

---

# OL-GPS

Realtidspositionering av orienterare med GPS  
Realtime positioning of orienteers using GPS

---

Examensarbete vid  
Chalmers Tekniska Högskola  
Ericsson Mobile Data Design AB  
ht 2000 - vt 2001

Sven Lundbäck  
Daniel Robertsson

Chalmers Tekniska Högskola  
23 april 2001



## **Sammanfattning**

Syftet med detta examensarbete är att visa att det är möjligt att i realtid visa var i skogen den tävlande orienteraren är, så att det blir intressantare för publik att se på sporten. Lösningen som framtagits bygger på en enkel GPS-mottagare som med ett radiomodem sänder koordinater via Mobitex, ett paketdatasystem utvecklat av Ericsson Mobile Data Design, till en databas. Ett program läser hela tiden i databasen och presenterar positionerna. För att få bättre täckning i terrängen kan Mobitexnätet förstärkas med en eller flera mobila basstationer. En demonstration av systemet visade att det är fullt möjligt att använda systemet för att positionera löpare. Den bärbara enheten är inte särskilt dyr, men att nyinvestera i Mobitexnätet är däremot kostsamt.

## **Abstract**

The purpose with this master thesis work is to show the possibility to realtime monitor the position of a competing orienteerer in the forest, so that the sport becomes more interesting for the spectators to follow. The presented solution is based on a simple GPS receiver that uses a radio modem to send coordinates over Mobitex, a packet switched communication system developed by Ericsson Mobile Data Design, to a database. An application continuously reads the database and presents the positions. In order to achieve a better radio coverage in the terrain, one can strengthen the Mobitex network with additional mobile radio base stations. A demonstration of the system showed that it is fully feasible to use the present system to monitor orienteerers. The portable device is not particular expensive but to invest in the Mobitex network is costly.

## Dokumentinformation

Examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola och Ericsson Mobile Data Design AB, ht 2000 - vt 2001 utfört av:

Sven Lundbäck, Teknisk Fysik (1996-2001), Umeå Universitet,  
Daniel Robertsson, Datavetenskap (1996-2001), Göteborgs Universitet.

Handledare: Bo Håkansson, Signaler och System, Chalmers Tekniska Högskola.

Per-Erik Sundström, Ericsson Mobile Data Design AB

Examinator: Christer Carlsson, Datavetenskap, Göteborgs Universitet.

Tack går till:

Handledarna Bosse och PES samt examinatorn Charlie.

Dessutom till Reza Abbaszadeh, Ericsson Mobile Data Design samt Gunnar Larsson, SportIdent och Ulf Bergqvist, OrienteringsLöparna Alternativet, Alternativet.nu.

Dokumentet är typsatt i T<sub>E</sub>X, Version 3.14159 (Web2C 7.2).

Copyright Sven Lundbäck och Daniel Robertsson 2001.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
1.1	Syfte . . . . .	8
1.2	Mål . . . . .	8
1.3	Uppgift . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Andra liknande system</b>	<b>10</b>
2.1	RPMS . . . . .	10
2.2	Påbörjade / färdiga system . . . . .	10
2.2.1	SILVA Time Track System . . . . .	10
2.2.2	Korahdus . . . . .	11
2.2.3	VTEAM och OPOS . . . . .	12
2.3	Pågående projekt . . . . .	12
2.3.1	VM 2001 i Finland . . . . .	12
2.3.2	Andra projekt . . . . .	13
2.4	Positionsbestämning . . . . .	13
2.4.1	TRANSIT . . . . .	14
2.4.2	GPS . . . . .	14
2.4.3	GLONASS . . . . .	15
2.4.4	Radiopejling . . . . .	15
2.4.5	GSM . . . . .	16
2.5	Dataöverföring . . . . .	17
2.5.1	GSM-nät . . . . .	17
2.5.2	Mobitexnät . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Teori</b>	<b>20</b>
3.1	GPS . . . . .	20
3.1.1	Satelliter . . . . .	20
3.1.2	Signaler . . . . .	22
3.1.3	Kontroll . . . . .	28
3.1.4	Användare . . . . .	29
3.1.5	Avståndsberäkning . . . . .	31

3.1.6	Mottagarpositionsbestämning . . . . .	32
3.1.7	DGPS . . . . .	38
3.1.8	Trimbles Lassen LP . . . . .	38
3.2	Mobitex . . . . .	39
3.2.1	Nätet . . . . .	39
3.2.2	Identifiering . . . . .	42
3.2.3	Användartjänster . . . . .	43
3.2.4	Täckningsområde . . . . .	45
3.2.5	Dataöverföring . . . . .	45
3.2.6	Användningsområden . . . . .	46
3.3	Koordinattransformation . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Utförande</b>	<b>48</b>
4.1	Specifikation . . . . .	48
4.1.1	Löparenheten . . . . .	49
4.1.2	Länk/mottagare . . . . .	49
4.1.3	Mottagarprogram . . . . .	50
4.1.4	Presentationsprogram . . . . .	50
4.1.5	Övergripande . . . . .	50
4.2	Hårdvaran . . . . .	51
4.2.1	Löparenheten . . . . .	51
4.2.2	Stationära delarna . . . . .	56
4.3	Mjukvaran . . . . .	58
4.3.1	Färdiga program . . . . .	58
4.3.2	Egenproducerade program . . . . .	59
4.3.3	Andras program . . . . .	67
4.3.4	Kommunikationsprotokoll . . . . .	68
4.4	Inledande tester . . . . .	70
4.4.1	Steg 0: Inledande test . . . . .	70
4.4.2	Steg 1: Lassen LP och Pager sänder koordinater . . . . .	71
4.4.3	Steg 2: Lassen LP i staden . . . . .	71
4.4.4	Steg 3: Garmin GPS 35 i staden . . . . .	72
4.4.5	Steg 4: Lassen LP och Garmin 35 i skogen . . . . .	72
4.4.6	Slutsater av testerna . . . . .	73
4.5	Efterföljande tester . . . . .	74
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>75</b>
5.1	Systembeskrivning . . . . .	75
5.1.1	Systemets prestanda . . . . .	76
5.2	Användningsområden inom orientering . . . . .	76

<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>77</b>
6.1	Varför just denna lösning ?	78
6.2	Måluppnåelse	79
6.3	Begränsningar	79
6.4	Felkällor	80
6.4.1	Kartan	80
6.4.2	GPS-signalfel	81
6.4.3	GPS-mottagarfel	82
6.4.4	Överföringsfel	82
6.4.5	Presentation	83
6.5	Alternativa användningsområden	83
6.5.1	Segling	84
6.5.2	Militär	84
6.5.3	Daghem/barnomsorg	84
6.5.4	Viltvård/djurstudier	84
6.6	Reaktioner	84
6.6.1	Löparna	85
6.6.2	Publik	85
6.6.3	Press	85
6.7	Framtiden	86
6.7.1	Ex-jobbet kontra projektet som helhet	86
6.7.2	Vidareutveckling	86
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>89</b>
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>91</b>





# Kapitel 1

## Inledning

Orientering är en sport som främst utövas i Norden och som etablerades redan på tidigt 1900-tal. Svenska Orienteringsförbundet bildades 1939 och 1961 bildades ett internationellt orienteringsförbund. En orienteringstävling går ut på att med enbart karta och kompass snabbast ta sig från starten till målet via ett antal kontroller under vägen. Detta görs enskilt och kontrollerna man passerar måste tas i rätt ordning. Under flera decennier har sporten rönt stort intresse hos allmänheten, men verkar på senare tid tappat denna popularitet. En förklaring kan vara att få personer verkligen vet vilken spännande utmaning sporten erbjuder. I skolan eller under militärtjänsten provar de flesta orientering för första gången, men ofta är de arrangemangen dåliga och bjuder liten eller ingen utmaning. Om man som publik ser på orientering syns löparen endast vid startögonblicket och målgång, i vissa fall även vid en varvningskontroll som ligger inom synhåll. Det är mycket svårt att förmedla tävlingens dramatik till publiken som därför kan uppleva sporten som ointressant. Om man däremot på en karta kan se var i skogen löparen befinner sig, kan en speaker lättare förmedla känslan av utmaning och spänning. Det blir också lättare att skapa bra TV-sändningar. Detta kan förhoppningsvis innebära att sporten upplevs som intressantare, och därmed även får mer TV-tid. I och med uppmärksamhet kan flera positiva konsekvenser uppträda, såsom fler utövare, villigare sponsorer eller att sporten på sikt kan få OS-status.

Vi har som målsättning att utveckla ett system som kan hjälpa till att förmedla spänningen och utmaningen från skogen till publiken. Ett sätt att göra det är att följa löparna med GPS-teknik<sup>1</sup> så att man som publik kan se var löparna är. Ett komplement till detta är kameror som visar bilder från skogen.

---

<sup>1</sup>GPS - Global Positioning System är ett system för att över hela jorden med hjälp av satelliter kunna bestämma en mottagares geografiska position.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att utveckla ett system för realtidspresentation av orienteringslöpare under tävling, detta för att försöka göra orienteringssporten mer publik- och TV-vänlig. En annan positiv effekt av ett sådant system är att man enkelt kan köra repriser på visningen, vilket gör att även upplevelsen för orienteraren ökas. Analyser i efterhand av egna och konkurrenters lopp är en viktig del i utövandet av orienteringssporten och en del som gör sporten mer komplex och intressant för deltagarna.

## 1.2 Mål

Målet är att konstruera ett prototyp-system för demonstration som går att använda på ett begränsat område och med ett begränsat antal löpare. Tanken är att med en lyckad demonstration locka intressenter som kan sponsra en fortsatt utveckling, men framför allt för att visa att systemet fungerar. Vi vill visa att det idag är möjligt att arrangera en orienteringstävling som är högtintressant för publiken, utan att man måste ändra orienteringens grundtanke med att löparen på egen hand i skogen skall finna sin väg. En annan del av målet är att integrera SportIdents tidtagningssystem för att kunna presentera korrekta tidsangivelser för stämplingarna vid kontrollerna och även målgångar.

Demonstrationssystemet skall klara av att följa 5 löpare parallellt under en del eller delar av banan. Att följa en tävlings alla löpare under en hel bana är inte en målsättning, på grund av dels att det genereras så mycket information att inte allt kan användas och dels att vid en presentation av en tävling räcker det med att fokusera på några löpare, till exempel en klass, samt en eller flera intressanta delar av banan. Dessutom uppstår en del tekniska svårigheter med att följa en hel bana. Eftersom det blir stora arealer att täcka in för dataöverföringen krävs mycket utrustning vilket är kostsamt och arbetskrävande. Vi vill att systemet skall vara relativt lättskött och inte allt för dyrt och därför prioriteras ett något mindre område.

## 1.3 Uppgift

Den första uppgifter är att ta reda på vad det redan finns för system, dels färdiga som liknar det vi skall utveckla, och vad man kan använda för olika GPS-mottagare och system för den mobila dataöverföringen. Nästa del blir att med befintliga system för positionering och trådlös dataöverföring

konstruera en enhet som är bärbar och vatten-, stöt- och temperaturskillnadstålig. Enheten skall skicka positionerna till en databas, ur vilken löparnas positioner skall kunna presenteras i realtid. För att få till en bra presentation av löparpositioner på datorskärmen kommer vi här att ta hjälp av utomstående med presentationsprogrammet. Inom ramen för examensarbetet gör vi endast en enklare version av ett presentationsprogram för att användas under själva utvecklingsarbetet.

# Kapitel 2

## Andra liknande system

Vi använder oss till stor del av två redan färdiga system, GPS och Mobitex<sup>1</sup>, för att konstruera vårt system för realtidspositionering av orienterare. Det finns dock några system för positionering av orienterare, som av olika anledningar inte används idag.

Det finns även fler sätt att erhålla positioner samt sända data än de vi använder oss av.

### 2.1 RPMS

Internationella Orienteringsförbundet IOF (International Orienteering Federation) har en teknisk utvecklingskommitté som definierat förkortningen RPMS vilken står för Realtime Position Monitoring System. Ett antal RPMS har konstruerats och testats. De bygger på olika positionerings- och dataöverföringsprinciper. Gemensamt är att initiativtagarna har lyckats få fram ett fungerande system, men att det ofta saknas pengar för att gå vidare.

### 2.2 Påbörjade / färdiga system

Det finns förutom detta arbete minst tre andra projekt som haft som målsättning att åstadkomma system för positionering av orienterare.

#### 2.2.1 SILVA Time Track System

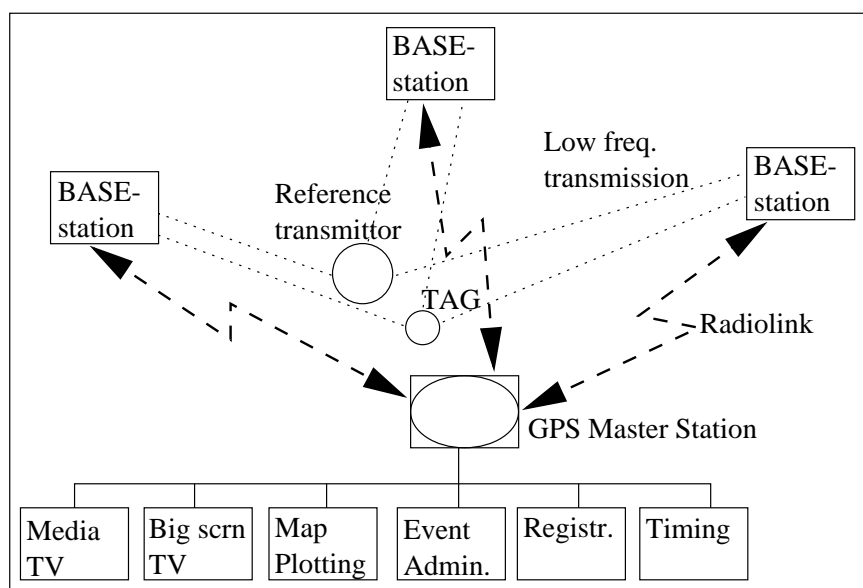
SILVA Time Track System, STTS, använder sig av radiopejling för att positionsbestämma löparna. Varje löpare har en liten sändare (TAG) på sig som

---

<sup>1</sup>Ett paketdatasystem utvecklat av Ericsson Mobile Data Design AB.

sänder ut en signal, och man behöver ett antal stationer som pejar efter löparna i skogen. Systemet sägs klara 4000 löpare parallellt, och varje TAG kostar runt 4-500 kronor (samtal med Stefan Dahl, Silva, 2000-10-23).

Systemet är uppbyggt av en GPS-masterstation som är kopplad till en registreringsenhet samt via radiolänk till basstationer i terrängen [17]. Basstationerna erhåller sina positioner från GPS-mottagare. En referenssändare finns i området och även sändare på varje löpare. Se systemöversikt i figur 2.1.



Figur 2.1: Systemöversikt Silva Time Track System.

Systemet klarar av minst 15 km<sup>2</sup> och sägs vara förberett för användande i flera länder. Ett interface finns mot TV och tidtagningssystem samt organisationsprogram. Silva är mycket förtegn om detaljerna i deras system, och därav finns det ingen mer information tillgänglig. STTS har aldrig använts på någon tävling.

### 2.2.2 Korahdus

I Finland år 1994 påbörjades ett arbete med GPS på orienterare i klubben Korahdus [22]. De lyckades 1997 arrangera en liten tävling med fyra löpare som bar varsin löparenhet på ryggen och en GPS-mottagarantenn på huvudet. GPS-mottagaren var av märket Trimble och den hade en FM-mottagare för

mottagning av DGPS<sup>2</sup>-signaler. Totalt vägde den cirka 400 g med batteri. De byggde upp ett eget radionät, eftersom det behövdes dels till DGPS:en men även för dataöverföringen. För att presentera data om var löparna befann sig användes ett redan färdigt program, ett presentationsprogram för att visa var ambulanser befinner sig tillverkat av GPS-tillverkaren Trimble. På en storbildsvideoskärm visades en karta med löparnas positioner i skogen, med cirka 10 meters noggrannhet. Tävlingen rapporterades vara lyckad.

Syftet med att utveckla systemet var att visa att det var praktiskt genomförbart. Målet uppnåddes, men inga vidare planer på fortsättning har rapporterats. Eftersom klubben och privatpersonerna stod för kostnaderna lades verksamheten på is. Projektet har vilat sedan dess.

### 2.2.3 VTEAM och OPOS

Vebjørn Berre ledde en grupp på fem personer i Norge (VTEAM) som utredde möjligheterna att realtidspositionera orienterare med hjälp av GPS. De senaste rapporterna från projektet är två Master Degrees vid Norges Tekniska Institut, NTHI, i ämnet 1991 och 1992 [23]. Slutsatserna i dessa arbeten var att det är möjligt att spåra orienterare med GPS. De största problemen ansågs vara:

- 1) För att få tillräcklig noggrannhet i positionen måste DGPS användas.
- 2) Man måste hitta ett passande radiokommunikationssystem som har tillräcklig täckning och som är tillräckligt liten och lätt.

De ansåg problem två vara störst. I dagens läge är problemet med noggrannheten så gott som borta i och med att den medvetna störningen av GPS-systemet Selective Availability (SA) är bortplockad. SA gjorde att precisionen utan DGPS var 100-150 meter, men när den slogs av ökade noggrannheten till 10-15 meter.

Projektgruppen som bildades hade för avsikt att undersöka olika angreppssätt för att utveckla ett system för realtidspositionering av orienterare, lämpligt att visa på TV. Vi har inte sett några resultat av detta projekt.

## 2.3 Pågående projekt

### 2.3.1 VM 2001 i Finland

I inbjudan till VM i Finland 2001 [26] står att läsa att arrangörernas avsikt är att använda ett GPS-baserat system för att spåra löparna i finalloppen

---

<sup>2</sup>Differentiell GPS (DGPS) är ett sätt att med hjälp av en fast referenspunkt öka noggrannheten i positioneringen.

samt i budkavlen. Varje löpare skall bära en positioneringsutrustning och en GSM-telefon, vilka är integrerade i en nummerlappsväst. Informationen skall användas för TV-sändning eller visning för publik via en storbildsskärm på tävlingsplatsen.

I april/maj 2001 kommer ett sista test att göras. Därefter skall det utvärderas om tekniken håller och om det tillför TV-sändningen något. Om finsk TV ger klartecken blir det sändning, annars inte [16].

### 2.3.2 Andra projekt

Det finns ett system kallat Cup Tracker som positionerar segelbåtar under tävling [27]. Fyra sommarjobbare byggde systemet under sommaren 2000 och det testades med goda resultat i augusti samma år. Systemet består av en GPS-mottagare samt en GSM-sändare på båten. På land finns GSM-moduler som en gång i minuten ringer upp båtarna och plockar information om deras positioner, fart och kurs. Uppgifterna presenteras via en dator och kan även studeras genom WAP.

I Umeå har man vid Idrottsmedicin gjort försök där orienterarens puls och andning mäts under ett lopp. Där användes en differentiell GPS-mottagare och positionerna lagrades tills löparen kommit i mål (samtal med Peter Larsson, Idrottsmedicin i Umeå, 2000-11-13).

I Luleå arbetar Tor Björn Minde med Luleå Universitet och Ericsson Erisoft i Luleå AB med ett projekt för att redovisa fakta om löpare under tävling. De har gjort det tidigare med Luleå Hockey, där de presenterade en del fakta kring spelarna, visade repriserna via handburna datorer sammankopplade i ett trådlöst LAN<sup>3</sup> [14]. Planer finns på ett samarbete med Svenska Orienteringsförbundet och det kan även bli aktuellt att använda detta system för att presentera löparnas positioner i handburna datorer på tävlingsplatsen.

Det finns förutom dessa sportiga applikationer en mängd av olika positionssystem för ambulanser, taxibilar, budbilar och flygplan. De använder dock tekniker som inte är tillämpliga på vår applikation, mycket på grund av andra krav på precision, snabbhet och vikt.

## 2.4 Positionsbestämning

Under lång tid har positionering utförts genom igenkännande av terrängen för att senare övergå till mer sofistikerade metoder såsom exempelvis navigering med hjälp av stjärnorna. I och med att radiovågor började användas uppstod

---

<sup>3</sup>LAN - Local Area Network, ett lokalt datornätverk.

nya metoder såsom radar och pejling. En av de senaste teknikerna är idag att med signaler från satelliter "pejla" fram positionen med GPS.

### 2.4.1 TRANSIT

Att bestämma positioner på jorden med hjälp av satelliter har gjorts sedan 1964, då satellitsystemet Transit (senare Navy Navigation Satellite System, NNSS) togs i bruk [20]. Idén kom från amerikanska forskare som upptäckte att en satellits bana noggrannt kunde bestämmas genom mätning av dopplerskift från en positionsbestämd punkt. För att positionera gjorde man tvärtom, det vill säga man visste istället var satelliten fanns. Den första satelliten placerades i sin bana år 1959.

Noggrannheten i Transit är 20-100 meter. Från början var systemet militärt och efter en tid blev det även tillgängligt för civila användare. Systemet NNSS/Transit fungerade 1993, men med begränsad täckning på grund av det låga antalet satelliter, endast fem fungerande.

1997 bytte systemet namn till NIMS (the Navy Ionospheric Satellite Monitoring System) samtidigt som man bytte modulering av signalen och fasmoduleringen. Datainnehållet i signalen togs bort, så den innehåller inte någon information nu. Idag (2000) finns det 11 satelliter i rymden, men endast tre av dem fungerar och sänder signaler. Satelliterna används till projekt inom amerikanska marinen.

### 2.4.2 GPS

Global Positioning System (GPS) heter det ifdag förhärskande systemet som skapats av försvarsdepartementet, DoD (Department of Defence), i USA. Specifikationen för GPS säger att det skall vara ett världsomspännande system för att med meterprecision bestämma positionen var helst på jordklotet man är och dessutom vid alla tidpunkter.

Systemet består av 24 satelliter som roterar runt jorden. Dessa sänder hela tiden signaler som är kodade för bland annat vilken satellit det är och var de befinner sig. GPS-mottagarna är passiva, det vill säga de sänder inte ut några radiosignaler. Anledningen är att systemet i grunden är militärt och då skall mottagarna vara lyssnande så att inte utgående signaler kan uppfattas av fienden och därmed röja positionen på mottagaren.

Mottagaren får information om var satelliterna är via deras signaler. Avståndet till satelliterna kan beräknas och utifrån det kan positionen bestämmas.

Systemet började att användas 1978 och i maj 2000 skedde den största förändringen hittills, då DoD slutade att störa signalen, vilket gjorde att



precisionen för civila användare ökade. Störningen Selectiv Availability, SA, gjorde att civila användare endast fick en precision på cirka 100 m. Störningen orsakades genom att klockorna i satelliterna "skevade", de drog sig och snabbade sig om vart annat. Auktoriserade användare kunde kompensera för klockfelet eftersom information om hur klockorna skevade var kodat i signalen. Klockstörningen togs bort 2 maj 2000 vilket gjorde att noggrannheten för en autonom GPS direkt förbättrades till cirka 10-15 meter från tidigare 100-150 meter.

### 2.4.3 GLONASS

Parallellt med den Amerikanska utvecklingen har ett ryskt system, Global Navigation Satellite System, GLONASS, utvecklats [20]. Principen liknar GPS väldigt mycket. Den största skillnaden är att GLONASS satelliter sänder på varsin frekvens och inte som GPS där alla satelliter har samma frekvens.

Varje satellit sänder två sorters signaler, dels med normalprecision (SP, Standard Precision) och dels med hög precision (HP, High precision). SP-signalen sänds på frekvensen  $1602 + n \cdot 0.562$  MHz, där  $n = 1, 2, 3, \dots$  för de olika satelliterna. Eftersom varje satellit sänder signalen på varsin frekvens och på så sätt identifieras satelliterna. Satelliterna sänder däremot identiska koder.

På liknande sätt som GPS-mottagaren fångar GLONASS-mottagaren upp signalerna från minst 4 satelliter. Mottagaren mäter pseudorange-avståndet från satelliterna samt x-, y- och z-komponenterna av mottagarens hastighet. Samtidigt med detta väljer den och behandlar navigationsdata från satellitsignalerna. Mottagaren beräknar därefter tre koordinater samt exakt tid.

Fortsättningen på GLONASS är oviss, och systemet saknar idag full täckning på grund av störtade satelliter. I dagsläget (mars 2001) finns det endast åtta fungerande satelliter i rymden [30].

### 2.4.4 Radiopejling

Att radiopejla går ut på att ta reda på var en radiosändare är. Sändaren befinner sig på en okänd position, och man mäter med pejlingsutrustning från kända positioner för att få riktningar, bäringar, mot sändaren. Om man har lämpliga positioner på mätutrustningen kan man få bäringar som korsar varandra så att sändarens position kan bestämmas.

### 2.4.5 GSM

En GSM<sup>4</sup>-mobiltelefon har när den är påslagen kontakt med en basstation så länge det finns mottagning, det vill säga när nätet inte är överbelastat eller när signalerna inte blockeras eller störs på annat sätt.

För att positionsbestämma en telefon med hjälp av GSM-nätet finns olika metoder[18] vars noggrannhet och snabbhet sammanfattas i tabell 2.1.

**COO-metoden** (Cell of Origin) innebär att man ser vilken av nätets basstationer som telefonen är närmast, det vill säga den som den har starkaste signalkontakten med. Arealen som basstationen täcker är den yta där telefonen finns. I områden där basstationerna sitter tätt (i tätbebyggda städer) kan man få en positionsnoggrannhet på 150 meter. Det går snabbt att få fram positionen (cirka 3 sekunder) med denna metod. Man behöver inte ändra något i själva telefonen för att denna metod skall fungera.

**Trianguleringsmetoder** ger bättre noggrannhet i mätningarna. Man kan mäta tiden det tar för signalerna från mobiltelefonen till speciella mätstationer och utifrån tre mätningar från olika stationer kan man få fram de avstånd som behövs för att ge en position för telefonen. Det tar lite längre tid att positionera på detta sätt, runt 5 - 10 sekunder. Noggrannheten blir 10 - 125 meter. En nackdel är att man måste placera ut en hel del extraantennerna.

**AOA-metoden** (Angle of Arrival) bygger på att man mäter vinkeln till mobiltelefonen från kända positioner och riktningar och därigenom räknar ut positionen. Man måste placera ut små antennkomplex med 4-12 antenner i varje för att kunna pejla in riktningen till mobiltelefonen. När flera sådana antennkomplex pejlat in riktningarna kan positionen bestämmas genom att se var linjerna korsas. Metoden fungerar acceptabelt om man har långa integrationstider, dvs det måste vara samtal eller andra "långa" signaler. Felen kan dock bli mycket stora om mobiltelefonen finns utanför triangeln som antennerna uppspanner.

**Signalstyrkan** (SS) kan mätas från flera basstationer och utifrån den och modeller för hur signalens styrka avtar med avståndet kan avstånden till mobiltelefonen beräknas och triangulering genomföras. Den stora nackdelen med denna variant av positionering är att det finns så många saker förutom avståndet som dämpar signalerna, vilket gör signalstyrkemodellerna osäkra.

---

<sup>4</sup>Groupe Spéciale Mobile eller på engelska Global System for Mobile communications

Noggrannhetsjämförelse		
Metod	Noggrannhet	Positioneringstid
COO	150 m	3 sek
Triangulering	10-125 m	5-10 sek
AOA	dålig	mer än 10 sek
SS	dålig	-

Tabell 2.1: En jämförelse av olika positioneringsmetoder med mobiltelefoner.

## 2.5 Dataöverföring

Det finns olika sätt att trådlöst överföra information. De enklaste formerna är ljud (exempelvis tal, musik) och ljus (text, bilder, direkta observationer). Dessa har nackdelen att de har begränsad räckvidd samt att det är svårt att överföra stora datamängder som lämpar sig för datorer.

Att använda laser ger en större räckvidd, men liksom annat ljus kräver den fri sikt för att fungera.

Ett bättre sätt att överföra data trådlöst är att använda EM-vågor (elektromagnetiska) i någon form. Dessa kan tränga igenom vissa material och de har lång eller mycket lång räckvidd. Det är också enkelt att omvandla informationen i dessa vågor till elektriska impulser som datorer kan förstå. En vanlig variant av EM-vågor är FM-radiovågor (frekvensmodulerade) i frekvensbandet 70 till 110 MHz. Vågornas relativt låga frekvens gör att de får stor räckvidd.

### 2.5.1 GSM-nät

Den nuvarande standarden för GSM är GSM 900 vilken använder sig av 900 MHz-bandet. Frekvensbandet är för mobiltelefonsignalerna 890–915 MHz medan basstationerna använder sig av frekvenserna 935–960 MHz. Varje frekvens delas upp med hjälp av FDMA (Frequency Division Multiple Access) i 125 bärfrekvenser. Eftersom den ursprungliga bandbredden är 25 MHz ( $915-890 = 25$ ) blir det 200 kHz i bandbredd på varje bärfrekvens. Av dessa frekvenser, som numreras från 0 till 124, använder man dock ej nummer 0 det vill säga endast 124 stycken. Vidare delas varje frekvens tidsmässigt upp i 8 användare genom

TDMA (Time Division Multiple Access). TDMA innebär att man delar upp varje frekvenskanal i åtta lika stora tidsluckor som delas ut till olika användare. Om en mobiltelefon tilldelas tidslucka nummer 1 sänder den enbart i denna lucka och vilar de övriga sju. Dessa två metoder tillsammans

innebär att en basstation maximalt kan ha 992 användare inroamade samtidigt [8].

### Telefonlinje

GSM-systemet är, precis som vanliga telenätet, kretskopplat (eng. circuit switched) till skillnad från Mobitex som använder sig av paketförmedlad data. Kretskoppling innebär att när en användare ringer upp en annan så skapas i initieringsskedet en bestämd väg genom systemet som reserveras för samtalet och som inte släpps till andra förrän detta samtal är avslutat. Detta innebär bland annat att en abonnent som ringer ett samtal får betala till operatören för den använda tiden oavsett hur mycket information som egentligen skickas.

För att etablera ett samtal med GSM måste enheten först vara påslagen och registrerad i systemet. Proceduren för kontaktetableringen är relativt lång och det utväxlas inte mindre än 14 olika meddelanden innan själva samtalet startar.

### SMS

SMS eller Short Message Service är en del av GSM-standarden och är ett sätt att sända korta textmeddelanden till en annan användare [32]. Ett SMS-meddelande kan inte vara längre än 160 tecken. Avsändaren skickar inte meddelandet direkt till mottagaren utan via en SMS-central. Alla operatörer som stöder SMS har minst en sådan central som hanterar SMS-trafiken. Som nämnts ovan så skickas det många korta initieringsmeddelanden när ett samtal skall kopplas upp. I ett av de första, som är en förfrågan från telefonen till basstationen om det är OK att koppla upp ett samtal, får man plats att placera ett SMS-meddelande. SMS är alltså små paket som går fort och lätt att skicka men har en begränsad storlek. SMS använder sig också av leveranskvittens vilket innebär att användaren faktiskt får reda på om meddelandet kom fram till mottagaren eller ej.

SMS-meddelanden skickas som paket och hade kunnat vara en bra lösning för vårt system om det inte vore för att de är väldigt opålitliga. Det är nämligen så att routing<sup>5</sup> mellan de olika meddelandecentralerna inte är problemfri. En del av de växlar som dirigerar trafiken tittar bara på de första siffrorna och skickar vidare meddelandet. Därför kan en del meddelanden komma bort eftersom någon växel längs vägen inte vet vart den skall skicka paketet eller tror att destinationen är ogiltig. Samma sak kan hända med kvittensen som skickas när eller om paketet verkligen kommer fram, den kan

---

<sup>5</sup>Router: dator som väljer väg och vidarebefodrar data i ett datornät.

alltså också försvinna på vägen vilket kan orsaka felaktiga antaganden eller onödiga omsändningar. Alla dessa problem kan uppstå när SMS skall skickas mellan olika operatörers nät, även om de här i Sverige är mer sällsynta. Den läsare som använder SMS ibland har dock säkert märkt av detta, kanske inte så mycket i borttappade meddelanden som att sändtiderna på grund av dessa problem kan vara allt ifrån ett par sekunder till flera minuter.

### 2.5.2 Mobitexnät

Mobitex är ett system för mobil datorkommunikation utvecklat av Ericsson. När det första Mobitexsystemet togs i bruk i mitten av 80-talet blev det världens första publika system för mobil datorkommunikation. Systemet, som skickar paketburna meddelanden med digital data och text, har visat sig fungera på frekvenser från 80 Mhz till 900 Mhz. I Sverige finns ett kommersiellt Mobitexnät, på 80 MHz, som drivs av Telia AB och som täcker över 90 % av Sveriges yta [29] samt ett på 400 Mhz som drivs av Mowic AB.[25]

Systemet är skalbart och består av en eller flera radiobasstationer som kopplas ihop till ett nätverk. Detta gör att det går att anpassa Mobitexnätet så att det lämpar sig för såväl stora som små områden och olika antal användare. Varje paket tas emot och bekräftas med en OK-signal av en nod innan det sänds vidare till nästa nod eller till en användares terminal [13].

Att systemet använder sig av paketburen data innebär att man ständigt är uppkopplat mot nätverket men enbart nyttjar dess kapacitet när man skickar eller tar emot meddelanden. Paketen skickas sedan genom nätverket på enklast möjliga sätt. Varje enhet har ett unikt nummer, MAN (Mobitex Access Number), för att man skall kunna identifiera varje sändare/mottagare. Genom så kallad roaming håller nätverket hela tiden reda på var alla enheter befinner sig någonstans. Om en mobil enhet tappas bort, det vill säga att den inte har någon mottagning, lagras meddelandena till den och sänds först när mottagningen åter är etablerad. Detta gör att inga meddelanden tappas bort.

# Kapitel 3

## Teori

### 3.1 GPS

Som redan nämnts står förkortningen GPS för Global Positioning System<sup>1</sup> och är ett system vars syfte är att kunna bestämma position och hastighet för en GPS-mottagare var som helst på jorden vid valfri tidpunkt. Om man vet exakt var satelliten är i ett väldefinierat koordinatsystem och vid vilken tid, kan en signal sändas med information om detta till mottagaren, vilken beräknar avstånden till (minst) fyra satelliter och därefter sin egen position.

#### 3.1.1 Satelliter

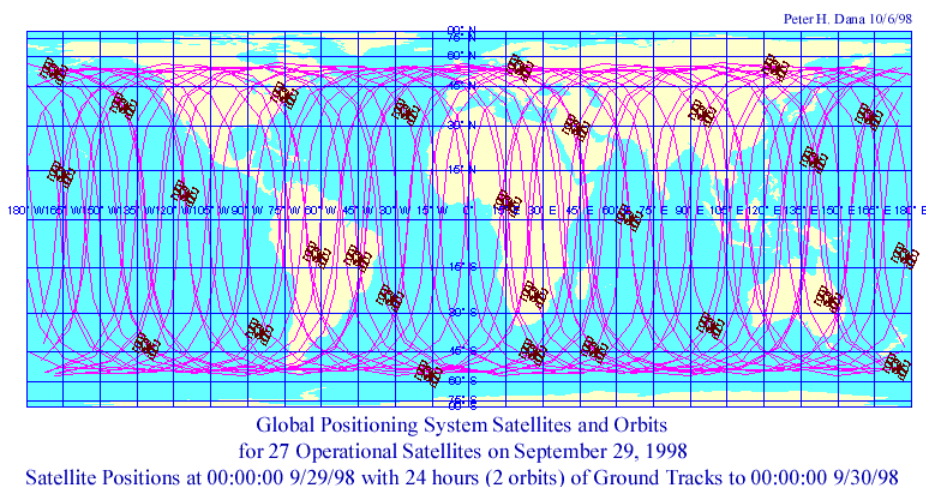
Grunden i systemet är satelliterna vilka sänder signaler med data mot alla jordens delar samtidigt. En viktig del i GPS är klockorna eftersom det är tidtagning som ligger till grund för avståndsberäkningen.

#### Täckning

För att få täckning av hela jordens yta alla tider på dygnet måste det finnas 21 satelliter i banor runt jorden. Satelliterna är inte geostationära, utan de roterar runt jorden med en vinkel av  $55-63^\circ$  grader mot ekvatorialplanet. De går i sex banor med fyra satelliter i varje enligt figur 3.1. Denna spridning av nuvarande 24 satelliter gör att det med  $15^\circ$  elevation över horisonten alltid finns minst fyra synliga satelliter överallt. Eftersom det endast behövs 21 satelliter finns det i dagsläget tre som reserv. Avståndet från satelliterna till jorden är 26 600 km [1] [6].

---

<sup>1</sup>Tolkningen "Geographical Positioning System" förekommer.



Figur 3.1: Satelliternas banor projicerade på jorden. Man kan notera att de ligger så högt att även polerna har täckning [21].

## Satelliter

Tre block av satelliter har sänts upp. Den första uppskjutningen ägde rum 1978 och den sista satelliten i tredje blocket skickades upp 1994. Satelliterna har solpaneler, datorer, atomur och utrustning för att justera sin bana. De har även radiosändare/-mottagare. Nya versioner av satelliterna kommer att utplaceras mellan 2001 och 2010 och de kommer att vara bättre än sina föregångare.

## Vad gör satelliterna?

GPS-satelliternas uppgift är att sända data till mottagarna. Datan som de sänder kommer dels från satellitens interna klocka och dels från kontrollstationen, via markstationerna. Satelliterna får hela tiden uppdaterad information om var de är i det väldefinierade referenssystemet ECI (Earth Centered Inertial). Framtida positioner beräknas genom att man antar att satelliterna följer banor i enlighet med Keplers lagar<sup>2</sup> om kroklinjig rörelse. Lagarna gäller för planeter som cirklar runt solen, men även för satelliter runt jorden. Banorna påverkas av störningar som till exempel månens och solens gravitationsfält

<sup>2</sup>Keplers lagar: I. Planetbanor är ellipser med solen i ena brännpunkten. II. En linje från solen till planeten sveper över lika stor area vid ett tidsintervall som ett annat lika stort tidsintervall. III. Omloppstiden i kvadrat är proportionell mot avståndet till solen i kubik [28].

samt variationer i jordens gravitationsfält. Satelliterna sänder signaler som är kodade för tidpunkt, position och vilket satellitnummer de har.

### 3.1.2 Signaler

Varje satellit sänder signaler kontinuerligt på två mikrovågsfrekvenser, 1575,42 MHz samt 1227,60 MHz. Dessa två bär vågor kallas L1 respektive L2 där L står för line. Anledningen till att man valt just dessa frekvenser är flera: man behöver en stor bandbredd för att kunna sända alla komponenter som signalen består av, en bandbredd på närmare 20 MHz krävs, vilket i sin tur kräver hög frekvens. För att kunna bestämma hastighet utifrån Dopplermätningar med hög noggrannhet (centimeter/sekund-storlek) måste våglängden vara i storleksordning av några centimetrar. Jonosfären bidrar till att ändra signalens hastighet från den i vakuum. Felet blir mindre ju högre frekvens som används. Om man bara använder en frekvens kan man få ett fel på 30 meter, men för att erhålla större noggrannhet används båda frekvenserna (det är därför man har två) eftersom man med hjälp av två åtskilda frekvenser kan eliminera felet som jonosfären tillför. Man kan tänka sig att gå ännu högre upp i frekvens, men då blir signalen svagare.

GPS-signalen skickas med hjälp av en bär våg som är en sinusvåg skapad i sändaren. En ren sinusvåg innehåller ingen information, så därför är bär vågen modulerad med PseudoRandom Noise (PRN). PRN består av ettor och nollor i vad som verkar vara ett kaos. Eftersom kaos inte tillför någon information, genereras koden med en matematisk algoritm. Koden kan genereras på flera ställen och man vet exakt i vilken ordning ettorna och nollorna kommer, vilket används i avståndsmätningen [6].

På L1-vågen skickas C/A-koden (coarse/acquisition) och P(Y)-koden (precision), men på L2 endast P(Y)-koden.

Frekvenserna är multipler av 10,23 Mhz enligt

$$L1 = 1575.42 = 154 \cdot 10.23 \text{ Mhz och}$$

$$L2 = 1227.6 = 120 \cdot 10.23 \text{ Mhz.}$$

C/A-koden är den som används till de enklaste positionsbestämningarna. Den innehåller den nödvändiga informationen för att kunna få fram en position, och den går snabbt att hitta för mottagaren. Den är inte krypterad som däremot P(Y)-koden är. P(Y)-koden ger större noggrannhet i bestämningen av position eftersom den har en frekvens på dataflödet som är 10 gånger så hög som C/A.

DoD kan göra GPS-mottagarnas noggrannheten sämre genom att störa utsignalen från satelliterna. Denna störning kallas, som tidigare nämnts, "Selective Availability" och gör att klockan som styr kodgenereringen omväx-



lande sackas och snabbas. För en enkel mottagare hamnar noggrannheten på 100-150 meter, och utan SA är den 10-15 meter. För att reda på hur klockan går fel måste man vara en auktoriserad användare. Man kan då via den kodade P(Y)-signalen få reda på klockfelet. 2 maj 2000 slutade signalerna att störas, vilket alltså förbättrade precisionen för vanliga användare med en faktor 10.

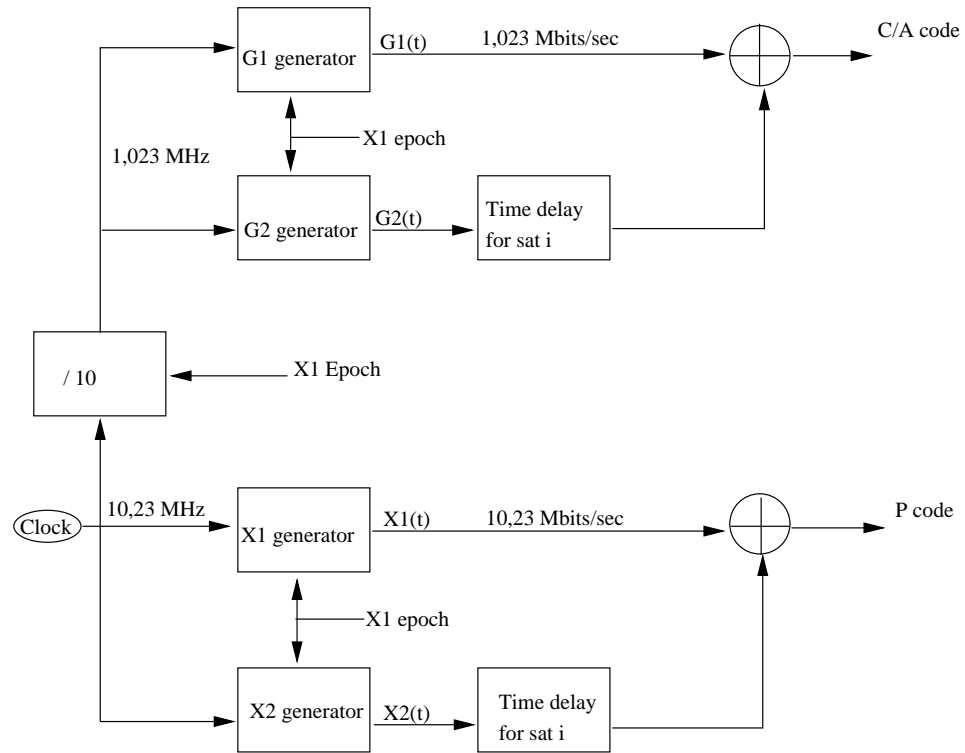
**Relativistiska effekter** Signalerna påverkas av relativistiska effekter. Mottagaren använder sig av det faktum att signalens hastighet, ljusfarten, är oberoende av sändarens hastighet, vilket är ett av den speciella relativitetsteoriens postulater. Detta gör det möjligt att bestämma positionen bättre än på några kilometer när, vilket vore fallet om ljushastigheten berodde på sändarens hastighet.

När signalen som består av fotoner sänds mot jorden faller den i ett gravitationsfält som blir starkare ju närmre jordytan den kommer. Den får under sin färd mer och mer energi på grund av gravitationen enligt den allmänna relativitetsteorin. Energin i en foton är proportionell mot dess frekvens, vilket gör att fotonens frekvens ökar när den färdas mot jorden [15]. Ett annat sätt att se det är att klockan i satelliten fortar sig i förhållande till en på jorden. För att kompensera denna effekt kommer man vara tvungen att sända med frekvensen 10,22999995433 MHz för få rätt frekvens på den mottagna signalen [6]. Felet man skulle få av denna effekt ligger på centimeternivå.

**Pseudo Random Noise** De signaler som moduleras på bärvågorna L1 och L2 kallas Pseudo Random Noise (PRN). De kallas så eftersom signalerna till synes är brus, de innehåller ingen information i sig, men de har ett visst bestämt mönster. PRN-koden till C/A och P genereras enligt figur 3.2 antingen med mjukvara eller hårdvara [6].

Signalerna startar i en klocka med frekvensen 10,23 MHz. Signalen delas upp på två och i den sänks frekvensen till en tiondel och utgör sedan grunden för C/A-koden. Den andra delen förblir oförändrad vad gäller frekvensen och utgör basen för P-koden. G1- och G2-generatorn är två 10-bitars skiftregister. De genererar en PRN-sekvens på  $2^{10} - 1$  bitar (minus ett tillkommer eftersom det första tillståndet "bara nollor" inte är tillåtet). Det är brukligt att beskriva en linjärcodsgenerator med polynom på formen  $1 + \sum x^i$  där  $x^i$  betyder att man tar utdata från den  $i$ :te cellen  $x$  i skiftregistret och använder det som indata till modulo-2-adderaren (XOR). Ettan betyder att man matar cell nummer ett med den ovan adderade signalen. För olika satelliter ser det olika ut, och för till exempel satellit nummer ett skrivs G1 som  $1 + x^2 + x^6$ .

På liknande sätt genereras koder i X1 och X2 vilka också är skiftregister,



Figur 3.2: Generering av de två PRN-koderna P och C/A.

men dessa är fyra till antalet och 12-bitars.

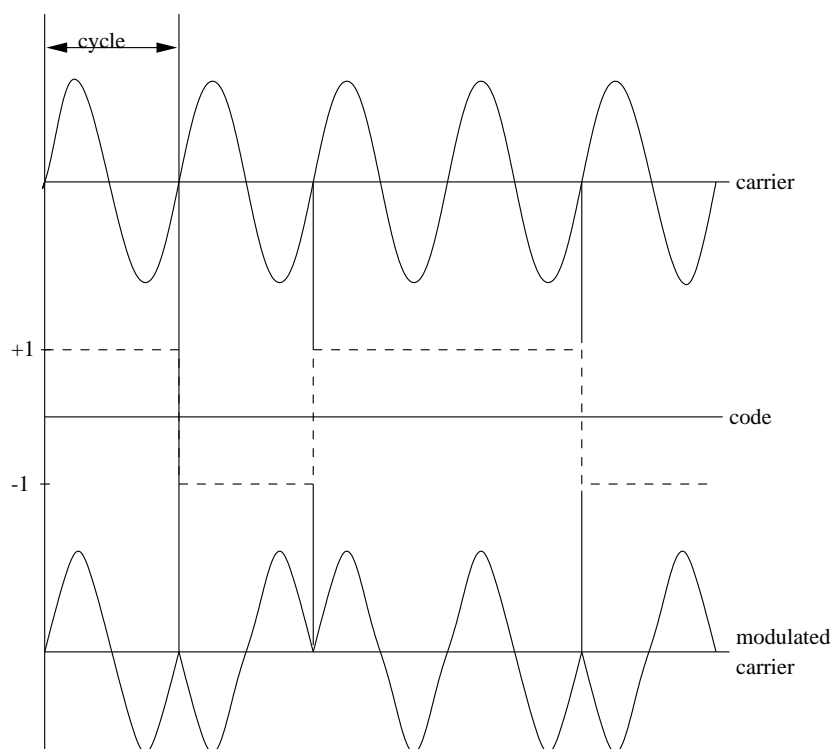
Koderna som genereras kan bli mycket längre än vad som används. För att stoppa genereringen av kod återställs registern till sina initialtillstånd när koden skall upprepas; för C/A en gång i millisekunden och för P-koden en gång i veckan.

En signal kan beskrivas som

$$S(t) = A(t) \sin(2\pi f(t) + \phi(t)) \quad (3.1)$$

där  $S$  är signalens amplitud vid tiden  $t$ ,  $A(t)$  är amplitudmoduleringen,  $f(t)$  frekvensmoduleringen och  $\phi(t)$  fasmoduleringen.

GPS-signalerna C/A och P(Y) moduleras på bärvågarna L1 och L2 med fasmodulering med fasen  $\phi = \pm\pi$ . Den modulering som används kallas BPSK (bi-phase shift keying) [3]. Moduleringen sker genom att bärvågen fasvrids 180 grader varje gång koden byter tillstånd, det vill säga från etta till nolla eller tvärt om [1] vilket visas i figur 3.3.



Figur 3.3: Bi-phase shift keying, signalen fasvrids 180 grader.

**C/A-koden** (coarse/acquisition) är den ena av de två PRN-koder som GPS-satelliten sänder. Koden är fullt tillgänglig för civila användare.

C/A-koden består av 1023 binära chips eller siffror, ettor eller nollor. Koden upprepas 1,023 miljoner gånger i sekunden, vilket gör att varje chip är strax under en millisekund långt och i längdskalan blir det cirka 300 meter. Detta är C/A-kodens våglängd.

I genereringen av C/A-koden används två skiftregister och olika kombinationer av dessa ger 37 olika koder, varav 32 används i satelliterna. De fem sista används för andra ändamål, till exempel marksändare som användes under testfasen av GPS-systemet innan tillräckligt antal satelliter var uppskickade.

**P-koden** (precision) är en noggrannare kod än C/A eftersom den har högre datafrekvens. Koden genereras av 4 stycken 12-bitars skiftregister, vilket förenklat visas i figur 3.2. P-kodens chiplängd är  $1/10.23 \text{ MHz} \approx 97.8 \text{ ns}$ . Den är alltså 10 gånger snabbare än C/A-koden och chiplängden på P-koden är cirka 30 meter [6].

Själva P-koden är inte hemlig, utan fullt tillgänglig för allmänheten [1]. Y-koden är modulo-2-summan av den fria P-koden och den krypterande W-koden. Eftersom det är Y-koden (även kallad P(Y)-koden) som sänds måste man veta den hemliga konverteringsalgoritmen för att kunna tolka P-koden. Endast användare auktoriserade av DoD har tillgång till denna nyckel.

Man har skapat en PRN-sekvens som består av 15 345 000 chips (som tar 1.5 sekunder att sända) och en annan som är 37 chips längre. De här sekvenserna är relativt prima<sup>3</sup> och om man kombinerar dem får man en sekvens som är  $1.5 \times 15345037$  sekunder, vilket ger en sekvens på strax över 38 veckor.

Denna sekvens är uppdelad i 37 olika delar. 32 av dessa används som identifikationssekvenser för de olika satelliterna, men bara 24 används i taget. Av de fem återstående signalsekvenserna används två till kontakt med jorden och två kan man ha till "markbundna satelliter", vilket användes i tester innan alla satelliter skjutits upp. För att mottagaren skall kunna låsa till signalen måste man med god noggrannhet veta var i sekvensen man är, alltså vilken tid i veckan det är. För att snabbt ta reda på det använder man C/A-koden vilken snabbare ger en position men med sämre noggrannhet.

**Navigation message** Information om satellitklockan, satelliternas banor och status samt en del korrektionsdata sänds i Navigation message på både L1 och L2. Eftersom frekvensen är 50 Hz tar det 30 sekunder att skicka hela meddelandet. Hela meddelandet är 1 500 bitar och det är uppdelat i fem delar. Varje del består av 10 ord med 30 bitar i varje.

Varje del startar med ett Telemetry-ord (TLM) vilket bland annat innehåller synkroniseringsmönster. Nästa ord i varje del är Hand-over (HOW). HOW innehåller ett nummer som kodar för var i den aktuella GPS-veckan man är.

Första delen av meddelandet innehåller GPS-veckans nummer, en förutsägelse av hur tillförlitliga värdena är, hur gammalt datat som sänds är, och koefficienter för att approximera satellitens klockkorrektion eftersom klockan inte går helt perfekt.

Den andra och tredje delen sänder ephemerides, alla koefficienter för att tala om hur satelliten färdas, hur dess klocka går och en del information om andra korrekationer

Fjärde och femte delens innehåll byts varje gång och återkommer vart 25:e varv. Den totala mängden information tar alltså  $25 \cdot 30$  sekunder = 12,5 minuter att sända. Mycket av det som sänds i fjärde delen är till för militärt bruk, men även information om jonosfären och almanacksdata för de

---

<sup>3</sup>Två tal som är relativt prima har ingen gemensam nämnare, förutom 1.

satelliter som inte ingår i den ordinarie uppsättningen. Femte delen innehåller almanacksdata för de första 24 satelliterna och hur dessa satelliters status.

Almanacksdatat som sänds i fjärde och femte delen är samma för alla satelliter. Eftersom dessa data inte är så noggranna är de endast till för att mottagaren snabbare skall hitta de övriga satelliterna. Genom att hitta en satellit får mottagaren snabbt reda på ungefär var de övriga satelliterna är. En del av almanacksdatat som sänds för varje satellit presenteras i tabell 3.1

Almanacksdata	
Parameter	Förklaring
ID	satellitens PRN-nummer
HEALTH	Satellitens hälsostatus
WEEK	Aktuell GPS-vecka
$t_a$	Referensepok i sekunder i aktuell vecka
$\sqrt{a}$	Kvadratroten ur stora axeln
e	Excentriskheten

Tabell 3.1: Almanacksdata i urval.

Referensepok i GPS-veckan är hur många 1,5-sekundersintervall man är inne i aktuell vecka. GPS-veckan är hur många veckor det gått sedan 5 januari 1980.

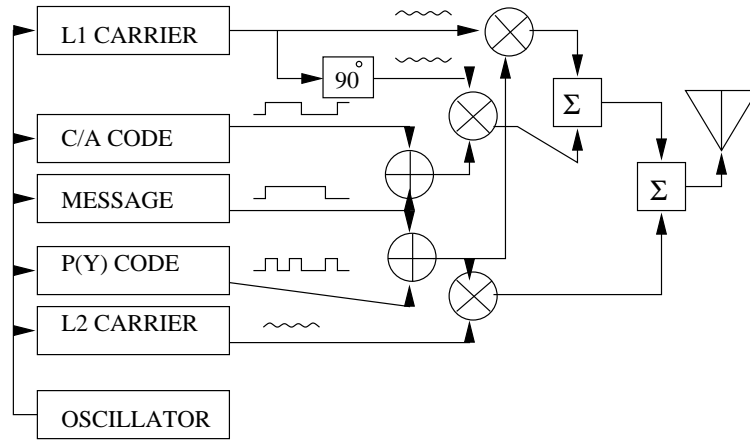
**Slå samman allt till en signal** Det som sänds från satelliten är en enda signal, hopsatt av alla ovannämnda komponenter. Figur 3.4 visar schematiskt hur det går till [2].

Signalen L1 kan beskrivas på formen

$$L1_i(t) = A_P P_i W_i(t) D_i \cos(\omega_1 t + \phi_e) + A_{C/A} C_i(t) D_i(t) \sin(\omega_1 t + \phi_e). \quad (3.2)$$

$A_P$ och $A_{C/A}$	amplituderna för P- respektive C/A-koderna
$P_i(t)$	P-koden för satellit $i$
$W_i(t)$	krypteringskoden, $Y_i(t) = P_i(t) W_i(t)$
$C_i(t)$	C/A-koden
$D_i(t)$	datat i navigation message
$\omega_1$	L1s frekvens
$\phi_e$	litet fasfel

På samma sätt beskrivs L2 som



Figur 3.4: Ringarna med plus i betyder modulo-2-adderare, ringarna med kryss i betyder modulatorer och fyrkanter med  $\Sigma$  i är signalkombinerare. Triangeln är antennen.

$$L2_i(t) = B_P P_i W_i(t) D_i \cos(\omega_2 + \phi_e). \quad (3.3)$$

$B_P$  amplituderna för P-koden.

### 3.1.3 Kontroll

För att GPS-systemet skall fungera krävs det att satelliterna sänder aktuell och korrekt information om deras positioner och banor. För att detta skall vara möjligt mäts hela tiden deras positioner och hastigheter via ett antal kontrollstationer på jorden så att deras positioner i den närmsta framtiden kan approximeras [6].

Det finns även privata alternativ, som spårar satelliterna oberoende av DoD. Syftet är att kunna räkna ut värden som man kan få tag i oftare än de som DoD sänder via satelliternas ephemeridesfakta.

### Masterstationen

Huvudkontrollen MCS (Master Control Station) för satelliterna ligger i Colorado, USA. Här beräknas de parametrar som bestämmer satelliternas banor. Parametrarna korrigeras hela tiden, eftersom de teoretiska banorna inte följs då störningar hela tiden påverkar. Denna station samlar in data från alla monitorstationer och beräknar kontinuerligt fram ephemeris-data för satelliterna enligt de modeller man ställt upp för satelliternas banor och deras

störningar. Dessa data är endast giltiga under ett i förväg bestämt tidsintervall, eftersom banorna ändras vart efter. Om något allvarligt fel skulle upptäckas larmas personal inom 60 sekunder.

### Monitorstationer

Fem monitorstationer (1996) utspridda över jordklotet samlar var 1,5:e sekund in uppgifter om satelliternas positioner. Stationerna består av en dual-frekvensmottagare (L1 och L2) och den mäter kontinuerligt avstånden till satelliterna samt tar in all annan information som satelliterna sänder med i signalerna. Stationerna har också kontinuerliga uppgifter om det lokala vädret tillgängliga för att kunna bestämma troposfäriska fördröjningar. De jonosfäriska fördröjningarna beräknas med hjälp av de två olika frekvenserna på bär vågorna. Den exakta positionen av antennen är också känd. Dessa stationer har sådan täckning att alla satelliter kan mätas på 92% av tiden.

Stationerna mäter också hur mycket klockan i satelliten dragit eller fortat sig och skickar upp denna information så att satelliten kan sända detta tillsammans med övrig information till mottagarna.

Stationerna sänder all information till MCS där den processeras.

### Markkontrollstationer

Från masterstationen kommer paket med information som skall sändas upp till satelliterna. Ett unikt dataset prepareras för varje kontrollstation. Datasetet består bland annat av Navigation Message, dvs hur satelliterna kommer att röra sig i den närmsta framtiden. När en satellit kommer inom "synhåll" från en station skickas data upp.

### CIGNET

Ett av de många alternativa spårningssystemen är CIGNET (Cooperative International GPS Network) vilka har stationer runt jorden som mäter satelliternas positioner och banor. Skillnaden mellan den officiella (DoDs ephemeridesdata) och CIGNETS data är att denna tillhandahålls direkt, utan någon fördröjning. En annan skillnad är att dessa stationer mäter både psuedorange och bär vågsfas.

#### 3.1.4 Användare

Det finns både militära eller auktoriserade användare, vilka kan avkoda P(Y)-signalerna, och civila. Dessa mottagare kan i sin tur mäta på en eller två frekvenser och på de olika koderna.

## Mottagare

Oavsett om man följer en satellit i taget eller flera på en gång finns några grundläggande skillnader i de olika sätt man tar emot signalerna på. De olika metoderna gör att man får olika precision i positionsbestämningen. Kombinationer av flera metoder ger den bästa noggrannheten. I huvudsak finns det fyra sorters mottagare:

1. C/A-kod pseudorange
2. C/A-kod bärvåg
3. P-kod bärvåg
4. Y-kod bärvåg

C/A-kod pseudorange-mottagare mäter enbart på C/A-koden. De flesta handburna applikationer är av denna modell. Mottagaren bör ha fyra kanaler eller fler för att kunna positionsbestämma bra under rörelse.

C/A-kod bärvågsmottagare kan endast mäta på L1 eftersom C/A inte sänds på L2. Användare är vanligtvis lantmätare, men ett stort problem med denna metod är signal/brusförhållandet.

P-kodsmottagare låser på både L1 och L2. Den kan mäta sträckor med centimeternoggrannhet, men mottagaren måste stå stilla under en längre tid för att klara av det, upp emot tio minuter. P-koden är kodad och i och med att den är det kan man inte utnyttja dess fördelar utan att krypteringsnyckeln är känd. Dock kan en del mottagare genom mätning av fasdata och pseudoranges för L2 beräkna hur signalen fördröjts genom jonosfären utan att avkoda signalen.

Y-kodsmottagare fungerar på samma sätt som en P-kodsmottagare, fast Y-kodsmottagaren vet om hur koden är krypterad. Endast användare auktoriserade av DoD har tillgång till dessa krypteringsnycklar.

Den mottagare som vi använder (Lassen LP) är en C/A-kod pseudorange-mottagare.

**Antennen** är till för att omvandla den elektromagnetiska energin i radiovågorna till elektriska signaler som kan behandlas i en elektronisk komponent [2] [6]. Eftersom GPS-signalerna är högerpolariserade är även antennen det. Oftast täcker antennen 160 grader av hemisfären, det vill säga allt över 10 graders elevationsvinkel. Antennen kan se ut på olika sätt, allt från "Helix coils" till microstrips.

Antennen tar emot antingen en eller två av frekvenserna L1 och L2. De som tar emot båda frekvenserna behöver en bandbredd på 20,46 MHz medan



det för mottagare som bara tar emot ena signalen (C/A på L1) räcker med 2,046 MHz.

**Tracking** För att kunna få ut information ur en GPS-signal måste man ha två loopar. Den ena loopen kontrollerar hela tiden bärvågsfrekvensen, eftersom denna ändras på grund av att satelliten och mottagaren flyttar sig i förhållande till varandra. Med denna loop ändras mottagarens frekvens av den genererade koden. Detta sker i flera steg, med första ordningens och andra ordningens fasläsningsloopar [3].

Den andra loopen följer koden och det är denna som jämför den mottagna koden och den genererade. När de är likadana kan mottagaren bestämma hur lång tid det tagit för signalen att färdas från satelliten till mottagaren.

### 3.1.5 Avståndsberäkning

Det finns två principiella sätt att mäta avståndet från satelliten till mottagaren;

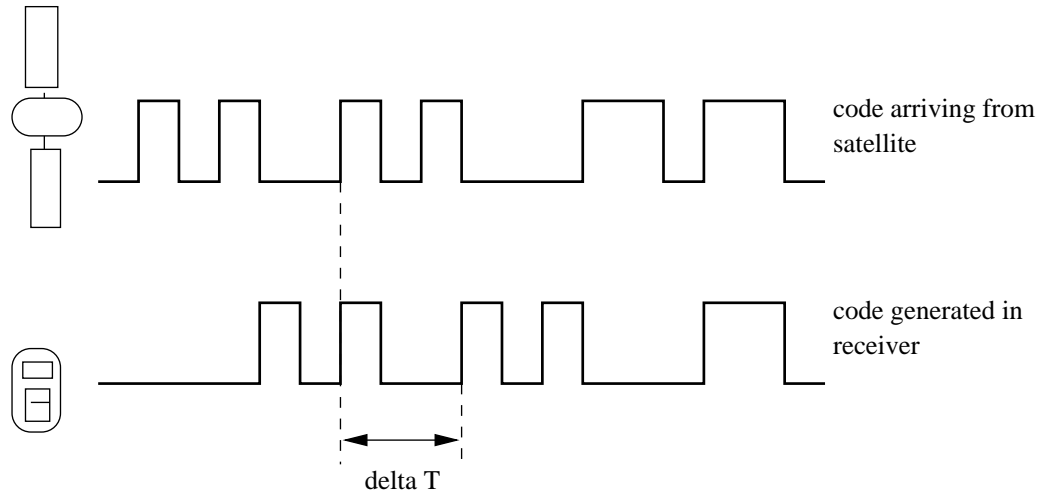
- Man kan räkna antalet perioder mellan satelliten och mottagaren vid en tidpunkt. Man multiplicerar sedan antalet perioder med våglängden för att få reda på avståndet.
- Pseudorange-mätning. Man mäter tiden det tar för signalen att färdas och multiplicerar med signalens (ljusets) hastighet för att erhålla avståndet.

Det finns idag inget sätt att räkna antalet perioder som en våg har mellan mottagaren och satelliten. Det gör att man istället mäter tiden det tar för signalen att färdas från satelliten till mottagaren.

Eftersom det inte finns något bra sätt att synkronisera klockorna på det här långa avståndet får man endast ett avstånd som är approximativt. Med hjälp av flera mätningar till olika satelliter kan man med hjälp av ett icke linjärt ekvationssystem iterera fram positionen.

Pseudorange kallas avståndet som man uppmäter med hjälp av PRN-signalen. Pseudo kommer från att avståndet inte är det sanna. Felet blir proportionerligt lika stort för alla uppmätta avstånd, eftersom alla avstånd mäts med samma klocka i mottagaren.

Eftersom man antar att klockorna i satelliten och mottagaren går lika, genererar mottagaren samma PRN-kod som satelliten. När denna kodsekvens anländer kan man enkelt se hur stor tidsskillnad det är, vilket syns i figur 3.5.



Figur 3.5: De olika signalerna jämförs. Man kan se hur stort delta-T blir.

Det uppmätta avståndet pseudorange  $P$  störs av olika saker, men kan approximeras med ekvationen

$$P = \rho + c(dt - dT) + d_{jon} + d_{trop} + e \quad (3.4)$$

där  $\rho$  är det geometriska avståndet,  $c$  är ljushastigheten,  $dt - dT$  är offset mellan satelliten/mottagaren,  $d_{jon}$  och  $d_{trop}$  är felen på grund av jonosfären respektive troposfären och  $e$  är effekter av multipath och mottagarbrus. Offset är delta-T i figur 3.5.

Bärvågsfasen  $\Phi$  beskrivs enligt

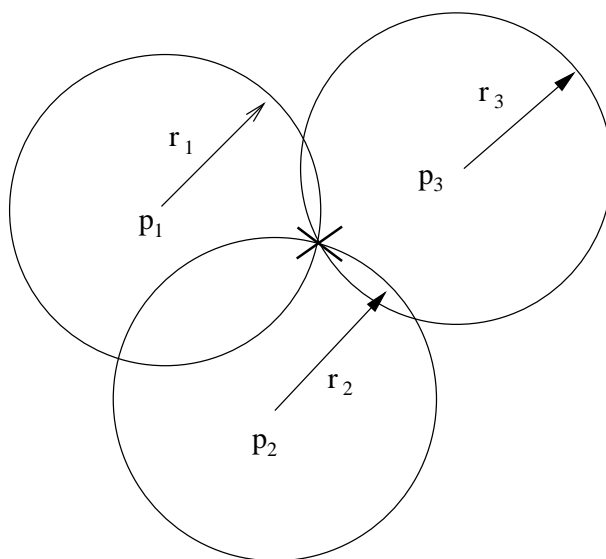
$$\Phi = \rho + c(dt - dT) + \lambda N - d_{jon} + d_{trop} + \varepsilon \quad (3.5)$$

där  $\lambda$  är våglängden,  $N$  är det okända antalet cykler och  $\varepsilon$  är övriga fel. Detta är inget man idag kan använda separat. I kombination med andra mätmetoder kan detta dock vara ett sätt att få väldigt precisa positioner, men det kräver oftast att man står stilla samt avancerad utrustning.

### 3.1.6 Mottagarpositionsbestämning

För att bestämma en punkt i en tvådimensionell värld med hjälp av avstånd till kända positioner behövs tre avstånd till tre punkter enligt figur 3.6.

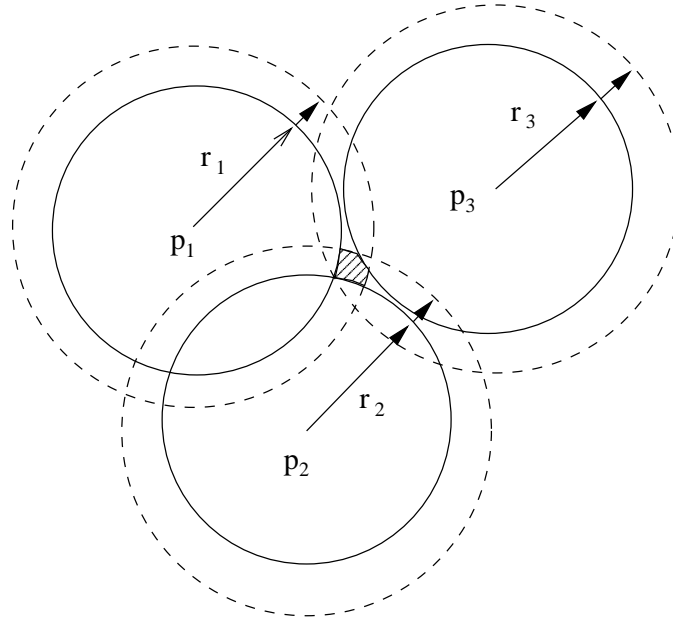
För att göra motsvarande bestämning i tre dimensioner måste man ha ytterligare en punkt och ett avstånd för att bestämma mottagarpositionen.



Figur 3.6: Positionsbestämning utifrån tre avstånd  $r_i$  från tre kända punkter  $p_i$  i en tvådimensionell värld.

Det blir då fyra sfärer som skär varandra i en punkt. Om man använder sig av tre sfärer kommer det att finnas två möjliga lösningar. Den ena av dessa kan man utesluta eftersom den ligger på ett orimligt ställe i rymden och inte på jordytan. Man har då bara en lösning kvar.

Tyvärr har man även ett fel som kommer från att klockan i mottagaren går lite fel i förhållande till satelliten. Detta gör att avstånden till satelliterna blir lite fel. Motsvarande fel visas i figur 3.7 men då endast i två dimensioner.



Figur 3.7: På grund av fel i klockorna blir det ett fel i avståndsmätningarna. Positionen blir någonstans i den streckade arean.

För att lösa det ekvationssystem som uppstår och som har fyra obekanta (tre koordinater samt klockfelet) måste man ha ytterligare ett avstånd och därmed ytterligare en satellit. Med fyra satelliter löses det icke linjära ekvationssystemet genom iterering från gissade startvärden.

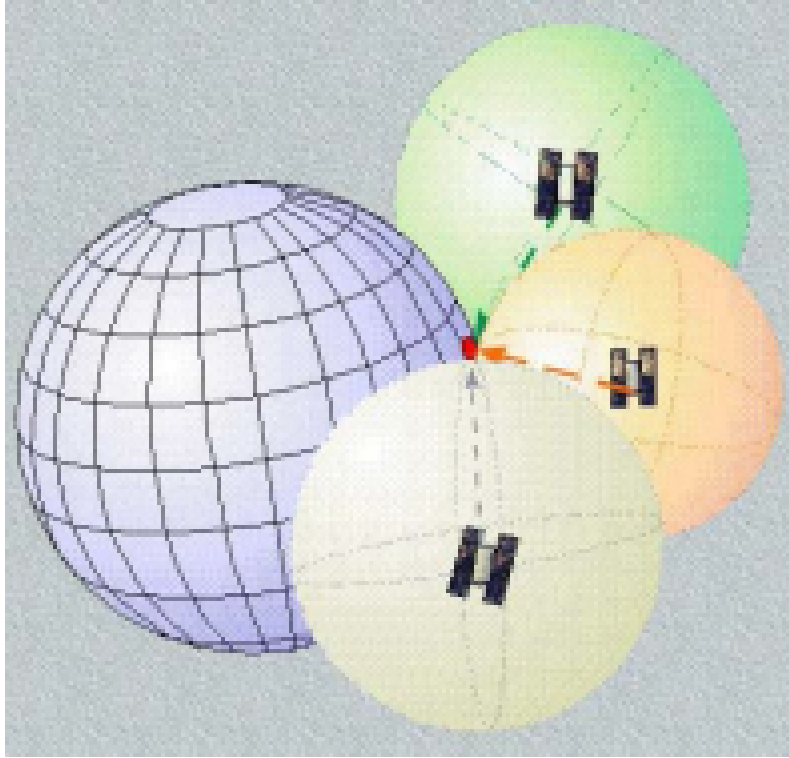
Om man befinner sig på havet kommer dock en av koordinaterna att vara känd, eftersom havsnivån är konstant. Det räcker då med tre sfärer, tre avstånd, vilket visas i figur 3.8.

För en vanlig positionsbestämning utan någon känd koordinat blir det icke linjära ekvationssystemet [3]

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} \\ \rho_2 &= \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} \\ \rho_3 &= \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2}\end{aligned}\tag{3.6}$$

Ett sätt att lösa detta ekvationssystem är att linjärisera och därefter iterera fram lösningen. Eftersom vi har ett klockfel  $b_u$  blir ekvationssystemet egentligen

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + b_u$$



Figur 3.8: 3D-positionsbestämning, men här endast med tre satelliter, tillämplbart om man är på havet, där en koordinat är känd, eftersom man vet havsnivån.

$$\begin{aligned}\rho_2 &= \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + b_u \\ \rho_3 &= \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + b_u\end{aligned}\quad (3.7)$$

Som tidigare nämnts beräknas avståndet  $\rho$  genom

$$\rho = c(t_u - t_{si}) \quad (3.8)$$

där  $c$  är ljushastigheten,  $t_{si}$  den sanna tiden då signalen sändes från satelliten  $i$  och  $t_u$  tiden då användaren (user) mottog signalen. Tyvärr har vi ett fel som uppstår i och med att klockorna i mottagarna inte är perfekta. Klockan i satelliten kan också gå lite fel, men detta mäts och satelliten skickar med uppgifter om hur "fel" tiden är. De verkliga tiderna  $t'$  kan beskrivas som

$$t'_{si} = t_{si} + \Delta b_i \quad (3.9)$$

$$t'_u = t_u + b_u \quad (3.10)$$

Det finns även en del andra fel inkluderade i pseudorange-mätningen,  $\Delta D_i$  satelliten i's positionsfel,  $\Delta T_i$  troposfärens fördröjningsfel,  $\Delta I_i$  jonosfärens fördröjningsfel,  $v_i$  mottagarens brusfel,  $\Delta v_i$  relativistiska tidskorrektionen så att

$$\rho_i = \rho_{iT} + \Delta D_i + c(\Delta b_i - b_{ut}) + c(\Delta T_i + \Delta I_i + v_i + \Delta v_i) \quad (3.11)$$

En del av dessa fel kan elimineras genom DGPS och troposfäriska fel kan man korrigera för med hjälp av en troposfärmodell.

För fyra satelliter blir ekvationssystemet

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + b_u \quad (3.12)$$

där  $i$  går från 1 till 4. En linearisering av detta ekvationssystem ger

$$\delta \rho_i = \frac{(x_i - x_u)\delta x_u + (y_i - y_u)\delta y_u + (z_i - z_u)\delta z_u}{\rho_i - b_u} + \delta b_u \quad (3.13)$$

För att lösa detta tänker man att  $x_u$ ,  $y_u$ ,  $z_u$  och  $b_u$  är kända variabler genom att ge dem ett initialvärde som representerar att användaren  $u$  är i jordens mitt och att tidsfelet  $b_u$  inte existerar, det vill säga initialvärdena är noll. De okända variablerna blir då  $\delta x_u$ ,  $\delta y_u$ ,  $\delta z_u$  och  $\delta b_u$ . Itereringen sker genom ekvationssystemet:

$$\begin{bmatrix} \delta \rho_1 \\ \delta \rho_2 \\ \delta \rho_3 \\ \delta \rho_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & 1 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & 1 \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & 1 \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & \alpha_{43} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_u \\ \delta y_u \\ \delta z_u \\ \delta b_u \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

där  $\alpha_{i1} = \frac{x_i - x_u}{\rho_i - b_u}$ ,  $\alpha_{i2} = \frac{y_i - y_u}{\rho_i - b_u}$  och  $\alpha_{i3} = \frac{z_i - z_u}{\rho_i - b_u}$ . På kortform blir ekvation 3.14

$$\overline{\delta \rho} = \mathbf{A} \overline{\delta r} \quad (3.15)$$

vars lösning blir

$$\overline{\delta r} = \mathbf{A}^{-1} \overline{\delta \rho}. \quad (3.16)$$

Ovanstående system fungerar lika bra för fler än fyra satelliter. Ekvationssystemet blir för  $n$  satelliter

$$\begin{bmatrix} \delta \rho_1 \\ \vdots \\ \delta \rho_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & 1 \\ & \vdots & & \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_u \\ \delta y_u \\ \delta z_u \\ \delta b_u \end{bmatrix}. \quad (3.17)$$

**Algoritm**

1. Välj initialvärden  $\bar{\delta}_r = \mathbf{0}$ .
2. Beräkna  $\rho_i = \rho_{i,uppmätt} - \rho_{i,beräknad}$ .
3. Beräkna  $\mathbf{A}_{i1}$ , det vill säga  $\alpha_{i1}$ ,  $\alpha_{i2}$  och  $\alpha_{i3}$ .
4. Med hjälp av  $\bar{\rho}_r = [\mathbf{A}^T \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{A}^T \bar{\delta} \rho$  beräknas  $\delta x_u$ ,  $\delta y_u$ ,  $\delta z_u$  samt  $\delta b_u$ .
5. Om man passerat under felnivågränsen, det vill säga när  $\delta e > \sqrt{\delta x_u^2 + \delta y_u^2 + \delta z_u^2 + \delta b_u^2}$  avslutas itereringen, annars går man vidare till nästa punkt.
6. Sätt
 
$$\begin{aligned} x_{n1} &= \delta x_{u0} + \delta x_u \\ y_{n1} &= \delta y_{u0} + \delta y_u \\ z_{n1} &= \delta z_{u0} + \delta z_u \\ b_{n1} &= \delta b_{u0} + \delta b_u \end{aligned}$$
7. Börja om från punkt 1.

Det brukar i allmänhet räcka med ca 10 iterationer. Med  $\bar{\delta}_r$  satt till nollvektorn som initialvärde erhålls den korrekta lösningen på jordytan och inte den orimliga som finns ute i rymden.

**Dilution of Precision**

Ett enkelt sätt att ange hur korrekt positionen är ges genom värdet på DOP (Dilution of Precision). Det är satelliternas lägen som avgör DOPs värde.

Varianserna  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  och  $\sigma_b$  är varianserna för de olika parametrarna  $x$ ,  $y$ ,  $z$  och  $b$ .

Om man tar bort mätfelen och endast vill ha en storhet för det rent geometriska felet bildar man GDOP (Geometriska DOP) såsom

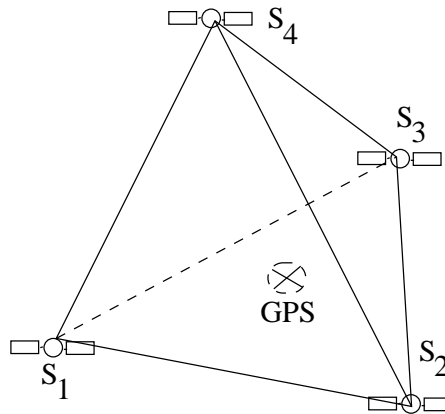
$$GDOP = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_b^2}}{\sigma}. \quad (3.18)$$

Ett bra värde på GDOP ligger mellan 0-5. GDOP är dimensionslöst. PDOP står för Position Dilution of Precision och definieras enligt

$$PDOP = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}}{\sigma}. \quad (3.19)$$

Det finns även fler varianter på DOP, horisontell (HDOP), vertikal (VDOP) och tid (TDOP).

Det bästa förhållandet för att få ett lågt DOP-värde är när satelliterna ligger i en tetraederform enligt figur 3.9.



Figur 3.9: Konfigurering för bästa PDOP. Satelliterna  $S_i$  och mottagaren  $GPS$ .

### 3.1.7 DGPS

DGPS (Differentiell GPS) använder sig av en fixpunkt med känd koordinat för att räkna ut en korrektion till positioner i närheten av fixpunkten. Olika operatörer sänder med olika tekniker ut dessa korrektionssignaler. Den vanligaste tekniken är dock att göra detta via en datakanal på en FM-radiosändare eftersom FM har ett stort täckningsområde. I Sverige sänds idag DGPS-signaler på det statliga radionätet för FM-radio.

### 3.1.8 Trimble Lassen LP

En stor GPS-tillverkare är Trimble. En av deras enklaste produkter är GPS-korten Lassen LP (Low Power). Denna GPS-mottagare kan ta emot signaler på åtta kanaler parallellt. Kortet använder sig av alla satelliter som uppfyller de inställbara kraven elevationsvinkel samt signalstyrka. Om en signal från en satellit tappas bort på grund av att signalen skärmas eller att den blir för svag alternativt tillfälligt inte uppfyller kraven tar det normalt sett 1 till 2 sekunder innan signalen åter mottages på rätt sätt. Om signalen skärmas i mer än 10 sekunder börjar kortet leta efter en annan satellit på den kanalen (e-brev från Bryan Willsher, Trimble, 2001-02-23).



## 3.2 Mobitex

Mobitex är ett av Ericsson utvecklat system för paketförmedlad mobil datorskommunikation [24]. I Sverige finns redan ett väl utbyggt kommersiellt Mobitexnät på 80 MHz och ett delvis utbyggt kommersiellt Mobitexnät på 400 Mhz. Vi använder dock ett testnät på 900 MHz som just nu håller på att byggas ut i Sverige. I USA finns redan ett väl utbyggt Mobitexnät på 900-bandet. Totalt finns det 30 Mobitexnät runt om i världen, spritt över såväl Europa som Amerika och Asien.

### 3.2.1 Nätet

Mobitex är en global standard som administreras av MOA (Mobitex Operators Association). Mobitex är inte begränsat till att enbart kunna användas på speciella frekvensband eller kanaler med en fast bandbredd. Detta innebär att alla lediga frekvenser i ett frekvensband kan användas till Mobitex. Som tidigare nämnts har Mobitex visat sig fungera på frekvensband från ända från 80 MHz, över 400 MHz och upp till 900 MHz.

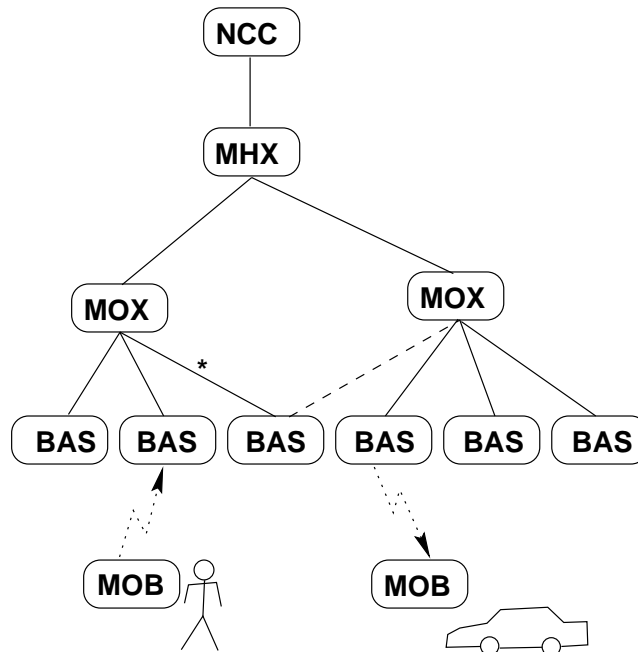
Ett nät kan antingen var ett publikt nät (då ofta rikstäckande) eller ett privat nät. Det privata nätet är enklare, då man inte behöver bry sig om fakturering och liknande saker i samband med användning av nätet. Båda näten byggs dock upp på samma sätt och skillnaden består mest i storleken samt mängden administration.

Ett nätverk består av ett antal strukturella enheter vilka uppräddas i tabell 3.2.

Mobitexnät	
Förkortning	Förklaring
MOB	Mobil enhet (användarna)
BAS	Basstation
MOX	Lokal växel
MHX	Huvudväxel
NCC	Nätverkets kontrollcentrum

Tabell 3.2: De olika strukturella delarna i ett Mobitexnätverk.

Hur ett litet nätverk kan se ut beskrivs i figur 3.10



Figur 3.10: Figur på hur Mobitexnätets struktur ser ut.

Stjärnan i figur 3.10 visar att det finns en viss redundans i nätet. Om den ursprungliga kopplingen, markerad med “\*”, bryts kan nätet fortsätta fungera tack vare en reservväg, markerad med den streckade linjen “- - -”.

**MOB - mobila stationer** En mobil station är en radiomottagare/-sändare. Det finns tre typer av användarenheter, bärbara kompletta enheter, modemkort som kan kopplas till olika enheter samt PC-kort som kopplas till en dator. De kan dessutom använda sig av olika frekvensband beroende på i vilket nät de skall operera. De har olika uppsättningar kommandon och protokoll, beroende på vad de skall användas till.

En bärbar enhet är till exempel en sådan pager som vi använder i vårt system, vilken är tillverkad av det kanadensiska företaget RIM (Research In Motion). Andra enheter kan sitta i till exempel ambulanser där de skickar olika data om patienten eller om var ambulansen befinner sig. De kan också vara helt stationära och sitta i exempelvis övervakningssystem som sänder information. Exempel på företag som använder sig av Mobitexteknologin i Sverige idag är både transportföretag som Posten, ASG, Göteborgs Lokaltrafik

(GLAB) och Volvo men även skogsföretag som Graninge, Stora och AsiDomän.

**BAS - basstationer** Användarna är var och en uppkopplade mot Mobitexnätets radiobasstationer (BAS) som fungerar som ändnoderna i systemet. Dessa stationer är var för sig en radiocell som kan täcka ett område på upp till 30 km i diameter för 450 MHz och cirka 15 km för 900 MHz. Användaren kommunicerar med den basstation som är närmast. Rekommenderat antal användare per basstation är beroende av applikationen, det vill säga hur många datapaket som skickas per tidsenhet.

Trådlösa enheter kommunicerar med en BAS i taget, den roamas, men kan roama in en annan BAS när enheten flyttas. BAS:en kan skicka paket till andra enheter som ligger på samma station, men alla andra datapaket sänder den uppåt i hierarkin. Systemet är till viss del likt GSM. Det finns förutom de fasta basstationerna även mobila sådana som är bärbara. Dessa används för att förstärka nätet varhelst ett behov uppstår.

En BAS BRU3 kan klara av 1 500 användare och givetvis kan den även kopplas upp mot ett stationärt Mobitexnät, eller köras autonomt utan inkoppling till något nät.

**MX, MOX / MHX - växlar** Från basstationerna kommer via fasta uppkopplingar datapaketerna till de i systemet ovanliggande växlarerna (MX). Dessa kan konfigureras på olika sätt beroende på var i nätverket de finns. Den kan, beroende på sin placering i nätverksstrukturen, arbeta som Area Exchange (MOX) eller Main Exchange (MHX) vilka har nästan identisk funktionalitet.

Växeln kan kopplas till maximalt 512 nätverksnoder eller fasta terminaler. Main Exchangen (MHX) dirigerar trafik mellan olika MOX och är normalt också förbindelsen mellan nätverket och nätverkscentralen (NCC) dit den skickar information om faktureringsgrunder samt statusrapporter. MOX:ens utgångar kan anslutas antingen till en BAS, till en MHX eller till en slutanvändare. Information om de olika abonnenterna som finns inom växeln upptagningsområde lagras i MX:en. Om den fungerar som en MOX kan icke levererade paket lagras i en brevlåda i minnet för senare leverans. En MOX är också den som brukar arbeta som förmedlingsnod mot andra nätverk såsom X.25<sup>4</sup>-nätverk.

**NCC - nätverkscentral** Nätverkscentralen (Network Management Center) är nätverkets driftscentral där nätverkspersonalen kan underhålla, konfigurera, övervaka och administrera nätverket. Från NCC sköts konfigure-

---

<sup>4</sup>X.25 är ett nätverksprotokoll.

ringen av nätverket med hjälp av en register-databas där alla konfigureringsparametrar för noder, länkar och radiokanaler finns. NCC innehåller också funktioner för användaradministration. Där registreras nya användare och även fakturering sköts härifrån baserat på de trafikuppgifter som strömmar in från nätverksnoderna.

### 3.2.2 Identifiering

För att nätverket skall kunna identifiera en enhet (MOB) har varje enhet en 24-bitars adress. Denna adress kallas enhetens MAN (Mobitex Access Number) och representeras av ett 8-siffrigt tal. Totala antalet möjliga adresser blir då  $2^{24} = 16777216$ . Nummer upp till 100 000 är reserverade för nätverkets interna bruk. MOA, Mobitexoperatörernas sammanslutning, har upprättat en numreringsplan och ger rekommendationer om hur de tillgängliga adresserna skall användas. Anledningen till att det behövs en sådan plan är att knappt 17 miljoner adresser inte räcker till för hela världens behov. Därför har man delat upp adresserna i Nätverkslokala MAN, Regionala MAN och Världsomspännande MAN enligt tabell 3.3 och antalet i varje grupp visas i tabell 3.4.

Från	Räckvidd		Användning
	Till	Storlek	Användning
0	99 999	100 000	Reserverade
100 000	3 999 999	3 900 000	Nätverkslokala
4 000 000	4 999 999	1 000 000	ej tilldelade
5 000 000	5 999 999	1 000 000	Nätverkslokala
6 000 000	6 999 999	1 000 000	Regionala
7 000 000	13 999 999	7 000 000	ej tilldelade
14 00 000	14 999 999	1 000 000	Världsomspännande
15 000 000	16 777 215	1 777 216	Nätverkslokala

Tabell 3.3: MAN-användningsområden.

Som namnen antyder är det strikt hierarkiskt uppbyggt. De nätverkslokala adresserna kan alla nätverksoperatörer fritt disponera. De kan återanvändas i alla nätverk. Konsekvensen av detta blir att användare med nätverkslokala adresser inte är tillåtna att roama utanför sitt eget nätverk eller utväxla meddelanden med enheter som är inroamade på ett annat nätverk. De regionala adresserna måste vara unika i sin region men kan återanvändas i andra regioner. Användare med regional adress kan inte roama

<b>Total storlek</b>	
MAN-grupp	Storlek
Nätverkslokala	6 677 216
Regionala	1 000 000
Världsomspännande	1 000 000
Ej tilldelade	8 000 000

Tabell 3.4: Olika MAN-gruppers storlekar.

in utanför sin region men kan däremot utväxla meddelanden med användare i andra nätverk inom samma region. Konsekvensenligt är de världsomspännande adresserna unika i hela världen och kan inte återanvändas någonstans. Användare med sådan adress kan utväxla meddelanden med alla användare i alla nätverk. För såväl regionala som världsomspännande MAN gäller att det måste finnas en numreringsplan som talar om hur man använder dessa nummer.

### 3.2.3 Användartjänster

Varje användare kan specificera sitt eget kommunikationssystem genom att använda Mobitex som en länk mellan två eller flera terminaler anpassade för detta system. Beroende på vad användaren skall använda sitt system till väljer han att använda några av de tjänster som nätverksoperatören tillhandahåller varav den viktigaste naturligtvis är förmågan att skicka vanliga meddelanden. Här redogörs för några av de vanligaste tillgängliga tjänsterna.

#### Meddelanden

**Textmeddelanden** Datan i informationsdelen av ett textdelande är reserverat för användaren. Informationsdelen måste kodas i enighet med ASCII standarden eller någon likvärdig nationell teckenstandard. Ett textmeddelande får innehålla max 512 tecken i datadelen. Större textmängder än så måste delas upp och sändas som flera meddelanden.

**Datameddelanden** kan användas istället för text när man skickar information i annat format än ASCII-text. Informationsdelen i ett datameddelande får kodas av de enskilda applikationerna på valfritt sätt. Ett datameddelande får innehålla max 512 byte.

**HPDATA** är väldigt lika datameddelanden. Skillnaden är att meddelandet innehåller både ett datafält (max 512 bytes) och ett protokoll-id (HPID). Protokoll-ID är ett tal mellan 128 och 255 för användarspecifierade protokoll. Nummer 0 till 127 är reserverade för nätverksoperatörernas bruk och handhas av MOA. Man kan till exempel använda HPDATA till att sända meddelanden som är större än max-storleken för text eller datameddelanden. Detta genom att dela upp meddelandet i flera delmeddelanden som sänds med på varandra följande HPID. Ordningen som delmeddelandena anländer till mottagaren är inte garanterad att vara densamma som ordningen de sändes i. Följaktligen samlar mottagaren ihop delmeddelandena baserat på vilket HPID de har.

**Statusmeddelanden** Ett statusmeddelande har en datadel på en byte. Det kan alltså ses som en numerisk kod mellan 0 och 255 vilket ger 256 olika statusmeddelanden. Dessa kan kodas av användaren vilket reducerar överföringstiden och följaktligen även kostnaden.

**Gruppmeddelanden** Ett antal användare i ett lokalt nätverk kan förses med en gruppadress utöver deras vanliga MAN. På så sätt underlättar man för applikationer där en användare sänder ett identiskt meddelande till ett flertal andra användare. Gruppmeddelanden kvitteras inte av mottagaren vilket gör att mottagare som inte har täckning inte får meddelandet. Denna risk minskas dock genom att basstationen sänder gruppmeddelanden flera gånger.

**Brevlåda** Ifall en adressat inte har täckning och alltså inte kan nås av nätverket och samtidigt har en brevlådetjänst aktiverad, så sparar nätverket meddelandet. Nätverket skickar en kopia av meddelandet tillbaka till sändaren med en flagga som säger att meddelandet finns i mottagarens brevlåda och när mottagaren sedan åter blir tillgänglig erhåller han de meddelanden som finns i brevlådan.

**Batterisparläge** Radioprotokollet tillåter att en enhet går ner i sovläge för att spara på batteriet. En enhet som gör detta vaknar upp med jämna mellanrum och kontrollerar om den fått några meddelanden. Detta gör att bärbara enheter får en längre operativ livstid.

### 3.2.4 Täckningsområde

För 900 MHz räcker en BAS 3-5 km i stadsmiljö, och 6-10 km för övrigt. Det som påverkar täckningsområdet är till exempel antennens placering. Ju högre upp den placeras desto bättre täckning erhålles och ju större uteffekt desto bättre täckning. Den påverkas inte av väder. Den största individuella påverkan av täckningsområdet är hur mycket hinder i form av hus och berg det finns.

#### Hur man bygger ut ett nät med en kompletterande BAS

Man kan placera en BAS BRU3 i skogen eller varhelst annars. Man kopplar på en antenn som jordas med en kraftig kabel för att skydda BASen vid blixtnedslag. Antennen placeras så högt upp som möjligt och vertikalt. Om man inte är i närheten av andra stationära antenner behöver man inte göra mer. Användarna och mottagarmodemet inroamas på samma bas och den kan då sända paketen direkt. Om det finns risk att enheterna eller mottagarmodemet inroamas på en annan antenn än den man själv satt upp gör man bäst i att ansluta BRU3:an till det stora nätet. Detta kan göras antingen genom direktkopplingar till en MOX, eller via en telefonförbindelse (det finns inbyggt modem i BAS:en) in till en MOX. Det går även att konfigurera enheterna till att enbart kommunicera med en viss bas om man hellre vill detta. En fördel med att koppla ihop den egna basen med resten av nätet är naturligtvis att man får ett större täckningsområde.

BAS:en försörjs med en vanlig 50 Hz växelström på 230 V. Kortare strömbavbrott klarar den med sitt interna batteri som räcker i upp till cirka 30 minuter.

### 3.2.5 Dataöverföring

En Mobitexenhet som inte har någonting att sända lyssnar på systemkanalen där den får inkommande trafik. Mobitexenheten måste innan den sänder sina paket begära accesstillstånd från BASen. Det går till så här:

- Basen skickar en klarsignal vilket erbjuder alla enheter som befinner sig inom täckningsområdet att skicka en viss typ av data om de har någon sådan att sända. I klarsignalen ingår uppgifter om hur många och hur långa sändningsluckorna som det är tillåtet att sända i är.
- Löparenheten svarar om den har något att sända.
- Basstationen svarar med att ange i vilket lucka enheten kan sända.

- Paketet skickas från löparenheten, under en bestämd del av en sekund

När enheterna skall meddela BASen att de vill sända något kan det hända att två paket krockar med varandra, att de sänds samtidigt. Basen kan då inte ta emot dessa och ger inte svar till den (de) som den inte hinner med. Om enheten inte fått svar inom de 67 msek som det skall ske inom sänder den en ny förfrågan, men inte i samma tidslucka som förr, det vill säga det är ytterst osannolikt att paketen krockar igen.

Överföringen av data i Mobitexsystemet bygger på att varje meddelande som skickas är ett paket med avsändar- och mottagaradress. Paketet skickas den intelligentaste vägen genom nätet till mottagaren. Basstationerna har principen lagra-sänd. Det gör att varje överföring blir bekräftad.

### 3.2.6 Användningsområden

Det finns många applikationsområden för en Mobitexenhet. Några exempel som man nämna är enheter i ambulanser som sänder information till lasarettet om patienten så att de är förberedda vid ankomsten. Den kan även sända uppgifter om var en skogsmaskin befinner sig och hur många träd den avverkat.

En vanlig applikation är att ha Pagern som en bättre personsökare, med möjlighet att bland annat ta emot och skicka e-post.

## 3.3 Koordinattransformation

De positioner som GPS:en producerar och som skickas till databasen består av latitud och longitud. Origo ( $0^\circ, 0^\circ$ ) i detta koordinatsystem är där ekvatorn skär 0-meridianen (Greenwich-meridianen). I dator/bildskärmssammanhang används däremot koordinatsystem baserade på X och Y och där origo dessutom oftast ligger i övre vänstra hörnet av bildskärmen eller fönstret. Till detta läggs det faktum att den inlagda kartan inte nödvändigtvis måste vara orienterad i nord-sydlig riktning och det inses då lätt att man kan komma att behöva såväl skala om som rotera koordinaterna (latitud, longitud) för att få fram X och Y. Detta ger att en koordinattransformation är nödvändig och denna kommer att ta formen av en övergångsmatrix som omvandlar  $(Lat, Lon)$  till  $(X, Y)$ .

För att kunna fastställa denna övergångsmatrix behöver vi mäta in 3 punkter där vi vet vad varje  $(Lat, Lon)$  har för motsvarighet i  $(X, Y)$ .

Antag att vi har tre punkter

$$(Lat, Lon) = (Lat_1, Lon_1), (Lat_2, Lon_2), (Lat_3, Lon_3) \quad (3.20)$$



och att de, i vårt koordinatsystem, skall motsvara

$$(X, Y) = (X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3). \quad (3.21)$$

Till att börja med behöver vi en matris för övergången i X-led och en för övergången i Y-led. För  $1 \leq i \leq 3$  har vi att

$$X_i = Lat_i \cdot a + Lon_i \cdot b + 1 \cdot C_x Y_i = Lat_i \cdot c + Lon_i \cdot d + 1 \cdot C_y \quad (3.22)$$

Om vi låter  $\mathbf{A}$  vara matrisen

$$\begin{bmatrix} Lat_1 & Lon_1 & 1 \\ Lat_2 & Lon_2 & 1 \\ Lat_3 & Lon_3 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$\mathbf{X}_x$  vara vektorn

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ C_x \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

och  $\mathbf{B}$  vara matrisen

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

kan man ställa upp ekvationen  $\mathbf{A}\mathbf{X}_x = \mathbf{B}$  vilken har lösningen

$$\mathbf{X}_x = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B} \quad (3.26)$$

där  $\mathbf{A}^{-1}$  är inversen av matrisen  $\mathbf{A}$ .

Inversen av en 3x3 matris som  $\mathbf{A}$  är lätt att räkna ut och man får efter multiplikation av  $Inv(\mathbf{A})$  och  $\mathbf{B}$  fram den sökta övergångsvektorn, eller 3x1-matrisen,  $\mathbf{X}_x$  som består av värdena på  $a$ ,  $b$ , och  $C_x$ . På motsvarande sätt får man med hjälp av y-värdena fram övergångsmatrisen för  $\mathbf{Y}$  som då består av värdena på  $c$ ,  $d$  och  $C_y$ .

# Kapitel 4

## Utförande

För att få fram ett fungerande system har vi försökt använda färdiga produkter i så stor utsträckning som möjligt så att vi skall slippa arbeta i onödan med sådant som redan finns. De produkterna fungerar väl och är tidigare beprövade. I valet har vi även sett pris och till viss mån vikt. För att i framtiden kunna pressa priset på en färdig produkt har vi valt att satsa på redan tillgängliga produkter, och helst sådana som tillverkas i stora serier. Priserna på standardprodukter förväntas sjunka i framtiden.

### 4.1 Specifikation

Detta är en specifikation på de krav vi ställer på vårt demo-system som skall vara klart i samband med examensarbetets slut.

Följande delar ingår i demonstrationssystemet:

- Löparenheten och dess programvara
- Länk/mottagare (BAS och modem)
- Program för att placera data i databas
- Program för att visualisera positionerna på en karta
- Övergripande saker:
  - Kostnader
  - Precision
  - Kapacitet

### 4.1.1 Löparenheten

Fysiska egenskaper:

- Skall skicka paket med position, tid och ID-nummer var x:te sekund.
- Skall klara av kortare (mindre än 15 minuter) av GPS-skugga utan att behöva omstartas. Skall klara av korta (mindre än sändningsintervallet) avbrott i GPS-mottagningen utan att det märks för användaren.
- Initiering och start skall kunna ske fjärrstyrt via ett specificerat protokoll utan löparens inblandning. Även sändningsintervall skall kunna ändras på distans.
- Precision: Max +/- 15 meter fel under 95 procent av tiden den befinner sig i det tilltänkta området.
- Vikt: Max 300 gram plus selen 50 gram. Skall kunna bäras så att den inte stör rörligheten.
- Temperatur: Skall klara -20 till +30 grader celcius.
- Batteri: Minimum 3 timmars drifttid.
- Övrigt: Vattentät. Stöttålig. Ej påverkbar av löparen.

### 4.1.2 Länk/mottagare

Eftersom dessa delar är färdiga produkter kan vi inte göra en specifikation över hur de skall byggas. Däremot kan vi specificera i den meningen att vi bestämmer vilken kapacitet vi vill att nätet skall ha, och utifrån det dimensionera.

- Demonstrationssystemet skall klara av 5 löpare parallellt.

Egenskaper som vi vet finns och som är viktiga:

- Basen skall vara "mobil" och ha batteribackup för kortare strömbrott.
- Basen skall klara samma väderleksförhållande som löparenheterna.

### 4.1.3 Mottagarprogram

- Skall ta emot positioner, kontrollera att det är rätt format på positionerna och i så fall lagra dessa i en databas.
- Skall kunna sända paket med kommandon till löparenheterna.

### 4.1.4 Presentationsprogram

Ett enklare presentationsprogram behövs för att under utvecklingsarbetet kunna se vad som händer. Till det slutliga demonstrationsexemplaret kommer däremot programmet RunOway, som Ulf Bergqvist kommer att anpassa till GPS-följning, att användas.

Enklare presentationsprogram:

- Kunna välja olika kartor.
- Kunna passa kartan mot koordinater.
- Kunna hämta och plotta de inkomna positionerna från databasen.
- Behöver inte ha stöd för att följa flera löpare parallellt.

Det mer avancerade programmet skall förutom ovanstående saker även:

- Kunna följa minst fem löpare parallellt, visa dem med olika färger/symboler.
- Man skall kunna välja vilken del av banan man vill se på, scrolla runt på kartan.
- Man skall kunna välja vilken/vilka löpare som skall visas på skärmen.

### 4.1.5 Övergripande

Kostnaden för ett komplett demonstrationssystem är hög. Alternativet som vi förespråkar är att man lånar/hyr utrustning för ett nät, fasta stationer eller mobila för att förbättra täckningen. Själva Mobitex-abonnemanget kommer att vara kostsamt om man skall köpa sådana kommersiellt. Om man har ett helt autonomt nät som man själv styr över försvinner dock den kostnaden. Om man använder sig av en operatörs tjänster är det bättre att ett avtal om lån eller tillfälliga abonnemang skrivs.

Löparenheterna bör inte kosta mer än 5000 kr styck eftersom denna kostnad blir reell, det vill säga man kan inte låna sådana utan de måste byggas

ihop av delar som inköpts. Kostnaderna för enheterna stannar nästan vid hårdvaran, det enda som kostar är batterier till driften.

Löparna skall kunna följas med  $\pm 15$  meters precision vilket innebär att kartan genomgående måste hålla en god kvalitet. Om inte kartan är tillräckligt bra kan man inte garantera att positionerna redovisas korrekt. Kartan bör helst vara så bra att varje punkt på den ligger inom 10 meter från den position man skulle fått med GPS-bestämning av samma punkt.

## 4.2 Hårdvaran

Utrustningen är inköpt eller lånad av tillverkare/återförsäljare. De delar vi tillverkat själva är kablage, interface och höljen. Löparenheten består huvudsakligen av en GPS-mottagare (ett GPS-kretskort med tillhörande spänningskälla samt en antenn) och en Pager (datapaketsöverförare).

### 4.2.1 Löparenheten

Löparen bär löparenheten i en sele. Det löparenheten skall göra är att kontinuerligt erhålla löparens position via en GPS-mottagare samt sända den informationen till en databas. Löparenheten består av en GPS-mottagare med batteri (3,6 V), en Mobitex-pager med batteri (1,5 V AA) samt kablar.

GPS-kortet placerades i en liten hårdplastlåda för att bli bättre skyddad från mekaniskt våld. Lite mjukplast runt kretskortet hindrar det från att hoppa omkring i lådan. I lådan ryms även två spänningsstabilisatorer, en för GPS-kortets drivspänningsingång och en för ingången från pagern. GPS-kortet drivs med 3,3 ( $\pm 0,3$ ) V men eftersom vi använder oss av ackumulatorer med högre spänning måste denna sänkas för att inte kortet skall gå sönder. Likadant är det med ingången från pagern vilken ligger på RS232-nivå, 12 V, medan kortet bara klarar av TTL-nivå, 5 V.

Ut ur lådan dras kablar för anslutning till antenn samt spänningskälla. Det hela monteras på en sele avsedd för batterier till pannlampor och inplastas sedan för att skydda mot fukt och svett. Selen visas i figur 4.1.

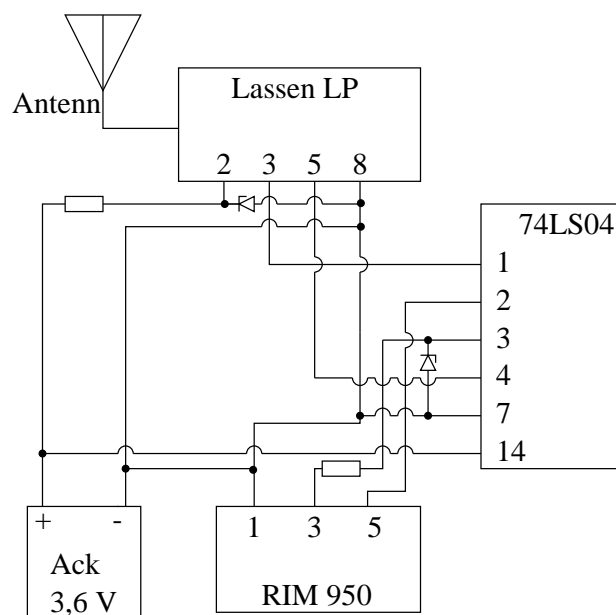


Figur 4.1: Löparenheten monterad på selen.

Interfacen mellan de olika komponenterna visas i figur 4.2 i form av ett kopplingsschema. I figuren syns GPS-kortet Lassen LP, inverteraren 74LS04, RIM pager 950 samt ackumulatören. Pagerns batteri är inte med.

I nedanstående kopplingstabeller (tabell 4.1, 4.2 och 4.3) står GPS för GPS-kortet Lassen LP, Inv för inverteraren 74LS04 och Pag för Pagern RIM 950. Siffran står för vilket pinnummer som åsyftas, till exempel står "GPS 2" för GPS-kortets andra pinne.

Pinnarnas funktion förkortas med följande förkortningar: PWR = Power, Tx = Transmit, Rx = Receive samt GND = Ground.



Figur 4.2: Kopplingsschema över löparenheten. Siffrorna på de olika komponenterna står för respektive pin-nummer. Notera att alla pinnar inte används.

GPS-kort (Lassen LP)		
Pin	Funktion	Kopplas till
2	PWR	Ack+ via motstånd, Z-diod till pin 8
3	Tx1	Inv 1
5	Rx1	Inv 3
8	GND	Pag 1, Inv 7, Ack-, Z-diod till pin 2

Tabell 4.1: Kopplingar för GPS-kortet Lassen LP.

Pager		
Pin	Funktion	Kopplas till
1	GND	GPS 8, Ack-
3	Tx	Inv 3 via motstånd
5	Rx	Inv 2

Tabell 4.2: Kopplingarna för Pager 950.

Hex Inverter (74LS04)		
Pin	Funktion	Kopplas till
1	Rx1	GPS 3
2	Tx1	Pag 5
3	Rx2	Pag 3, Z-diod till pin 7
4	Tx2	GPS 5
7	GND	GPS 8, Z-diod till pin 3
14	PWR	Ack+

Tabell 4.3: Kopplingar för HEX Inverter 74LS04.

## GPS

GPS-mottagaren består av två delar; ett GPS-kort (Lassen LP GPS Module) och en antenn. Den tillhörande antennen tar emot signalerna från GPS-satelliterna. Kortet behandlar dessa signaler som innehåller all information som behövs för att räkna ut mottagarens position. Kortet har en processor som beräknar detta och som sedan skickar detta till kommunikationsporten som kortet har. Det finns ett antal olika protokoll som kortet förstår sig på. TAIP, TSIP och NMEA används för att skicka ut koordinater och statussignaler samt ta emot kommandon om vissa inställningar i kortet. RTCM används för att ta emot signaler från en DGPS-mottagare.

**Lassen LP GPS Module** GPS-kortet har dimensionerna 66 x 32 x 12 mm och det väger 12,5 gram. Kontakterna utgörs av en kontakt till antennen och en 8-pinnars (2x4) port för drivspänning och kommunikation. Drivspänningen är 3,3 (+/- 0,3) V och strömåtgången är maximalt 67 mA (55 mA om antennen inte är inkopplad) [10].

**Antenn** Antennen tar emot de högerpolariserade signalerna från GPS-satelliterna. Antennen har dimensionerna 42 x 50,5 x 13,8 mm och den är vattentät.

## Pager

Till överföringen av positionsdata använder vi oss av Research in Motion:s RIM Interactive Pager 950 [11].

Processorn i den är en 32-bitars Intel386 och den har 4MB flashminne samt 512 kB SRAM. Storleken är 64 x 89 x 24 mm och den väger cirka 140



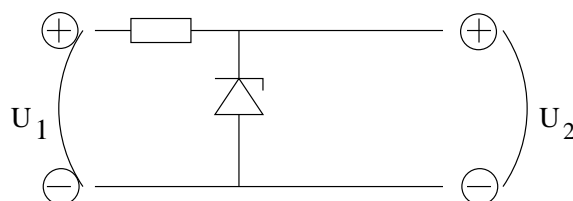
gram (batteri inkluderat). Den har en 14-pinnars Molex-kommunikationsport och en sex- eller åttaradig (valbart) LCD-display.

Pagern RIM 950 använder sig av frekvenserna 890-935 MHz. Den kan ställas in på olika frekvenser beroende på vilken tillämpning den skall användas till.

### Strömförsörjning

För att driva GPS-kortet använder vi oss av ackumulatorer. Tre huvudgrupper kan urskiljas av dessa; Blyackumulatorer, nickel-kadmium (NiCd) samt nickelmetallhydrid (NiMH) [9]. Blyackumulator är inte intressant att använda, eftersom sådana ackumulatorer väger för mycket. NiCd och NiMH har båda hög energidensitet, de väger lite i förhållande till hur mycket energi de kan lagra. Livslängden är god för båda modellerna, om man använder de som cykliska batterier, det vill säga laddar ur dem helt innan uppladdning påbörjas igen. Om man inte laddar ur dem fullt kan en minneseffekt göra sig gällande i ackumulatören, vilket ger den lägre kapacitet.

Deras temperaturberoende är ungefär likadana, de bör användas inom det rekommenderade området för att fungera bra. NiMH är känsligare än NiCd vad gäller laddningen, man måste övervaka dem mer eftersom de är känsligare för överladdning. Vid överladdning försöker man pressa i mer ström genom en fulladdad ackumulator. Detta orsakar värmeutveckling och NiMH är tätare byggda än NiCd och är därför mer temperaturkänsliga. Största skillnaden är dock att NiCd är så mycket mer miljöfarligt, på grund av kadmiumet som finns i ackumulatören. Till GPS-kortet valde vi en 3,6 V återuppladdningsbar NiCd-ackumulator på 700 mAh, men vi provade även en NiMH på 1400 mAh. Deras spänningar kan dock när den är fulladdad överstiga den maximalt tillåtna 3,6 V, vilket gör att vi måste sänka spänningen. I mätningar har vi uppmätt 4,14 V som största värde initialt efter uppladdning. Spänningssänkningen åstadkoms genom en koppling som i figur 4.3. Dioden är en zenerdiod.



Figur 4.3: Bild på spänningsstabilisator

Till pagern använder vi vanliga (torr-) brunstensbatterier, eftersom de

har större kapacitet än laddningsbara ackumulatorer. Dessa kan användas en gång och sedan måste de bytas. I utprovningsfasen använde vi dock NiCd-ackumulatorer, men det visade sig att när de tappat spänning (efter en tids användande) orkar de inte driva den nödvändiga strömmen vilket påverkar pagerens räckvidd negativt.

### Sele och kablar

Den första selen vi testade byggdes av delar från Letrosport [33]. Avsikten med selen var att den skall:

1. Kunna fästa GPS-antennen stadigt på ena axeln för bästa signalmottagningsförhållanden.
2. Skall vara rivsäker från kvistar och grenar, därför måste den rymmas under en tröja.
3. Fästa pagern på andra axeln, eftersom vi då trodde att det var nödvändigt.
4. Kunna fästa ackumulator och de onödiga kablar som vi ännu inte skalat bort på ett sätt med låg tyngdpunkt.
5. Vara lätt och inte störa löparens rörlighet, ej heller vara obekväm.

I en andra omgång använde vi oss av en sele av skumplast som tillverkats av BÅ-teknik. Selen är något lättare och den är lite smidigare. Vi hade då kommit på att pagern inte alls behöver sitta på axeln utan att den fungerar lika bra på ryggen, och det var då inte nödvändigt med en sele som är lika stadig över axlarna, eftersom endast GPS-antennen skulle fästas där.

Efter tester kan vi konstatera att vikten inte alls utgör något problem, inte ens när vikten var drygt 500 gram totalt. När vi testade med dubbla enheter på en sele blev det dock tungt och obekvämt på grund av de tunna remmarna över axlarna.

Det som spelar störst roll för komforten är att det skall vara en plan yta mot ryggen. Om man har för tjock klump blir det för högt tryck mot ryggen. Det bästa är att sprida ut enheten på en så stor yta som möjligt.

### 4.2.2 Stationära delarna

För att kunna ta emot datapaketerna med uppgifter om positioner från löpar-enheterna måste man ha en BAS som tar emot och skickar vidare paketen in till ett radiomodem, Mobidem, som kan transportera paketen in till ett mottagarprogram i datorn.

### Basstationen

En basstation är den som håller kontakten med löparenheternas pagerar. Basen vet vilka enheter som finns inom täckningsområdet och den tar emot och skickar paket från och till pagern.

Basstationen BAS BRU3 består av en vädertålig metallväska på 18 kg som innehåller elektronik och ett backup-batteri. Till den kopplas strömförsörjning, 220 V från exempelvis ett bensindrivet elverk samt en antenn. Vi använder oss av en antenn på 1,5 meter, vilken kan bytas ut mot en mindre (med sämre täckning) eller en större (med större täckningsområde).

Antennen väger 5,5 kg och är 1543 mm hög. Den fästs i ett vertikalt rör av diametern 50-94 mm. Antennen kan leverera en effekt på 500 W. Antennen skall jordas via en kopparkabel på 22 mm<sup>2</sup> för att skydda mot åsknedslag.

Basen styrs via en COM-port till vilken man kopplar en PC (bärbar) med ett hyperterminalfönster. Basen startas med en 15 minuters uppvärmning och är sedan klar att användas, om man inte skall koppla in den mot ett större nät.

### Radiomodem

Radiomodemet tar emot signalerna från Mobitexnätet och skickar in dem i datorn via dess COM-port. Modemet drivs med 12 V likspänning. En liten antenn skruvas fast på dess utsida, men man kan montera andra antenner för att förbättra mottagningen.

### X.25-länk eller telefonförbindelse

Ett alternativ till att sända radiosignaler mellan basstationen och mobidemet är att koppla upp en länk som kör med nätverksprotokollet X.25. Detta gör att överföringshastigheten kan ökas, eftersom radioöverföringen är mycket långsammare, på grund av sändningsluckeförfrågningar med mera.

Man kan även köra med MASC-protokollet på så sätt att man från BAS:en via en (telefon-)lina kopplar in sig på det stora nätverket. Via en annan lina kopplar man så in ett telefonmodem istället för radiomodemet, som i sin tur är kopplat till datorn. För programvaran spelar det ingen roll på vilket sätt signalerna kommer till modemet, om det är via radio eller telefonlina.

Basstationen kan användas som en fristående enhet som tar emot och skickar data, eller så kan man koppla in den mot ett större Mobitexnät genom att ansluta via en telefonlänk. Basen kopplas till ett modem hos operatören (Ericsson). Från denna anslutning har basen kontakt med en MOX, och kan

då även använda sig av stationära master för utsändningen av data till mottagardatorn/mobidemet.

### Datorn

De enda hårdvarukrav vi har på datorn som skall sköta mottagningen är att det är en PC och att den har en ledig COM-port. Datorn skall ha "hyfsad" prestanda enligt år 2001 års standard.

## 4.3 Mjukvaran

För att styra systemets dataflöden har vi använt oss av olika program som styr de olika elektroniska delarna i systemet. Vi har använt oss av tre olika sorters program för att utveckla applikationen. Dessa är

- Färdiga program: Windows, MS Access, MySQL
- Egenproducerade program: Pagerprogrammet -som sänder positioner, OPOSS - vårt provisoriska presentationsprogram, Mottagarprogrammet (modifierad kod)
- Program som andra gjort/modifierat i samarbete med oss: RunOway - alternativets presentationsprogram

### 4.3.1 Färdiga program

#### Windows

Detta operativsystem är ett måste för att kunna köra nödvändiga program. Versioner som fungerar är Windows 98/NT/2000.

#### Access

Databassystemet MS Access måste vara installerat. Access hanterar den databas vi behöver för att kunna lagra inkomna positioner samt hämta dessa till presentationsprogrammet. Databasen innehåller en tabell med namnet "positions". Varje post i tabellen har fält innehållandes MAN-nummer (Mobitex Access Number) som är pagerns och därmed löparens ID-nummer, datum- tidsangivelse samt longitud och latitud. Ett indexfält med löpnummer är inkluderat för att förenkla för presentationsprogrammet RunOway att hitta de senast inlagda positionerna. Så fort mottagarprogrammet får in

en position skrivs den till databasen. Presentationsprogrammen läser kontinuerligt i databasen och plockar då fram eventuella nytillkomna positioner som presenteras på skärmen. Access har en begränsning på 2 gigabytes databasstorlek varför det kan bli aktuellt att i ett framtida läge byta till något annat databassystem. Det kan även vara anledning att göra detta för att bli mer kompatibel med eventuella övriga program systemet samarbetar med. Inom ramen för examensarbetet har dock Access fungerat bra. Alla databaskopplingar sköts via ODBC (Open Database Connectivity) som är ett programmeringsinterface för att sköta just kopplingar till databaser av olika slag.

## MySQL

MySQL måste vara installerat om RunOway skall köras som presentationsprogram. Detta eftersom RunOway använder sig av en MySQL-databas. Vi har inte själva skrivit något program som använder sig av MySQL varför vi inte här ger någon närmare beskrivning.

## GPS-kortets programvara

Även om GPS-mottagaren i den bärbara delen av vårt system innehåller mjukvara så är det enbart pagerns som beskrivs i detta avsnitt. Detta då systemet enbart kommunicerar med GPS-mottagaren via dess serieport vilket innebär att vi själva inte direkt manipulerat GPS-mottagarens mjukvara utan enbart använder det standardgränssnitt för kommunikation som de tillgängliga protokollen utgör.

Hur positionsbestämningen i GPS:er fungerar i allmänhet finns att läsa om i avsnitt 3.1.5, Mottagarpositionsbestämning.

## 4.3.2 Egenproducerade program

### Sändarprogrammet

Programspråk: C++

Mjukvaran i pagern, som innehåller en 386-processor, består dels av operativsystemet och dels av de olika applikationsprogrammen som körs på den. Det finns en uppsjö av olika applikationer till pagern alltifrån kalender och klocka till mail-klient och små spel. RIM (Research In Motion), företaget som tillverkar pagern, tillhandahåller ett API (Application Programmers Interface) att användas av personer som vill utveckla applikationer till pagerna. Detta har utnyttjats för att skriva ihop en egen applikation som utför de

uppgifter som skall utföras. Pagerapplikationen skapas i C++ där den kompileras till en dll-fil som sedan laddas in i pagern via dess serieport för att sedan exekveras från filsystemet där.

**Teori** Till pagerns serieport är alltså ett GPS-kort kopplat. Pagerapplikationens uppgift är dels att sköta kommunikationen med detta GPS-kort och dels att sköta kommunikationen med Mobitex-nätet. Applikationen skall:

- Ta emot data (positioner) från GPS-mottagaren samt behandla och omforma dessa till mpak:s med det innehåll som skall skickas till databasen.
- Använda sitt radiomodem till att skicka MPAKs med erforderlig data över Mobitex till en känd mottagare.
- Ta emot instruktioner via Mobitex. Mobitexsystemet och pagern har alltså möjlighet till tvåvägskommunikation. Följaktligen har vi skapat ett litet protokoll som beskriver de kommandon/paket systemet just nu kan skicka till och från pagern. Detta protokoll beskrivs längre fram.

GPS-kortet kommunicerar med hjälp av ett textbaserat protokoll kallat TAIP (Trimble Ascii Interface Protocol), med vilket kommandon som reglerar de olika inställningarna kan skickas. Dessa inställningar talar om för kortet vilka data det skall spotta ur sig och hur ofta, vilket protokoll som skall användas, hur mycket statusinformation som skall skickas och liknande. För en komplett genomgång av alla kommandon TAIP kan använda sig av hänvisas till [10]. Den typ av datapaket vårt system nyttjar för positionering är ett av de allra mest grundläggande paketen och benämns PV-paket där PV står för Position/Velocity. Som namnet antyder innehåller detta paket data om bl.a. mottagarens position och hastighet. Positionerna i ett PV-paket anges som latitud och longitud i grader och med 5 decimaler. Paketet innehåller också information om vilken tidpunkt positionen gäller och även detta använder vårt system sig av. Utöver detta innehåller paketet en del data vi inte bryr oss om att utnyttja såsom GPS-mottagarens hastighet och riktning.

För radiokommunikationen använder pagern Ericssons Mobitex-system. Mobitex bygger på paketbaserad dataöverföring vilket innebär att meddelanden skickas som paket och att man följaktligen inte behöver en dedikerad linje till mottagaren. Det som skickas är s.k. MPAKs (Mobitex Packages) som består av ett pakethuvud med uppgifter om sändare, destination och liknande samt en datadel innehållandes den information man vill överföra. API:et innehåller funktioner för att sända MPAKs och som tidigare nämnts

skickas med hjälp av dessa information om löparens id, position samt en tidsangivelse.

Precis som det finns funktioner för att skicka MPAKs så finns det även funktioner i API:et för att ta emot MPAKs. När det kommer ett MPAK adresserat till en enhet undersöks det om det är någon av de instruktioner som ingår i vårt protokoll. Om så är fallet utförs denna handling, annars antas det att det är ett feladresserat paket och följaktligen lämnas det då utan hänseende.

**Praktik** GPS-mottagaren och pagern kommunicerar via sina respektive serieportar. Då pagern har såväl radiomodem som knappar och bildskärm med möjlighet att visa menyer faller det sig naturligt att programmen som skrivs till den är händelsestyrda. Efter en eventuell initiering väntar ett händelsestyrt program på händelser utifrån och reagerar på dessa. Exempel på händelser som en pagerapplikation kan välja att reagera på är till exempel knapptryckningar, mottagna MPAKs, låg batteristatus, eller inkommande data via serieporten.

Under utvecklings- och testfasen har såväl knappar som skärm använts för att testa olika funktionalitet och skynda på testningen med hjälp av statusutskrifter. I den slutgiltiga versionen är funktionaliteten bakom dessa dock bortkopplad så att löparen inte kan interagera med sin enhet. Möjlighet att fuska med hjälp av enheten finns inte ändå men om till exempel knapparna skulle vara aktiverade skulle kanske sändningen omedvetet kunna inaktiveras om löparen kom åt dem.

Applikationen består alltså dels av en initieringsdel som körs när man aktiverar programmet och dels av en händelsesnurra. Det viktigaste som görs i initieringsdelen är att serieporten öppnas och GPS-mottagaren beordras att inte skicka ut någon information alls. Anledningen till att vi inte vill ha någon information är att vi gör all styrning av GPS:en över Mobitex. De händelser som vi väljer att hantera i programmet är av klasserna radio och com, inom varje händelseklass finns ett antal olika händelser. Precis som namnet antyder så signalerar händelserna av klassen com att någonting hänt som har med pagerns serieport att göra. Den viktigaste händelsen av detta slag är för oss CommRxAvailable som indikerar att det kommit in data genom serieporten som väntar på att någon skall ta hand om den. Data som kommit läses in och det kontrolleras att det är ett PV-paket eftersom detta är den enda pakettyp som aktiveras när sändningen slås igång. Ur detta paket plockas position och tid vilka läggs in i ett MPAK som sedan skickas iväg till mottagaren över Mobitex.

Den andra viktiga händelseklassen för vår del är radio-händelserna i vilken

MessageReceived intresserar oss mest. Av namnet framgår tydligt att det är på detta sätt man får reda på att det anlänt ett paket från Mobitexnätet. När vi får denna indikation hämtas paketet, dess innehåll analyseras och därpå reagerar programmet enligt vårt förutbestämda protokoll. De kommandon som kan fås är till exempel “påbörja sändning”, “ändra sändintervall” och “avsluta sändning”. Andra händelser genereras bl.a. när man lyckas skicka ett meddelande till Mobitexnätet eller när ett försök att skicka ett meddelande av någon anledning, till exempel dålig täckning, inte lyckas.

Händelser ur klassen keypad signalerar för olika former av tangentbordsaktivitet. Numera reagerar applikationen inte på händelser ur denna klass, även om det gjort det tidigare under utvecklingsfasen.

**Felhantering** Indata till programmet kommer antingen i form av MPAKs över Mobitex eller i form av TAIP-paket från GPS-mottagaren. Skulle det dyka upp ett paket applikationen inte känner till från någon av dessa två källor ignoreras det helt sonika.

### Mottagarprogrammet

Programspråk: C++

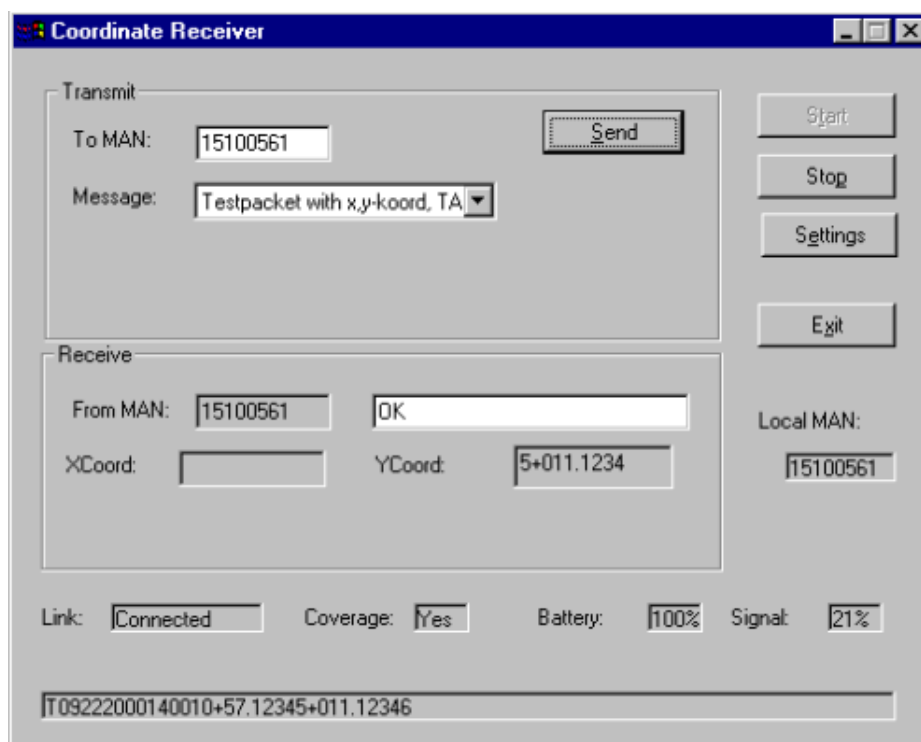
Mottagarprogrammet ligger i den dator till vilket det radiomodem som löparenheterna sänder till är kopplat. Applikationens uppgift är att sköta datahanteringen mellan Mobitexnätet och databasen. Den skall alltså sköta radiomodemet och med hjälp av detta ta emot MPAKs från Mobitex, kontrollera att de innehåller positioner och lägga in dessa positioner och tidsangivelser i Access-databasen. Utöver detta skall programmet också kunna sända de kommandon till pagern som ingår i vårt specificerade kommunikationsprotokoll.

**Praktik** Även till detta radiomodem finns det ett API med ett antal funktioner för att den som utvecklar program lätt skall kunna kommunicera med modemmet. Programmet har ett simpelt grafiskt gränssnitt som gör att man kan se när det kommer in paket med koordinater. Gränssnittet visas i figur 4.4

Användaren har även möjlighet att fjärrstyra löparenheterna genom att välja kommando från en lista och skicka dessa till valfri löparenhet. I gränssnittet kan man även se modemets status och signalstyrka.

Precis som pagerapplikationen är detta program händelsestyrt. Initieringsrutinerna slår på och initerar modemmet och talar om för det att vi är intresserade av att ta emot eventuella MPAKs. De tar också reda på lite statusinformation såsom om modemmet har kontakt med Mobitex, hur stark





Figur 4.4: Skärmdump från vårt mottagarprogram.

signalen är och hur stark batteristyrkan är. Rutinerna låter också användaren välja vilken databas som skall användas.

Eftersom applikationens huvudsakliga uppgift är att skicka och ta emot paket reagerar den naturligtvis på händelserna `Send`, som uppstår när användaren trycker på användargränssnittets sändknapp, och `PacketReceived`, som uppstår när modemmet tar emot ett paket från Mobitex. När ett paket tas emot från Mobitex visas i en av användargränssnittets rutor vilket MAN-nummer paketet kom ifrån. En kontroll genomförs därefter av att paketet följer vår standard för hur paket med tid och positioner skall se ut. Paketet klassificeras också som antingen TAIP eller NMEA (National Marine Electronics Association) paket beroende på hur det ser ut. NMEA är ett protokoll som den Garmin-tillverkade GPS-mottagare vi också testat med använde sig av. Numera kommer inga sådana paket då systemet enbart använder sig av TAIP, men denna kontroll ligger kvar ändå i fall om att man i framtiden skulle byta protokoll igen. Beroende på vilket protokoll mottagaren har haft ser de skickade paketen lite olika ut och därför finns det olika rutiner som plockar ut positionerna ur dem och formerar en databas-sträng med MAN-nummer,

tid, latitud och longitud. Vid skrivning till databasen anropas den med C-funktionen `ExecuteSQL` som tar en sträng och skickar rätt in i databasen som en SQL-sats. SQL (Structured Query Language) är det standardiserade språk för kommunikation med databaser som bland andra Accessdatabasen använder sig av. När det skickas ren SQL till databasen är det den anropande applikationen som har ansvaret för att satserna är korrekt uppbyggda. Om så inte är fallet riskerar programmet att krascha och därför är det alltså viktigt att det kontrolleras att paketen följer standard så att svårigheter undviks.

När användaren trycker på gränssnittets sändknapp läser programmet av vilken destination användaren valt och vilket kommando som har markerats i kommando-listan. Beroende på vilket alternativ som valts skickas sedan ett paket med motsvarande kommando.

Övriga händelser som applikationen reagerar på och meddelar användaren är till exempel förändringar i modemstatusen, om ett paket användaren vill skicka har levererats till Mobitexnätet eller om sändningen misslyckades av någon anledning.

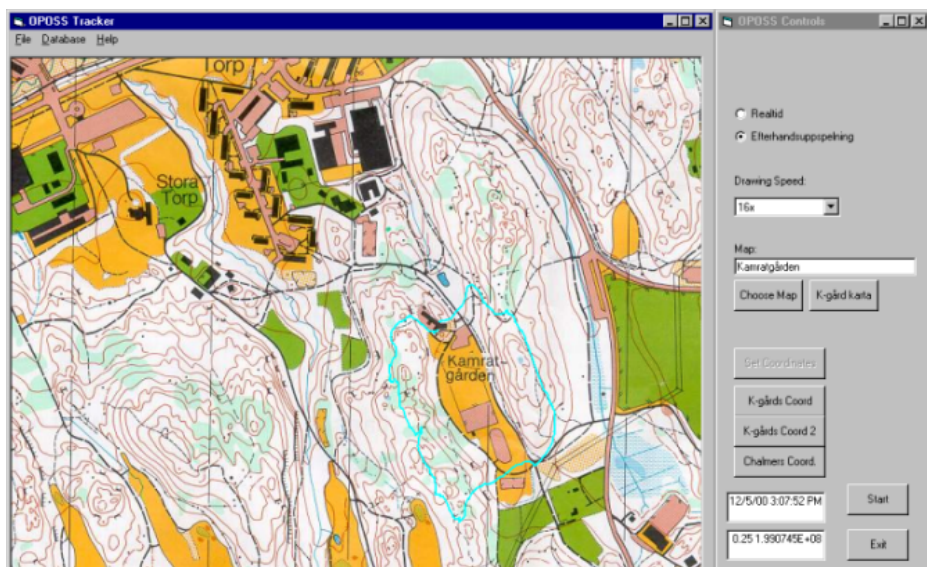
**Felhantering** Felhanteringen är inte särskilt omfattande. Den största delen ligger i kontrollen av att inkomna paket följer standard. På så sätt undviks att applikationen försöker exekvera felaktiga SQL-satser som antingen får databasen att innehålla felaktiga värden eller får applikationen att krascha. Om paketen inte följer denna standard antas det vara antingen ett felaktigt adresserat paket eller innehålla korrupt data och paketet ignoreras då av vår applikation. Det finns även ett positionsfilter implementerat. Detta filter räknar utifrån koordinaterna och tiden ut hur snabbt enheten rört sig sedan den förra positionen. Om den rört sig med en hastighet större än ett uppsatt gränsvärde så antas det att värdet är felaktigt och paketet ignoreras. Filtret är implementerat men då det inte har hunnit testas i någon omfattning är det i dagsläget inte påslaget. Anledningen till att filtret bör finnas är att GPS-mottagaren ibland skickar positioner som är uppenbarligen felaktiga. Detta är ett sätt att undvika att dessa presenteras för användaren.

**OBS!** Ärligheten kräver att det erkänns att hela applikationen inte är skriven av oss även om det mesta nu är vår kod. Från början var det en exempelapplikation som fanns för att demonstrera hur de olika funktionerna i radiomodemets API används. Användargränssnittet och koden som följde med har sedan utvidgats och modifierats av oss.

## Presentationsprogrammet -OPOSS

Programspråk: Visual Basic

I utvecklingsfasen, innan anpassning av Alternativets RunOway till vårt system hade gjorts, skrevs ett eget enklare presentationsprogram som fick namnet OPOSS. En skärmdump på hur det ser ut visas nedan i figur 4.5



Figur 4.5: Skärmdump på vårt eget presentationsprogram.

Programmet är en enklare applikation än RunOway men uppfyller de grundläggande krav man kan ställa på en presentationsapplikation. Huvuduppgiften är att plocka positioner ur databasen och presentera dessa på bildskärmen. Detta görs genom att applikationen kontinuerligt läser av Access-databasen, hämtar upp eventuellt nyinkomna värden och drar en linje mellan senast inlästa värde och det nya. En begränsning med applikationen är att den enbart klarar av en löpare i taget då den inte tar hänsyn till löparenhetens MAN-nummer. Positionerna presenteras alltså som en heldragen linje. Det kan diskuteras huruvida det är bättre med punkter som rör sig än en linje som blir längre och längre eller tvärtom men båda sätten har sina för- och nackdelar. Fördelen med en heldragen linje är naturligtvis att man lättare kan se missar och snedsteg i takt med att linjen växer fram. Den stora nackdelen är att det tenderar att bli rörigt när linjen blir lång eller löparen återvänder till en punkt han redan passerat.

För att kunna presentera löparens väg krävs att man först i applikationen importerar en karta och passar in den. Kartan kan vara vilken bildfil som helst man har i något av formaten jpg eller bmp som är de bildformat Visual Basic klarar av.

**Praktik** VB-programmet är som de andra också det händelsestyrt. I och med att det har ett mer omfattande gränssnitt än de andra applikationerna och varje interaktion med detta i form av till exempel knapptryckningar och menyval genererar en händelse så finns det också många fler händelser än i de andra applikationerna.

Programmet kommunicerar enbart med användaren och databasen ur vilken det alltså får all sin indata. När programmet startas upp måste man först koppla upp sig mot en databas vilket görs med en enkel dialogruta där existerande databaser finns angivna. Bland kontrollerna finns även en knapp för att välja karta. Om användaren trycker på den kommer det upp en 'Open File'-dialog som är en standarddialog i VB och Windows. Där får man sedan på sedvanligt Windows-vis leta sig fram till sin bildkatalog och markera en fil att öppna. Det sista man måste göra för att kunna följa en löpare på den valda kartan är att passa in den i skärmens koordinatsystem. Datorskrämen använder ju inte longitud och latitud utan X och Y för att representera en position och därför behöver alla inkomna positioner transformeras mellan dessa två system. För inmätningen krävs att 3 punkter anges med både latitud/longitud och X/Y. Detta sköts genom att användaren klickar på de aktuella punkterna på kartan och matar in latitud och longitud varpå programmet läser av deras skärmkoordinater.

När detta är gjort på 3 punkter räknar programmet fram den nödvändiga koordinattransformationen.

Koordinattransformationerna för Chalmers och Kamratgården som är de två mest flitigt använda testområdena är hårdkodade och det räcker med en knapptryckning för att dessa skall läsas in, detta för att slippa göra samma angivelser gång efter gång.

När detta är klart är det bara att välja realtidsföljning eller återuppspelning och trycka på start. Om realtidsföljning är valt renas den aktuella databasen varpå applikationen kontinuerligt läser av den i väntan på nya värden. Om återuppspelning är valt läses de aktuella värdena in i tidsordning och en linje ritas upp. Återuppspelningshastighet kan väljas i en ruta och om den inte är satt till 'omedelbart' så räknar den fram hur lång tid det är mellan två positioner och ritas i den valda hastigheten. Ett värde på '8x' gör alltså att två positioner som är 8 sekunder mellan ritas med enbart en sekunds mellanrum.

**Felhantering** Någon egentlig felhantering förekommer inte i detta program. Man skulle kunna tänka sig någon form av positionsfilter även här men det är inte implementerat. Värdena i databasen presenteras alltså 'rätt av', utan vidare kontroll.

### 4.3.3 Andras program

Orienteringslöparna

AlternativetOrienteringsförening som driver portalen Alternativet.nu (Ulf Bergqvist) har gjort om sitt RunOway så att det kan presentera GPS-genererade positioner i realtid.

#### RunOway

Programspråk: Java

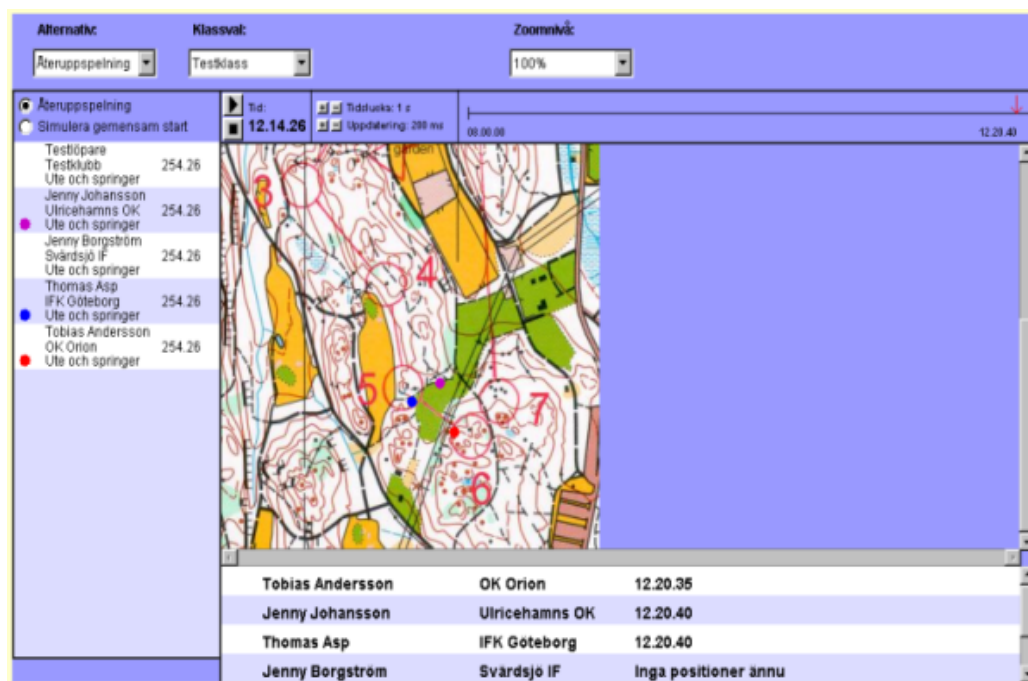
RunOway är Alternativets program för presentation av löparens vägval, med eller utan GPS. Programmet är skrivet av Ulf Bergqvist och bygger ursprungligen på att löparen efter ett lopp ritar in sitt vägval på en dator där kartan ligger inläst i RunOway. Därefter kan man välja att spela upp de olika löparnas lopp. Detta sker genom att programmet importerar sträcktiderna mellan kontrollerna från SportIdents elektroniska stämpnings- och tidtagningssystem för orientering. Programmet ser hur lång tid sträckan tagit och hur lång väg löparen ritat in och kan då räkna fram en medelhastighet på sträckan. Eftersom programmet ligger tillgängligt på internet ([www.alternativet.nu/runoway](http://www.alternativet.nu/runoway)) är det skrivet som en java-applet med bakomliggande stödprogram. Numera är programmet anpassat till vårt system och istället för att ta positioner från databasen med inritade vägval läser RunOway in vår tabell med tider och positioner.

RunOway är uppbyggt av ett antal moduler. Strukturen är kortfattat som följer:

- **mySQL-databas:** RunOways egen databas som vi inte själva rör.
- **GPSServer:** Styr mycket. Tar emot koordinater från Databasläsaren och lägger in dem i RunOway:s egen databas. Skickar koordinater till RunOway-klienterna.
- **Databasläsare:** Registrerar sig hos Servern. Läser ur vår databas och skickar koordinater till Servern.
- **RunOway-klient:** Själva appleten som man startar i sin Webbläsare. Innehåller användargränssnittet. Registrerar sig hos Servern och får all data, löpare, koordinater, banor, tävlingar m.m. av denna. Presenterar löparna som prickar som rör sig på en orienteringskarta man importerar i programmet.

Figur 4.6 visar en skärmdump av RunOway. Man ser där bland annat löparna med respektiva tid till vänster, även vilken färgprick som representerar löparna på kartan. En tidsaxel visar vilket tidsomfång databasen

spänner över. Uppe till vänster visas en rullgardinsmeny där man kan välja realtidsföljning eller återuppspelning i efterhand.



Figur 4.6: Bild på RunOway med GPS-följning, copyright Ulf Bergqvist

#### 4.3.4 Kommunikationsprotokoll

Här presenteras det protokoll vi själva specificerat för kommunikation mellan löparenheterna och mottagarprogrammen. Det blir alltså en genomgång av vilka olika Mobitexpaket vi använder för vilket kommando och vilken data vi lägger i dessa för att representera det vi vill.

##### Pager → Mottagare

**Positionspaket** De viktigaste paketen i vårt system är de löparenheterna skickar med positioner till mottagarprogrammet och därmed till databasen. De skickas över mobitex som pakettypen HP-Data med HPID (Higher Protocol ID) satt till 131 och deras datadel har följande uppbyggnad:

TMMDDÅÅÅÅHHMMSSABB.CCCCCDEEEE.FFFFF

T står för TAIP, det protokoll vår GPS-mottagare använder. När vi hade en annan GPS-mottagare stod det ett N här istället och resten av paketet

såg något annorlunda ut. MMDDÅÅÅÅHHMMSS är tiden för positionen angiven i ordningen månad, år, dag, timme, minut, sekund.

A är antingen + eller - beroende på om efterföljande latitud är positiv eller negativ, det vill säga nord eller syd om ekvatorn.

BB.CCCCC är latitud angivet i grader och delar av grader och kan då vara  $-90^\circ < \text{latitud} < 90^\circ$ .

DEEE.FFFFF är detsamma som ABB.CCCCC fast med longitud istället vilken kan vara  $-180^\circ < \text{longitud} < 180^\circ$ .

**Statuspaket** Tanken är att mottagaren skall kunna fråga efter en statusrapport och få det via detta paket. Detta är dock inte implementerat utan blev kvar på planeringsstadiet. Saker som skulle kunna vara av intresse att få reda på från en löparenhet är exempelvis batteristatus och GPS-status.

#### Mottagare → Pager

**Kommandopak**et Fjärrstyrningen av våra enheter sker med hjälp av ett antal kommandon som kan sändas från mottagaren till enheterna. De kommandon som finns tillgängliga i systemet är:

- Starta sändning.
- Stoppa sändning.
- Ändra sändintervall till  $X$  sekunder.

För att dessa kommandon skall gå snabbt att skicka till löparenheterna skickas de som Mobitex statuspaket. I ett statuspaket finns det plats för en byte, det vill säga 8 bitar med data. De olika kommandona kodas i vårt paket enligt följande:

- Starta sändning: Bit 1 satt, bit 2 ej satt.
- Stoppa sändning: Bit 2 satt, bit 1 ej satt.
- Sändintervall: Bit 1 och bit 2 satta. Sändintervallet läggs i bit 5-8.

Alltså kan vi i dagsläget inte sätta ett större sändintervall än var 16:e sekund. Bit 3 och 4 används ej för tillfället men är reserverade för framtida användning såsom till exempel den begäran om löparenhetens status som omnämns i föregående stycke.

## 4.4 Inledande tester

Många tester har utförts för att dels ta reda på vilken GPS som lämpade sig bäst, men också för att se om och hur vårt system fungerade. Hur systemet utvecklades speglas i dessa tester, eftersom alla delar av systemet testades varje gång.

De inledande testerna gick ut på att undersöka GPS:ens prestanda samt undersöka om vårt eget presentationsprogram OPOSS fungerade. Efter det kunde vi koncentrera oss på att undersöka Mobitexnätets egenskaper. Parallellt med de senare testerna har vi provat det nya presentationsprogrammet RunOway.

Vi hade bestämt oss för att använda autonom GPS (icket med differentiell). Noggrannheten man får med en autonom mottagare är idag tillräcklig, eftersom störsignalen SA är borttagen. Den viktigaste parametern vi ville testa var inte precisionen (eftersom den knapptast varierar mellan modellerna) utan signalbehandlingen och vad den får för effekter.

Tester av vikt, strömförbrukning och storlek hade underordnad betydelse i detta skede, eftersom vi endast skulle bygga ett prototypsystem.

### 4.4.1 Steg 0: Inledande test

Testet gick ut på att undersöka om en enkel GPS-mottagare kunde få tillräcklig signalstyrka i skogen under lövverket, samt om precisionen var tillräcklig.

Ett inledande test skedde med en färdig GPS-mottagare (Garmin GPS 12).

Testet gick till så att en löpare i skogen bar med sig en bärbar GPS-mottagare i handen samtidigt som han gick och sprang i terrängen. Ingenting var kopplat till GPS:en utan det var bara dess trackingminne som användes. Den lagrar punkter var femte sekund.

Resultatet blev bra, det fanns täckning nästan överallt när man höll mottagaren i handen. Om man bar den på ryggen i en liten väska kunde det bli sämre, eftersom stor del av himlen avskärmades på grund av att kroppen var i vägen. Tester invid stup visade att det blir sämre mottagning när delar av himlen täcks, om man till exempel står nära nedanför ett stup. Det spelade ingen roll för mottagaren om hastigheten var hög eller låg, det blev samma precision ändå.

Slutsatsen blev att det var fullt tillräcklig täckning i skogen, trots lövverk. Man kunde se små svängar som löparen gjorde, tillräckliga för att vara intressant för en åskådare vid en orienteringstävling.



### 4.4.2 Steg 1: Lassen LP och Pager sänder koordinater

Detta steg skulle utvisa om det var möjligt att få bra GPS-mottagning i skog med Lassen LP samt hur täckningen med Ericssons fasta Mobitexnät var i skogen.

Det som användes var en Lassen LP Starter Kit som kopplades ihop med en Pager innehållande ett litet program som kunde sända koordinater via Mobitexnätet. Ett mottagarprogram fanns i en dator som var kopplad till ett mobidem som tog emot datapaketet.

En löpare gick omkring i skogen med utrustningen i en väska på ryggen. GPS-antennen placerades på huvudet med hjälp av en keps. Testet utfördes där en fast basstation borde ha relativt god täckning, en del av Änggårdsbergen i Göteborg. Löparen rörde sig dels på öppna områden, längs stigar men även i relativt tät skog.

Resultaten visade klart att vid denna låga hastighet var det inga problem med GPS-mottagning, de registrerade positionerna följde stigar och gångvägen väl. Dock blev antalet mätpunkter som registrerades i mottagardatorn begränsat eftersom Mobitextäckningen inte var tillräcklig i det aktuella området.

Lassen LP Starter kit klarar av att ge god noggrannhet vid låga hastigheter. Mobitextäckningen var inte så bra i skogen, förstärkande basstationer behövs. För övrigt fungerar sändarprogrammet, Mobitexöverföringen samt mottagarprogrammet bra.

### 4.4.3 Steg 2: Lassen LP i staden

För att undersöka hur programmen kunde göras bättre och för att förstå oss på GPS:ens filterfunktioner testade vi med samma utrustning som i föregående test, men nu i stadsmiljö. Anledningen till valet av stadsmiljön var att vi kunde få bättre Mobitextäckning samt att det var mer tidseffektivt att inte behöva åka så långt. GPS-antennens placering undersöktes.

Metoden var liknande den i steg 1, en person gick omkring med löparenheten i en väska. GPS-antenn placerades både på axeln och på huvudet.

Resultaten visade en sak vi inte avsett att testa, att Lassen LP inte klarar av den multipath som förekommer i en stadsmiljö med stora husfasader där GPS-signalerna studsar. Oftast var positionerna bra med precision på 10-15 meter, men allt för många positioner blev dåliga, rent av orimliga. Positionsfel på upp emot 100 meter förekom trots att de enligt teorin endast skall kunna bli 30 meter. Särskilt tydliga blev felen om man rörde sig nära husväggar eller järnstolpar. Delar av en uppritad gångväg kan ligga bra i position, men under vissa perioder kunde till exempel en rät linje flyttas en bit i sidled.

Det var svårt att avgöra om dataöverföringen fungerade bra, eftersom Mobitextäckningen inte var bra i staden heller. Resultaten var inte beroende av antennplaceringen.

Åter konstaterades att vi måste förstärka det lilla Mobitextestnätet för att få tillräcklig täckning. GPS-signalerna studsar bra mot ytor i stadsmiljö. GPS-mottagaren måste bytas till en som klarar av multipath bättre. Vi kunde inte dra slutsatser om programmen, eftersom många andra faktorer störde testerna. GPS-antennen kan lika gärna vara på axeln som på huvudet.

#### 4.4.4 Steg 3: Garmin GPS 35 i staden

En GPS som fungerar på vårt testområde krävdes, och en Garmin GPS 35 (lånad av Sportmanship i Billdal) testades för att se om den klarade av området med mycket studsande signaler. En extra BAS med en liten antenn användes för att eventuellt förbättra täckningen.

Pagern och programmet användes som i föregående test, om än med lite förbättrad programvara. GPS-modellen har filterfunktioner inbyggda, vilket gör att den kan eliminera effekter från multipath eller andra störande signaler. Den jämnar ut kurvan som plottas, och man kan ställa ner värdet på utjämnningen, men inte ta bort filtret helt och hållet. Resultaten blev mycket goda efter tester med filtret nedställt maximalt.

För att undvika fel uppkomna på grund av multipath testade vi sedan en GPS-mottagare med filterfunktioner som är till för att ta bort multipath. Det visade sig att när vi testade denna i stadsterräng fungerade det hela mycket bra. Den har ett filter i sig som man kan ställa. Filtret fungerar på så sätt att om GPS:en har färdats framåt utan riktningsändring under  $x$  sekunder kommer den att ta ett uppehåll på  $y$  sekunder (det är  $y$  som kan ställas) och beräknar var den borde vara då. Om GPS:en under denna tid då inga mätningar görs plötsligt byter riktning kommer den inte att hinna med, utan den "tar ytterkurvan". På de korta tester vi utförde skedde aldrig detta, dels för att vi inte hann färdas utan riktningsändring så länge, och dels för GPS-mottagningen var mestadels god. Att använda en mobil basstation gjorde att täckningen blev bättre, men den var inte tillräcklig eftersom täckningen var allt för begränsad i sitt omfång.

#### 4.4.5 Steg 4: Lassen LP och Garmin 35 i skogen

Ett slutligt test för att avgöra vilken av GPS:erna som skulle användas utfördes. Testet inkluderade även en större BAS-antenn för att se hur stort täckningsområde den ger.

Testet utfördes under tävlingslika förhållanden. En löpare sprang dels med Lassen LP och dels med Garmin, en i sänder, runt en kortare bana i skogen. Antenen och BASen var placerade mitt i tävlingsområdet, men nere i en sänka, mellan de två större höjdparter varpå banan gick.

Med Garmin i skogsterräng noterades att filtret som gjorde att resultatet i stadsmiljö blev bra gav motsatt effekt i skogen. Garmin gav en linje på vår löpning som inte överensstämde med den verkliga löpvägen. GPS:en utjämnade positionerna så att små svängar inte syntes men också så att det såg ut som att löparen sprang utanför banan, i ytterkurva. Lassen visade mer korrekta positioner, men den hoppade omkring mer. Vid dålig signal ger Lassen en dålig position, men Garmin ger då en punkt som extrapolation av föregående punkter. Täckningen med den stora antennen var klart bättre än med den lilla.

#### 4.4.6 Slutsater av testerna

Efter att vi nått så här långt stod det klart att vi skulle använda en Lassen LP. Vi vill ha en så obehandlad signal som möjligt, även om det innebär att den kan slinka igenom felaktiga värden. Ett filter gör att de små tvära svängar som en löpare kan företa sig kan jämnas ut, vilket inte är önskvärt.

Hädanefter används enbart kortet och inte hela starterkitet för att på så sätt minska vikten. Pagersn programvara ändras så att vi kan fjärrstyra den (slå av och på sändningen samt ändra sändningsintervallet), så att vi kan minska trafiken om Mobitexnätet riskerar att bli överbelastat. Pagersn kontaktdon ändades också till att vi lödde in kanlar direkt på kretskortet istället för att som tidigare använda klumpiga och instabila kontakter som glappade. En extra BAS ger mycket bättre täckning vilket är nödvändigt. Antennplaceringen var viktig för att få ett större täckningsområde.

Presentationsprogrammet OPOSS som vi själva programmerat kan bara redovisa en löpare i taget. För att få en proffsigare "look" på programmet och för att använda redan färdiga produkter tog vi nu hjälp av Orienteringslöparna Alternativet (Alternativet.nu) och Ulf Bergqvist som har gjort ett program för redovisning av löpares vägval och sträcktider. Det krävdes en hel del förändringar för att programmet skulle kunna hämta data ur vår databas. Programmet kan redovisa många löpare samtidigt med olikfärgade prickar på kartan.

## 4.5 Efterföljande tester

Efter de inledande testerna följde fler, med avsikten att testa olika metoder för att optimera systemet.

Bland annat testades olika sändningsintervall, och slutsatsen blev att en position var 6:e sekund var lämpligt ur presentationssynpunkt eftersom det behövs en ny position var 6:e sekund för att det inte skall kännas segt att titta på presentationen. Dessutom var det lämpligt eftersom Mobitexnätet klarade av den belastningen utan problem.

Hur långt bort från BASen man får täckning testades också. Det visade sig att den exakta antennplaceringen spelade stor roll. Det bästa är att sätta upp antennen på en så hög punkt som möjligt, och det bör inte vara stora höjder mellan antennen och området man vill täcka in. Blöt skog eller snö på marken verkade inte spela någon roll. Möjligen kan det göra det när det är löv på träden, vilket inte testades eftersom testerna utfördes vintertid.

Hur bra positioner som GPS:en gav invid höjder, i tät skog samt vid stillastående eller löpning testades. Inget klart samband kunde hittas, men ibland verkade det som att en multipatheffekt gjorde att positionerna försköts i sidled vid löpning längs med en större höjdfot och dylika ställen. I tät skog fick vi samma noggrannhet på positionerna som i gles skog. Däremot blev det bättre på öppen mark utan stora ytor i närheten där signalerna kan studsas.

Ingen skillnad i precision kunde heller konstateras om man står stilla jämfört med om man springer. Däremot syns felen mer om personen står stilla, eftersom det då ser ut som att löparen springer lite fram och tillbaka på stället. Vid löpning gör fel i positionerna endast att löpvägen ser lite krokigare och ojämna ut, men det blir så lite att man som åskådare inte störs av det.

Vidare utprovades alla nya versioner av programmen som används. Nyimplementerade funktioner fick ofta provas en gång i verkligheten för att en del buggar skulle uppdagas.

# Kapitel 5

## Resultat

Vi har visat att det är möjligt att i realtid följa orienterarens väg i skogen och att detta system i kombination med andra utgör en bra grund för att förbättra medie- och publikvänligheten inom orienteringssporten.

### 5.1 Systembeskrivning

Systemet som framtagits bygger på att löparen bär med sig en enhet med GPS-mottagare och radiomodem och att denna sänder positioner till en databas som sedan visualiseras på en bild/tv-skärm.

#### Löparenheten

Löparenheten består av en GPS-mottagare, en RIM Pager 950 innehållandes ett radiomodem samt batterier monterade på en sele. GPS-mottagarens antenn bärs på löparens ena axel, den övriga utrustningen sitter på ryggen, löparenhetens vikt är cirka 500 gram.

#### Dataöverföringen

Dataöverföringen sker över Mobitex, Ericssons högklassiga system för paketorienterad dataöverföring, på frekvensen 900 Mhz. Radiomodemet i löparenhetens pager skickar positioner, till exempel var sjätte sekund, i ett paket adresserat till mottagarmodemet som är kopplat till en dator vid mål eller annat lämpligt ställe. Ett program i mottagardatorn tolkar paketet och lägger in positionerna i en databas. Med detta program kan även användaren skicka kommandon för att fjärrstyra löparenheterna.

## Presentationen

Ett presentationsprogram läser av databasen och visualiserar löparna genom olikfärgade prickar som rör sig på en orienteringskarta. Programmet kan såväl följa händelserna i realtid som återuppspela gamla lopp och sekvenser.

### 5.1.1 Systemets prestanda

Drifftiden på en löparenhet är idag cirka 2,5 timmar.

Vikten är 500 gram och precisionen på GPS-mottagaren är som sämst 10-15 meter. Systemet, med en basstation och ett mottagarmodem, klarar av att hantera 5 löpare som sänder parallellt var 6:e sekund. Detta ger en snittbelastning på 0.83 paket/sekund över radiolänken. Tidsfördröjningen från det att positionen mäts tills dess att den syns på skärmen är cirka 7 sekunder.

Hur man utan större svårigheter kan höja prestandan i systemet beskrivs i nästa kapitel, diskussion.

## 5.2 Användningsområden inom orientering

Det demosystem som hittills utvecklats går att använda till ett antal olika tillämpningar. De flesta applikationer kräver dock mindre eller större förändringar av olika slag.

Redan idag kan man dock för små områden på tävlingar tänka sig kontroll av kartor. Ett annat område är nyritning av kartor om man har kända fixpunkter på en grundkarta att använda sig av.

Efter detta projekt har vi visat att man kan följa orienterare under loppet. Att föredra är då banor över små, kompakta, områden, varvbanor och liknande. Vid långa banor kan man nöja sig med att täcka in en del av banan. Exakt hur stort område som kan täckas bestäms främst av BAS:ens antennplacering samt terrängens beskaffenhet. Systemet fungerar dåligt i stad då husväggar ger multipath på GPS-signalerna vilket ger osäkerhet i de uträknade positionerna.

# Kapitel 6

## Diskussion

Målet med examensarbetet var att åstadkomma ett system som i realtid presenterar orienterarens positioner på en karta. Syftet var att göra orientering mer publikvänligt samt förbereda inför TV.

Anledningen till att vi valde GPS-teknik var att vi fann den mest lämpad eftersom den är enkel att använda och inte kostar någonting att använda. Dessutom fungerar GPS över hela jorden och mottagarna är små och förhållandevis billiga.

Mobitex användes som dataöverföringssystem eftersom det använder paketburen data, vilket lämpar sig väl i denna applikation. Dessutom har Mobitex bra täckning då det använder sig av frekvensen 900 MHz vilket har en relativt bra räckvidd. Dessutom kunde vi få god uppbackning av Ericsson Mobile Data Design som ligger i Göteborg och tillverkar Mobitexsystem. De största problemen uppstod med dataöverföringen, eftersom det var svårt att åstadkomma bra Mobitextäckning i skogen. Dessutom sände vi inte optimerade paket, vilket gjorde trafiken onödigt stor. Även fel på kartan gav presentationen sämre precision.

Huvudsyftet var att göra orienteringssporten mer publikvänlig. Kanske har vi inte åstadkommit detta men vi har kommit en bit på vägen och visat att det går att åstadkomma. En bedömning av det framtagna systemet leder till slutsatsen att det är intressant att fortsätta med systemet i någon slags projektform. Både examensarbetarna, Chalmers, Ericsson, SOFT, Alternativet samt andra intressenter har visat stor uppskattning och detta gör att en fortsättning är möjlig.

## 6.1 Varför just denna lösning ?

Vår lösning bygger alltså på en löparenhet i vilken vi har kopplat samman en GPS-mottagare av modellen Lassen LP och en "Interactive Pager" som innehåller ett radiomodem med ett interface för sändning över Mobitex. Anledningarna till att vi valde just Lassen LP som är en mycket enkel GPS-mottagare var flera:

- Den är förhållandevis billig.
- Enkelheten, det faktum att den inte har en massa filter och liknande som till exempel vill "räta ut" linjer, är lämplig för orienteringssammanhang då orienteraren springer väldigt oförutsägbart i skogen. En potentiell fördel med mer avancerade modeller, förmågan att reducera multipath-effekten, är inte särskilt relevant i vår sport då det finns väsentligt färre studsande signaler i skogen jämfört med i stadsmiljö.
- Tillverkaren Trimbles egna protokoll, TAIP, är textbaserat, lättförståeligt, gratis och har vissa lämpliga egenskaper. En av dessa egenskaper är att man kan schemalägga mottagaren till att sända sin position antingen med vissa tidsintervall eller när den rört sig ett visst antal meter. Detta sågs som en möjlighet att minska mängden överförd data.

Som nämdes i inledningen valde vi Mobitex då vi ansåg att paketburen dataöverföring lämpar sig bra för vår applikation och då vi har kunnat få mycket bra stöd på detta system från Ericsson i Göteborg. Att vi använde just en av RIM:s "Interactive Pagers" beror till stor del på att vi ville använda standardkomponenter som redan finns i stor upplaga. Pagern innehåller såväl bildskärm som knappsats vilket är onödigt i vår applikation, det är ju radiomodemet vi vill åt, men den har ett par fördelar. Eftersom den finns ute på marknaden och det sker utveckling av applikationer till den på flera håll i världen så finns det en väl fungerande utvecklingsmiljö. Den har till exempel en serieport som uppfyller standardprotokollet RS-232 för seriekommunikation och som är lätt att styra med kommandon i programkoden. Även radiomodemet hanteras lätt med olika kommandon.

Vi valde till en början att utveckla ett eget program för presentationsdelen. Detta beroende på att det vi ville se vilka begränsningar och möjligheter som kunde finnas i systemet själva, utan att behöva lita på en presentationsdel som någon annan utvecklat. Med ett eget program var det lätt att lägga till eller ändra i detta moment vilket det inte varit annars. Att vi sedan valde att byta till RunOway som är framtaget av Alternativet var inte för att vårt eget program var dåligt utan snarare för att RunOway verkligen passade vårt



syfte, såg ut ungefär som vi tänkt oss vårt eget program i en framtida version, och för att vi kom att prioritera utvecklingen av systemdelen framför presentationsdelen när tiden började rinna ifrån oss.

## 6.2 Måluppnåelse

Vi lyckades med att uppnå målet, vi har konstruerat ett system som i realtid positionerar och uppvisar var ett begränsat antal löpare befinner sig i skogen. Man kan göra detta under en del av banan, eller hela banan om den inte sträcker sig för långt bort från BASen.

Vi hade inte tid att integrera SportIdents tider i vårt system. Uppgiften lyftes ur examensarbetet i samma veva som Ulf Bergqvist kontaktades för vidareutvecklingen av presentationsprogrammet. Dessutom har SportIdent haft fullt upp med sina övriga produkter och gränssnittet mellan deras system och RunOway som presentationsprogram blev inte klart under den tid ex-jobbet varade.

Vi har lyckats locka intressenter och diskussioner pågår om en eventuell fortsättning av projektet.

## 6.3 Begränsningar

- Man kan inte med vårt system täcka in en hel orienteringsbana om den inte är väldigt kort med mindre än att flera BASar används.
- Man kan inte skicka data hur ofta som helst från löparna, maxintervallet ligger på ungefär en gång i sekunden på grund av att vi har använt radiokoppling även mellan BASen och mottagaren. Eftersom vi vill sända ungefär var 6:e sekund klarar alltså systemet max cirka 5 löpare som det är idag.
- Dataöverföringen tar 1-3 sekunder och det upplevs, om vi använder 6 sekunders uppdateringsintervall, som att man ligger 7-9 sekunder efter realtid.
- Man vet inte om löparen varit framme vid kontrollen eller om denne passerat i närheten bara eftersom man inte får någon notering vid stämplingen.
- Om man hamnar i Mobitex-skugga buffras inga värden, utan de kan tappas bort om utkön blir för stor i pagern.

## 6.4 Felkällor

När vi presenterar positionerna på kartan kommer dessa inte att vara helt korrekta. Olika saker gör att den verkliga positionen skiljer sig från den vi presenterar. De två viktigaste felkällorna (som vi inte kan påverka) är GPS:ens noggrannhet samt kartans fel.

### 6.4.1 Kartan

Orienteringskartan som används att presentera löpvägen på innehåller fel i positionerna på föremålen. Grundmaterialet är ofta ursprungligen en flygbild. Fel i kartan uppstår dels ur de fel kameran har, projektfel, fel i stereobearbetningen, fel i rekognosering och även fel i renritningen.

#### Kartritning med GPS

Något som kan påverka utgången av vårt arbete är hur noggranna kartorna är. I våra inledande tester använde vi flygfoton, vilket gör att allt är skalenligt och att inga saker ligger "snett" på kartan. En orienteringskarta är dock inte perfekt ritad, eftersom det är en subjektiv bedömning som sker när kartritaren lägger in stenar med mera på kartan utifrån ett grundmateriel, vilket i sin tur grundar sig direkt på stereobearbetade flygfotografier. Om man använder en "handritad" karta som underlag för presentation av GPS-insamlade data kan man råka ut för att positionen visas fel, det kan se ut som att löparen bommar, eftersom kartan inte korrekt visar hur terrängen ser ut. I händelse av att kartorna inte uppfyller de krav på noggrannhet vi ställer på kartan finns olika sätt att få kartan bättre. Ett lämpligt sätt kan vara att rita kartan med hjälp av GPS. En undersökning om det är lämpligt eller praktiskt möjligt att rita karta med hjälp av GPS har Björn Ljunggren, orienterare från OK Hammaren, gjort.

Ljunggrens undersökning pekar på ett par intressanta detaljer. Han har använt relativt dyr DGPS-utrustning i sin undersökning och under fältmässiga förhållanden studerat noggrannheten i mätningarna i olika terrängtyper. Mätningarna han utfört har gjorts med "stop-and-go"-metoden. Den innebär att mätutrustningen flyttats till mätpunkten, man har där stannat upp så länge mätningen pågått. Mätningarna har således varit stationära, vilket inte orienteraren är särskilt ofta under en tävling. Undersökningen är dock intressant ändå, eftersom det som ger fel vid stillastående mätningar även kommer att ge ett fel om man rör på sig. Ljunggren konstaterar att GPS:en ger ett större fel i nord-sydlig riktning än öst-väst, vilket även specificeras av GPS-mottagartillverkarna [19].

**Linsfel** När motivet (marken) skall avbildas bryts ljuset genom en lins för att samla upp det på en fotografisk film. En mängd saker kan göra att fel uppstår i projektionen [4].

- Glasets brytningsindex varierar för olika våglängder
- Linsens sfäriska yta gör att ljusstrålar som infaller mot linsen på olika avstånd från den optiska axeln bryts till olika brytpunkter.
- Ljuset är en elektromagnetisk våg vilken utsätts för diffraktion.

Många av dessa fel kan delvis elimineras genom speciella linsslipningar eller korrektionslinser, men helt får man inte ens med dagens linser bort felen. Om man minskar det ena felet kan ett annat öka, så det är en optimeringsfråga.

**Projektionsfel** Om man centralprojicerar<sup>1</sup> ett område och man fotograferar rakt ner så blir skalan samma på hela bilden, förutsatt att terrängen är helt platt. Vid höjdskillnader blir avståndet till kameran olika. En bild kan bli felskalad på upp till cirka 7 procent. Dessa fel kan korrigeras för med dagens dator teknik, så på nyare kartor kan vi helt bortse från dessa, men äldre kartor kan ha större inslag av detta fel.

### 6.4.2 GPS-signalfel

#### Atmosfäriska störningar

Medan signalen färdas från sändaren kan de uppstå fel av olika slag. Dessa korrigeras med hjälp av två-frekvensmätningar av samma signal, dvs bara P-koden på L1 och L2. Det finns önskemål om att börja sända C/A på L1 och L2 för att kunna korrigera för felet även på enklare mottagare. Den mottagare vi använder mäter endast på en signal (C/A) och kan därför inte korrigera för atmosfärsfelet med hjälp av dubbla signalmätningar. Ett av de största felen är de som orsakas av jonosfärens påverkan. Genom att använda en modell för hur jonosfären påverkar signalen kan man minska rms, root mean square, med upp till 50 %. Den jonosfäriska modellen är

$$\Delta t_1 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \delta(\Delta t) \quad (6.1)$$

där  $f_1$  är  $L_1$ 's frekvens,  $f_2$   $L_2$ 's frekvens,  $\delta(\Delta t)$  är uppmätta tidsdifferensen mellan  $f_1$  och  $f_2$  från samma satellit.  $\Delta t_1$  kan antas som det uppmätta värdet [2].

---

<sup>1</sup>Alla strålar bryts genom samma punkt

## Klockfel

SA gjorde att tidsstämplingen blev inkorrekt på ett slumpartat sätt. Med rätt utrustning som bara auktoriserade mottagare hade kunde man korrigera för dessa fel. DoD tog bort det 2 maj 2000, men det kan slås på igen när som helst. Det fel som uppstår korrigeras eftersom kontrollstationerna mäter signalerna som satelliterna sänder och dessa sänds i GPS-signalerna.

### 6.4.3 GPS-mottagarfel

#### Multipath

Multipath betyder på svenska "flervägs". Ett vanligt fel som uppstår vid GPS-mätningar är att signalerna studsar på väg från sändaren till mottagaren. Detta gör att signalen går en längre väg än den som är rakt från satelliten till mottagaren, vilket gör att den tar längre tid än den skulle gjort om den gått rakt på vilket leder till att positionen blir felaktig.

Signalerna studsar mot de flesta hårdare ytor, till exempel plan mark, vatten och husväggar. Blött lövverk innehåller mycket vatten vilket gör att signalerna kan studsas mer än de skulle gjort om det vore torrare.

Det finns metoder att få bort multipath-effekter, men algoritmerna för sådana metoder är affärshemligheter. En allmän metod är att se vilken av signalerna som är starkast, eftersom den studsande signalen tappar i styrka. Om då signalen som skulle ha gått rakt på skärmas kan metoden inte användas.

#### Skärmning

Om signalerna inte kommer fram tappas en eller flera satellitsignaler, vilket försämrar eller helt tar bort möjligheterna till att beräkna positionen. Byggnader skärmar signalen helt, varför GPS inte går att använda inomhus. Även tjocka trädstammar torde skärma signalen, än så länge har vi dock inte fått några problem med GPS-mottagningen i tät granskog inte ens då det låg snö på nämnda granar. Blöt lövskog har inte funnits möjlighet att testa i då exjobbets testdel ej utförts under löv-säsongen. Tunna plagg, typ nylonställ, eller plasten på antennen är dock inga problem för signalerna.

### 6.4.4 Överföringsfel

När positionerna skall överföras från pagern till mottagardatorn kan fel uppstå i Mobitexnätets överföring. Eftersom signalerna är "säkrade" med bekräftelsesignaler kommer det inte bli fel i själva meddelandet, men däremot

kan man tappa positioner om man råkar bli inroamad med löparens pager på en BAS som inte är ansluten till set Mobitexnät man själv använder. Vid användning av ett autonomt nät är risken störst för detta. Inroamning på fel bas sker när signalen från den egna basen är svagare än den felaktigas. Det är möjligt att ställa in Mobitexnätet på ett sådant sätt att inroamning inte sker på en felaktig BAS, vilket undanröjer felkällan.

### 6.4.5 Presentation

#### Fixpunktsfel

Fixpunktsfel kallar vi det fel som uppstår i inpassningen av orienteringskartan, med aktuell bana på, mot koordinaterna som vi får genom GPS:en. Användningsområdet är det som banan går i och referensområdet är det området man mäter in punkterna på. Det ideala är att de tre inmätningpunkterna bildar en liksidig triangel.

Det största felet vi vill acceptera från fixpunktsinmätningen är 10 meter. Mer än så är inte acceptabelt, eftersom det kan slå åt "fel" håll, felen från kartan och inmätningen kan i så fall adderas.

Maximala felet  $\Delta x$  i en koordinat i en punkt inom användningsområdet från fixpunktsbestämning bestäms med hjälp av ekvationen

$$\Delta x = \frac{x_{anv} 2 \cdot \Delta GPS_{max}}{x_{ref}} \quad (6.2)$$

där  $x_{anv}$  är användningsområdets ena längd (på en ledd),  $x_{ref}$  är fixpunktsområdets ena längd (på samma ledd),  $\Delta GPS_{max}$  är GPS:ens maximala fel vid fixpunktsbestämningen. Typiska värden är

$$\begin{aligned} x_{anv} &= 2000 \text{ m} \\ x_{ref} &= 3000 \text{ m} \\ max &= 15 \text{ m} \end{aligned}$$

Vilket ger  $\Delta x = 2000 \frac{2 \cdot 15}{3000} = 20 \text{ m}$ .

En enkel tumregel är att ha dubbelt så stort referensområde som användningsområde, vilket ger  $\Delta x = \Delta GPS_{max}$ , oftast 15 m.

## 6.5 Alternativa användningsområden

Systemet skulle kunna användas till några andra applikationer direkt utan att behöva modifieras eller optimeras. Några av de nämns nedan.

### 6.5.1 Segling

För att konkurrera med Cup Tracker kan man köra vårt system på små segelbåtar under tävling. Det är ofta svårt att få någon överblick på var båtarna befinner sig från land där publiken normalt finns, men med positionering kan man få se en bild från ovan som hjälper till att åskådliggöra det tävlingen. På denna bild skulle även aktuell vindriktning, mätt i ett par punkter, kunna läggas in.

### 6.5.2 Militär

Militären bör ha ungefär samma behov som orienteringen för användandet, det vill säga samma krav på bärbarhet, vikt, tålighet och så vidare. Användningsområdet blir då, precis som i vårt fall, att kunna följa soldaterna under övning eller i händelse av ofred med god precision. Övningsfält torde vara närmast idealiska platser då militären där har goda möjligheter att sätta upp utrustning för att nå fullgod täckning.

### 6.5.3 Daghem/barnomsorg

Här behöver inte utrustningen väga riktigt lika lätt men måste vara desto tåligare. Det finns dock nackdelar av att priset än så länge lär vara väl högt för kommunal finansiering. En möjlighet är att erhålla sponsorer och föräldrar som investerar i enheterna. Oavsett så krävs en lösning där man har en god täckning över ett område som kan vara mycket större än det vi har under orientering vilket kan utgöra en svårighet.

### 6.5.4 Viltvård/djurstudier

Om man sätter en GPS-enhet på flockens ledare så har man bra kontroll på var de befinner sig. Precisionen är god och man kan ha kontinuerlig övervakning. Även i detta fall är det täckningen/kommunikationslösningen som måste anpassas till hur stort område som är intressant.

## 6.6 Reaktionen

De som sett systemet eller provat att använda det är positiva till det hela. Kritiken som finns riktar sig oftast till sådana saker som inte är färdigutvecklade, eller sådant som inte fungerar optimalt, men ingen tycker att det är ett dåligt system eller att vi har gjort det på fel grunder.

Kontakter med olika ledargestalter inom sporten visar att även de anser att det är en god ide med GPS-följning och de har ofta kommit med goda råd och nya infallsvinklar.

### 6.6.1 Löparna

De löpare som testat systemet har inte klagat på vikt eller obekvämheter. De flesta som testat har tidigare sprungit med en sele för batteri till pannlampa. Eftersom vi använder samma sele känns det vant, och eftersom vår löparenhet är mycket lättare än ett batteri är inte vikten något problem, trots att den ännu inte är viktoptimerad. De tycker även att det är roligt att springa med detta, dels eftersom det kan vara bra för sporten, men det är även en rolig sak för orienteraren själv.

### 6.6.2 Publik

Orienterare som sett detta system anser att det är häftigt, och de vill definitivt se en fortsättning. Övriga som sett det tycker att det är roligt att se att orientering nu kan bli publikvänligare.

### 6.6.3 Press

Pressvisningen fredag 9 mars 2001 vid IFK Göteborgs klubbhus Kamratgården i Göteborg rönt stor uppmärksamhet. Ett 40-tal åskådare såg presentationen som bestod av bakgrundspresentation, med syfte och mål, en enklare systemöversikt samt demonstration. Omnämningar gjordes i följande medier:

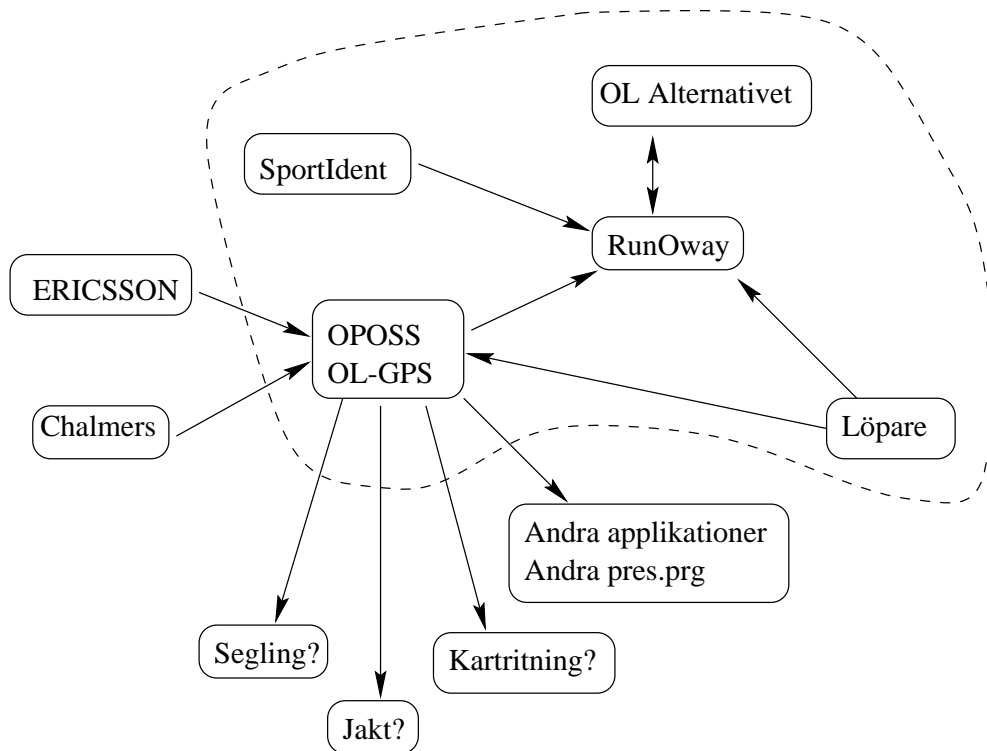
- Sveriges Television regional: Västnytt 2001-03-09 19:10: "Ny användning av GPS ska göra orienteringssporten tillgänglig för publiken", 2 minuter 15 sekunder.
- Expressen 2001-03-09: "Orientering kan bli tv-vänlig", Notis.
- Sydöstran 2001-03-10: "Anderssons premiär", Artikel.
- Skogssport nr 3 2001: "Nytt försök med GPS för att följa löparna", Hellsidesartikel.
- GöteborgsPosten 2001-03-10: "Kontroller i rymden, orienterarnas framtid", Artikel.

Även på orienteringshemsidor noterades presentationen.

## 6.7 Framtiden

### 6.7.1 Ex-jobbet kontra projektet som helhet

Man kan säga att projektet startar samtidigt med ex-jobbet, men att det fortsätter efter. Ex-jobbets utsträckning finns i rutan “OPOSS/OL-GPS” medan projektet finns i en större cirkel, som inte alls är statisk, utan fortfarande växande. Se figur 6.1 för översikt.



Figur 6.1: “Systemet” är inom streckade cirkeln. Ex-jobbet begränsas av OL-GPS och presentationsprogrammet OPOSS. Övriga aktörer syns i urval.

### 6.7.2 Vidareutveckling

- För att täcka in en hel bana, det vill säga ett större område, måste man ha flera BASer. När flera BASer används måste dessa kopplas till en växel, så att inroamningen fungerar när en sändare förflyttas från ett BASområde till ett annat. Alla BASar som används måste kopplas till ett gemensamt nätverk.



- För att förbättra dataöverföringen kan man dra en fast lina mellan basen och mottagarmodemet. Detta gör att det inte "stockar sig" ut från BASen, vilket är flaskhalsen, eftersom alla inkomna data skall genom den förbindelsen. Det finns två sätt att göra det, antingen kopplar man BASen uppåt i hierarkin till en MOX (via telefon eller direktlina) och sedan på en annan lina ut till datorn, eller så kopplar man en fast X25-förbindelse mellan BASen och mottagarmodemet.
- Man kan skicka flera positioner i varje paket från sändarna, vilket gör att man kan gå ner mot en sekund i positionsintervall, som är det minsta möjliga då GPSen inte kan uppdateras oftare än en gång per sekund. För att minska varje paket, vilket inte är så kritiskt vid få användare, kan man dela upp de olika positionspaketerna till deltainformation.
- Presentationsprogrammet kan göra att det ser snyggare ut. Man vet inte säkert att alla positioner kommer in till databasen i en jämn och fin ström. Antingen kan GPSen tappa täckning och då skickas ingen ny position (idag sänds en gammal, men det kan man ta bort i en vidareutveckling av sändarprogrammet), eller så tappar pagern Mobitextäckning, vilket gör att paketet med positionen lägger sig i en utkö, eller i värsta fall om det tar för lång tid att få tillbaka täckningen, missar man några positioner. Om man i presentationsprogrammet gör så att man har en medveten eftersläpning på ca 10-15 sekunder kan man jämna ut en del av dessa fel. Man kan sortera om eventuella positioner som kommer in i fel tidsordning (på grund av utkö vid dålig Mobitextäckning). Man kan göra så som redan nu sker vid efteruppspelning, att man interpolerar fram positioner varje sekund mellan de som man redan har. Då blir det en jämnare uppdatering och man får mer flyt i det hela. Då skulle det också flyta på ganska bra även om ett enstaka paket skulle försvinna.
- Sändarprogrammet kan buffra när den ej har kontakt med BASen. Anledningen till att vi inte implementerat denna funktion än är att den funktion som skall tala om huruvida kontakt finns eller ej inte verkar fungera helt korrekt. Ofta säger den att den inte har någon täckning fast vi garanterat vet att den har det, eftersom det kommer fram paket som den sänder iväg. Vi har inte hittat någon alternativ lösning på detta, men man kan tänka sig flera eftersom pagern får ett meddelande när ett paket inte kommer fram som det skall. Man kan alltså göra så att den automatiskt alltid buffrar och om paketen inte kommer fram så sänds de igen.

- Mottagarprogrammet kan filtrera bort orimliga värden. Det kommer inte så många som är uppenbart fel. Men om det dyker upp ett värde som menar att löparen sprungit fortare än 100 meters-löparna gör kan man filtrera bort dessa. Man måste då ta hänsyn till att noggrannheten är  $15 \cdot 2$  meter, det vill säga det kan vara upp till 30 meter fel på avståndet.
- Vikten utgör inte någon begränsning just nu, men man kan förbättra löparenheten från det skick den är i idag. De största viktminskningarna kan man erhålla genom att:
  - ta bort onödiga sladdar,
  - skala ner pagern,
  - använda en spänningskälla.

Sladden till GPSantennen är onödigt lång (5 meter) och man har ungefär 80 gram att hämta där genom en förkortning.

Pagern väger cirka 140 gram med batteri. Om man istället för hela pagern, som har en display och ett tangentbord i onödan, använder Ericssons "M3090 Mobitex Radio Modem for OEM applications", som väger 40 gram, kan man kapa bort ytterligare 100 gram. Det kan läggas i samma låda som man har GPSkortet i. Det behövs dock fortfarande en antenn. En implementering på det nya korten krävs då, med allt vad det innebär i programmeringsväg.

Man skulle kunna driva både M3090 (drivs med 5,7-9,0 V DC) och Lassen LP (drivs med 3,0-3,6 V DC) med samma ackumulator. Ackumulatorer som skulle kunna användas [9]:

6,0 V 1400 mAh NiMH väger 130 gram

7,2 V 1400 mAh NiMH väger 156 gram

3,6 V 1400 mAh NiMH väger 78 gram

Dessutom, om man får ner vikten på resten av enheten har vi plötsligt onödigt mycket sele som säkert kan minskas ner ordentligt i vikt.

Totalt ger allt detta en klar minskning i vikt från dagens cirka 500 gram.

- Att byta ut GPS-kortet mot Ericssons framtida GPS-modul i M3000-serien kan vara aktuellt, eftersom man där har håller på att utveckla ett enkelt interface mot M3090-radio OEM-modemet.

# Kapitel 7

## Slutsatser

Syftet med examensarbetet var att undersöka möjligheterna att, med hjälp av GPS-positionering och dataöverföring via Mobitex, följa en orienterares väg i skogen under tävling för att på så sätt göra sporten mer publik- och tv-vänlig. Om detta befanns möjligt skulle ett prototypsystem för ett fåtal löpare tas fram och demonstreras.

Efter studier av befintliga system för positionering och dataöverföring drogs slutsatsen att det torde vara fullt möjligt att utveckla nämnda prototypsystem. För GPS-positioneringen valdes, efter test av olika modeller, en mottagare av typen Lassen LP (Trimble Marine Electronics Inc.) och för Mobitex-överföringen valdes en Interactive Pager 950 (Research In Motion Inc.) med inbyggt radiomodem.

En löparenhet bestående av GPS-mottagare och pager med tillbehör togs fram och relevant programvara för såväl integrationen av dessa som kommunikationen över Mobitex och visualiseringen av positionerna på en bildskärm utvecklades. 5 löparenheter konstruerades och den 9/3 2001 genomfördes en lyckad demonstration av systemet på Kamratgården i Göteborg då 4 landslagsorienterare sprang en kort bana och den inbjudna pressen kunde följa dem på en uppförstorad bildskärm inomhus.

Erfarenheterna av såväl GPS som Mobitex har varit goda och båda systemen lämpar sig väl för vår applikation. Reaktionerna på demonstrationen var överväldigande positiva även om det naturligtvis finns mängder av förbättringar att göra.

Det finns många tänkbara användningsområden för applikationer liknande vår inom såväl flertalet sporter som andra platser i samhället och därför finns det all anledning att försöka få till stånd en vidareutveckling av systemet. För orienteringsändamål bör man då fokusera dels på att reducera prototypens storlek och vikt, något det finns goda möjligheter att göra, samt dels på att vidareutveckla och anpassa presentationsdelen. För övriga

ändamål måste man utreda vilka behov respektive applikation har så att man kan anpassa kommunikations- och presentationsdelen därefter.

# Litteraturförteckning

- [1] Hofmann-Wellenhof, B.: *GPS Theory and Practice*, Springer-Verlag, Wien 1994
- [2] Teunissen, P. J. G.: *GPS for Geodesy*, Springer-Verlag, Wien 1998
- [3] Tsui, J. B-Y.: *Fundamentals of Global Positioning System Receivers*, John Wiley & sons, New York 2000
- [4] Nämnden för skoglig flygbildsteknik: *Flygbildsteknik och fjärranalys*, Solna 1980
- [5] Adolfsson, B.: *Fotogrammetri -Allmän kurs för väg- och vattenbyggnadslinjen*, Institutionen för fotogrammetri, Stockholm 1979
- [6] Kaplan, Elliott D.: *Understanding GPS - Principles and applications*, Artech House Inc., Boston 1996
- [7] Farrell, J. A., Barth, M.: *The Global Positioning System and Inertial Navigation*, McGraw-Hill, New York 1998
- [8] Redl, Sigmund M.: *An introduction to GSM*, Artech-House, Norwood 1995
- [9] *ELFA-katalogen nr 47*, ELFA AB, 1998
- [10] *Lassen LP GPS - system designer reference manual*, Trimble Navigation Limited, Sunnyvale 1999
- [11] *RIM Interactive Pager 950, developers guide*, Reserach In Motion Ltd, Waterloo 1998
- [12] Datablad *RIM Pager 950*, Reserach In Motion Ltd, Waterloo
- [13] *Mobitex System Presentation*, Ericsson, 2000
- [14] Ny teknik, nr 8 2001

- [15] Ny Teknik Student, nr 16 2001
- [16] Skogssport, nr 2 2001
- [17] Silva (Power Point-presentation): *Silva Time Track System*, Solna 1999
- [18] *Mobile Positioning -An introduction to Mobile Positioning*, Mobile Lifestreams Limited, 1999
- [19] Ljunggren, B.: *GPS som hjälp vid framställning av orienteringskartor*, Lantmäteriinstitutionen, KTH, Stockholm 2001.
- [20] Arnzén, S.: *Satellitnavigeringssystemet GPS*, Försvarets Forskningsanstalt, Sundbyberg 1993
- [21] *Peter H. Dana, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder*, [[http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)], 2000-12-03
- [22] *Korahdus, Finland*, [<http://www.geocities.com/Colosseum/Field/4387/faq.htm>], 2000-12-12
- [23] *VTEAM, Norge*, [<http://ilm425.nlh.no/~ikfht/o/technology/opos.html>], 2000-12-10
- [24] *Ericsson Mobile MOX*; [<http://www.ericsson.com/wireless/products/mobsys/mobitex/mobitex.shtml>], 2000-11-03
- [25] *Mowic AB*: [<http://www.mowic.se>], 2000-11-12
- [26] *WOC 2001 i Tammerfors (Tampere), Finland*: [<http://www.woc2001.fi>], 2000-12-05
- [27] *Cup Tracker*: [[http://www.ericsson.com/SE/kon\\_con/kontakten/kont13\\_00/k13\\_15.shtml](http://www.ericsson.com/SE/kon_con/kontakten/kont13_00/k13_15.shtml)], 2001-01-27
- [28] *NASA*: [[http://liftoff.msfc.nasa.gov/Academy/ROCKET\\\_SCI/ORBMECH/KEPLER.HTML](http://liftoff.msfc.nasa.gov/Academy/ROCKET\_SCI/ORBMECH/KEPLER.HTML)], 2001-03-05

- [29] *Telia Mobitex:*  
[<http://www.mobitex.telia.com>], 2001-02-20
- [30] *Russian Federation Ministry of Defense, Coordination Scientific Information Center:*  
[<http://www.rssi.ru/SFCSIC/english.html>], 2001-02-23
- [31] *How stuff works:*  
[<http://www.howstuffworks.com/radio.htm?printable=1>], 2000-12-25
- [32] *SMS:*  
[<http://www.wheatstone.net/whatwedo/Portal/Standards/sms.htm>], 2001-03-27
- [33] *Letro Sport:*  
[<http://www.letro.se>], 2001-02 -25