

Systemkomponenten für ein Bluetooth-Positioniersystem

1. Eingebettete Systeme
2. GPS-System
3. Bluetooth-Positionsbestimmung
4. Systemkonzept
5. Hardware/Software/Netzwerk
6. Bisherige Ergebnisse

Dr.-Ing. Frank Winkler
Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für Informatik 1

13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

Embedded Systems

Rechneranlagen

- **Universelle** Hardware, multifunktionale Software, globale Vernetzung
- Parameter: **Rechenleistung**, Datenrate, Verfügbarkeit
- Constraints: **Preis**, Verfügbarkeit

Eingebettete Systeme

- **Applikationsspezifische** Hardware, Software und Kommunikation
- Parameter: Rechenleistung, Datenrate, **Echtzeitfähigkeit**, Robustheit
- Constraints: Abmessungen, Gewicht, Preis, Leistungsaufnahme, **Wirtschaftlichkeit**

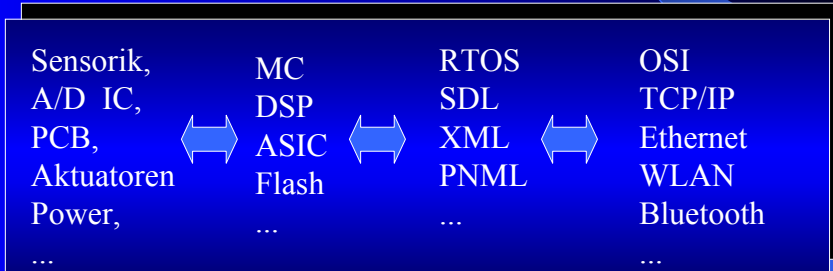
13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

2

Komponenten eingebetteter Systeme

- Hardware
- Software
- Netzwerk



13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

3

Herausforderung an eingebettete Systeme

Besondere Anforderungen

- Funktionalität
- Leistung
- Wirtschaftlichkeit
- Mobilität



Besondere Probleme

- Hoher Entwicklungsaufwand, oft primitive Werkzeuge
- Schwierige Optimierung: Leistung – Größe – Geschwindigkeit
- Notwendige system-übergreifende Betrachtung: Theorie – Implementation – Integration

13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

4

Lösungsansätze

- Interdisziplinäre Forschung
Mathematiker, Informatiker, Ingenieure, Techniker
- Universitäre Ausbildung
„Schwerpunkte der Informatik“
- Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen
FHG Dresden → http://www.eas.iis.fhg.de/es/index_de.html
- Konferenzen
„Embedded Systems Conference“,
„DATE“, „Embedded Systems and Software“
- Fachzeitschriften
„Electronic Embedded Systeme“
- Internet
<http://www.embedded.com>

13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

5

Beispiel

In-Door-Positionsbestimmungssystem

Szenario

- Der Nutzer eines mobilen, vernetzten Gerätes (z. B. Laptop, PDA, Mobiltelefon) erhält standortspezifische Daten
- Anwendung in öffentlichen Gebäuden, Messen, Bahnhöfen, Ausstellungen, Hörsälen

Gemeinsames Projekt

IHP Microelectronics Frankfurt/O., Breakthrough Department

<http://www.ihp-ffo.de/>

(Absolventenprofil: Java; C++; C; System C; VHDL; UML; SDL; Matlab)

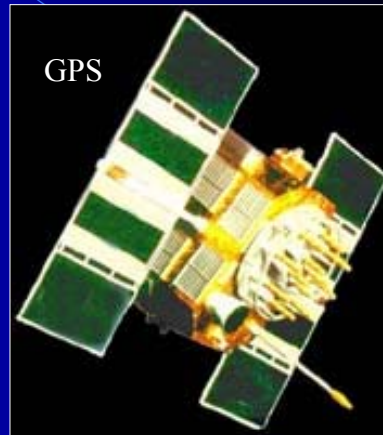
13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

6

Positionsbestimmung

- Satelliten
GPS – Global Positioning System (USA),
Galileo (EU),
GLONASS (GUS)
- Funkzellen
GSM – Global System for Mobile Communications
- Infrarot
WIP – Wireless Information Provisioning

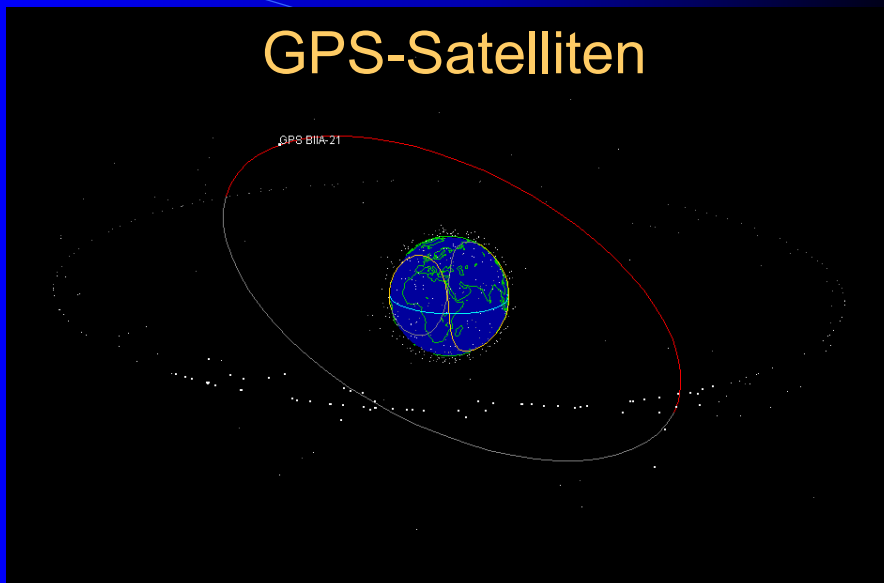


13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

7

GPS-Satelliten



Quelle: <http://science.nasa.gov/Realtime/JTRACK/3d/JTrack3D.html>

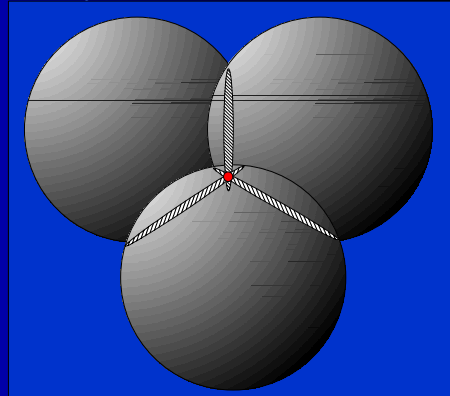
13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

8

Positionsbestimmung

- 2 Satelliten: Messung der zwei Abstände s_1 und s_2
- 3 Satelliten: Messung der drei Abstände s_1 , s_2 und s_3
- Wegmessung mittels Laufzeitmessung t elektromagnetischer Wellen $s_i = c * t_i$ mit $c = 299792 \text{ km/s}$ (3 m Weglänge in 10 ns)



Räumliche Darstellung:
Schnittpunkt dreier Kugelflächen

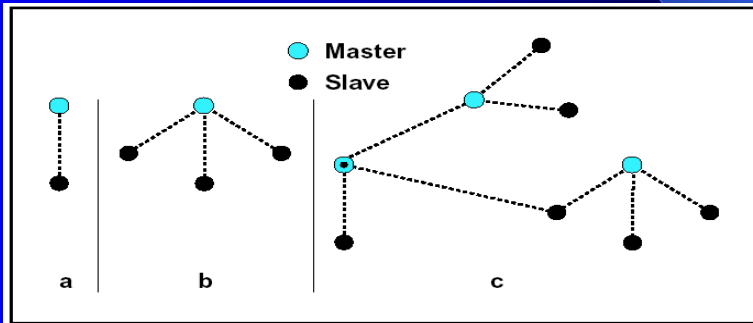
GPS-Genauigkeiten

- SPS (Standard Positioning Service)
 - L1-Frequenz 1575.42 MHz
 - C/A (Coarse/Acquisition) Code mit S/A (Selective Availability) **100 m (68%)**
 - C/A Code ohne S/A **30 m (68%)**
- PPS (Precise Positioning Service)
 - L1/L2-Frequenz 1575.42 / 1227.6 MHz
 - P (Precision) Code **16 m (68%)**

GPS erfordert – wie alle Satellitenkommunikationen – Sichtverbindung!

Bluetooth

- ISM – Band (Industrial Scientific Medicine)
- Kanalaufteilung $f = 2402+k$ MHz, $k = 0, \dots, 78$
- 1 Mbit/s, z. Z. 24 verschiedene Profile mit 64 kbit/s und 723 kbit/s
- <http://www.bluetooth.org>



13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

11

	Bluetooth	IrDA	IEEE 802.11b	Home-RF
<i>Verbindungs- typ</i>	Spread Spectrum (Frequency Hopping)	Infrarot, kleiner Winkel (30° oder weniger)	Spread Spectrum (Direct Sequence oder Frequency Hopping)	Spread Spectrum (DS oder FH)
<i>Spektrum</i>	ISM-Band	850 nm	ISM-Band	ISM-Band
<i>Übertragungs- leistung</i>	1 / 2,5 / 100 mW	100 mW	100 mW	100 mW
<i>Daten- durchsatz</i>	1 Mbps	128 kbps ... 16 Mbps (VFIR)	11 Mbps (54 Mbps - 802.11g)	Bis zu 2 Mbps
<i>Reichweite</i>	5 .. 50 m	1 m	ca. 100 m	Heimbereich
<i>unterstützte Stationen</i>	8 pro Pico- Netz	2	Mehrere Geräte pro Access-Point	127 pro Netzwerk
<i>Sprachkanäle</i>	3	1	Voice over IP	6

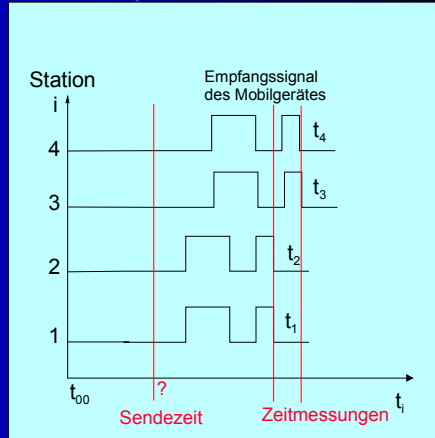
13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

12

Das In-Door-System

- 4 Basisstationen 1..4
- Uhrenabgleich durch Zeitmessung $t_{\text{ref}i}$ bei bekannter Geometrie s_{0i}
 $t_{0i} = t_{00} + s_{0i}/t_{\text{ref}i}$ ($i=1..4$)
- Zeitmessung von speziellen Signalfolgen des Mobilgerätes ergibt Empfangszeiten t_i
- Uhr des Mobilgerätes ist nicht synchronisiert!



13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

13

Mathcad-Simulation

$$S_1 := \sqrt{6} \quad S_2 := \sqrt{6} \quad S_3 := \sqrt{9} \quad S_4 := \sqrt{9}$$

Vorgabe

$$(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2 - (S + S_1)^2 = 0$$

$$(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 - (S + S_2)^2 = 0$$

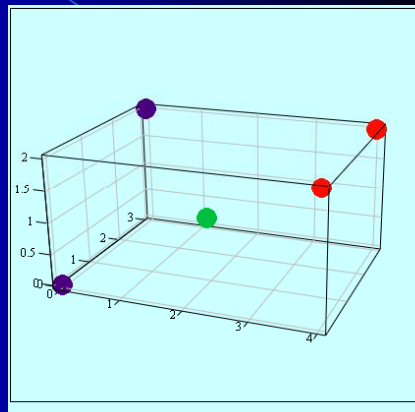
$$(X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2 - (S + S_3)^2 = 0$$

$$(X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2 - (S + S_4)^2 = 0$$

P := suchen (X, Y, Z, S)

Newton,
Levenberg-Marquard

$$P = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 1.282 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

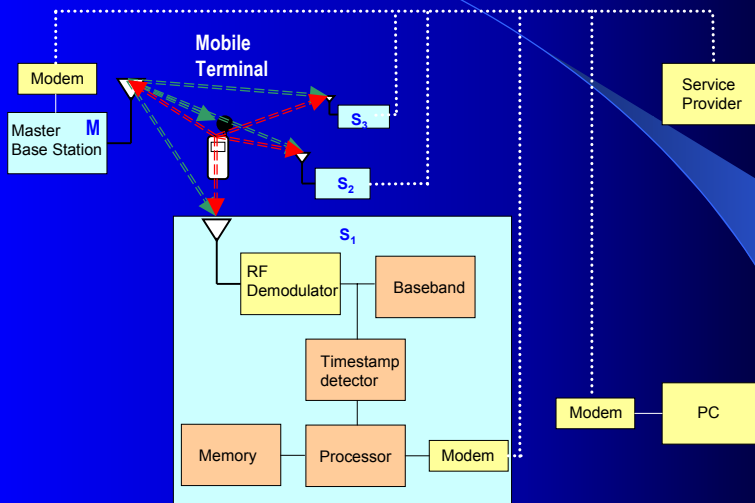


13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

14

Indoor Localization System



13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

15

Die Herausforderung

- Echtzeitfähigkeit im ns-Bereich (10 ns = 3 m)
- Nutzung eines Standard-Bluetooth-Moduls im Mobilgerät (PDA...)
- Begrenzte Netz- und Zeitressourcen (GPS: laufende Signalwiederholung)
- Gebäudeeigenschaften (Reflexion, Störungen durch andere ISM-Netze)

13.11.2003

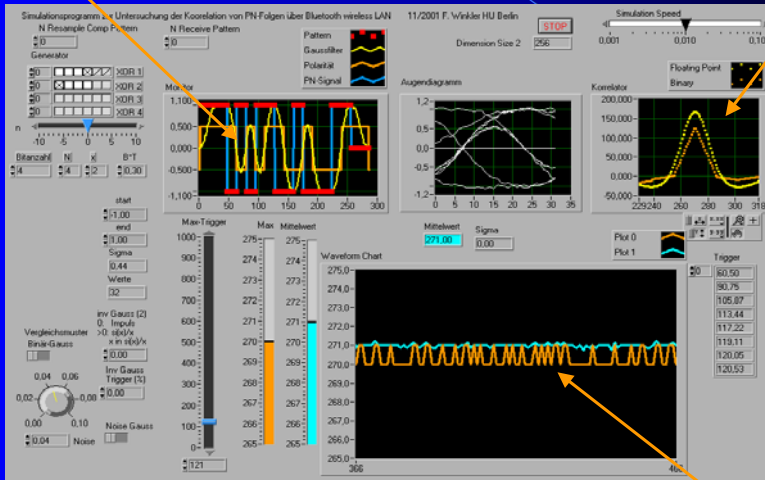
Bluetooth-Positionsbestimmung

16

Basisband-Simulation

Empfangssignal

Korrelation

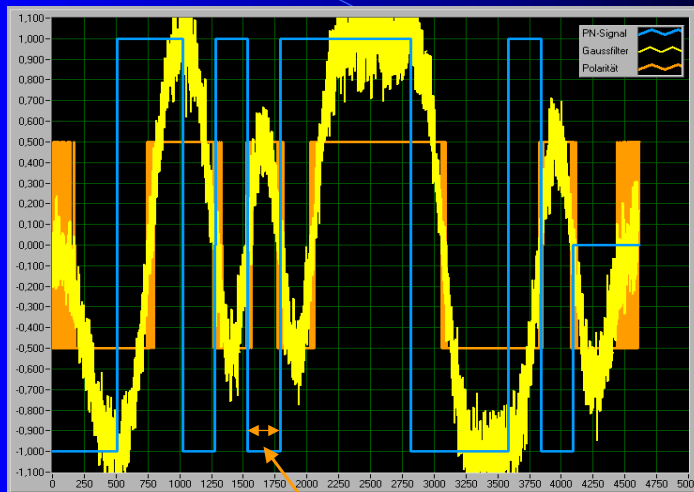


13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

Position 17

Gestörtes Empfangssignal



1 μ s = 300 m

13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

18

Korrelation

- Kreuzkorrelationsfunktion

$$\Phi_{xy}(k \cdot T_a) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n y_{n-k}$$

T_a : Abtastzeit (10 ns)
x: Samplesignal
y: Mustersignal
N: Codelänge (4096)

- Echtzeitkriterium

für jedes Samplesignal im Abstand kT_a
Produkt-Summenberechnung
über $N=4096$ Eingänge x

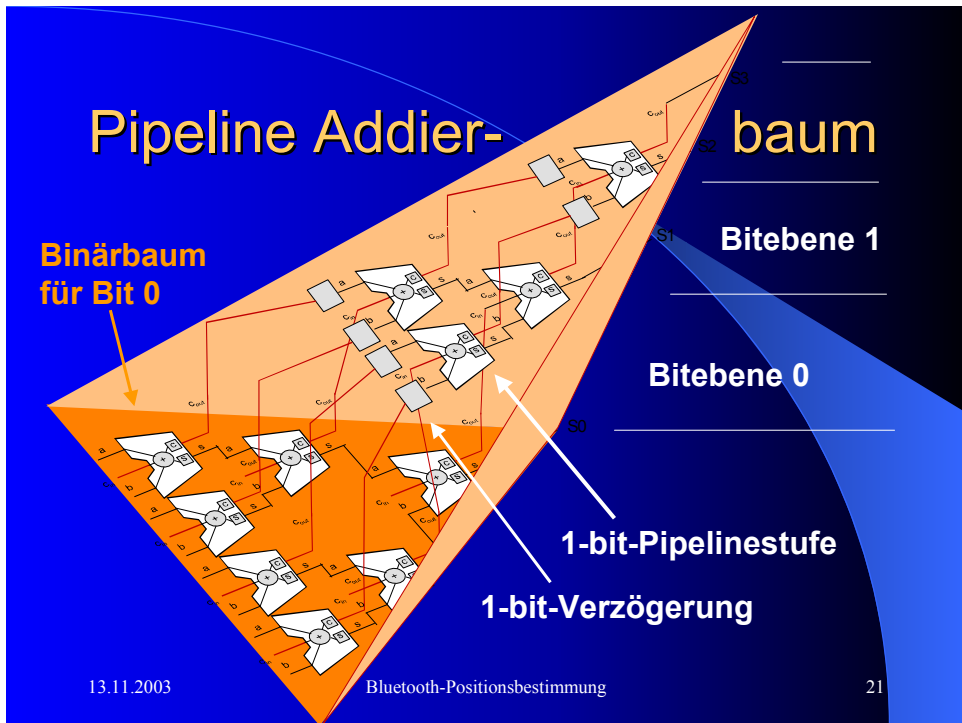
Rechenoperationen

- Multiplikation

in Bitebene primitiv, 4096 Bitmultiplizierer

- Addition

4096 Eingänge,
hohe Parallelität: Binärbaum-Struktur
Binärbäume: effizient rekursiv beschreibbar



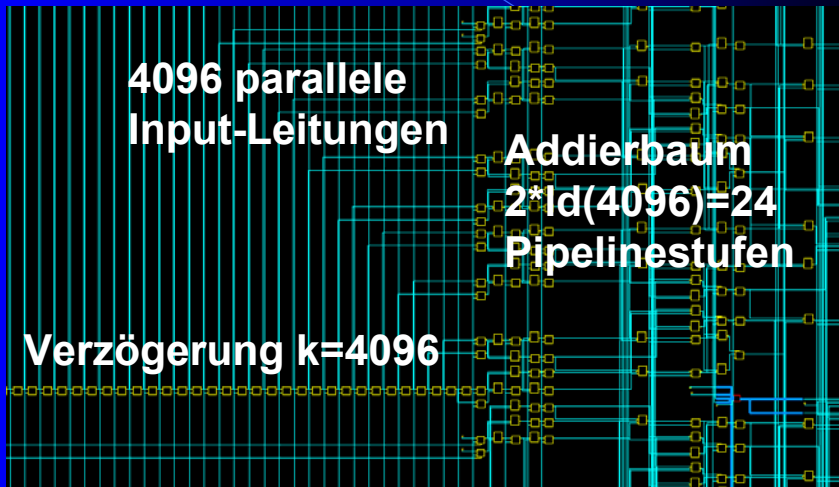
Rekursive Hardware?

- Ja, der Funktionsblock (VHDL: entity) wird in der Funktionsbeschreibung (architecture) erneut instanziiert (port map)
- Voraussetzung:
generische Parameter (generic),
statische Abbruchbedingung
- Korrelator: doppelte Rekursion

$$\text{Tetraeder_2n} \leq \text{Tetraeder_n} + \text{Dreieck_2n}$$

$$\text{Dreieck_2n} \leq \text{Dreieck_n} + \text{Linie_2n}$$
- Problem:
nur von wenigen Synthesetools unterstützt!
(z. B. Synopsys)

VHDL-Syntheseergebnis

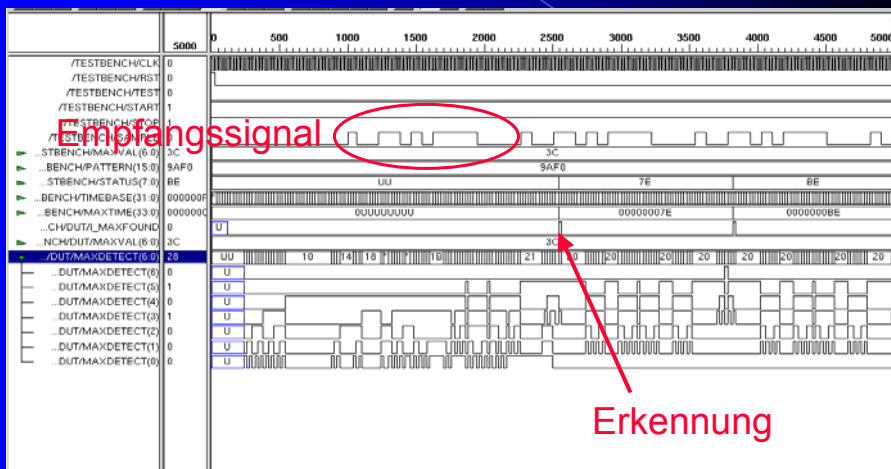


13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

23

Korrelator VHDL Simulation

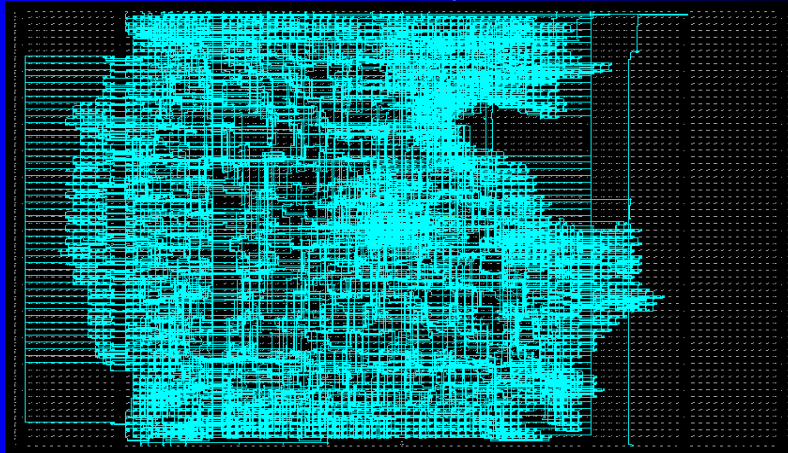


13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

24

FPGA Prototyp Layout



XCV1000E (N=2048)

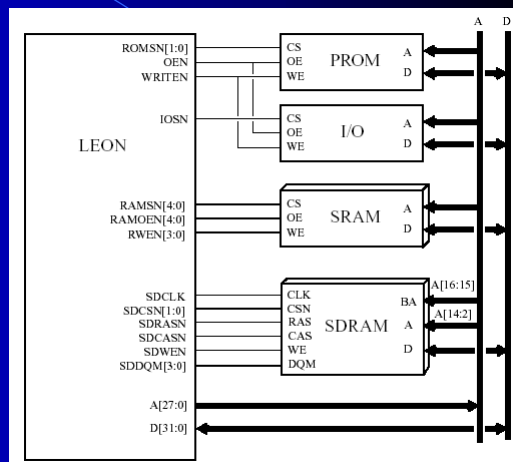
13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

25

Auswerteprozessor

- LEON (32-bit-Sparc-compatibler Prozessor-Core)
- Interface zum Korrelator-Chip
- Korrekturrechnung der Zeitmarken
- ANSI-C, leccs Compiler

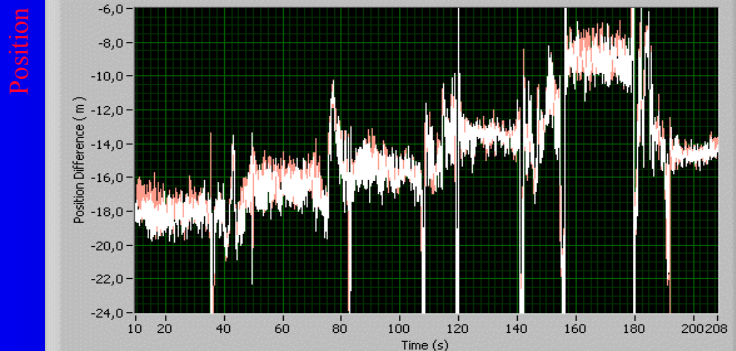
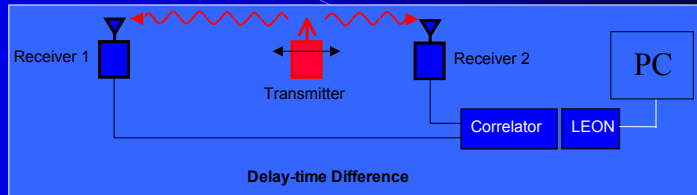


13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

26

Labor - Ergebnisse



13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung laufende Messungen

27

Netzwerk

Gelöst:

- Verfügbarkeit des Bluetooth Netzwerkes lässt grundsätzlich die Kommunikation der Stationen zu
- Mobiles Gerät benötigt „nur“ zusätzliche Software

Offen:

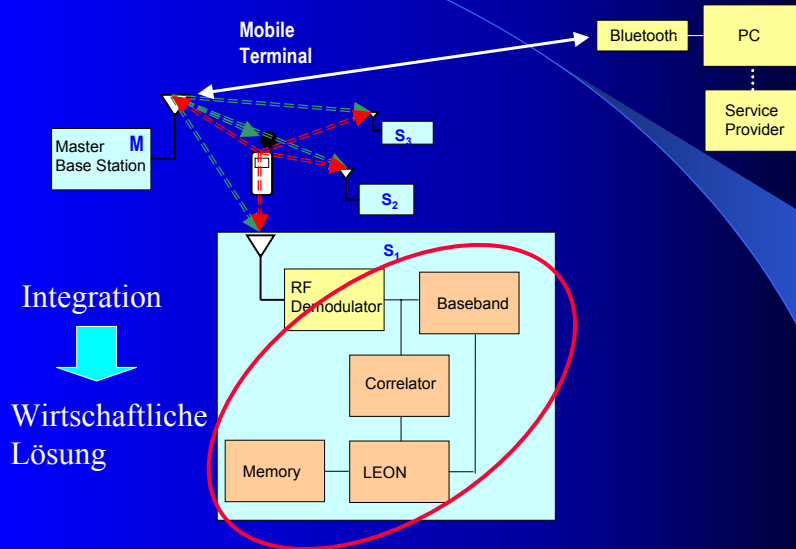
- Spezieller Auswertepfad zur Positionsbestimmung (Hardware + Software) muss in des Systemkonzept integriert werden
- Optimale Anordnung der Stationen im Raum durch Simulationsrechnungen

13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

28

Indoor Localization System



13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

29

Zusammenfassung

- Eingebettete Systeme = {HW, SW, NW}
- Integrativer Entwurf von der ersten (mathematischen) Formulierung bis zum prototypischen Systemtest
- Vielfältige Beschreibungs-, Entwurfs- und Simulationswerkzeuge, teilweise inkompatibel
- Das Bluetooth System ist geeignet zur Positionsbestimmung von mobilen Teilnehmern

13.11.2003

Bluetooth-Positionsbestimmung

30