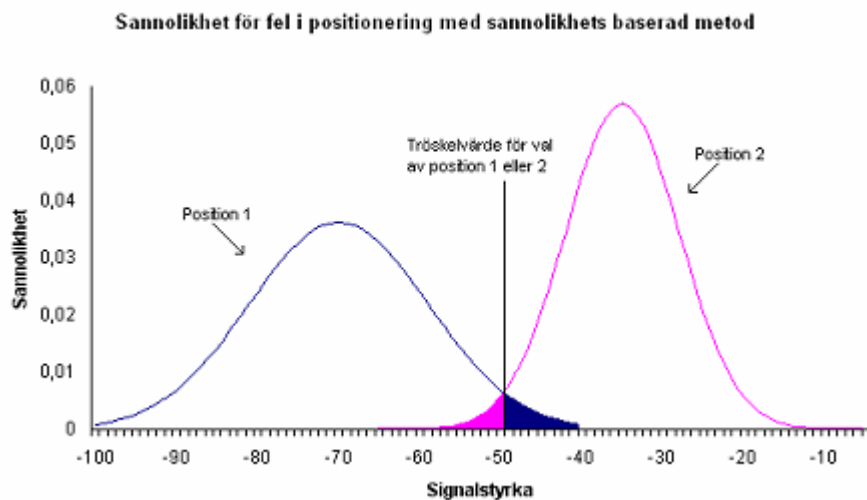


Diagram 1. Felsannolikhet för sannolikhetsbaserade metoder.

Diagram 1 visar ett förenklat exempel som illustrerar intuitionen bakom de analytiska formlerna och teoremen i [8]. I figuren visas sannolikheten för fel vid positionering i ett sannolikhetsbaserat system. Här antas att klienten med samma sannolikhet befinner sig i endera "Position 1" eller "Position 2" och klienten har bara signal från en basstation. Den färgade arean under kurvorna representerar sannolikheten för fel i positioneringen. Eftersom systemet alltid väljer den position där klienten med störst sannolikhet har den uppmätta signalstyrkan minimeras sannolikheten för fel.

I en deterministisk metod där endast medelvärdet av signalstyrkan sparas i radiokartan hamnar tröskelvärdet för signalstyrkan som bestämmer vilken position systemet väljer mitt mellan medelvärdet för position 1 och medelvärdet för position 2. Fördelningskurvorna representerar de riktiga sannolikhetsfördelningarna i punkterna och används för att jämföra systemen.

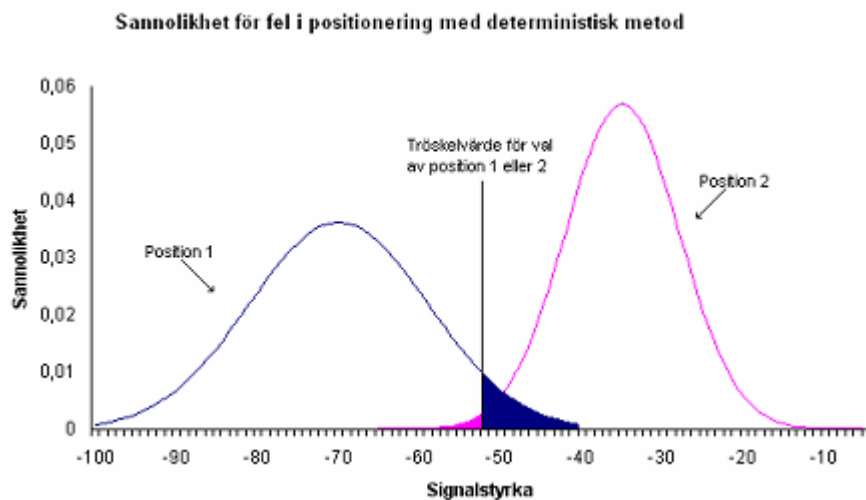


Diagram 2. Felsannolikhet för deterministiska metoder.

Vid en jämförelse av de färgade areorna i figurerna syns det tydligt att sannolikheten för fel i positioneringen är mindre för sannolikhetsbaserade system än för deterministiska system. Undantaget är då värdet på x-axeln där kurvorna skär varandra ligger mitt mellan position 1 och 2s medelvärden. I det fallet är sannolikheten för fel lika stor för båda typer av system. Detta är dock sällsynt.

Det konstateras i avsnitt 5.2 att basstationernas placering har betydelse för hur mycket de omgivande faktorerna påverkar den mottagna signalen. Om basstationerna är placerade på ett sådant sätt att det även vid fullt befolkad lokal finns LOS mellan basstationerna och klienten blir det mindre störningar i signalen och således överensstämmer data som uppmäts i realtid bättre med radiokartan. Även om detta underlättar positioneringsproblemet kan vi dock inte utgå ifrån att basstationerna alltid är placerade så idealiskt. I både deterministiska och sannolikhetsbaserade metoder skulle resultatet kunna förbättras om basstationernas positioner är kända. Då skulle teoretiska fakta om signalens försvagning kunna användas för att verifiera och eventuellt förbättra resultatet från positioneringsalgoritmen. Om detta vidareutvecklas denna tanke skulle basstationerna kunna användas för att mäta hur mycket folk som befinner sig inom olika områden i lokalen. Denna ide har inte behandlats i referenslitteraturen men om en positioneringsmetod har tillgång till information om hur mycket folk som befinner sig i lokalen eller hur mycket signalen påverkas i en viss del av lokalen så kan den förmodligen dra nytta av denna information. Genom att dels kunna vikta radiokartans värde samt att även kunna jämföra matchningsvärden³ med teoretiska matchningsvärden kan vi troligtvis modellera de verkliga förhållandena vid positioneringstillfället. Något sådant system har inte implementerats eller

³ Med termen matchningsvärde menas ett mått på hur väl uppmätt signalstyrka överensstämmer med signaldata i en referenspunkt.

undersökts närmare i detta examensarbete men det bör undersökas i framtida arbete inom området.

För att sammanfatta detta avsnitt kan sägas att vid positionering med en empirisk modell som bygger på en radiokarta kan det euklidiska avståndet [1] användas, andra deterministiska metoder, sannolikhetsmetoder [7] eller en kombination för att, utifrån signaldata i radiokartan, bestämma den position vars signalstyrkor överensstämmer bäst med de signalstyrkor som uppmätts vid positioneringstillfället.

Sannolikhetsmetoder utgår ifrån att positioneringsprocessen, med hjälp av basstationernas signalstyrkor, signaldata i radiokartan samt en sannolikhetsfunktion t.ex. $P(s / l) * P(l)$ beräknar sannolikheten att den uppmätta signalstyrkan överensstämmer med de signalstyrkor som registrerats i de olika referenspunkterna. Därefter väljs den referenspunkt som har högst sannolikhetsvärde.

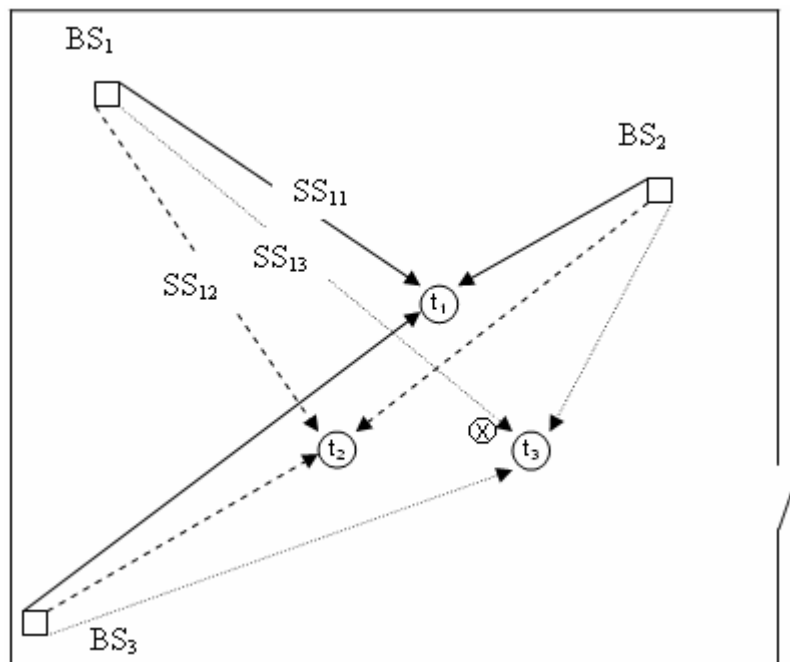
Det som skiljer systemen som nämns i [1-13] är:

1. Hur radiokartan skapas och används.
2. Hur den referenspunkt som överensstämmer bäst med den position som skall bestämmas väljs.
3. Vilken enhet som används för att bestämma vilken referenspunkt som bäst överensstämmer med den position som skall bestämmas.

Hur radiokartan skapas och hur den används är specifikt för det aktuella positioneringssystem som används. För att visa hur den bästa referenspunkten väljs och vilka enheter som kan användas för att mäta hur bra positioneringen är visas i avsnitt 2.4 ett exempel på hur en empirisk positioneringsmetod fungerar.

2.4 Ett exempel på två empiriska positioneringsmetoder

För att förklara tillvägagångssättet för WLAN-positionering följer här ett exempel. Nedanstående figur representerar en karta över en lokal där vi mätt upp basstationernas signalstyrkor i tre olika referenspunkter (t_1 , t_2 och t_3). För varje position sparar vi x och y koordinaterna samt medelvärdet och variansen på signalstyrkan för respektive basstation i en "radiokarta". Genom att någonstans i lokalen mäta signalstyrkan från basstationerna kan vi då med hjälp av olika algoritmer estimerar vår position till någon av de referenspunkter vi sparar i radiokartan.



	SS1k	σ_{1k}	SS2k	σ_{2k}	SS3k	σ_{3k}
t1	-60	2	-40	1	-80	5
t2	-65	3	-65	3	-60	2
t3	-78	4	-50	1	-80	5
X	-75		-52		-78	

Figur 1. Positioneringsexempel med tre basstationer och tre referenspunkter.

Signalstyrkorna (SS_{nk}) representerar medelvärdet på signalstyrkan för basstation n i de olika referenspunkterna och SS_{nX} representerar den uppmätta signalstyrkan från basstation n i punkten X.

σ_{nk} representerar standardavvikelsen för signalstyrkan för basstation n i varje referenspunkt.

En matchningsfunktion som kan användas för att estimeras position X beräknar då

$$P(X = t_k) = \sum_{n=1}^3 P(SS_{nX} | t_k) \text{ för } k=1,2,3$$

och väljer det t_k som ger högst värde.

I ovanstående exempel får vi genom att använda täthetsfunktionen för signalstyrkornas normalfördelning fram matchningsvärden för referenspunkterna.

$$P(SS_{nX} | t_k) = \frac{1}{\sigma_{nk} \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{(SS_{nX} - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

där μ och σ^2 betecknar medelvärde och varians av SS i referenspunkt t_k

Beräkning för varje t_k ger:

$$P(X = t_1) = 0,073654$$

$$P(X = t_2) = 0,00052521$$

$$P(X = t_3) = 0,20293$$

Resultatet säger oss att vi med största sannolikhet befinner oss nära referenspunkten t_3 . Vi kan genom att normalisera värdena även få fram ett värde på hur säker denna positionering är. Observera att då vi har en kontinuerlig fördelning och ett enstaka värde, SS_{nX} , kan vi ej beräkna den riktiga $P(X = t_k)$ då $P(SS_{nX} | t_k)$ men vi kan dock använda detta värde för att jämföra matchningen för olika punkter i radiokartan [27].

En deterministisk metod som väljer den referenspunkt som minimerar avståndet i signalrymden mellan X och t kan vara att beräkna det euklidiska avståndet dvs.

$$dist(X, t_k) = \sqrt{(SS_{1k} - SS_{1X})^2 + (SS_{2k} - SS_{2X})^2 + (SS_{3k} - SS_{3X})^2}$$

för $k=1,2,3$ och välja den referenspunkt som ger minst värde.

Beräkning för varje t_k ger:

$$dist(X, t_1) = 19.3132$$

$$dist(X, t_2) = 24.3516$$

$$dist(X, t_3) = 4.12311$$

Resultatet från deterministiska metoden säger oss även den att vi troligtvis befinner oss i t_3 . Denna metod talar dock inte om med hur stor sannolikhet vår positionering är riktig eftersom vi inte kan normalisera värdena på det euklidiska avståndet. Det skall tilläggas att det euklidiska avståndet här inte relaterar till det fysiska avståndet från referenspunkterna utan endast det euklidiska avståndet i signalrymden. Hur signalrymden och den fysiska rymden relaterar till varandra specificeras inte i referenslitteraturen och är heller inte nödvändigt för att estimeras med referenspunkter.

3 Teori och verklighet – Faktorer som påverkar signalstyrkan

I rapporterna [23,24] undersöks radiosignalens utbredning inomhus i olika lokaler vid flera olika frekvenser. Vid mätningar i kontorsmiljö mellan frekvenserna 850 MHz och 5.8 GHz framkommer att radiosignalens försvagning då avståndet till basstationen ökas är proportionellt mot $1/d^n$, där d är avståndet till basstationen och $2,3 \leq n \leq 2,6$. Mätningarna visar att signalstyrkan i Watt på avståndet d kan beräknas med:

$$P_d[\text{Watt}] = P_0[\text{Watt}] - \frac{1}{d^n}$$

där P_0 = signalstyrkan 1m från basstationen och $2,3 \leq n \leq 2,6$.

Detta brukar normalt räknas om till dBm och vi får:

$$P_d[\text{dBm}] = P_0[\text{dBm}] - 10 * n * \log(d)$$

För att testa teorin har mätningar gjorts i lokaler i MIT-huset och i nedanstående diagram kan dessa jämföras med värden som räknats ut med ovanstående teori. P_0 har mätts upp till -42.86dBm vilket motsvarar ca $0.05176\mu\text{Watt}$. Två olika typer av mätningar gjordes, en där signalstyrkan mättes utan hinder mellan nätverkskort och basstation, s.k. Line Of Sight (LOS). Samt en typ av mätning där försökspersonen skärmar av signalen med dennes kropp.

Signalstyrka relaterat till avstånd från basstation

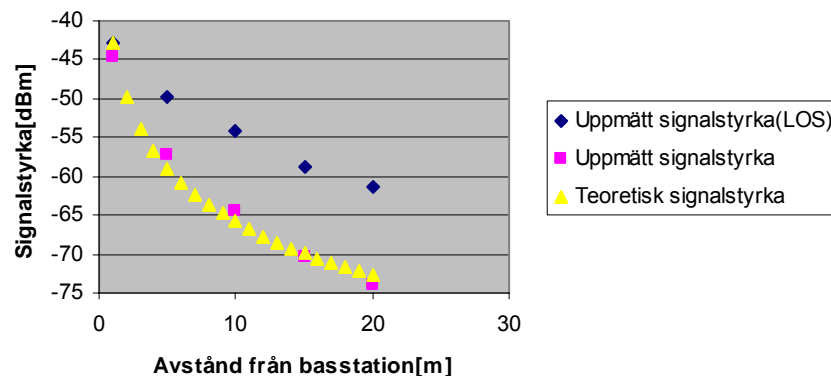


Diagram 3. Visar den mottagna signalens styrka uttryckt i dBm på olika avstånd från basstationen.

Diagrammet åskådliggör att teorin stämmer bra med verkligheten. Efter att ha provat olika värden på n så valde jag $n= 2,3$ Vilket kan sägas vara en "Free-space" försvagning + 0,3 som även stämmer bra överens med slutsatsen i [23,24]. Det skall tilläggas att den uppmätta signalstyrkan i de olika punkterna i diagrammet är ett medelvärde av ca 440-460 mätvärden, mätningarna utfördes i location lab.

Om vi tittar på ett diagram som visar signalförsvagningen i μWatt istället så ser vi att den försvagas dramatiskt de första 0-5 metrarna. Se nedanstående diagram.

Signalstyrka relaterat till avstånd från basstation

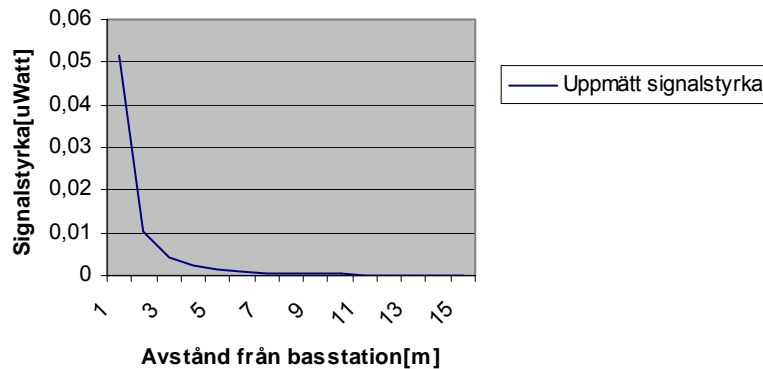


Diagram 4. Signalstyrkans försvagning (i μWatt) med ökat avstånd.

Detta faktum, att signalstyrkan avtar kvadratisk med avståndet från basstationen får konsekvenser för positioneringen. Precisionen i positioneringen blir hög om avståndet till basstationen är kort. En svag signal kan betyda att klienten endera är långt ifrån basstationen eller att någonting blockerar signalen, men en stark signal kan endast betyda att klienten är nära basstationen eftersom alla basstationer har samma uteffekt. Om vi ska matcha en signalstyrka i radiokartan med en uppmätt signalstyrka så ger matchningen vid en stark signalstyrka (0,01-0,1 μWatt) således en hög precision eftersom vi mäter skillnaden i signalstyrka mellan radiokarta och uppmätt signal. Vi kan då dra slutsatsen att ju högre signalstyrka som skall matchas med radiokartan, desto större precision får vi i vår positionering. Denna intressanta iakttagelse kan tillämpas av positioneringsprocessen för att uppnå bättre precision och har därför implementerats som i positioneringsalgoritmen till Location Lab vilket beskrivs närmare i avsnitt 8.3.

Det vi måste ha i åtanke är att data som finns samlat i radiokartan består av radiosignalstyrkor. Radiosignalens karaktär som speglas av mycket brus, reflektioner, utsläckning, förstärkning, s.k. ”multipath” fenomen gör att teoretiska modeller som beskrivits i vissa rapporter [1] för hur radiosignalens utbredning inomhus speglar avståndet till signalkällan visar sig överensstämma dåligt med verkligheten radiosignalens utbredning inomhus undersöks där det finns många störande faktorer. De empiriska metoderna som bygger på radiokartor ger bättre resultat än metoder som enbart bygger på teoretiska modeller vid positionering inomhus. I [6,25] tydliggörs vilka faktorer som påverkar signalstyrkan vid inomhuspositionering. I [25] har de delats in i två grupper, permanenta och temporära faktorer. Se nedanstående tabell.

Olika typer av förändringar i signalstyrkan				
	Permanenta förändringar		Temporära förändringar	
	<i>Stor inverkan</i>	<i>Mindre inverkan</i>	<i>Oregelbunden inverkan</i>	<i>Beroende på användaren</i>
Faktor	Signalens naturliga försvagning då avståndet till basstationen ökas	Radiosignalens vågkaraktistik	Folkmassor som absorberar signalen	Den aktuella mätriktningen
Inverkan	Det förhållande som vi grundar positioneringen på.	Punkter på olika avstånd från basstationerna får samma uppmätta signalstyrka	Signalstyrkan försvagas oregelbundet i de olika referenspunkterna vilket påverkar positioneringen negativt.	Testpersonen avskärmar signalen med sin kropp. Detta används för att urskilja klientens riktning.
Åtgärd		Rörelse av mätstation samt beräkning av medelvärde för att kompensera för variationer p.g.a. våglängden.	Genom att fästa basstationer i taket minimeras inverkan av absorberande folkmassor.	Genom att specificera riktningen i referenspunkten drar vi nytta av denna faktor och får sedan ut mer information av radiokartan.

Tabell 1. Typer av förändringar i signalstyrkan och faktorer som påverkar den mottagna signalstyrkan.

De permanenta faktorerna förändras inte med tiden och är lätta att oskadliggöra eller att tillgodogöra sig i positioneringsprocessen. Det är dels signalstyrkans naturliga försvagning då avståndet till basstationen ökas. Denna faktor ligger till grund för positioneringen och är den faktor som hjälper oss att separera referenspunkterna. Den andra permanenta faktorn har att göra med radiosignalens vågkaraktistik. Signalen i det trådlösa nätverket har en våglängd av ca 12,5 cm. Detta skapar periodiska variationer i signalstyrkan vilket kan leda till att det kan mätas upp nästintill samma signalstyrka i flera referenspunkter på olika avstånd från basstationen. Detta problem kan lösas genom att under mätning kontinuerligt röra mätinstrumentet aningen fram och tillbaka och få ett statistiskt medelvärde för referenspunkten. De temporära faktorerna som är relativt svåra att hantera är först och främst folkmassor som absorberar signalen. Senare i rapporten undersöks hur denna faktor speglar mätdata när vi mäter i MIT-husets lokaler samt vad vi kan göra för att lösa problemen som denna faktor ger upphov till i positioneringen. Den andra temporära faktorn som inverkar på signalstyrkan är i vilken riktning testpersonen står under mätningen. Personen som utför mätningen skärmar av signalstyrkan från vissa basstationer med sin egen kropp. Detta leder, precis som signalens vågkaraktistik, till att det mäts upp nästintill samma signalstyrka i flera referenspunkter på olika avstånd från basstationen. I den här rapporten

föreslås en lösning som ger möjlighet att ta vara på både personens plats och riktning. Detta görs genom att representera olika riktningar som separata referenspunkter. Detta ökar precisionen i positioneringen, d.v.s. vi kan ta reda på åt vilket håll användaren är vänd och ev. förenkla och förbättra processen att kontinuerligt följa en persons förflyttning.

3.1 Fler faktorer som påverkar signalen

De faktorer som tagits upp hittills i avsnitt 2.3 är de som har störst inverkan på radiosignalen. Det finns, förutom dessa, en uppsjö av andra faktorer som påverkar signalen. Frekvensen som basstationen sänder med är en av dessa. I [6] undersöks hur radiosignalen påverkas av omgivande faktorer vid olika frekvenser. Vid alla frekvenser påverkas signalen av en naturlig försvagning i luft och av föremål som signalen passerar. Rapporten säger även att mätningar som utförts runt 2,4 Ghz visar att signalförsvagningen är ungefär konstant vid LoS och följer d^{-2} för näraliggande frekvenser. Utan LoS ökar försvagningen i takt med frekvensen, $d^{-3,3}$ (2,4GHz), $d^{-3,8}$ (4,74GHz) och $d^{-4,5}$ (11,5GHz). Vid 60Ghz finns en toppnivå för syrets absorptionsförmåga vilket resulterar i en ytterligare försvagning på 15dB/km. Då det trådlösa nätverket i dagsläget endast opererar på 2,4 GHz kommer jag inte att nämna denna faktor mer i rapporten.

En annan faktor som har stort inflytande på signalstyrkan är bruset som uppstår p.g.a. *multipatheffekten* [26]. Detta fenomen uppstår då radiosignalen tar olika vägar från basstationen till mottagaren och signalerna släcker ut varandra eller förstärker varandra. Genom att använda en sannolikhetsmetod baserad på många mätningar får vi fram ett histogram över fördelningen för signalstyrkan. Vid positioneringsprocessen matchas sedan medelvärdet av signalstyrkan för de senaste 1000 millisekunderna mot histogrammen i referenspunkterna enligt exemplet i avsnitt 2.4.

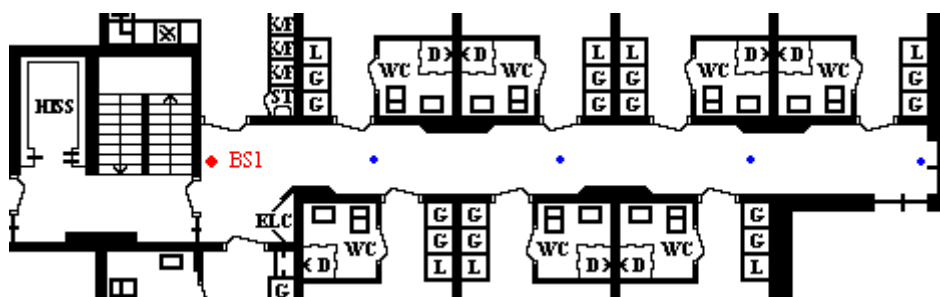
Som nämns i tabell 1 absorberar folkmassor signalen väldigt bra. Detta beror på att radiosignalens frekvens är den samma som vattens resonansfrekvens och människor består av ca 80 % vatten. Luftfuktigheten är även en faktor som påverkar signalstyrkan. I denna rapport försöker vi positionera oss i mestadels en stor lokal, alternativt i flera små, angränsande lokaler. Jag har antagit att luftfuktigheten är ungefär den samma i alla referenspunkter då de ofta ligger i samma lokal och vi dessutom har god ventilation. Ingen större skillnad i luftfuktighet finns vid inspelningen av radiokartan i jämfört med vid positioneringstillfället så detta påverkar inte radiosignalen och eller positioneringsprocessen i de lokaler som undersöks senare i rapporten. Vi bör dock komma ihåg att en högre luftfuktighet ökar signalförsvagningen per meter vilket gör att vi kan bortse helt från detta problem. Inverkan av luftfuktigheten har dock inte nämnts som en signifikant faktor i litteraturen och kommer ej heller att undersökas vidare i rapporten.

Bland de föremål som förändrar signalens styrka från basstation till mottagare finns t.ex. väggar, golv mm. som ger en permanent försvagning av signalstyrkan. De påverkar signalstyrkan till viss del och finns med som parameter i flera signalförsvagningsmodeller t.ex. WAF, FAF[1].

Anledningen till att de finns med i modellerna är att de ger upphov till ett problem som kallas *aliasing*. Detta problem uppstår då flera referenspunkter, på olika avstånd från basstationen får samma signalstyrka, liknande problemet med signalens vågkaraktäristik. Då location lab i dagsläget inte klarar av att identifiera avgränsande väggar och lägga till dessa faktorer i positioneringsprocessen samt att denna teknik främst används i matematiska modeller för att förutspå signalstyrkan använder vi inte vare sig WAF eller FAF i positioneringsprocessen utan förlitar oss istället till radiokartan.

Genom att montera basstationer i taket för att uppnå LOS och sedan premiera de starkaste basstationerna i positioneringsprocessen kan vi till viss del oskadliggöra problemet med avskärmande föremål. Då går vi dock ifrån kravet att metoden skall vara hårdvaruoberoende.

Andra störande radiosändare kan ge upphov till temporära förändringar. Det kan vara t.ex. mikrovågsugnar, andra trådlösa klienter mm. Dessa föremål och de problem de medför är svåra att hantera precis som problemet med folkmassor som dämpar signalen. De hör till den dynamiska omgivningen och problemen med detta har som sagt tidigare ofta inte gått att förutspå och förhindra. Ett experiment har utförts för att i alla fall försöka undersöka inverkan från andra trådlösa klienter. Se nedanstående figur.



Figur 2. Mätningar med störande klienter

Radiosignalen från BS1 har mätts upp i fyra olika punkter på avstånden 5, 10, 15 och 20m. Tre olika mätningar på dessa avstånd har utförts där den första mätningen är fri från andra störande klienter, den andra mätningen har en störande klient placerats alldeles framför den mätande laptopen i LOS. I den sista mätningen har en andra störande klient placerats framför den första störande klienten.

Syftet med dessa mätningar är att jämföra resultaten av uppmätt signalstyrka i de olika positionerna och se om det finns något som tyder på att andra omgivande klienter stör signalen. Mätresultatet ger inget entydigt svar på denna fråga. Ingen grundlig analys av resultaten har gjorts då det under mätningen framkom att det finns många problem med den här mätningen som är svåra att hantera. Hur ska de störande klienterna placeras för att de ska åstadkomma maximal störning? Hur många mätningar skall utföras för att få ett trovärdigt resultat? Således har det inte framkommit från detta experiment hur signalstyrkan påverkas av störande klienter eftersom antal testfall som krävs kan tyckas vara oändligt. Dessa mätningar nämns ändå i

denna rapport då frågan om hur störande radiosändare påverkar signalen bör undersökas närmare. Resultaten från mätningarna finns bifogade i bilaga 2. Om vi studerar mätresultatet verkar det som att mätningarna med störande radiosändare oftast har större standardavvikelse och ofta innehåller dessa mätningar fler klasser av signalstyrkor⁴ vilket kan tolkas som mer brus.

Sammanfattningsvis kan tilläggas att bland de faktorer som påverkar signalstyrkan är det två stycken som har en positiv inverkan på positioneringsprocessen och det är radiosignalens försvagning med avståndet och den aktuella mätriktningen. De andra faktorerna som tagits upp försvårar positioneringsproblemet men kan till största del hanteras. Den faktor som är det enda egentliga frågetecknet som inte undersökts fullständigt och som inte lyckats hanterats är inverkan av andra radiosändare. Nedan visas en lista på några av de tekniker som använder samma frekvensområde som WLAN.

- Mikrovågsugn 2,45 GHz
- HomeRF 2,45 GHz
- Bluetooth 2,4-2,48 GHz
- Trådlös ljud och bildöverföring 2,4-2,4835 GHz
- DECT telefoner

I ett trådlöst nätverk (WLAN) av typen IEEE 802.11a/b/g används flera tekniker för att minimera störningar från andra radiosändare.

FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum innebär att överföringen hoppar inom ett visst frekvensintervall. Frekvensbandet delas upp i en serie på ca 75 frekvenser och sedan hoppar överföringen mellan dessa 75 frekvenser minst var 0.4 sekund. Detta minimerar chanserna för störningar. Denna teknik stödjer bara överföringshastigheter upp till 2Mbit/sek och har därför på många platser ersatts av en annan teknik som beskrivs nedan. FHSS används i traditionella IEEE 802.11 nätverk men inte i IEEE 802.11b nätverk.

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

Skillnaden är mellan de två teknikerna är att den DSSS inte använder sig av frekvenshopp. DSSS är krav för IEEE 802.11 med 11 Mbit/s överföringskapacitet. Nackdelarna med DSSS är att räckvidden begränsas och vi får en större känslighet för störningar. Tekniken delar upp frekvensområdet 2,412-2,472 i 13 delar som ger 13 separata kanaler med överföringskapacitet på 11 Mbit/s vardera. Med DSSS säkras dataöverföringen genom att sända en bit som flera bitar och på så sätt upptäcks störningar så att data får skickas om men på grund av smalare

⁴ Med beteckningen ”klasser av signalstyrkor” menas här att p.g.a. att Orinoco Client Manager loggar mätdata i hela dBm så får vi en diskret fördelning av signalstyrkan som delas in i klasser för varje dBm i mätområdet. En klass innehåller antalet mottagna signaler för aktuell signalstyrka. De klasser som innehåller väldigt få signaler tolkas som brus.

frekvensområdet som blir vid uppdelningen kan störningarna bli kraftigare. FHSS gör det möjligt att filtrera bort enskilda störningar.

På grund av att DSSS tekniken används i nätverket som undersökts i denna rapport så utsätts signalen för mer störningar än i ett traditionellt IEEE 802.11 nätverk vilket bör påverka signalstyrkan och således positioneringsprocessen. Dock beror detta på hur många störande sändare som finns i omgivningen. Hur mycket enstaka sändare påverkar den mottagna signalstyrkan har jag inte kunnat utläsa i referenslitteratur eller genom beräkningar och experiment. Troligtvis påverkas inte signaldata i referenspunkterna nämnvärt då samplingstiden är lång och bygger på många mätvärden. Däremot kan *livedata*⁵ påverkas av störande radiosändare. Detta bör utredas i framtida arbete och förslag på hur livedata kan skyddas från störande radiosändare bör tas fram.

⁵ Livedata är signalstyrkor från basstationer som mäts upp vid positioneringstillfället och som sedan jämförs med data i referenspunkterna.

4 Radiokartan

Många empiriska tester av olika positioneringsmetoder har gjorts [1-12] men resultaten från dessa tester inte går att jämföra sinsemellan då de till stor del beror på utomstående faktorer. Dessa faktorer är t.ex. lokalernas utformning, antal basstationer som används, variationer i omgivningen, radiokartans kvalitet mm. Radiokartans kvalitet och lokalernas utformning har visat sig vara väldigt viktig för precisionen.

För att få maximal precision vid positionering bör vi, med avseende på lokalens utformning och antal basstationer som finns tillgängliga, använda sig av en tillräckligt tät radiokarta där vi i varje referenspunkt skall ha signal från tillräckligt många basstationer och där riktningen för mätningen skall vara specificerad i radiokartan. För att få en tillförlitlig fördelning av basstationernas signalstyrkor bör tillräckligt många mätvärden ”samplas” i varje referenspunkt.

En annan yttre faktor som är viktigt att beakta är variationer i omgivningen. Det trådlösa nätverkets frekvens är 2.4GHz vilket även är resonansfrekvensen för vatten. Människor består till 80 % av vatten vilket gör att vi absorberar signalen väldigt bra. I det fallet då antal människor som rör sig i lokalen varierar kraftigt med tiden bör vi använda oss av en radiokarta som är anpassad till de förhållanden som råder vid den specifika tidpunkten. Det kan vara aktuellt att skifta mellan ett flertal radiokartor beroende på hur mycket signalstyrkorna varierar med tiden. I avsnitt 5.1 analyseras signaldata från mitums lokaler för att se hur folkmassor påverkar radiosignalens utbredning. Resultaten visar att den mottagna signalstyrkan hos användaren försvagas markant av omgivande folkmassor.

Då folkmassornas rörelse i lokalen är dynamisk är inte försvagningen konstant, dessutom försvagas inte signalen lika mycket i alla referenspunkter. Det är således svårt att välja mellan olika radiokartor. I avsnitt 2.3 nämnde jag att vi skulle kunna använda basstationerna för att mäta hur mycket folk som befinner sig inom olika områden i lokalen. Detta kan vara ett alternativ till att använda olika radiokartor. Resultatet av analysen i avsnitt 5.2 antyder att det behövs oändligt många kartor för att spegla situationen vid full lokal men att det räcker med en karta för att spegla situationen vid tom lokal.

Om basstationerna kan användas för att mäta hur mycket folk som befinner sig inom olika områden i lokalen skulle vi kunna använda en radiokarta för tom lokal som utgångspunkt och sedan vikta signaldata i referenspunkterna utifrån var folkmassorna befinner sig i lokalen. Detta alternativ har inte undersökts närmare i denna rapport men bör undersökas i framtida arbete då ingen bra lösning på problemet med omgivningens dynamiska karaktär ges i referenslitteraturen.

4.1 Radiokartans kvalitet

Precisionen och säkerheten i positioneringen styrs i hög grad av hur bra radiokartan speglar den verkliga situationen vid den aktuella tidpunkten. Då radiokartans faktorer kan variera mycket beskrivs nedan vilka faktorerna är och hur de kan påverka säkerhet och precision i positioneringen. Inverkan av radiokartans kvalitet kommer senare att belysas vid testning av algoritmer men de kommer inte att undersökas närmare i denna rapport då vi inriktat oss på de faktorer i algoritmen som påverkar säkerhet och precision vid positionering.

4.1.1 Radiokartans täthet

En tät radiokarta med många referenspunkter och kort avstånd mellan referenspunkterna ger bättre precision i positioneringen. Tätheten i radiokartan är troligtvis den parameter som har störst inverkan på precisionen i positioneringsprocessen. Eftersom denna parameter har sådan stor inverkan på resultatet skall vi sträva efter att utveckla en algoritm som är så lite beroende av radiokartans täthet som möjligt.

4.1.2 Antal samplings från respektive basstation

Då vi använder oss av fördelningen av signalstyrkan när vi gör mönstermatchningen är det viktigt att vi samlar tillräckligt med signaldata från varje basstation i varje referenspunkt för att vi skall kunna göra en säker statistisk beräkning. Om det i någon av radiokartans referenspunkter finns för få uppmätta signalstyrkor från någon basstation innebär detta att datat för denna basstations signalstyrkor i denna referenspunkt kan visa sig vara missvisande. Detta fenomen får konsekvensen att vi inte bör lita alltför mycket på signaldata från den specifika basstation vars signaldata saknas och detta kan förebyggas genom att mäta signalstyrkorna under en tillräckligt lång tid i varje referenspunkt och på så sätt få tillräckligt med signaldata från varje basstation. Vid inmätning av några radiokartor som beskrivs senare i rapporten har vi valt att mäta under 120 sek i varje referenspunkt och på så sätt snabbat up mellan 250-500 stycken mätvärden från varje basstation. På detta sätt säkerställs även signaldata från att alla basstationer i omgivningen finns representerade i radiokartan så att inga ”nya” basstationer filtreras bort av positioneringsprocessen.

4.1.3 Antal uppmätta riktningar i referenspunkterna

Tabell 1 visar att den mänskliga kroppen absorberar RF-signalen så pass mycket så att riktningen vid mätning i referenspunkterna är en viktig faktor som påverkar signaldata. Om klienten vid positioneringen står exakt vid en referenspunkt men vänd i motsatt riktning jämfört med riktningen vid skapandet av radiokartan så skärmar klienten av radiosignaler som tidigare mäts in i referenspunkten med sin egen kropp. Om vi utgår ifrån att vi använder 2 eller fler olika riktningar vid inmätning av radiokartan så dubblas datamängden i varje referenspunkt. Detta bör leda till en väsentlig förbättring av precisionen och säkerheten vid positioneringen. När vi använder oss av en algoritm som sparar en användarprofil (historisk data) för att följa en klients förflyttning bör det också vara en fördel att ha med olika

riktningar. I radiokartan över Mitum finns fyra riktningar uppmätta i varje mätpunkt. Dessa fyra riktningar representerar fyra unika referenspunkter i radiokartan som används av positioneringsalgoritmen.

4.1.4 Omgivningens karaktär

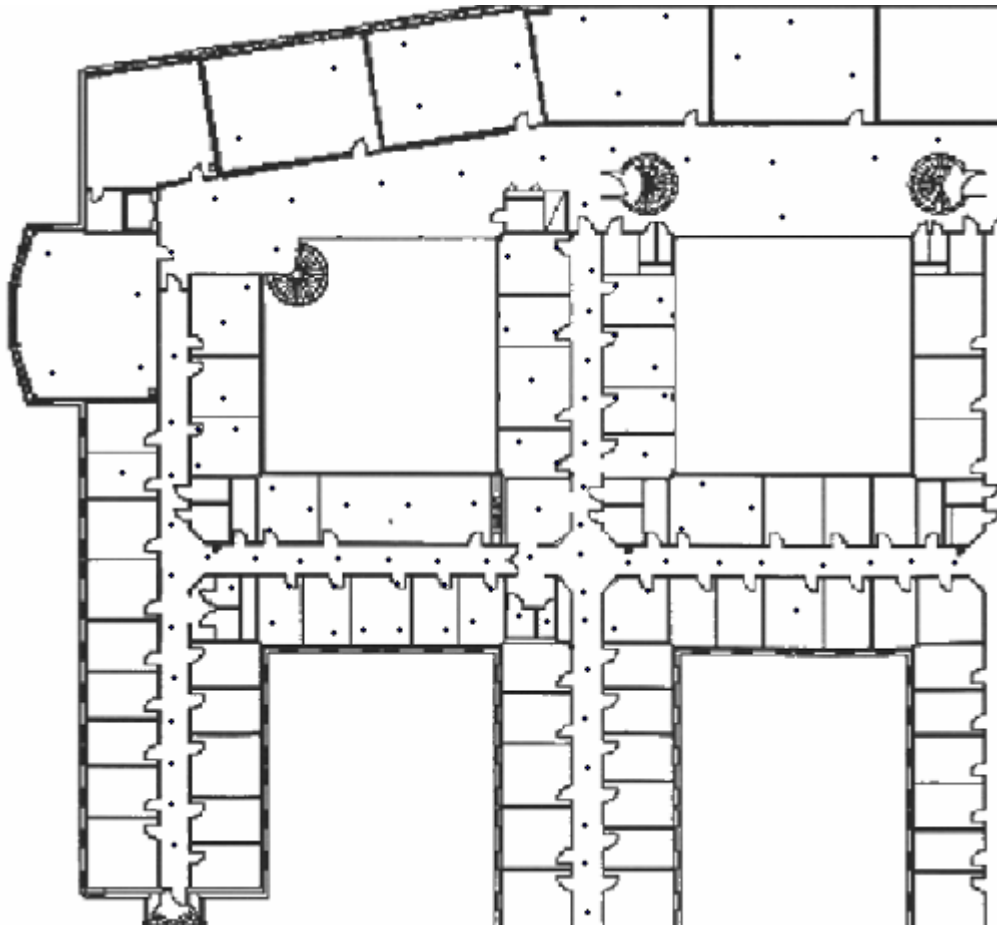
Som tidigare nämndes i avsnitt 2.1 så har omgivningen stor betydelse för hur radiosignalen breder ut sig i lokalen. Vattnet i människor som befinner sig i omgivningen absorberar signalen och för att radiokartan skall spegla de förhållanden som råder i omgivningen skall den i princip vara uppmätt vid samma förhållande som råder vid positioneringstillfället.

4.1.5 Basstationernas placering

Som nämndes i avsnitt 4.1.4 så dämpas signalstyrkan av människor som står mellan referenspunkten och den sändande basstationen. I [25] har det vid tester visat sig att om basstationerna placeras högt, företrädesvis i taket i lokalerna, minskas den dämpande effekten av människor i omgivningen. Enligt teorierna om signalstyrkans försvagning med avståndet bör även basstationerna vara placerade så nära referenspunkten som möjligt då den största precisionen (signalstyrka relaterad till avstånd) ges av de, i referenspunkten, starkaste basstationerna. Då basstationernas positioner inte är kända kan vi inte veta om en svag signal beror på att basstationen är långt bort eller om den avskärmas. I algoritmer som utvecklats till Location Lab finns en funktion som viktar matchningsvärdet med utgångspunkt från basstationens signalstyrka. Detta beskrivs närmare i avsnitt 7.3.

4.2 Radiokarta MIT-huset våning 4

För att visa hur en radiokarta kan se ut följer nedan ett exempel. Vi har här mätt ut ett område i MIT huset på våning fyra som sträcker ca 60x60 meter. Lokalerna som radiokartan täcker består av mestadels små kontor och långa korridorer samt ett fåtal större utrymmen som labsalar och lunchrum. På nästa sida visas en bild över radiokartan som den ser ut i testmiljön ”Location Lab”.



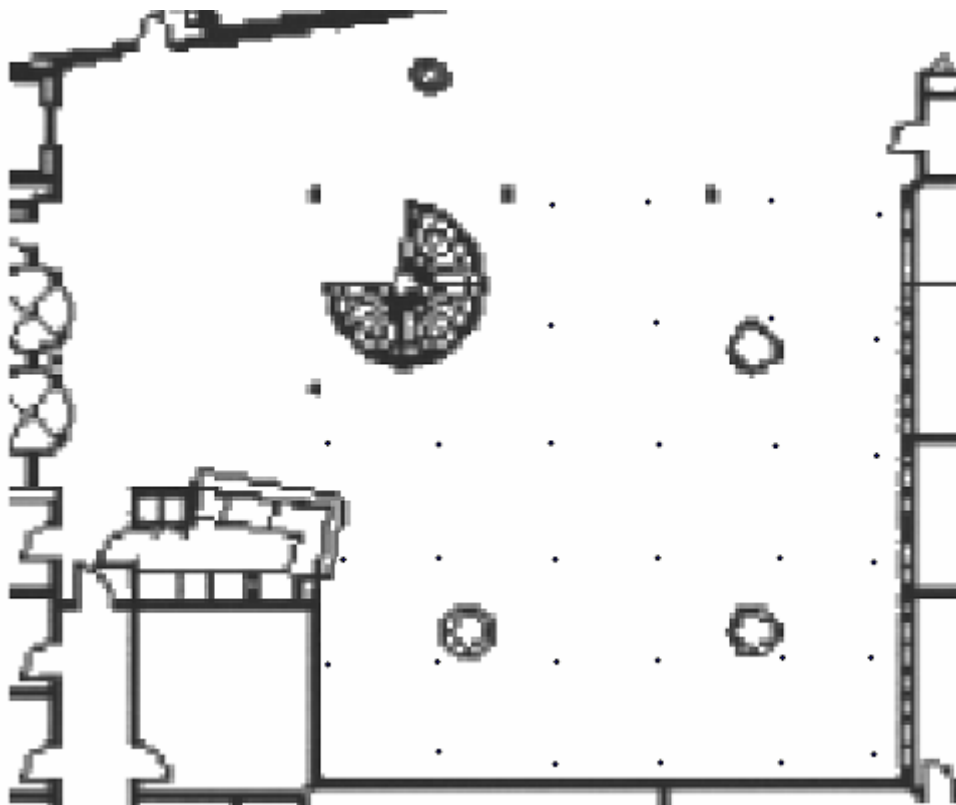
Figur 2. Radiokarta våning 4 MIT huset.

Radiokartan innehåller 125 punkter med mätningar i 2 riktningar. Avståndet mellan referenspunkterna är ca 3 meter då detta ungefär motsvarar den precision vi söker uppnå. För att testa täthetens inverkan kan vi sedan ta bort referenspunkter och då simulera en "sämre" radiokarta vid testning av positioneringsalgoritmer. I varje riktning lagras medelvärdet och standardavvikelsen för både signalstyrkan. På detta sätt lagras fördelningen för signalstyrkan som vi sedan använder för att göra sannolikhetsberäkningen för varje riktning. Det är en tidskrävande uppgift att göra en sådan radiokarta. Med en samplingstid på 2min/mätning och om det antas att vi har tillgång till ström under hela mätningen så tar arbetet 500min eller 8,3 timmar. I praktiken tar det ännu längre tid. När arbetet med radiokartan tar så pass lång tid blir det svårt att göra den specifik för ett visst rådande förhållande i omgivningen. Det går inte att karakterisera den som att den beskriver tillståndet vid tom lokal eller vid någon speciell tidpunkt (såvida vi inte mäter upp den på natten eller någon annan tid då lokalen är tom). Om vi vill implementera en radiokarta av denna storlek på ett kommersiellt sätt kan vi istället anställa 20 personer som mäter i ca 60 sekunder i varje referenspunkt vilket bör räcka för att få ca 250 mätvärden från varje basstation. Då är arbetet klart på ca 15 minuter.

4.3 Radiokarta MIT-huset Mitum

För att undersöka omgivningens betydelse för positioneringen, d.v.s. hur andelen människor i omgivningen påverkar precision och säkerhet vid positionering, har en ny typ av lokal undersökts.

Den nya lokalen skall representera ett tomt rum, en stor fri yta utan väggar eller andra fysiska objekt som påverkar radiosignalens utbredning i lokalen. Den lokal som undersökts är kafeterian Mitum på bottenvåningen i MIT huset. Vi har här mätt upp en yta som sträcker sig ca 15x15meter. Nedan visas en bild över radiokartan i Mitum.



Figur 3. Radiokartan våning 2 MIT huset, MITUM

Antalet punkter i radiokartan är 31st och vi har här mätt i 4 riktningar i alla punkter utom vid väggarna där vi kan anta att en person sällan står med ansiktet mot väggen och att han sällan är på väg i den riktningen. Tanken är här att vi skall mäta in 2 olika kartor som speglar förhållandena vid tom lokal, samt full lokal och försöka se vilken betydelse denna extra information om omgivningens karaktär har för positioneringen. Resultaten av denna undersökning finns beskrivna i avsnitt 5.1. I Kapitel 5 undersöks signaldata i 7 referenspunkter i radiokartan. Resultatet verifierar att radiosignalen försvagas av folkmassor i omgivningen samt att omgivningens dynamiska karaktär med oregelbundet förbipasserande människor gör det mer eller mindre omöjligt att skapa en statisk radiokarta som speglar omgivningens inverkan på radiosignalen vid full lokal.

4.4 Mätning av radiokarta

Vid inmätningen av radiokartan har jag beaktat att jag måste samla många mätvärden i varje referenspunkt för att sedan kunna få ett medelvärde som med stor sannolikhet speglar den verkliga situationen. Avståndet mellan referenspunkterna och riktningen vid mätningen har även betydelse för positioneringen. För att tydliggöra scenariot för skapande av radiokartan följer nedanstående tabell som beskriver hur jag har mätt samt vilken hårdvara och mjukvara som använts vid inmätning av radiokartor.

Tillvägagångssätt vid inmätning:	Avstånd mellan referenspunkter	2,5-3 meter
	Storhet som mäts	Signalstyrkan från basstationerna i dBm
	Antal riktningar i varje referenspunkt	4st (vid väggar/hörn 3 och 2 då användare sällan är vänd mot väggen)
	Samplingstid i varje riktning	120s
	Antal uppmätta värden i varje riktning per basstation	250-500st beroende på mottagning i referenspunkten
	Position av mätutrustning	Mätningarna har skett i midjehöjd ca 1m från marken, nära kroppen
	Kompensering för småskaliga variationer	Datorn med nätverkskort har vaggats fram och tillbaka ca 30cm för att kompensera för småskaliga variationer i signalstyrka.

Tabell 2. Data relaterat till mätning av radiokarta.



Figur 3. Hårdvara för positionering

Hårdvara och mjukvara som använts vid inmätning:	Dator	FujitsuSiemens Lifebook B-2610
	Nätverkskort	Orinoco classic gold pc card från proxim
	Nätverksstandard	IEEE 802.11b
	Modulering	DSSS(CCK,DQPSK, DBPSK)
	Överföringshastighet	1-11Mbps
	Nätverksspecifikationer	
Basstationer	Cisco aironet 1200 (www.cisco.com)	
Frekvens band	2,4 samt 5,15-5,35GHz	
Nätverksstandard	IEEE 802.11b samt IEEE 802.11a	
Modulering	DSSS,OFDM	
Överföringshastighet	1-11Mbps	

Tabell 3. Hårdvara och mjukvara som använts vid mätning av radiokarta och positionering.

4.5 *Analys av radiokartans signaldata*

Algoritmer som utvecklats till Location Lab är sannolikhetsbaserade. Radiokartans referenspunkter innehåller data baserat på fördelningar av signalstyrkor från basstationerna som mätts upp vid skapandet av radiokartan. Då dessa data används i positioneringsprocessen är det intressant att undersöka vilken typ av fördelning som signalstyrkan har i referenspunkterna. I en artikel som undersöker radiosignalens karaktär inomhus [25] hävdas att signalstyrkan i de flesta fall har fördelningen lognormal⁶. För att bekräfta detta och på så sätt kunna använda denna kunskap i algoritmen har signalstyrkans fördelning i referenspunkterna undersökts i lokalen där radiokartan skapats. Nya mätningar har gjorts under lunchtid i Mitum då det enligt mätningar som beskrivs i kapitel 5 visar sig att mycket folk rör sig i lokalen vilket påverkar signalen. Mätningar har även utförts under kvällstid då lokalen är tom. När mätning av radiokartan utförs i Location Lab lagras endast medelvärde och standardavvikelse för den fördelning av signalstyrkor som mäts upp. Data från radiokartan säger således ingenting om vilken typ av fördelning vi har i referenspunkten. Typen av fördelning är viktig att veta då det bestämmer hur *matchningen*⁷ av signalstyrkor skall beräknas. Då dessa fördelningar inte finns lagrade i radiokartan har nya mätningar utförts i Mitum och resultat från mätningarna finns bifogade i Bilaga 3. Genom att analysera resultaten se vi att många fördelningar stämmer mycket väl överens med normalfördelningen för samma intervall givet samma medelvärde och standardavvikelse vilket stämmer med antagandet i avsnitt 2.3. Signaldata från vissa basstationer i den referenspunkt som undersökts visar dock ingen större likhet med normalfördelningen för samma intervall.

⁶ Med lognormal menas i detta fall att signalstyrkan i en referenspunkt är normalfördelad på en logaritmisk skala. När signalstyrkan är given i dBm så är den given i en logaritmisk skala

⁷ *Matching* betecknar en funktion i positioneringsalgoritmen där data som uppmäts i realtid jämförs med data i radiokartans referenspunkter. Detta beskrivs närmare i avsnitt 8.2

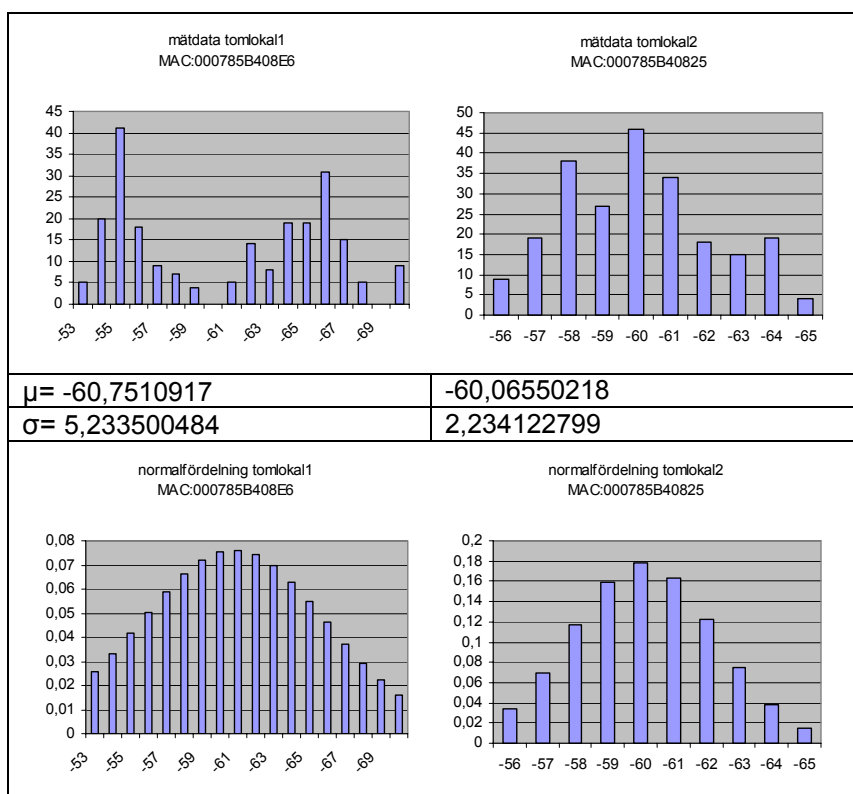


Diagram 7. Fördelningen av två basstationers signalstyrkor i en referenspunkt mitt i Mitum.

I diagrammet längst upp till vänster kan läsaren se att signalstyrkan inte alls är normalfördelad. Fördelningen längst upp till höger verkar stämma bra överens med normalfördelningen som visas i det undre diagrammet. Diagrammen representerar diskreta fördelningar av normalstyrkor. Detta kommer sig av att det program som loggar signalstyrkan från nätverkskortet, Orinoco Client Manager, loggar i hela dBm.

Att signalstyrkan från vissa basstationer inte är normalfördelad är troligen oundvikligt p.g.a. omgivningens dynamiska karaktär. Hur vi sedan ska tackla detta problem i positioneringsalgoritmen är det som är intressant. Den tillsynes oregelbundet skiftande signalstyrkan från vissa basstationer i några av referenspunkterna kan tolkas som att det i dessa referenspunkter finns någon faktor som stör signalen från vissa basstationer. Det kan naturligtvis även bero på en defekt hos en specifik basstation eller något praktiskt fel som inträffat vid själva positioneringstillfället som till exempel att personen som utför mätningen flyttat mätinstrumentet, flyttat sin egen kropp så att den blockerar signalen alternativt någon annan okänd faktor.

Målet är att undersöka vilka faktorer som påverkar positionering i trådlösa nätverk och förklaringen till att signalstyrkan inte är normalfördelad kan i detta fall tillskrivas omgivningens dynamiska karaktär. Då det kan tyckas

vara omöjligt att kartlägga den dynamiska omgivningens inverkan på positioneringen har jag valt att i algoritmen lösa problemet genom att först göra följande iakttagelser. De fördelningar som avviker mest från normalfördelningen har alla en hög standardavvikelse (över 3,0). De fördelningar som har en hög standardavvikelse ger inga säkra mått på den förväntade signalstyrkan i referenspunkten. Därför har ett filter applicerats i algoritmen så att sådana fördelningar inte inverkar på positioneringen. Detta minskar visserligen mängden referensdata som systemet får av radiokartan men det filtrerar bort referenspunkter med osäkert data. Som kommentar till detta val bör tilläggas att fördelningar som har denna brusiga karaktär kan säga någonting om den aktuella referenspunkten nämligen just i denna punkt kan det finnas många störande faktorer som alltid är närvarande och detta faktum bör kunna användas i positioneringsprocessen. Detta är alltså inget som undersökts närmare i denna rapport och har alltså inte heller implementerats i positioneringsalgoritmen som utvecklats.

5 Analys av faktorer som påverkar radiokartan

I avsnitt 3 gavs några exempel på vilka faktorer som påverkar säkerheten och precisionen vid positioneringen. Punkt 5, "Omgivningens karaktär" kan sägas vara den knepigaste punkten att väga in vid positionering. En fråga som kan ställas är huruvida denna punkt är viktig att beakta när ett positioneringssystem skall utvecklas?

5.1 Folkmassor absorberar signalen

För att kontrollera hur stor inverkan omgivningens karaktär har på positioneringen kan vi först undersöka hur förändringar i omgivningen påverkar radiosignalens utbredning. Vi har därför jämfört två radiokartor för samma lokal och referenspunkter där den enda skillnaden mellan kartorna är att den ena är uppmätt vid tom lokal och den andra är uppmätt vid full lokal (ca 150-200pers). Vi har undersökt skillnader i de två storheter som används vid positioneringen, nämligen väntevärde för signalstyrkan och signalstyrkans standardavvikelse.

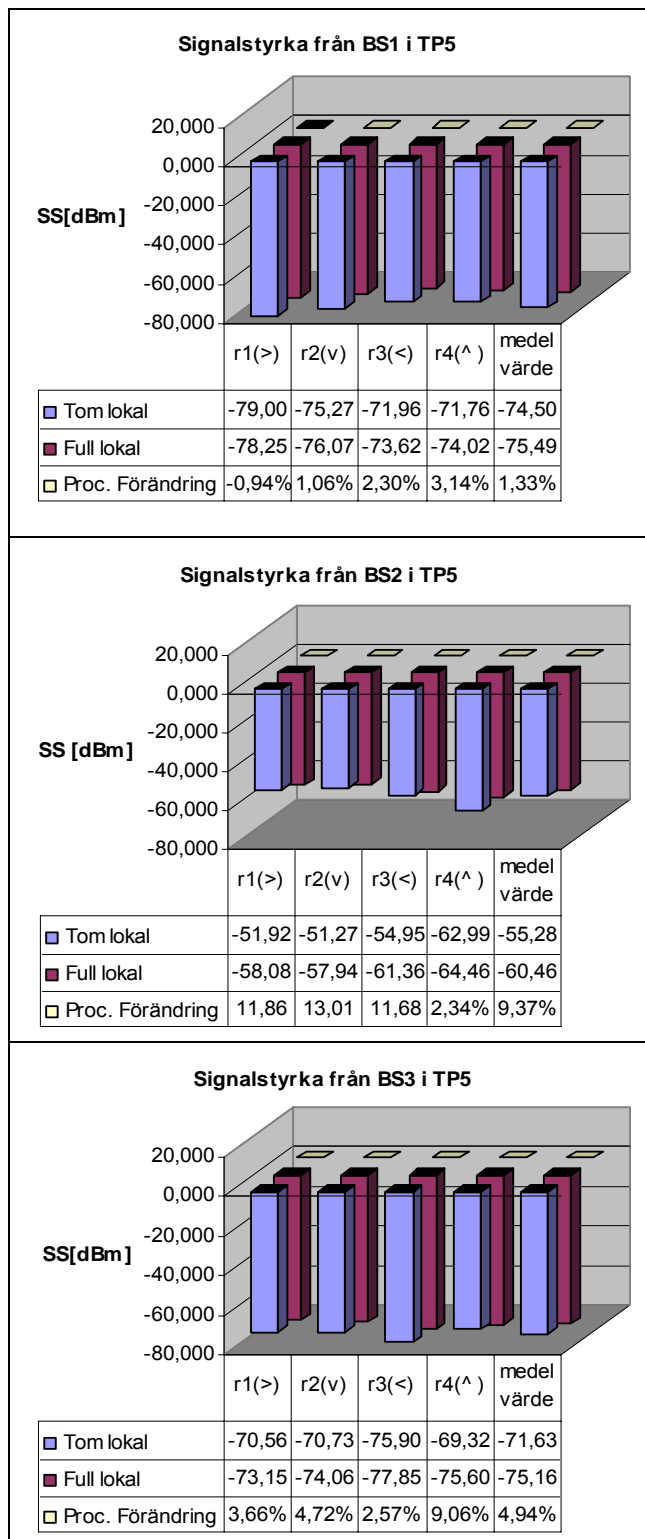
Nedan visas en bild över lokalen där radiokartorna uppmätts samt vilka resultat som kommit fram från mätningarna.



Figur 5. Karta över Mitums lokaler där basstationerna BS1, BS2 och BS3 är märkta med röd färg och referenspunkterna TP1-TP7 är märkta med blå färg.

De fullständiga resultaten av mätningarna finns bifogade i form av datatabeller i bilaga 4. Efter jämförelse mellan radiokartorna kan vi dra slutsatsen att antagandet i avsnitt 3, 2.2 och 5.1 dvs. att radiosignalen försvagas/absorberas av människokroppen även stämmer i praktiken. Datat från radiokartorna visar att den mottagna signalen över lag försvagas då fler människor befinner sig i lokalen.

Resultaten i bilaga 4 visar att signalen i försvagas mellan 0-14,2% (0-8,3dBm) i de olika testriktningarna. Den genomsnittliga försvagningen i referenspunkterna ligger mellan 0-9,4% (0-5,2dBm). I resultaten från TP1 och TP4 då signalstyrkan från BS3 mäts kan vi inte se någon direkt skillnad mellan radiokartorna. Detta bekräftar dock teorin, hela området mellan dessa referenspunkter och BS3 ligger utanför MITUMs lokaler. Detta område har under båda mätningar varit obefolkat och således är resultaten rimliga även i teorin. Liknande iakttagelser har gjorts i andra punkter där signalen mellan basstation och referenspunkt inte passerar folkmassorna i MITUM. Diagram 5 nedan visar hur folkmassorna påverkar den mottagna signalstyrkan i referenspunkt 5.



Förklaring till diagrammen:

Diagrammen visar mottagen signalstyrka i referenspunkt 5 från basstationerna BS1, BS2 och BS3. Ur diagrammen kan skillnaden i mottagen signalstyrka då lokalen är tom och då lokalen är fullt befolkad ses.

Referenspunkt 5 har valts då den ligger mitt i lokalen och rimligtvis bör påverkas mest av folk i omgivningen då signalen från samtliga basstationer försvagas av folkmassor mellan basstationerna och referenspunkten i samtliga riktningar.

X-axeln har beteckningarna r1-r4 samt medelvärde detta representerar den riktning som mätningen avser. Medelvärde betecknar medelvärdet av signalstyrkan i samtliga riktningar. Proc. Förändring betecknar förändringen i signalstyrkan mellan tom och full lokal. En positiv procentuell förändring betyder att signalstyrkan försvagats vid full lokal gentemot tom lokal.

Diagram 5. Signalstyrkans försvagning av förändringar i omgivningen på bottenvåningen.

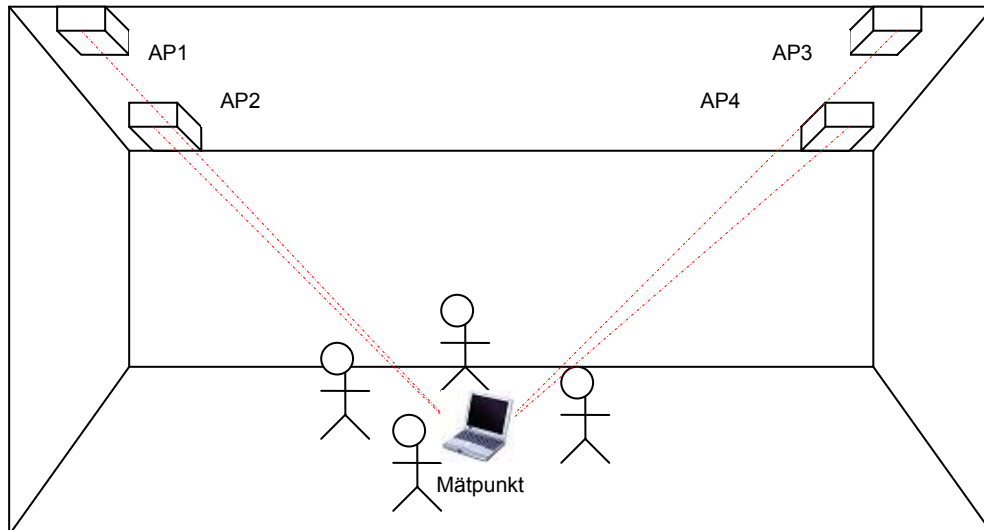
I föregående exempel ser det ut som att signalen försvagas av människor som rör sig i referenspunktens omgivning. Signaldata för de 6 andra referenspunkterna i bilaga 4 visar även att detta antagande verkar stämma i praktiken. Några tydliga samband mellan försvagning och referenspunktens placering eller riktning finns inte förutom de tidigare nämnda. Faktorer som temperaturen i omgivningen samt andra störande apparater har inte vägts in i jämförelsen då dessa faktorer inte påverkar signalstyrkan i samma utsträckning som den dämpande effekten av människor i omgivningen i den lokal och de förhållanden som undersökts. Temperaturen regleras av fläktsystemet och antas vara den samma under inmätningen. Störningar av apparater har inte undersökts men antas vara låga på grund av den stora datamängd som ligger till grund för datat i referenspunkterna samt att störningar i det trådlösa nätverket till viss del reduceras av DSSS tekniken som beskrivs i avsnitt 3.1.

Hur mycket positioneringen påverkas av omgivande folkmassor kan inte tydas ur dessa resultat. Tyvärr finns inte någon färdigutvecklad metod i Location Lab för att kontrollera resultatet av den slutgiltiga positionsberäkningen i dagsläget. När denna funktion finns implementerad i Location Lab bör det undersökas hur det slutgiltiga resultatet påverkas av omgivande folkmassor.

Vid analysen av signaldata hittas inte något gemensamt i försvagningen av signalstyrkan i de olika referenspunkterna och riktningarna. Detta är troligen pga. omgivningens dynamiska och oregelbundna karaktär, dvs. folkmassorna är inte jämt fördelade runt referenspunkterna och folk kommer och går från testområdet kontinuerligt. Omgivningens karaktär kan då rimligtvis beskrivas som dynamisk och oregelbunden och påverkar i hög grad radiosignalen i referenspunkterna och således positioneringsproblemet. En slutsats som kan dras av detta är att iden med att använda olika radiokartor för positionering beroende på omgivningens karaktär blir svår att förverkliga pga. att radiokartan måste spegla omgivningens specifika karaktär vid den tidpunkt då positioneringen äger rum. Omgivningens dynamiska karaktär gör detta i princip omöjligt då ingen förinspelad radiokarta exakt överensstämmer med den verkliga situationen. Det bör i detta sammanhang nämnas att de basstationer som användes i mätningen alla var placerade på samma våningsplan som mätområdet. Detta gjordes avsiktligt för att på rätt sätt spegla hur folkmassor absorberar signalen då den sänds från basstation till mätinstrument. Ett alternativ till olika radiokartor som är specifika för hur mycket folk som rör sig i lokalen kan vara en metod som nämns i kapitel 4 där vi utgår från en radiokarta för tom lokal och sedan använder basstationerna för att mäta hur mycket folk som befinner sig i olika områden i lokalen.

5.2 Inverkan av basstationernas placering

För att komma ifrån problemet med folkmassors inverkan på signalen kan basstationerna placeras högre upp. Detta är någonting som behandlats i [25]. Nedanstående bild visar hur detta kan undvika att folkmassor försvagar signalen.



Figur 6. Takmonterade basstationer.

För att testa teorin har jag genomfört en liknande analys som i avsnitt 5.1 där jag istället mätt förändringen i signalstyrka från basstationerna på våning 3 ovanför mitum. Figur 5 får illustrera även denna mätning då basstationerna som använts har nästintill samma x och y koordinater men de sitter 2 våningar högre upp. I figur 5 blir då adresserna för de aktuella basstationerna enligt följande:

BS1=000785B407E3

BS2=000785B4090D

BS3=000785B40900

De fullständiga resultaten av mätningarna finns bifogade i form av datatabeller och diagram i bilaga 4 under ”Mätdata från våning 3 i MIT huset”. Resultaten av dessa mätningar pekar på att referenspunkter som har någorlunda bra ”Line of sight” (LoS), till basstationerna, t.ex. TP5, påverkas väldigt lite eller ingenting alls av folkmassorna som rör sig kring mätpunkten. Se diagram på nästa sida.

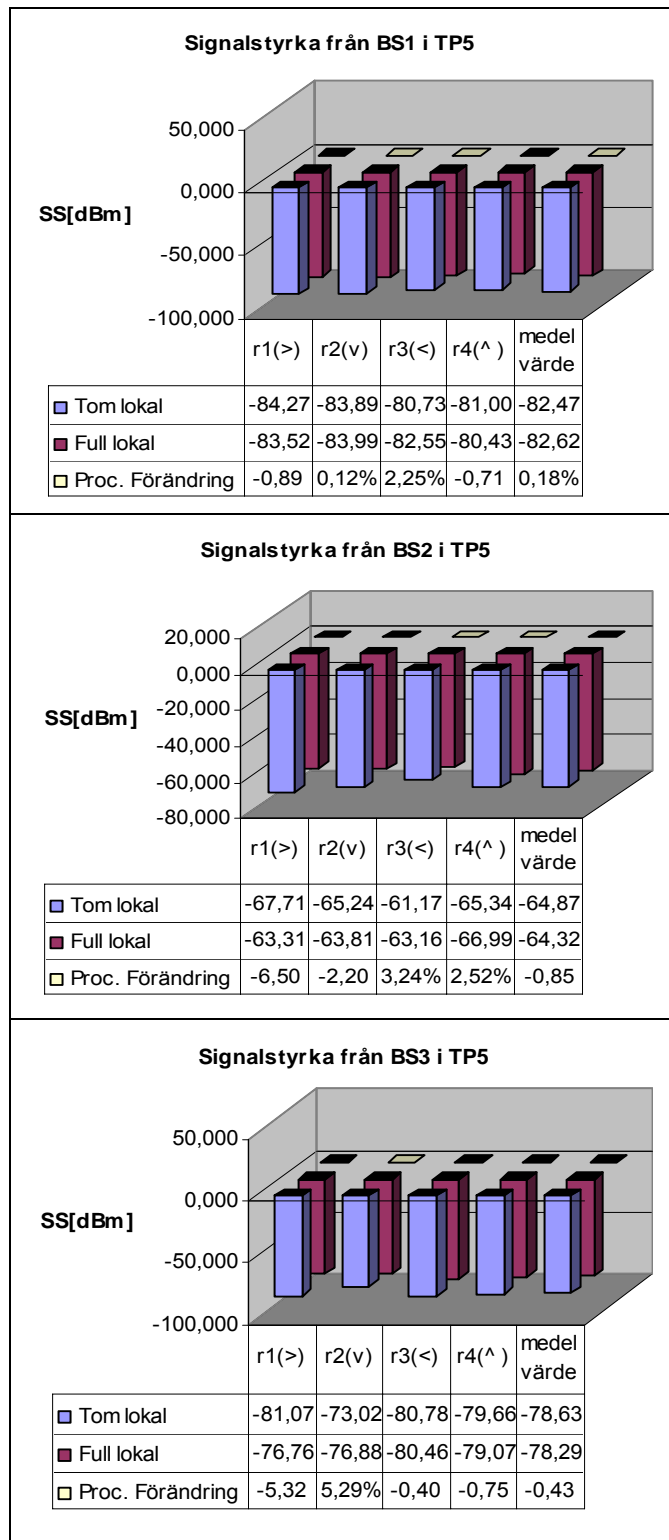


Diagram 6. Signalstyrkans försvagning för basstationer på våning 3.

Vid en jämförelse med datat från basstationerna på bottenvåningen syns det att förändringen av signalstyrkan från tom till full lokal är markant mindre.

Den slutsats som ligger närmast till hands är att signalstyrkan från basstationerna på vån 3 är mindre känslig för förändringar i omgivningen än basstationerna på bottenvåningen. Resultaten i bilaga 4 visar att signalen försvagas mellan 0-11,4% (0-7,0dBm) i de olika testriktningarna. Den genomsnittliga försvagningen i referenspunkterna ligger mellan 0-6,1% (0-4,4dBm). Återigen avviker resultaten från TP1 och TP4 vad gäller försvagningen, främst vid mätning mot BS2. Signalen mellan TP1 och BS2 försvagas överlag ganska mycket i alla mätriktningar och signalförsvagningen mellan TP4 och BS2 varierar kraftigt i de olika mätriktningarna. TP1 och TP4 ligger rakt under BS2 och däremellan finns ett våningsplan med matbord och lunchutrymme där mycket folk befinner sig under lunchtid. Detta leder till att signalen till dessa referenspunkter är utsatta för den dynamiska omgivningens försvagande egenskaper. Dessa referenspunkter är därför inte lämpade för att undersöka inverkan av basstationernas placering. Liknande iakttagelser har gjorts i flera referenspunkter där signalen mellan basstation och referenspunkt fortfarande passerar folkmassorna i MITUM samt ovanliggande lokaler vilket jag försökt undvika i denna undersökning.

För att åskådliggöra inverkan av basstationernas placeringar har en jämförelse av den genomsnittliga försvagningen i referenspunkterna gjorts. När basstationer på samma våningsplan användes så försvagas signalen i genomsnitt 4,44% när lokalen går från tom till fullt befolkad. Detta kan jämföras med en genomsnittlig försvagning på 2,29% då mätningen avser basstationerna på våning 3. Till detta skall även tilläggas att basstationer och referenspunkter inte är optimalt placerade för att påvisa denna skillnad. Resultaten från TP5 är de som visar på den största inverkan av basstationernas placering och är även de resultat som teoretisk bör göra det då vi vid mätning från TP5 mot basstationerna på våning 3 till stor del slipper folk som skymmer LoS.

6 MATLAB

När vi utvecklar algoritmer till Location Lab inser vi snabbt vilka möjligheter som finns. Då algoritmen laddas separat till positioneringsprocessen kan vi utveckla flera olika typer av positioneringsalgoritmer och sedan testa dessa genom att köra dom samtidigt i Location Lab. Ett av delmålen med examensarbetet var att koppla en algoritm till MATLAB för att kunna använda sig av matlabbiblioteken för t.ex. singularvärdesuppdelning (SVD). En algoritm har utvecklats enbart för detta ändamål och syftet med denna är att extrahera alla parametrar som behövs i positioneringsalgoritmen, (d.v.s. data från radiokarta, historisk data från positioneringsalgoritmen samt realtidsdata från nätverket), och skapa matriser i MATLAB av dessa data för att sedan kunna utföra matlabkommandon på datat och få resultatet tillbaka till Location Lab. Kopplingen till MATLAB har implementerats i en ”tom” algoritm som kan användas till att implementera en SVD algoritm i framtiden.

6.1 MATLAB Engine

För att kunna skicka data till MATLAB, bearbeta data och sedan få tillbaka ett resultat kan MATLAB Engine library användas. Det är en uppsättning rutiner som gör det möjligt att anropa MATLAB från egna program och därigenom använda MATLAB som en beräkningsmotor. MATLAB Engine program är C eller FORTRAN program som kommunicerar med en separat MATLAB process via pipes, på UNIX, och genom ett Component Object Model (COM) interface, på Windows. Det finns biblioteksfunktioner i MATLAB som möjliggör start och avslutning av MATLAB processen, skicka data till och från MATLAB, och skicka kommandon som utförs i MATLAB. Mer om MATLAB Engine finns att läsa i MATLAB help/contents/ External Interfaces/API: Calling MATLAB from C and Fortran Programs.

Matlab algoritmen är implementerad i C++ och i dagsläget gör den inte mer än att läsa in all data från Location Lab och sparar detta i olika Matriser i MATLAB Engine processen av typerna CellMatrix och DoubleMatrix. Mer info om matlabalgoritmen finns i dokumentationen till algoritmen.

7 Positioneringsalgoritm till Location Lab.

Det går utmärkt att själv utveckla algoritmer till Location Lab som sedan kan jämföras med de algoritmer som redan finns. Algoritmer som utvecklas skall kunna laddas som dll-filer. De krav som ställs på algoritmen finns beskrivna i dokumentationen till Location Lab och kommer inte att beskrivas närmare.

För att förklara hur en generell algoritm till Location Lab fungerar så börjar vi med att den grundläggande principen bygger på en radiokarta som innehåller referenspunkter utspridda över det område vi vill positionera oss i. Förutom radiokartan finns signaldata från det omgivande trådlösa nätverket som kontinuerligt tas emot och kan användas av algoritmen. Den generella principen för en algoritm är således att utifrån radiokartan och signaldata som mäts i realtid beräkna var användaren befinner sig på kartan.

Ett av delmålen med examensarbetet var att utveckla en ny algoritm och jämföra den med en föregående algoritm som gjorts av samma person som utvecklade PositioningClient. En ny sådan algoritm har utvecklats och den tar vara på en viktig faktor nämligen användarens tidigare position.

Positioneringsproblemet delas in i separata faser. I den nya algoritmen som utvecklats kan vi särskilja följande faser:

1. Läs in data från radiokarta och aktuell signaldata från nätverket.
2. Beräkna hur väl signaldata från nätverket matchar olika referenspunkter i radiokartan.
3. Utifrån data för tidigare position och fas 2 beräkna sannolikheter nuvarande position.
4. Utifrån sannolikheter för nuvarande position beräkna slutgiltiga koordinater.

7.1 *Datainsamling*

Den första delen i algoritmen går ut på att läsa in signaldata och data från radiokartan som vi vill jämföra. För att läsa in all data vi behöver matchas basstationernas MAC adresser i signaldata mot basstationernas MAC adresser i radiokartans referenspunkter. Sedan kan vi gå vidare till fas 2.

Det bör nämnas att de data vi läser in från nätverkskortet till algoritmen är fördelningar av signalstyrkan från de olika basstationerna som vi loggat under ett kortare tidsintervall och de data vi läser in från radiokartans referenspunkter är fördelningar av signalstyrkan från de olika basstationerna som vi mätt vid skapandet av radiokartan. Fördelningarna består av ett väntevärde, en varians och antal mätvärden som ligger till grund för fördelningen. I litteraturen [25] har det i de flesta undersökningar konstaterats att dessa fördelningar är normalfördelade vid mätningar inomhus och detta faktum använder vi senare i fas 2. Redan här i inledningsfasen kan vi hitta några faktorer som förmodligen kommer att påverka positioneringen, dels vilka storheter bör användas i positioneringsprocessen? Skall vi använda hela fördelningen av signalstyrkor eller ska vi nöja oss med ett medelvärde?

En annan faktor är hur många referenspunkter skall användas i positioneringen? Skall alla tas med eller räcker det att ta med några få?

I implementationen av den nya algoritmen har jag valt att ta vara på så mycket data som möjligt för att kunna göra en bra sannolikhetsberäkning för alla referenspunkter i radiokartan. Nästa underrubrik beskriver hur algoritmen använder all data och varför jag valt att göra på detta sätt.

7.2 Matchning grundad på sannolikhet

En bra lösning av positioneringsproblemet innebär att vi tydligt kan särskilja en eller flera av referenspunkterna som med stor sannolikhet motsvarar den position klienten befinner sig i. När dessa referenspunkter är identifierade kan algoritmen sedan beräkna en trolig position.

De deterministiska metoderna utgår ifrån att försöka hitta de referenspunkter som ligger närmast (i signalrymden) den position klienten befinner sig i. Sannolikhetsmetoderna utgår ifrån att försöka hitta de referenspunkter vars signalstyrkor med störst sannolikhet överensstämmer med signalstyrkorna som mäts upp i realtid. Eftersom detta är en algorithm som grundar sig på en sannolikhetsmetod beräknar den ett sannolikhetsvärde för samtliga referenspunkter i radiokartan.

Den första delen av sannolikhetsberäkningen kan beskrivas som en matchning av signaldata uppmätt i realtid mot signaldata från radiokartans referenspunkter. För varje referenspunkt i radiokartan och för varje signalfördelning vars basstation matchar en basstation i realtidsdata beräknas ett matchningsvärde. Detta värde summeras för alla matchande basstationer och blir referenspunktens totala matchningsvärde. När alla referenspunkter matchats mot realtidsdata går algoritmen vidare och använder historisk data för att lägga till mer information till de slutliga matchningsvärdena.

Själva matchningsberäkningen tar vara på antagandet att signaldata i referenspunkterna är normalfördelat och beräknar täthetsfunktionen

$f_{nX}(SS_{nX}) = P(SS_{nX} | t_k)$ där SS_{nk} är väntevärdet för signalstyrkan uppmätt i realtid från basstation n till punkten X där vi befinner oss. Detta blir matchningsvärdet för basstation-referenspunktspar nk och det totala matchningsvärdet för referenspunkten k blir summan av alla dess matchningar. Beräkningen av detta beskrivs i avsnitt 2.4

Matchningsvärdet är alltså inte ett äkta sannolikhetsvärde då sannolikheten för ett exakt värde i en kontinuerlig fördelning är lika med noll. Dock kan täthetsfunktionen i detta fall ses som motsvarigheten till den diskreta fördelningens sannolikhetsfunktion [27]. Denna matchningsmetod finns implementerad i algoritmen som funktionen:

matchProbability(SAMPLE *radioMapSample, SAMPLE *LiveSample).

7.3 Viktat resultat av matchning

Som nämnts i kapitel 3 så är precisionen i positioneringen hög om avståndet till basstationen är kort och eftersom en stark signal mellan -50 och -40dBm (0,01-0,1 μ Watt) inte försvagats nämnvärt från basstationen till mottagaren så har den inte utsatts för några störningar heller. Därför vill vi prioritera de starka signalerna i positioneringsprocessen. I algoritmer till Location Lab används därför en funktion som viktar matchningsvärdet utifrån den matchade signalens styrka. Eftersom starka signaler som har ett dåligt matchningsvärde inte bör prioriteras så jämförs matchningsvärdet med ett gränsvärde innan funktionen utför viktningen. På så sätt undviker vi att prioritera ”fel” signalstyrkor eller snarare filtreras svaga matchningar bort vilket bör öka säkerheten och precisionen i positioneringen. För själva viktningen finns två olika metoder implementerade. Den ena viktningmetoden utgår ifrån att signalstyrkan i Watt avtar kvadratisk med avståndet enligt diagram 3. Den matchade signalstyrkan får i denna metod en viktningfaktor mellan 1 och 2 för signalstyrkor 0,01-0,1 μ Watt. Signalstyrkor över 0,1 μ Watt får viktningfaktor 2 och signalstyrkor under 0,01 μ Watt får viktningfaktor 1. Den andra metoden bygger på en logaritmisk viktning baserad på signalstyrkan i dBm. Viktningsfaktorn är återigen mellan 1 och 2 för signalstyrkor mellan -50 och -40dBm. Signalstyrkor över -40dBm får viktningfaktor 2 och signalstyrkor under -50dBm får viktningfaktor 1. Två algoritmer har utvecklats där den ena algoritmen utgår från att signalen avtar kvadratisk och den andra utgår från att signalen avtar logaritmiskt. Att just dessa två sätt används för viktningen beror på att de har en direkt anknytning till hur signalen avtar med avståndet. Naturligtvis finns fler sätt att utföra viktningen och det är inte säkert att någon av dessa är bättre än några andra. Funktionen som utför viktningen heter: **getSSWeight(double SS, double prob)**.

7.4 Bayesiskt filter

Att väga in sannolikheter för tidigare position syftar till två ändamål. För det första kan vi genom denna metod få referenspunkter som ligger långt ifrån föregående position lägre sannolikhet då vi under en positioneringsrunda endera stannar kvar på samma position eller alternativt går till en närliggande position. Det är inte troligt att klienten under loppet av en tiondels sekund flyger från ena sidan av radiokartan till andra sidan. Det syftar även till att förstärka sannolikheten att användaren endera stannat kvar på samma position alt. tagit sig till en närliggande position. En metod som grundar sig på historisk data är ett så kallat bayesiskt filter. Det speciella med ett bayesiskt filter är att systemet som det appliceras på måste ha Markov-egenskapen. Detta innebär att klienten under varje cykel endera kan stå kvar i samma stadium eller gå till ett angränsande stadium vilket stämmer överrens med detta system. Första steget i det bayesiska filtret är att beräkna de förutspådda sannolikheterna för nuvarande position. Därefter appliceras matchningen av signaldata och slutligen normaliseras sannolikheterna för referenspunkterna så att summan av sannolikheterna i systemet blir 1. Teorin bakom bayesiska filtret finns mer utförligt beskriven i litteraturen, se [28].

Nedan visas en formel som beskriver hur det bayesiska filtret implementerats i algoritmen.

$$Bel^{\wedge}(x_t) \leftarrow \sum_{x_{t-1}=t_i}^{t_n} p(x_t | x_{t-1}) Bel(x_{t-1})$$

$$Bel(x_t) \leftarrow \alpha_t P(X = t_k) Bel^{\wedge}(x_t)$$

$Bel^{\wedge}(x_t)$ är den förutspådda sannolikheten för referenspunkten x_t och $Bel(x_t)$ är den slutliga sannolikheten för referenspunkten x_t .

$P(X = t_k)$ är matchningsvärdet från fas 2.

Den förutspådda sannolikheten för referenspunkten x_t bestäms av föregående sannolikheter för referenspunkterna i radiokartan samt avståndet till dessa referenspunkter. Det vill säga sannolikheterna för föregående positioner samt avståndet till dessa bestämmer hur troligt det är att vi befinner oss i referenspunkten x_t . Lite förenklat kan det förklaras som att om vi med hög sannolikhet befann oss i en referenspunkts, x_{t-1} , i föregående positioneringsomgång så är den förutspådda sannolikheten att vi befinner oss i en, till x_{t-1} , angränsande referenspunkt x_t hög.

Ty $Bel(x_{t-1})$ är hög och $p(x_t | x_{t-1})$ är hög alltså blir $Bel^{\wedge}(x_t)$ hög.

Om detta verkar krångligt så hänvisar jag läsaren till "Bayesian Techniques for Location Estimation" [28] där detta beskrivs mer utförligt.

När den slutgiltiga sannolikheten för alla referenspunkter beräknas i fas 4 vägs matchningsvärdet från fas 2 och den förutspådda sannolikheten från fas 3 in och slutligen normaliseras sannolikheten för referenspunkten med konstanten alfa varefter de resulterande sannolikheterna sparas i ett "ResultTable" som PositioningClient använder för att uppdatera det grafiska gränssnittet. Algoritmen sparar även ett "ProbabilityHistory" objekt som används av det bayesiska filtret vid nästa positioneringstillfälle. I det bayesiska filtret finns det flera faktorer att undersöka som påverkar positioneringen. Det är just vid beräkningen av $p(x_t | x_{t-1})$ som algoritmen skall vikta hur stor inverkan avståndet från x_t till x_{t-1} skall ha på beräkningen av den förutspådda sannolikheten för referenspunkten x_t .

I den nuvarande implementationen beräknas

$$p(x_t | x_{t-1}) = p(x_{t-1}) / \text{dist}(x_t, x_{t-1}) \text{ såvida inte } \text{dist}(x_t, x_{t-1})=0.$$

Då är $p(x_t | x_{t-1})=0.2$ då användaren antas endera stå kvar i samma position eller gå åt höger, vänster, rakt fram eller bakåt med samma sannolikhet.

Dessa parametrar för hur $p(x_t | x_{t-1})$ skall beräknas bör undersökas senare då PositioningClient har funktionen att kunna visa det slutgiltiga resultatet av positioneringen. Metoden för det bayesiska filtret finns implementerad i algoritmen som funktionen **BayesFilter()**.

7.5 Beräkning av slutgiltiga koordinater

När algoritmen körs i Location Lab och sannolikheten för varje referenspunkt har beräknats och sparats i ”ResultTable” syns sannolikhetsvärden för alla referenspunkter i det grafiska användargränssnittet kontinuerligt allteftersom klienten rör sig inom radiokartans område. Algoritmen har dock än så länge inte givit någon slutgiltig positionsangivelse för var användaren befinner sig. Det finns många sätt att beräkna denna position på.

Den enklaste metoden för koordinatberäkning är att räkna ut det viktade medelvärdet av alla referenspunkters x och y koordinater. Viktningen sker med hänsyn till referenspunktens sannolikhetsvärde. Denna metod är snabb att implementera men ger dåliga resultat då referenspunkter som ligger långt ifrån den verkliga positionen påverkar den slutgiltiga positionen trots att datat i dessa referenspunkter överensstämmer så dåligt med realtidsdata att deras sannolikhetsvärde inte säger oss någonting om den verkliga positionen. En annan metod som används i litteraturen [1] grundar sig på att algoritmen väljer ut de n stycken mest sannolika referenspunkterna och beräknar ett medelvärde av deras koordinater för att få den slutgiltiga positionen. Denna metod har visat sig fungera bra i flera andra system men den tar inte vara på det faktum att det p.g.a. radiosignalens karakteristik (brus, multipath fenomen m.m.) kan förekomma referenspunkter i kartan vars data överensstämmer bra med realtidsdata men som ändå ligger på helt fel position. Vi kan kalla dessa referenspunkter för radiokartans brus. Detta fenomen kan uppkomma dels från dåligt signaldata i radiokartan alternativt brusig realtidsdata. För att få fram den slutgiltiga positionen vill vi använda oss av referenspunkter som ligger fysiskt nära den verkliga positionen för att veta att så lite brus som möjligt kommer med i beräkningen. Diagrammet på nästa sida illustrerar hur det kan se ut efter att algoritmen beräknat sannolikheterna för referenspunkterna.

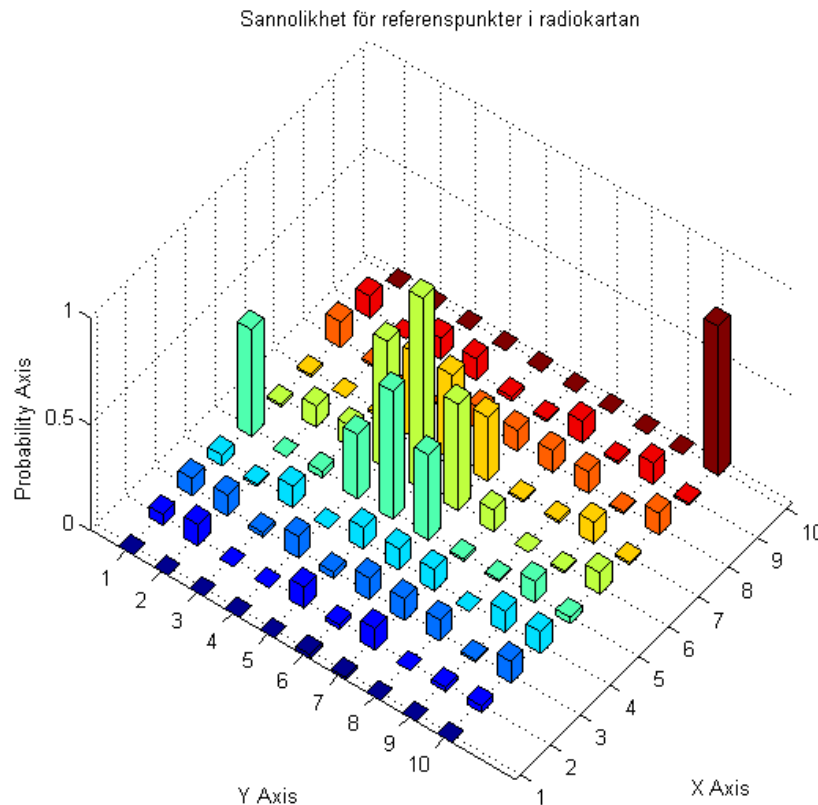


Diagram 7. Stapeldiagram över de olika referenspunkternas sannolikhetsvärden.

Det kan tydas ur diagrammet att användaren med stor sannolikhet befinner sig någonstans vid $x=6$, $y=5$. Diagrammet visar att det även vid andra områden finns "sannolighetstoppar" dessa områden är dock mindre troliga då de kringliggande referenspunkterna har väldigt låga sannolikhetsvärden.

Vi vill således isolera området kring $x=6, y=5$ och utifrån referenspunkterna i detta område beräkna den slutgiltiga positionen. En funktion som syftar till att göra detta har utvecklats och finns implementerad i algoritmen som funktionen **GetEstimate()**. I denna funktion finns många faktorer som kan undersökas. Den aktuella versionen av **GetEstimate()** räknar ut en sannolikhet för varje referenspunkts "grannskap". Varje referenspunkt har grannar och grannskapet har tillsammans ett sannolikhetsvärde. Det grannskap som har högst genomsnittliga sannolikhet väljs som utgångspunkt för koordinatberäkningen vilken sker genom ett viktat värde av grannskapets koordinater.

Idén bakom grannskapsfunktionen kommer från att om det funnits tillgång till en radiokarta med tillräckligt många referenspunkter för att täcka in alla koordinatkombinationer i hela kartan skulle diagrammet för referenspunkternas sannolikhetsvärden se ut som i diagrammet på nästa sida.

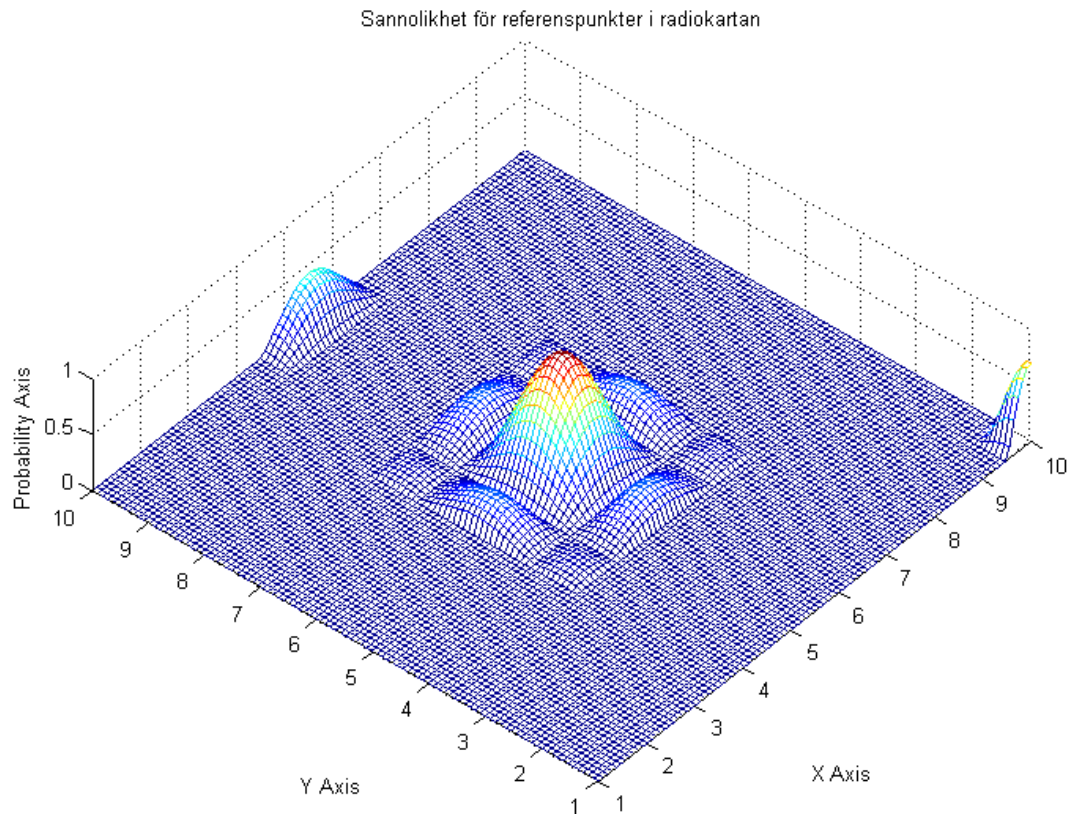


Diagram 8. Diagram över sannolikhetsfördelning för en ideal radiokarta.

Med en radiokarta enligt ovan kan vi räkna ut volymen av sannolikheten för ett visst område på kartan. Diagrammet över denna sannolikhetsfördelning har väldigt lite brus och illustrerar en modell över en nästintill idealmiljö. De två toppar som kan ses i utkanterna av kartan representerar (precis som i diagram 7) två positioner som av någon anledning har hög sannolikhet trots att den aktuella positionen ligger i mitten av diagrammet. En metod för att beräkna de slutgiltiga koordinaterna är att ta reda på vilken del av planet som har högst sannolikhetsvolym per areaenhet. Därefter kan ett viktat medelvärde av den mest troliga koordinatkombinationen enkelt räknas ut. Diagrammet är en fiktiv illustration av hur sannolikheten i radiokartans referenspunkter är fördelade. I denna idealradiokarta finns 810 referenspunkter representerade (givet att endast en mätriktning specificerats i varje position). Det är dock alltför tidskrävande och svårt att skapa en så tät och felfri radiokarta och det bör räcka med den typ som beskrivs i diagram 7 för att utföra den positionering som eftersträvas.

Metoden för idealradiokartan utgör grunden för hur koordinatberäkningen i algoritmen går till. Istället för att finna den del av planet som har högst sannolikhetsvolym eftersträvas att hitta det grannskap som har högst genomsnittlig sannolikhet. På så sätt kan vi filtrera bort enstaka toppar eller "brus" och få en mer säker positionering.

8 Test av positioneringsalgoritm

Location Lab stödjer inspelning av ”promenader” vilket betyder att användaren kan ”spela in” signaldata med en bärbar dator under en promenad i en lokal där det finns tillgång till ett WLAN. Sedan kan användaren spela upp promenaden när som helst och på så sätt simulera positioneringsproblem. Dessutom stödjer Location Lab test av flera positioneringsalgoritmer samtidigt. På detta sätt kan vi jämföra olika algoritmer och se resultatet från de olika algoritmerna direkt på skärmen. Tyvärr kan Location Lab i dagsläget inte lagra och visa de slutgiltiga koordinaterna från positioneringsprocessen då utvecklingen av Location Lab avbröts på grund av brist på pengar. Således finns inga dokumenterade tester på positioneringsalgoritmerna då Location Lab inte stödjer detta ännu. Location Lab lagrar och visar de slutgiltiga matchningsvärdena för referenspunkterna och vi kan grafiskt se och dra slutsatser om en algoritm fungerar, men att jämföra algoritmer och testa hur olika faktorer inverkar på positioneringen är inte möjligt i dagsläget då precisionen och säkerheten i positioneringen inte går att mäta. För att få ut något slutgiltigt resultat från positioneringsprocessen loggar algoritmen de slutgiltiga koordinaterna till en textfil. Textfilen skall sedan kunna analyseras för att mäta hur bra algoritmen är och hur de olika faktorerna i algoritmen påverkar resultatet. På grund av tidsbrist har inga loggningar och analyser gjorts ännu. Utveckling av loggningsfunktioner och lagring av slutgiltiga koordinater bör utföras i framtida arbete med Location Lab.

9 Framtida arbete

Efter att fördjupat sig i problemen kring positionering i trådlösa nätverk inser jag att det finns många outforskade faktorer som bör undersökas för att förbättra säkerhet och precision i positioneringsprocessen.

9.1 Förbättra positioneringsprocessen

När det gäller just positioneringsprocessen finns några intressanta punkter som bör utforskas.

Skall lokalens utformning läsas in och tas med i modellen?

Om detta går att genomföra så är det möjligt att använda givna konstanter för att beräkna hur mycket väggar och golv försvagar signalstyrkan i de olika referenspunkterna. Detta förbättrar troligtvis resultatet av positioneringen.

Kan vi använda basstationerna för att mäta hur mycket folk som befinner sig inom olika områden i lokalen?

Om basstationernas positioner är kända. Kan det då utvecklas mjukvara som mäter hur mycket folk som befinner sig mellan två basstationer? På detta sätt skulle det gå att använda en radiokarta för tom lokal och sedan vikta signaldata i referenspunkterna mot folkmängden mellan referenspunkten och basstationen.

Hur många basstationer skall användas ur radiokartan?

Vad är optimalt? Vad ger bäst precision?

Skall bara vissa basstationer användas i positioneringen? I så fall vilka?

Bör t.ex. endast de starkaste basstationerna tas med i positioneringsprocessen? Eller präglas data från dessa av för mycket brus? Skall de medelstarka användas istället?

Radiosändare av olika typer påverkar signalen, vad kan vi göra åt detta?

Det har inte framkommit i denna rapport hur radiosändare och andra apparater påverkar den mottagna signalen och positioneringen? Det bör undersökas dessa faktorer inverkar på resultatet.

Hur tät ska radiokartan vara?

Vad är optimalt? Vad ger bäst precision?

9.2 Tankar kring optimering

När det gäller effektivitet i positioneringsprocessen kan erkännas att de algoritmer som implementerats till Location Lab inte är optimerade för att vara vare sig snabba eller minnessnåla.

Några förslag till optimering som bör undersökas är t.ex. om det finns något alternativ till att använda listor då data parsas från radiokarta och signalloggaren?

En annan intressant ide är att dela in referenspunkterna i olika klusters beroende på vilka de starkaste basstationerna i respektive referenspunkt är. Detta leder till att vi kan sortera bort de referenspunkter som är ”utanför området” redan innan mönstermatchningen vilket bidrar till en kraftig minskning av beräkningskostnaden vid mönstermatchning [5].

9.2 Utvärdering av Location Lab

En utförlig genomgång och testning av Location Lab bör göras. Några saker som bör undersökas är:

- Uppdragsgivaren till examensarbetet vill att GPS koordinater skall kunna läggas till i Location Lab's radiokarta, hur skall detta göras?
- Uppdragsgivaren till examensarbetet vill att Location Lab skall kunna leverera GPS koordinater som utdata till andra program, hur?
- Location Lab skall enligt uppdragsgivaren kommunicera, via t.ex. virtuell COM-port, med en andra program, hur?
- Kan nya teknologier som bluetooth, RF-id implementeras i Location Lab för att möjliggöra positionering i andra nätverk? Hur då?
- Hur skall positioneringsalgoritmer för dessa teknologier fungera?

När utveckling och implementation av Location Lab är färdig bör algoritmerna som utvecklats testas. En grundlig genomgång av algoritmer bör göras och en testplan bör upprättas för att jämföra inverkan av parametrarna i algoritmerna.

- Hur påverkar funktionerna som beskrivs i kapitel 8 positioneringen?
- Vilka gränsvärden skall sättas i funktionerna?
- Vilken typ av viktning skall användas vid matchningen?
- Är det bayesiska filtret bra? Hur kan den förbättras?
- Vilka gränsvärden skall sättas på signalstyrkan från basstationer?
- Vilket avstånd är optimalt mellan referenspunkterna?
- Hur många riktningar skall specificeras i varje referenspunktsposition?

9.2 Location-aware applications

Alla mätningar, tester och algoritmer som diskuterats i denna rapport syftar till att kunna fastställa en klients fysiska position. När detta mål är uppnått finns det väldigt många användningsområden för sådan teknik förutom det just nämnda. Det finns en uppsjö av förslag till applikationer som efterfrågas och kan byggas runt tekniken för WLAN-positionering. Nedan listas några förslag.

- Att kunna skicka och ta emot information som är specifik för en klients profil, plats och tidpunkt.
 - Informationssystem för studenter och personal vid universitet.
 - Virtuellt guddad tur för turister.
 - Specifik information om olika områden, byggnader, monument.
- Att kontinuerligt kunna övervaka en klients fysiska position.
 - Övervakning av personal och interner på fängelse.
 - Övervakning av känsligt eller värdefullt material.
- Att mäta storlek, riktning och plats av flöden.
 - Flygplatser, köpcentrum, fordonstrafik mm.
- Att sända ut reklam.
 - Kunds specifik reklam från varuhus till kunder i omgivningen.
- Positionsspecifik programvara.
 - Positionskänslig inloggningsklient till mobiltelefon kan ersätta kortläsare och passerkort.
- Larmtjänster.
 - Överhettningsslarm för industrier.

Detta är några få av alla de användningsområden som finns för denna teknik. Applikationer inom dessa områden är väldigt intressanta och det finns väldigt många problem runt dessa applikationer varav många ligger utanför områden som naturvetenskap och teknik.

10 Slutsats

Att utföra positionering med hjälp av signaldata från ett trådlöst nätverk är en komplex process. Det är många fysiska faktorer som påverkar radiosignalen och det ger upphov till att det behövs en avancerad modell som på bästa sätt speglar omgivningen. Att använda radiokartan som referens är ett sätt att spegla omgivningen. Radiokartan är långt ifrån tillräcklig för att innehålla all data som beskriver radiosignalens utbredning i inomhuslokaler. Den är dock en tillräckligt bra referens att använda för att bestämma en användares position inomhus. Till radiokartan används en algoritm som grundar sig på statistisk data för att försöka mäta användarens position. På grund av radiosignalens brusiga karaktär och den dynamiska omgivningen är en sannolikhetsmetod som grundar sig på statistisk data troligtvis det bästa alternativet för positionering i trådlösa nätverk. Location Lab är inte ett bra positioneringsverktyg i dagsläget men det är ett verktyg som inom snar framtid kan användas för att utveckla positioneringsalgoritmer och jämföra dem med varandra. För att återkoppla till syfte och mål med examensarbetet så kan det konstateras att delmålen, radiokartor, algoritmer och koppling till MATLAB mm. är uppfyllda. När det gäller syftet med examensarbetet d.v.s. att undersöka vilka faktorer som påverkar positioneringen kan sägas att de flesta faktorer som rör algoritmen i sig har inte undersökts närmare, detta på grund av det faktum att Location Lab inte stödjer test av algoritmen. Det vill säga det går inte i dagsläget att mäta resultatet från algoritmens positionering på grund av att Location Lab inte kan spara de slutliga koordinaterna. Vissa faktorer som påverkar positioneringen har dock undersökts. Det gäller främst dom yttre, fysiska faktorerna som påverkar radiosignalen. Människor i omgivningen påverkar signalen genom att signalen till stor del absorberas i människokroppen. Basstationernas placering kan påverka positioneringen om de är placerade på ett sådant sätt att vägen från basstation till användare är utsatt för mycket störningar.

11 Tack

Förutom mina handledare vill jag även tacka Fredrik Georgsson som hjälpt mig med att förstå och förverkliga idéerna med det bayesiska filtret. Jag vill även tacka Anton Gustavsson som utvecklat Location Lab och som hjälpt mig med problemen kring testmiljön. Ett stort tack till Liw Schönning som korrekturläst rapporten.

Referenser

- [1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. In IEEE Infocom 2000, volume 2, pages 775–784, March 2000.
- [2] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, and A. Balachandran. A software system for locating mobile users: Design, evaluation, and lessons. Technical report, Microsoft Research, MSR-TR-2000-12, April 2000.
- [3] A. Smailagic, D. P. Siewiorek, J. Anhalt, D. Kogan, and Y. Wang. Location Sensing and Privacy in a Context Aware Computing Environment. Pervasive Computing, 2001.
- [4] C. Komar, and C. Ersoy. Location Tracking and Location Based Service Using IEEE 802.11 WLAN Infrastructure. European Wireless 2004, Barcelona Spain, 24-27 February 2004
- [5] M. Youssef, A. Agrawala, A. U. Shankar, and S. H. Noh. A Probabilistic Clustering-Based Indoor Location Determination System. Technical Report UMIACS-TR 2002-30 and CS-TR 4350, University of Maryland, College Park, March 2002.
- [6] M. Youssef and A. Agrawala. Small-Scale Compensation for WLAN Location Determination Systems. In IEEE WCNC 2003, March 2003.
- [7] M. Youssef, A. Agrawala, and A. U. Shankar. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. In IEEE PerCom 2003, March 2003.
- [8] M. Youssef and A. Agrawala. On the Optimality of WLAN Location Determination Systems. CS-TR 4459, Department of Computer Science, University of Maryland, College Park, March 2003.
- [9] T. Roos, P. Myllymaki, H. Tirri, P. Misikangas, and J. Sievanen. A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation. International Journal of Wireless Information Networks, 9(3), July 2002.
- [10] P. Castro, P. Chiu, T. Kremenek, and R. Muntz. A Probabilistic Room Location Service for Wireless Network Environments. Ubiquitous Computing 2001, September 2001.
- [11] R. Battiti, T. Le Nhat, and A. Villani. Location-aware computing: a neural network model for determining location in wireless LANs. Technical Report 5, Dipartimento di Informatica e Telecomunicazioni, Unversita' di Trento, Feb 2002.
- [12] R. Battiti, A. Villani, and T. Le Nhat, "Neural network models for intelligent networks: deriving the location from signal patterns," in Proceedings of AINS2002, UCLA, May 2002.
- [13] Ekahau, Inc. "Ekahau Positioning Engine, EPE" <http://www.ekahau.com>
- [14] The Nibble Location System. <http://mmsl.cs.ucla.edu/nibble/>
- [15] AeroScout Visibility System. <http://www.aeroscout.com>
- [16] J. Hightower and G. Borriello. Location systems for ubiquitous computing. Computer, 34(8), 2001. IEEE Computer Society Press.
- [17] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. The Cricket location-support system. Mobicom'00, Boston, 2000.
- [18] R. J. Orr and G. D. Abowd. The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking. In Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000), pages 1–6, The Hague, Netherlands, April 2000.

- [19] M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggles, A. Ward, and A. Hopper. Implementing a sentient computing system. *IEEE Computer*, 34(8):50–56, 2001.
- [20] R. Want et al., “The Active Badge Location System,” *ACM Transactions on Information Systems*, January 1992, pp. 91-92.
- [21] Jay Werb and Colin Lanzl. Designing a positioning system for finding things and people indoors. *IEEE Spectrum*, 35(9):71–78, September 1998.
- [22] A.M. Ladd, K. E. Bekris, A. Rudys, G. Marceau, L. E. Kavraki and D. S. Wallach. Robotics-Based Location Sensing using Wireless Ethernet
- [23] H. Hashemi, "The indoor radio propagation channel" *Proc. of IEEE*, vol. 81, 1993, pp. 943-968.
- [24] D.M.J Devasirvatham, C. Banerjee, R.R. Murray and D.A. Rappaport. "Four-frequency radiowave propagation measurements of the indoor environment in a large metropolitan commercial building" ...år, sammanhang...
- [25] A. Gustavsson. "Located" , September 2003
- [26] Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice", Prentice Hall, 1996.
- [27] M. Möller, "Statistiska modeller inom datateknik", Studentlitteratur, 2001.
- [28] D. Fox, J. Hightower, H. Kautz, L. Liao and Donald J. Patterson, "Bayesian Techniques for Location Estimation", University of Washington, Department of Computer Science & Engineering, Seattle, WA
- [29] Erhrlow T., Kjällerström B. och Lindström P.: "Att skriva uppsats", 5:te upplagan, Turningpoint AB, Lund, 1995 <http://www.tp.nu/skriva/uppsats/>

Bilaga 1 - Användarhandledning

Location Lab är ett bra verktyg för att undersöka vilka faktorer som påverkar positioneringen. Fristående algoritmer kan implementeras som dll-filer som manuellt kan laddas i Location Lab. Flera algoritmer kan laddas samtidigt och resultatet kan ses direkt på skärmen. Det finns möjlighet att göra förinspelade promenader med referenspunkter som vi kan använda för att se hur mycket algoritmernas resulterande position avviker från den verkliga positionen genom att genomföra promenaden samtidigt som algoritmerna beräknar positionen.

Systemkrav

För att kunna köra Location Lab behövs tillgång till en dator utrustad med WIN 98/2000/XP. Datorn behöver dessutom vara utrustad med ett trådlöst nätverkskort som stödjer den standarden som används i det nätverk där vi vill positionera oss. För att läsa in och spara signaldata till Location Lab kan vi använda ett program som skickar signaldata via en pipe till Location Lab, t.ex. Orinoco Client Manager som finns att ladda ner på: <http://www.proxim.com>. Den nya versionen av PositioningClient är även kompatibel med NDIS standarden så om drivrutinerna till nätverkskortet stödjer NDIS kan PositioningClient själv logga data direkt med hjälp av drivrutinerna till nätverkskortet.

Input.

För att Location Lab skall kunna utföra positionering behövs tre saker, signaldata från omgivningen, en radiokarta med referenspunkter och en positioneringsalgoritm. För att skicka signaldata till Location Lab bör användaren först starta PositioningClient. Detta program utgör kärnan för Location Lab och vid uppstart öppnar det en pipe som Location Lab använder för inläsning av signaldata. Denna pipe kan skrivas till genom att dirigera utdata från nätverkskortet till "\\.\pipe\located".

Skapa radiokarta.

För att skapa en radiokarta startar vi PositioningClient och öppnar verktyget "Tools and Controls". Där väljer vi att skapa en ny radiokarta på knappen "new" och väljer sedan ett namn för radiokartan. PositioningClient stödjer positionering i lokaler med flera våningar så om algoritmen har stöd för det kan vi positionera oss i tre riktningar, x,y,z. Till radiokartan behövs en bild över den yta där vi vill positionera oss. Bilden ska vara i bitmap format (*.BMP). Kartan skapas genom att vi väljer vilken våning som vi vill skapa först och hänvisar till en bild över lokalen. Vi specificerar även längden och bredden på lokalen i meter för att en position på kartan skall relatera till en verklig position. Efter detta kan vi titta på kartan genom att i "Tools and Controls" och fliken "View" klicka på radiokartans namn och vilken våning vi vill använda eller titta på.

Referenspunkter.

För att kunna använda radiokartan i positioneringsprocessen behövs referenspunkter som algoritmen utgår ifrån när den beräknar användarens position. För att skapa en referenspunkt ställer vi oss på den fysiska position vi vill lägga till och börjar logga signaldata till pipan vi kallar för located. Sedan zoomar vi först in det område vi befinner oss i genom att hålla ner höger musknapp och röra musen nedåt. Vi kan även flytta bilden i höjd och sidled genom att hålla nere vänster musknapp och röra på musen i höjdlid och sidled. När vi fokuserat på den del av kartan där vi vill lägga till en referenspunkt på väljer vi fliken "Edit" i "Tools and Controls". Där hittar vi verktyg för att lägga till och ta bort referenspunkter och vi kan även knyta samman två referenspunkter och på så sätt tala om för Location Lab att det finns en direkt anknytning mellan punkterna så att sannolikheten att klienten går direkt från den ena referenspunkten till den andra utan att passera en tredje referenspunkt är hög. För att lägga till en referenspunkt väljer vi den knapp som ser ut som en stor svart prick och klickar sedan på position i kartan som motsvarar där vi befinner oss. När positionen är vald skall vi välja i vilken riktning vi mäter i och det är först efter detta vi kan börja logga signaldata till referenspunkten. Riktningen markeras genom att välja knappen som ser ut som en kompass och sedan föra muspekaren över den position vi tidigare lade till i kartan. Med hjälp av en pil vid positionen kan vi sedan ställa in rätt riktning och klicka på höger musknapp. Då visar sig ett fönster där vi ser vilka basstationer som nätverkskortet har kontakt med och under detta fönster kan vi välja hur vi vill logga signaldata i denna referenspunkt. Ett smidigt sätt är att välja att sampla en viss tidsperiod t.ex. 60sek och sedan klicka på "now". Under fönstret med basstationer finns en klocka som visar hur länge vi mätt och när den stannar är mätningen klar och vi kan trycka "ok". Nu har vi skapat en referenspunkt för denna position. Det går sedan att lägga till fler riktningar till varje position. Det är viktigt att poängtera att algoritmerna använder kartan som referens för att utföra positioneringen och därför är det viktigt att kartan på bästa möjliga sätt speglar omgivningen där vi vill positionera oss i. Vid skapandet av radiokartan bör vi använda samma procedur för varje referenspunkt och omgivande faktorer bör vara konstanta för att samma förutsättningar ska gälla för hela kartan. När sedan kartan är klar är det enkelt att använda Location Lab för att positionera sig. Att skapa en radiokarta kan vara en tidskrävande uppgift. Innan vi skapar en radiokarta är det några saker vi bör fastställa för att minimera arbetsinsatsen och maximera resultatet. Den första frågan vi bör ställa oss är vad kartan ska användas till? Om vi söker en upplösning på 20 meter finns det ingen anledning till att skapa en referenspunkt var tredje meter. Det är tidskrävande och förbättrar troligtvis inte resultatet. Det kan vara bra att lägga till olika riktningar i varje position då radiosignalen dämpas kraftigt av människokroppen så lägg till de riktningar som folk i allmänhet passerar positionen i. Vilket tidsintervall skall användas vid mätning i referenspunkterna? Detta relaterar till hur många mätvärden som hinner loggas. Hur många mätvärden som hinner loggas beror på faktorer som nätverket, nätverkskortet som används, om det är bra täckning där vi mäter. I skrivandets stund testades detta på ett litet nätverk i en studentbostad och där registrerades ca fyra mätvärden per sekund och enligt CGS så bör vi ha 30st

mätvärden för att få ett statistiskt troligt medelvärde. Så i detta fall bör vi mäta i minst 8sek. Detta bör kontrolleras innan vi väljer ett tidsintervall och det är bättre att ta fler mätvärden än för få. En annan faktor som rör den fysiska omgivningen är att signalstyrkan speglas av småskaliga variationer som kan vara stora. Med det menas att det på små avstånd 2-3dm kan finnas stor variation på signalstyrkan. För att avhjälpa detta kan vi vaggga mätinstrumentet fram och tillbaka under mätningen så att vi får ett bättre genomsnittligt värde på signalstyrkan i denna referenspunkt. En sista viktig sak att komma ihåg är att hålla och röra mätinstrumentet på samma sätt vid varje mätning och att inte låta andra störande föremål förstöra mätresultatet.

Algoritm.

Efter att vi skapat radiokartan behöver vi en algoritm för att beräkna användarens position. Hur dessa algoritmer fungerar förklaras närmare i kapitel 8. För att ladda en algoritm till Location Lab väljer vi fliken "Algorithm" i "Tools and Controls". I detta fönster kan vi lägga till en eller flera algoritmer, starta om algoritmer och ta bort algoritmer från positioneringsprocessen. Välj knappen "Load" och navigera till algoritm-filen som heter något i stil med `algoritm_namn.dll` för att ladda en algoritm till Location Lab. Positioneringen startar på en gång och vi kan se sannolikhetsvärden bredvid referenspunkterna. Dessa sannolikhetsvärden visar var algoritmen tror att användaren befinner sig. I skrivandets stund saknas möjligheten att kunna visa de slutgiltiga x,y koordinaterna för användaren i GUIt men denna funktion är under utveckling och kommer inom kort. När denna funktion har implementerats i Location Lab kommer vi att kunna undersöka hur olika parametrar i algoritmen och radiokartan påverkar säkerheten och precisionen i positioneringsprocessen.

Bilaga 2 – Störande radiosändare

Denna bilaga finns att ladda ner på:

<http://www.cs.umu.se/~ens00jhm/exjobb/files/Bilaga2-StorandeRadiosandare.xls>

Bilaga 3 – Signalstyrkans fördelning

Denna bilaga finns att ladda ner på:

<http://www.cs.umu.se/~ens00jhm/exjobb/files/Bilaga2-SignalstyrkansFordelning.xls>

Bilaga 4 – TomVSFullLokal

Denna bilaga finns att ladda ner på:

<http://www.cs.umu.se/~ens00jhm/exjobb/files/Bilaga2-TomVSFullLokal.xls>