

Seminar Mobile Computing
WS 04/05

Positionsbestimmung

Jörg Feddersen
mi4603

Prof. Dr. Iwanowski

07.12.2004

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen.....	3
Positionsbestimmung. Wofür?.....	3
Unterteilung der Positionsbestimmung.....	3
Basistechniken der Positionsbestimmung.....	3
Systeme.....	4
Klassifikation der Systeme zur Positionsbestimmung.....	4
Infrarot-Systeme (Übersicht).....	5
Active Badge System.....	5
WIPS.....	6
Funk-System.....	6
SpotOn.....	6
RFID.....	6
Ultraschallsysteme.....	7
ActiveBat.....	7
Cricket.....	7
Visuelle Verfahren.....	8
Netzwerkgestützte Verfahren (Übersicht).....	8
GSM.....	8
WLAN.....	8
Logische Ansätze (Übersicht).....	8
Satellitennavigation (Schwerpunkt).....	9
Grundlagen.....	9
Positionsbestimmung mit 3 Satelliten.....	10
Positionsbestimmung mit 4 Satelliten.....	10
NAVSTAR GPS.....	10
GPS-Dienste.....	11
GPS-Segmente.....	11
Das Raumsegment.....	12
GPS-Signale.....	13
Fehlerquellen.....	14
GPS-Empfänger.....	14
DGPS.....	15
WAAS.....	16
EGNOS.....	16
Fehlerquellen Zusammenfassung.....	17
GLONASS.....	18
Galileo.....	18
Literaturverzeichnis.....	19
Bücher :.....	19
Internetquellen :.....	19

Grundlagen

Positionsbestimmung. Wofür?

Zum Überblick die wichtigsten Anwendungsgebiete:

- Navigation : Auto, Schiff, Flugzeug...
- Notrufe : Positionsbestimmung des Notrufenden
- Kontextinformationen : Positionsabhängige Informationen: z.B. Werbung, Touristeninformation
- Kommunikation : z.B. Optimierung von Datenübertragung.
- militärische Anwendungen : Mischung der vorgenannten Anwendungen in einem militärischem Kontext.

Unterteilung der Positionsbestimmung.

- Tracking : Die Position des Benutzers wird über ein externes System bestimmt.
- Positioning : Die Positionsdaten fallen direkt beim Benutzer an.

Positionsbestimmung beinhaltet beide Verfahren. Das Problem beim Tracking ist die Sicherheit der Daten, weil der Benutzer keine direkte Kontrolle darüber hat. Anders beim Positioning, aber hier muß das mobile Endgerät sehr viel leistungsfähiger sein.

Basistechniken der Positionsbestimmung

Die hier beschriebenen Verfahren zur Positionsbestimmung benutzen die folgenden Basistechniken:

- Cell of Origin (COO) : Bestimmung der Position durch ein in Zellen aufgeteiltes Sensorenetzwerk. Positionsbestimmung bis auf die Zelle genau.
- Time of Arrival (TOA) : Bei dieser Technik wird die Signallaufzeit gemessen, um die Entfernung vom Sender zu ermitteln. Häufig auch als Time Difference of Arrival (TDOA) oder Enhanced Observed Time Difference (E-OTD).
- Angle of Arrival (AOA) : Richtungsbestimmung von Empfangenen Signalen.
- Messung der Signalstärke : Dieses Verfahren versucht aus der Signalstärke die Entfernung zum Sender zu ermitteln.

Systeme

In diesem Abschnitt werden konkrete Systeme zur Positionsbestimmung kurz beschrieben um den Schwerpunkt diese Ausarbeitung, die Satellitennavigation, einzuordnen.

Klassifikation der Systeme zur Positionsbestimmung

Grundsätzlich lassen sich Systeme zur Positionsbestimmung in zwei Klassen fassen: innerhalb und außerhalb von Gebäuden. Gebäude sind für die benutzen Signale ein so großes Hinderniss, das viele Systeme entweder nur außerhalb oder nur innerhalb zuverlässig arbeiten. Ein weiterer Grund liegt in der Anwendung: häufig ist nur die Positionsbestimmung innerhalb eines bestimmten Gebietes gefordert, z.B. Werkhalle, Rechenzentrum, etc.. Die hier aufgeführte dritte Klasse sind Systeme, die vorhandene Infrastruktur nutzen um Positionen zu ermitteln. Die Grenzen zwischen den einzelnen Systemklassen ist fließend.

- Satellitennavigation
 - Hauptsysteme
 - GPS
 - GLONASS
 - Galileo
 - Überlagerte Systeme
 - DGPS
 - WAAS
 - EGNOS
- System innerhalb von Gebäuden
 - Infrarot-Baken
 - Active Badge
 - WIPS
 - Funk-Baken
 - SpotOn
 - RFID
 - Ultraschall
 - ActiveBat
 - Cricket
 - Visuelle Verfahren
 - Visual Tags
- Netzwerkgestützte Verfahren

- Mobilfunk
 - GSM
- Funknetze
 - WLAN

Infrarot-Systeme (Übersicht)

Systeme die hauptsächlich Infrarotsignale zur Positionsbestimmung einsetzen.

Active Badge System

Das Active Badge System wurde ursprünglich von Olivetti entwickelt. Es wird heute noch als Forschungsprojekt an der Universität von Cambridge eingesetzt.

Die Eckdaten des Systems:

- „Badge“ sendet alle 10s ein Signal, das eindeutig codiert ist.
- Position wird durch das Sensornetzwerk bestimmt
- Zwei-Weg-Kommunikation
- Position kann nur auf den Raum genau ermittelt werden
- Tracking



WIPS

WIPS ist der Positioning-Gegenstück zum ABS.

- Wireless Indoor Positioning System
- Die „Badge“ ermittelt ihre Position selbst durch das Empfangen von Infrarotsendern
- Übermittlung der Position an das Netzwerk durch WLAN
- Die „Badge“ ist komplexer als beim ABS, aber es wird kein Sensornetzwerk benötigt
- Positioning

Funk-System

Bei diesen Systemen macht man sich die Eigenschaft zu Nutze, dass Funksignale Wände durchdringen können. Dadurch können größere Bereiche abgedeckt werden. Durch das Messen der Signalstärke kann dann auch der Abstand vom Sender ermittelt werden.

SpotOn

Der Benutzer sendet ein Funksignal aus, das von verteilten Funksensoren aufgefangen wird.

- Messung der Signalstärke des „Badge“-Signals. Bestimmung der Position durch mehrere Sensoren
- bis zu 3m genau
- empfindlich gegen Störungen : z.B. Abschattungen
- Forschungsprojekt
- Tracking

RFID

Eine weitere Variante von Funk-Systemen sind die RFIDs. RFID steht für Radiofrequenz-Identifikation. Ein RFID-Transponder besteht aus Prozessor, Speicher und Antenne, hat aber keine eigene Stromversorgung.

- Reichweite bis zu 30m
- sehr unterschiedliche Bauformen, je nach Verwendung. z.B: Etiketten, Nägel, Schlüsselanhänger, etc.
- sehr viele unterschiedliche Standards
- erste System bereits seit den 1960er zur Warensicherung

RFIDs werden in 3 Klassen eingeteilt: Systeme mit...

- niedrigen Frequenzen (30-500 kHz)
- mittleren Frequenzen (10-15 MHz)
- hohen Frequenzen (850-950 MHz, 2,4-2,5 GHz, 5,8 GHz)

Die RFIDs die am meisten bekannt sind, sind die so genannten SmartLabels, die mit 13,56 MHz arbeiten. Diese werden immer mehr zur Warenverfolgung eingesetzt. Der Datenschutz für z.B. den Supermarktkunden ist dabei noch ungeklärt. Der Durchbruch für die Smartlabels kam durch das Senken der Produktionskosten auf €0,05 für Auflagen größer 1Mrd Stück.

Ultraschallsysteme

Durch Ultraschallsysteme kann die Position wesentlich genauer ermittelt werden, da die Signallaufzeiten sehr viel länger sind, als z.B. von Funk.

ActiveBat

ActiveBat arbeitet ähnlich wie ABS, nur wird hier der Impuls nicht alle regelmäßig, sondern nur auf Anforderung durch den Server übermittelt.

- Positionsbestimmung durch Orten eines Ultraschallsenders innerhalb eines Sensornetzwerkes
- Messung der Signallaufzeit
- Funkverbindung zum System
- bis zu 3cm Genauigkeit
- Tracking

Cricket

Cricket ist das Positioning Gegenstück zu ActiveBat.

- Positionsbestimmung beim Benutzer
- Messung der Signallaufzeit
- Funkbaken senden zeitgleich zum Ultraschallimpuls ein Funksignal
- kein Netzwerk notwendig
- Positioning

Visuelle Verfahren

Visuelle Verfahren werten Videobilder aus. Durch das anbringen von Visual Tags können die einzelnen Personen identifiziert werden.

- Auswerten von Videoaufnahmen
- sehr rechenaufwendig
- kann durch „Visual Tags“ unterstützt werden

Netzwerkgestützte Verfahren (Übersicht)

Es werden bestehende Netzwerkstrukturen benutzt

- GSM
- WLAN
- Logische Ansätze

GSM

Von Ericson entwickelte Erweiterung zum GSM-Standard. Durch das Auslesen der VLR/HLR kann die Position eines Benutzers zellengenau ermittelt werden. Durch einfache Erweiterungen der Funkzellen, hauptsächlich der Software, läßt sich durch Auswerten der GSM-Signale(Signalstärke, TA, etc.) die Position mobiler Endgeräte bis auf 50m genau bestimmen. Die Geräte müssen dafür nicht modifiziert werden. Dies ist ein Trackingverfahren, auch wenn der Name etwas anderes vermuten läßt.

WLAN

- Microsoft, Nibble-System
- Basierend auf Tabelle (x,y, Signalstärken aller Sender)
- Aufwendiges Training
- Genauigkeit ca. 1,5 - 4,0 m
- Softwarelösung

Logische Ansätze (Übersicht)

Zur Vollständigkeit hier noch zwei logische Ansätze zur Positionbestimmung. Dies sind eigentlich keine Systeme, sondern Überlegungen wie Positionsdaten für die Kommunikation, bzw. die Adressierung der Kommunikation, genutzt werden kann. Ein schneller Überblick:

Ansatz -> geographische Position = Netzwerkadresse

- Bei einer Genauigkeit von 1,8m 10Byte Adressraum nötig -> IPv4 nur 4Byte

- Positionsbestimmung von mobilen Stationen
- Internet-Adressierung reflektiert Netzwerktopologie

Es gibt zwei Verschiedene Realisierungen:

- Geo-Routing
 - Hierarchisches System von Routern
 - Zieladressen und Routingbereiche sind Polygone
 - aufwendiges Durchschnittsbilden von Ziel und Routingbereich
- Multicasting
 - Nutzung des IP-Multicastings
 - Einteilung in Atome und Partitionen
 - Atome werden Partitionen zugeordnet, auch mehreren
 - Partitionen können adressiert werden, und damit alle zugehörigen Atome

Satellitennavigation (Schwerpunkt)

Es wird auf folgende Systeme eingegangen:

- NAVSTAR-GPS
- DGPS
- WAAS/LAAS
- EGNOS
- GLONASS
- Galileo

Grundlagen

Die Idee Satelliten zur Positionsbestimmung zu benutzen stammt schon aus der Anfangszeit der Satelliten, aus den 1960ern. Hier ein kurzer Überblick über die Vor- und Nachteile:

- Vorteile
 - Positionsbestimmung überall auf der Erde
 - Wetter hat nur einen geringen Einfluß
 - sehr genau
- Nachteile
 - erheblicher Aufwand und Kosten für die Installation und den Betrieb
 - keine Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden

Um aber mit Hilfe von Satelliten die Position zu bestimmen, müssen einige Voraussetzungen erfüllt werden:

- Der Benutzer muß die exakten Positionen der Satelliten kennen
- Exakte Zeitmessung im Satelliten und beim Benutzer
- Entfernungsmessung durch Signallaufzeit
- min. 3 Satelliten „in Sicht“

Im nächsten Kapitel wird nun beschrieben wie nun aus diesen Voraussetzungen die Position bestimmt wird, und welche Probleme dabei auftauchen.

Positionsbestimmung mit 3 Satelliten

Wenn der Benutzer einen Satelliten empfangen kann, ist seine Position irgendwo auf der Hülle einer Kugel. Nimmt man einen zweiten Satelliten dazu, muß die Position auf einem Kreis liegen, der Schnittkante zweier Kugeln. Durch einen weiteren Satelliten gibt es nur noch zwei Schnittpunkte. Einer dieser Schnittpunkte kann verworfen werden, weil er unwahrscheinlich ist (im Weltraum liegt). Das Problem liegt nun aber bei der Entfernungsmessung. Der Satellit kodiert den genauen Zeitpunkt des Aussendens. Der Empfänger vergleicht nun diesen Zeitpunkt mit seiner internen Uhr. Aus dem Laufzeitunterschied ergibt sich die Entfernung mit folgender Formel:

$$r = c \cdot \Delta t. \quad c = \text{ca. } 300.000 \text{ km/s}$$

Für die interne Uhr kann man keine „Atomuhr“ verwenden. Da aber bereits eine Uhrabweichung von $1\mu\text{s}$ einen Fehler von 300m bedeuten kann, muß es eine Möglichkeit geben, die Ungenauigkeit der internen zu kompensieren. Dafür nimmt man einen vierten Satelliten.

Positionsbestimmung mit 4 Satelliten

Durch Hinzunahme eines vierten Satelliten kann aus den ermittelten „Pseudo-Entfernungen“, die Zeitdifferenz herausgerechnet werden. Wenn die interne Uhr und die Systemzeit identisch wären, müßte Abstand zum vierten Satelliten genau zu dem ermittelten Schnittpunkt passen. Da das i.d.R. nicht der Fall ist wird solange das Δt verändert, bis es einen Schnittpunkt gibt. Konkret bedeutet das, dass iteratives Lösen eines linearen Gleichungssystem mit 4 Unbekannten. Dieses Prinzip ist bei allen Satellitensystemen gleich.

NAVSTAR GPS

Bereits 1970 von Department of Defence (DOD) konzeptioniert als **N**avigation **S**ystem with **T**iming and **R**anging – **G**lobal **P**ositioning **S**ystem.

Eckdaten des GPS:

- 1974 erste Systemtests
- 1984 Start des ersten GPS-Satelliten

- 1990 sind 12 Satelliten im Orbit
- „Initial Operation Capability“ am 08.12.1993 mit 21 Systemsatelliten und 3 Reservesatelliten
- „Full Operation Capability“ am 17.07.1995
- Die Satelliten bewegen sich auf 6 Bahnen, die um 60° geneigt sind.
- 4 Satelliten pro Umlaufbahn
- Abstand zur Erde ca. 20000km
- Umlaufzeit 12h
- Im Normalbetrieb
 - min. 5 Satelliten „zu sehen“
 - max. 11 Satelliten
- Lebensdauer eines Satelliten ca 7-8 Jahre

GPS-Dienste

Das GPS stellt zwei verschiedenen Dienste zur Verfügung. Einmal das Precise Positioning System (PPS) mit einer Genauigkeit von 22m horizontal und 27m vertikal. Es ist verschlüsselt, und nur für Streitkräfte der Nato verfügbar. Häufig als P-Code bezeichnet. Für die zivilen gibt es das Standard Positioning System (SPS), meist als C/A-Code (Coarse/ Acquisition-Code) bezeichnet. Es hatte bis zum 30.04.2000 eine Genauigkeit von 100m horizontal und 156m vertikal, aber seit dem 01.05.2000, 25m horizontal und 43m vertikal. Am 01.05.2000 wurde die künstliche Verfälschung (Selective Availability – SA) des C/A-Codes abgeschaltet. Dies erfolgte aus wirtschaftlich Überlegungen.

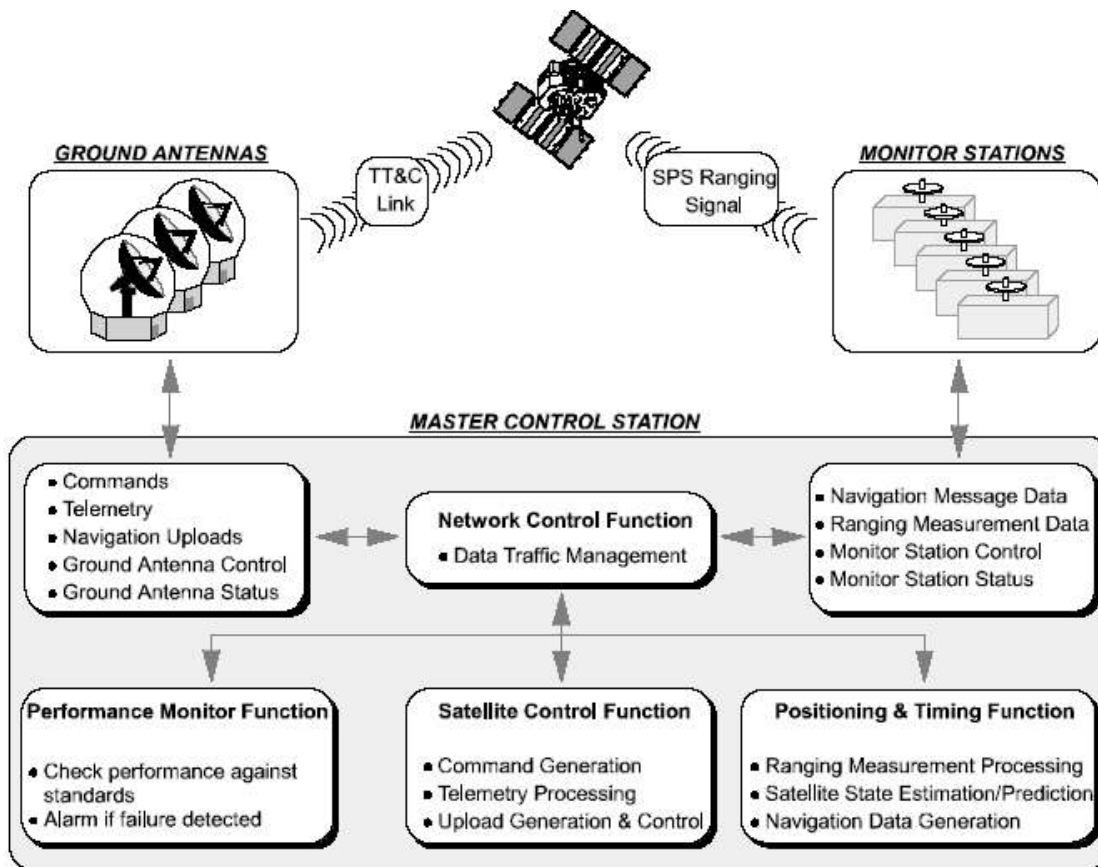
GPS-Segmente

Das GPS ist in drei Segmente aufgeteilt:

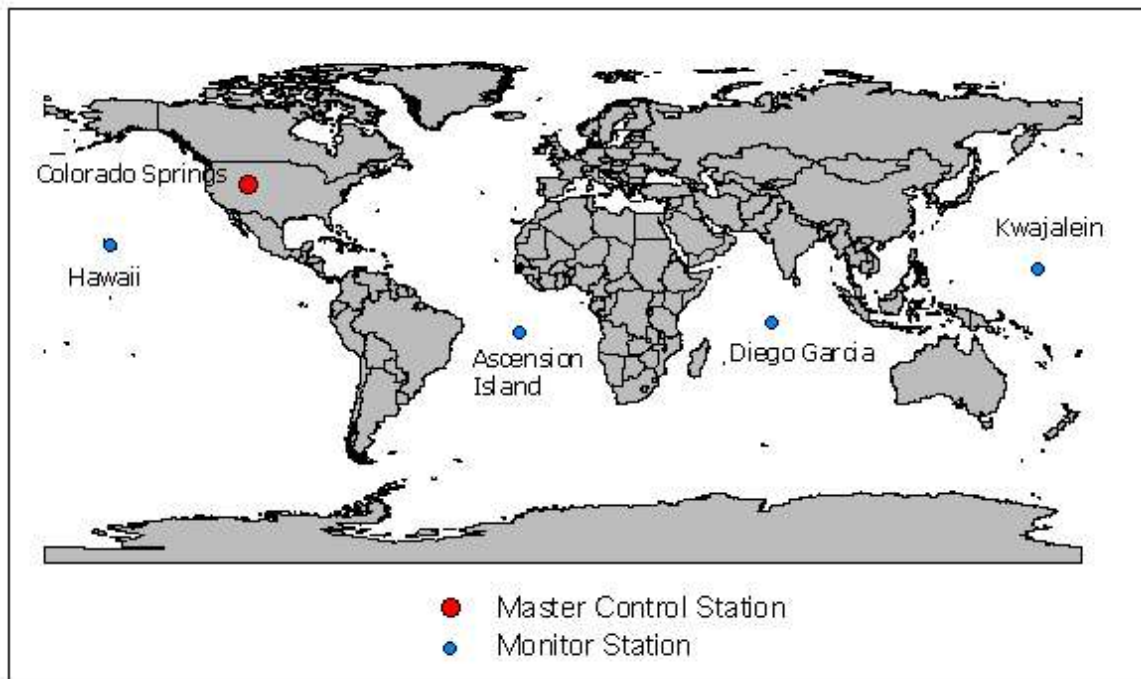
- Raumsegment : die Satelliten
- Kontrollsegment : Monitorstationen zur Verwaltung und Kontrolle der Satelliten
- Benutzersegment : der GPS-Empfänger des Benutzers

Das Raumsegment

Die folgende Grafik veranschaulicht die Funktion des Kontrollsegments



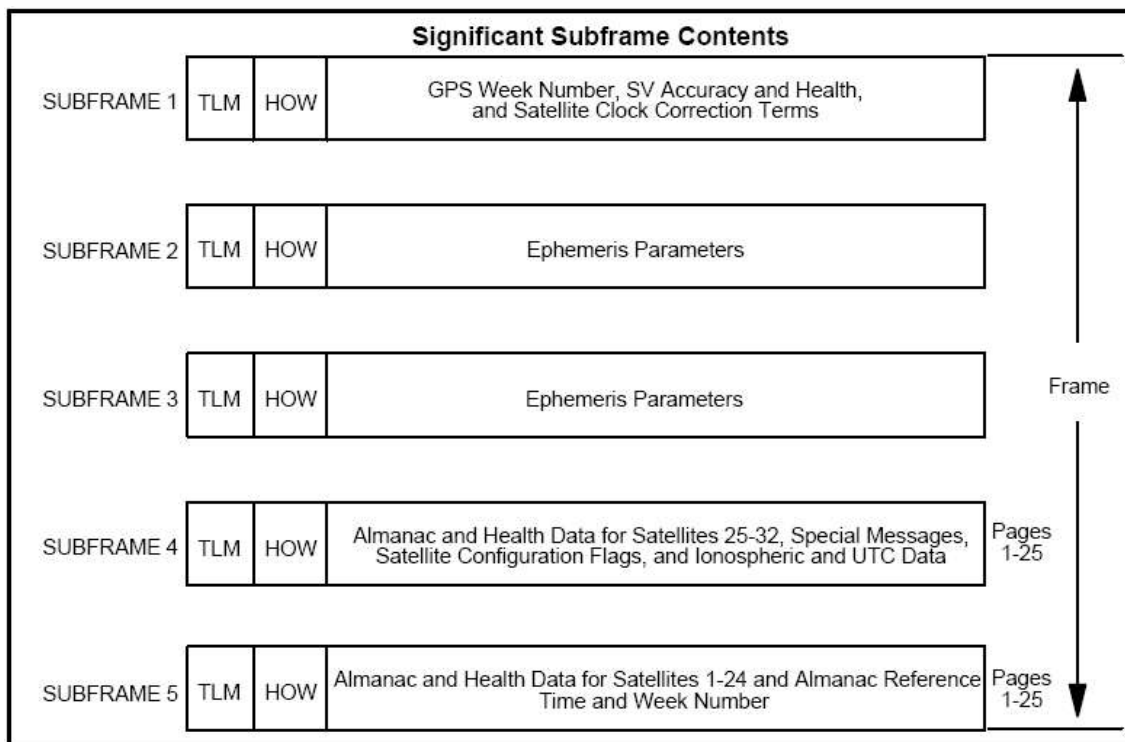
Übersicht über die Standorte des Bodensegmentes.



GPS-Signale

Die Satelliten senden ihre Signale auf 2 Frequenzen im L-Band. Auf der Frequenz L1 (1575,42 MHz) wird das Signal für PPS und das Signal für SPS gesendet. Auf der Frequenz L2 (1227,6 MHz) nur das Signal für PPS. Alle Satelliten senden auf den selben Frequenzen im CDMA-Verfahren (Code Division Multiple Access). Die Satelliten senden mit nur ca. 20W. Damit der Benutzer die Satelliten von einander unterscheiden kann, sendet jeder Satellit seinen eigenen PRN-Code (Pseudo-Random-Noise-Code). Der PRN-Code ist sehr störunempfindlich. Diese Störsicherheit wird aber durch eine sehr kleine Datenrate (50bps) für die Navigationsdaten erkauft. Es sind 37 PRN definiert, die Satelliten benutzen die PRNs 1-32.

Die Navigationsdaten werden in 1500Bit langen Frames versendet, die wiederum in 5 Subframes a 300 Bit aufgeteilt sind. Den Inhalt der Subframes kann man der folgenden Grafik entnehmen. Zu beachten ist das die Almanach-Daten, also die Positionsdaten aller Satelliten in 25 Seiten unterteilt sind. Es werden 25 Frames benötigt, um die kompletten Almanachdaten zu empfangen.



PARAMETER	C/A SIGNAL	P SIGNAL
CODE CLOCK RATE - R_C	1.023 MCHIPS/SEC	10.23 MCHIPS/SEC
CODE LENGTH	1023 CHIPS (1 ms)	≈ 6 TRILLION CHIPS (1 WEEK)
DATA RATE	50 BITS/SEC	50 BITS/SEC
TRANSMISSION FREQUENCY	L1 = 1575.42 MHz = 1540 R_C	L1 = 1575.42 MHz = 154 R_C L2 = 1227.6 MHz = 120 R_C

Fehlerquellen

Die Bestimmung der Position wird durch verschiedene Einflüsse verfälscht. Die Veränderungen in der Ionosphären/Troposphären können das Signal verzögern. Gebäude und geographische Gegebenheiten können das Signal reflektieren und so zu s.g. Multipath-Fehler führen. Es kann auch vorkommen das ein Satellit defekt ist, und das noch nicht von der MCS korrigiert wurde. Diese Fehler können noch ungünstige Satellitenpositionen (eng beieinander) multipliziert werden, allgemein Geometric Dilution of Precision (GDOP) genannt. Die Genauigkeit des Empfängers ist auch sehr wichtig.

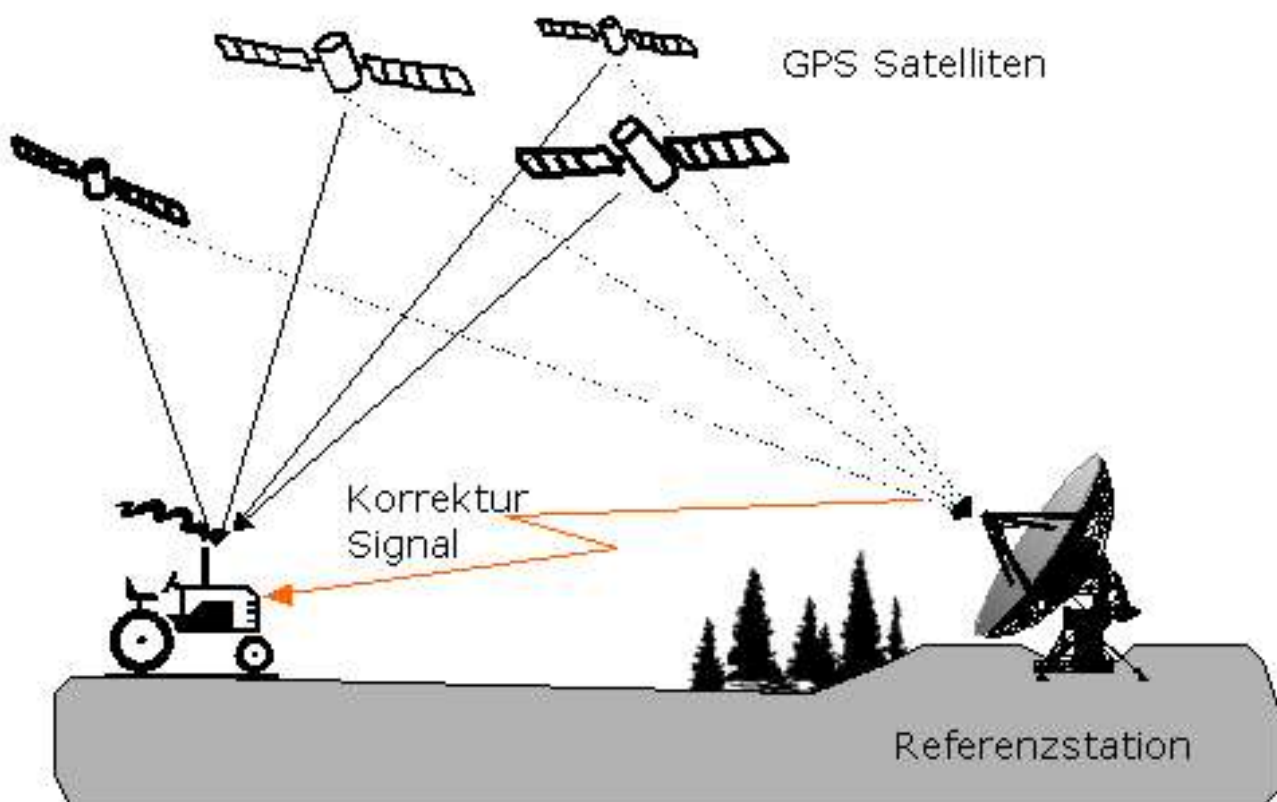
GPS-Empfänger

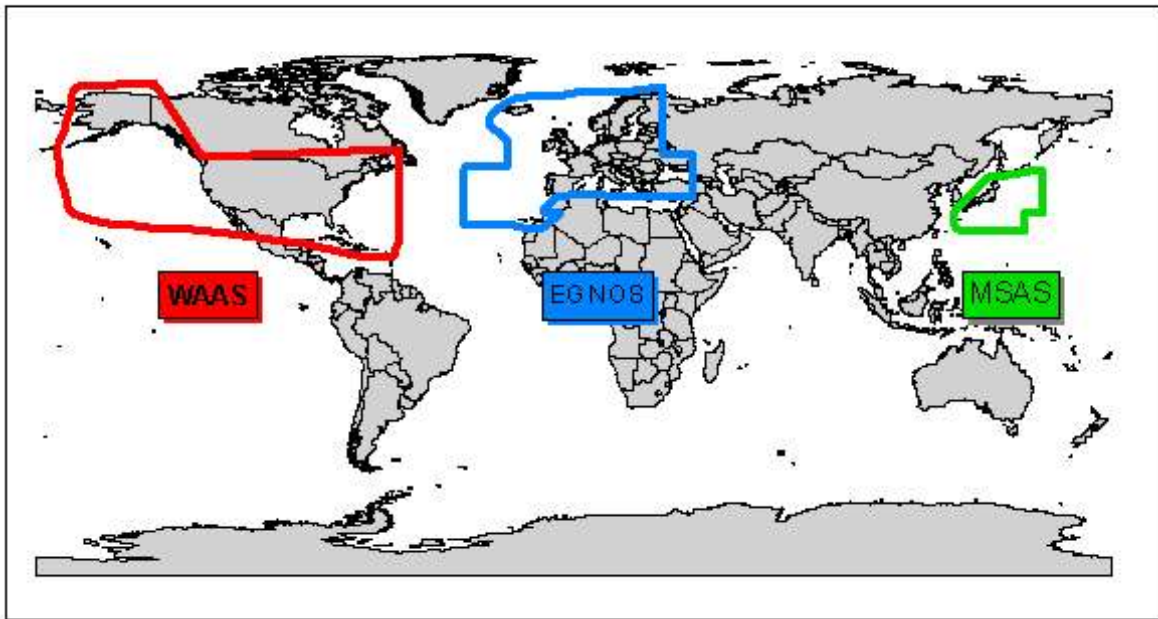
Die GPS-Empfänger gibt es in vielen verschiedenen Ausführungen und Bauformen. Schon die einfachen Modelle bieten neben der Position auch Geschwindigkeitsmessung und einen elektronischen Kompass. Die teureren Geräte bieten auch elektronisches Kartenmaterial. Ein handelsüblicher GPS-Empfänger braucht nach dem Einschalten zwischen 15s (Warmstart)-45s (Kaltstart), je nachdem ob die Almanachdaten aktuell sind oder nicht. Mit einem Batteriesatz liegt die Betriebsdauer ca. 12h.



DGPS

Differential GPS macht sich den Umstand zu Nutze, dass atmosphärische und Satelliten Fehler für relativ nah beieinander stehenden Empfänger sehr ähnlich sind. Bei DGPS werden Basisstationen eingerichtet, die ihre Position genau kennen, und somit auch wissen welche Signale sie von den Satelliten erhalten müßten. Die Basisstation vergleicht die Ist-Signale mit den Soll-Signalen und berechnet einen Korrekturwert. Diese Werte werden dem UKW-Band allen Empfängern im Umkreis zur Verfügung gestellt. Dadurch wird eine Genauigkeit von 1-3m erreicht.





Fehlerquellen Zusammenfassung

Fehlerart	GPS	DGPS
Sat.-Uhr	1,5m	0,0m
Orbit	2,5m	0,0m
Ionosphäre	5,0m	0,4m
Troposphäre	0,5m	0,2m
Rauschen	0,3m	0,3m
Multipath	0,6m	0,6m

GLONASS

Ist das russische Gegenstück zum GPS. Es ging kurz nach GPS in den Betrieb (1996). Es hatte zum Start die volle Funktion von 24 Satelliten. Zur Zeit sind aber nur noch 8 Satelliten funktionsfähig, was an der unterfinanzierung von GLONASS und der kurzen Lebensdauer der Satelliten liegt. Die Zukunft des Systems ist ungewiss.

Galileo

1999 beschloß die EU den Aufbau eines europäischen Satellitennavigationssystems als 2.Stufe für das GNSS. Die ersten Testsatelliten sind für 2005 geplant. Das System soll 2008 in Betrieb gehen, und als Kosten wurden 3-4 Milliarden veranschlagt. Bisher gibt es keine genaue Spezifikation der Dienste. Es sollen aber drei Dienste bereitgestellt werden:

- ein freier Dienst, der für alle nutzbar ist
- ein verschlüsselter Bezahldienst
- ein verschlüsselter Dienst für die Staatsorgane

Die wichtigsten Unterschiede zu GPS sollen die höhere Zuverlässigkeit, die Integration vom SAR-System und die zivile Kontrolle sein.

Literaturverzeichnis

Bücher :

Jörg Roth: Mobile Computing, dPunkt-Verlag 2002, ISBN 3-89864-165-1

Internetquellen :

http://www.commlinx.com.au/gps_glossary.htm

http://www.environmental-studies.de/Teilflächenbewirtschaftung/GPS_D/body_gps_d.html#DGPS

http://maite152.upc.es/~manuel/tdgps/tdgps1_article.html

http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/gpsrec.html>

<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/default.htm>

<http://www.trimble.com/gps/work.html>