

Offizieller Medienpartner

**embedded world 2007**  
Exhibition & Conference  
Nürnberg

HEFT 01 · JANUAR 2007 · € 7,50

# DESIGN & ELEKTRONIK

PRODUKTE UND KNOW-HOW FÜR DEN ELEKTRONIK-ENTWICKLER

## EMBEDDED WORLD

[www.elektroniknet.de](http://www.elektroniknet.de)

**Großer Messeführer**  
embedded world 2007

**Hardware**  
Kommunikative Controller

**Entwicklungswerkzeuge**  
Logikanalyse leichtgemacht

**Programmierung**  
Eclipse entschleiern

**Indoor-Lokalisierung**  
Schneller suchen mit ZigBee

**Softwarequalität**  
Sicherer mit SPICE

**SPOERLE**  
A DIVISION OF ARROW

Indoor-Lokalisierung

# Gesucht – gefunden

Während im freien Gelände die Positionsbestimmung mit GPS-basierten Systemen meist effizient und genau möglich ist, wird das GPS-Signal innerhalb von Gebäuden meist so stark gedämpft und verfälscht, dass es zur metergenauen Lokalisierung nicht mehr geeignet ist. Andererseits ist Indoor-Lokalisierung, also die Bestimmung des Aufenthaltsortes von Geräten, Personen oder Gegenständen in Gebäuden, ein heißes Thema.

Zur Positionsbestimmung werden typischerweise Messungen des Abstandes zwischen einem Objekt und mehreren bekannten Referenzpunkten durchgeführt, oder es werden Winkel zwischen dem Objekt und Referenzpunkten bestimmt. Der Abstand zwischen zwei Punkten lässt sich über die Laufzeit eines Signals bestimmen (time of flight,

TOF). Hier kommen Licht, Schall oder Radiowellen zum Einsatz. Außer über Laufzeitbestimmungen erlaubt auch die abstandsabhängige Intensität das Messen der Entfernung, zum Beispiel durch die Stärke eines Funksignals (RSSI). Aus den Abständen zu den Referenzpunkten ergibt sich die Position des Objektes mittels Trilateration. Für eine dreidimensionale Positions-

bestimmung sind Distanzen zu drei Referenzpunkten notwendig. Wenn wie bei GPS nicht die tatsächliche Laufzeit eines Signals bestimmt wird, sondern nur Laufzeitunterschiede zwischen den verschiedenen Signalwegen, sind zur Positionsbestimmung vier Referenzpunkte notwendig. In Bild 1 sind einige Abstands- und winkelbasierte

Messaufbauten skizziert. Bild 1a zeigt ein einfaches Laufzeitverfahren. Gleichzeitig starten drei Signale an den Referenzpunkten Pos1 bis Pos3, ebenso die Stoppuhr im Empfänger an Pos?. Der Empfänger kennt den Startzeitpunkt und bestimmt die drei Eintreffzeiten der Signale. Dann kann er die Laufzeiten und schließlich seine Position bestimmen. Die Gleichzeitigkeit wird durch die »sync«-Markierungen im Bild ausgedrückt. Werden Funksignale mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca.  $3 \times 10^8$  m/s verwendet, so muss für eine Genauigkeit von 30 cm in der Laufzeitmessung die Synchronisierung zwischen Sender und Empfänger besser als eine Nanosekunde sein. Diese Synchronisierung ist deshalb ein wichtiger Designaspekt von Lokalisierungssystemen. In Bild 1d sind nur die Sender untereinander synchronisiert, aber nicht der Empfänger. Ein solcher Auf-

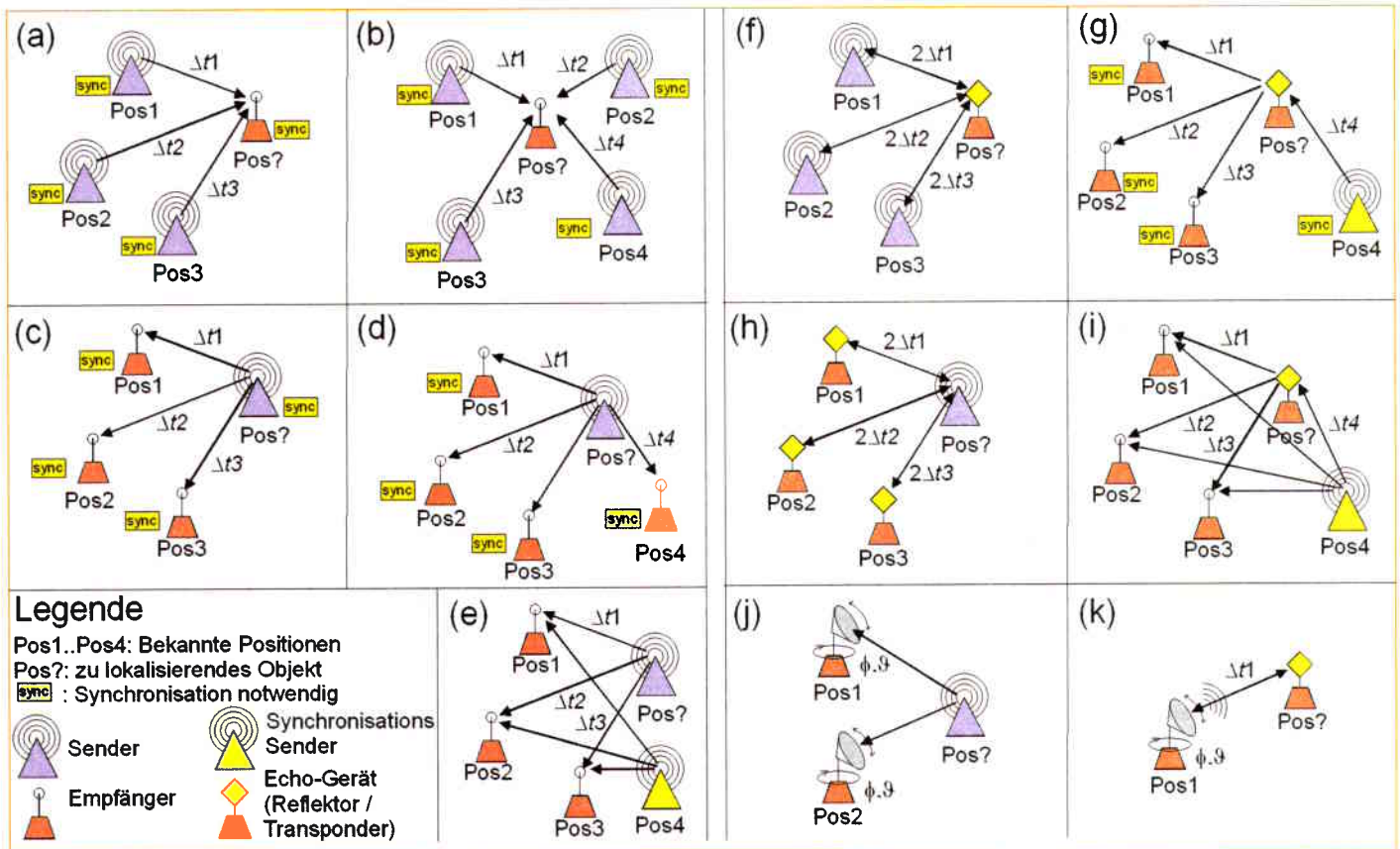


Bild 1: Übersicht über Laufzeit- und Winkelbasierte Lokalisierungssysteme

bau wird zum Beispiel bei GPS oder GALILEO verwendet. Hier erfolgt die Synchronisierung durch Atomuhren, auch ein Synchronisierungssender an einer bekannten Position kann gute Dienste leisten (Bild 1 (e)).

Eine Variante sind die Echo-Verfahren (Bild 1f-k). Hier wird das Signal am zu lokalisierenden Objekt oder an Referenzpositionen reflektiert. Für Indoor-Lokalisierung kommen hier meist keine reinen Reflektoren zum Einsatz, sondern passive oder aktive Transponder. Die Varianten (j) und (k) nutzen auch Winkel zur Positionsbestimmung. Der Aufbau in Bild 1k entspricht dem klassischen Radar.

Die meisten zur Zeit aufkommenden Indoor-Lokalisierungssysteme verwenden die Signalstärke von Funksignalen, um ein Maß für die Entfernung zwischen Referenzpunkten und dem Objekt zu erhalten [1, 2, 3, 4]. Solche Systeme nutzen typischerweise WLAN-Accesspoints oder IEEE802.15.4-Transceiver als Referenzpunkte. Die Position eines mobilen Empfängers, z.B. eines mit WLAN ausgestatteten PDA, lässt sich so typischerweise auf etwa 2 m bis 3 m genau bestimmen. Die Genauigkeit dieser Verfahren steigt, wenn der Positionsbestimmungs-Algorithmus nicht nur Distanzen schätzt sondern Karten mit gemessenen Feldstärken mit einbezieht. Diese Feldstärkedaten müssen einmalig während der Installation vermessen und aufgezeichnet werden.

Eine höhere Genauigkeit erhält man mit Funk-Laufzeitbasierten Messverfahren, welche aber in der Implementierung erheblich aufwändiger sind. Typischerweise wird hier ein Aufbau verwendet, wie er in Bild 1d oder 1e dargestellt ist. Bei Verwendung von Ultrawideband-Signalen werden Genauigkeiten von besser als 30 cm erreicht [5]. Systeme, welche schmalbandige Signale verwenden, sind empfindlicher gegen Störungen durch Mehrweg-Ausbreitung, andererseits kann in geeigneten Umgebungen durch Auswertung der Pha-

senlage des Trägersignals eine höhere Genauigkeit bis unterhalb eines Zentimeters erreicht werden [6], RF-Verfahren, welche ein von einem Reflektor oder Transponder zurückgesendetes Signal auswerten (Bild 1f und h), sind ebenfalls recht viel versprechend [7]. Hier ist keine Synchronisation der Empfänger notwendig. Wenn der Transponder seine Antwort nicht simultan sondern verzögert sendet, muss aber eine der gewünschten Genauigkeit entsprechende Synchronität zwischen Empfangssignal und Antwort erreicht werden, also für 15 cm Längenauflösung etwa eine Nanosekunde.

Optische Laser-Positionierungsmethoden finden zum Beispiel in der Logistik zur automatischen Steuerung von Gabelstaplern Anwendung. Diese Systeme haben eine hohe Präzision im Zentimeterbereich oder besser, sind aber aus Kostengründen oder wegen der Größe der Einheiten nicht allgemein zur Positionsbestimmung von Personen oder kleinen Geräten geeignet. Eine geringere Genauigkeit erreichen Infrarotsysteme. Hier werden entweder Intensität oder das bloße Vorhandensein [8] ausgewertet, oder, z.B. anhand der Daten einer kleinen Infrarot-Chipkamera, Winkel ausgewertet [9].

Ultraschall-Lokalisierungssysteme [10] bieten eine hohe Genauigkeit, wenn das Ultraschallsignal ungestört vom Sender zum Empfänger gelangen kann. Es durchdringt aber kaum selbst dünne Gegenstände wie Stoff oder Papier. Üblicherweise werden Sender und Empfänger über ein Funksignal synchronisiert und dann die Zeitspanne bestimmt, die das Schallsignal vom Sender zum Empfänger benötigt.

### Anwendungsarchitektur

Die typischen Anwendungen von Indoor-Lokalisierung sind Besucherführung, Ortung von Gegenständen, z. B. Spezialgeräten in einem Krankenhaus, die Auffindung von Personen oder ortsbezogene Informationsbereitstellung. Der Anwender erhält am besten über ein Service-orientiertes Positions-Informationssystem Zugriff auf diese verschiedenen Dienste, wie in Bild 2 dargestellt. Ein solches System beinhaltet als Herzstück eine Positionsdatenbank, in welcher sich

#### Dr. Stefan Knauth

arbeitet im Kompetenzzentrum CEESAR mit

#### Prof. Alexander Klapproth

an der Hochschule für Technik und Architektur Luzern

# Komplette Bandbreite



Trusted ePlatform Services

## ADVANTECH

### Embedded Box Computer

Advantechs neue ARK- Familie umfasst eine komplette Serie an Embedded Box Computern und bietet somit die Möglichkeit einer angepassten und flexiblen Lösung für Ihre Applikationen. Dieses modulare Embedded Box Computer System verfügt außerdem über unterschiedliche Größen und Ausstattungen.

Wichtige Merkmale sind:

- Skalierbare Performance
- Flexible I/O Konfiguration
- Langfristige Verfügbarkeit
- Kompakt & Robust
- Lüfterlos



ARK-3380



ARK-5280



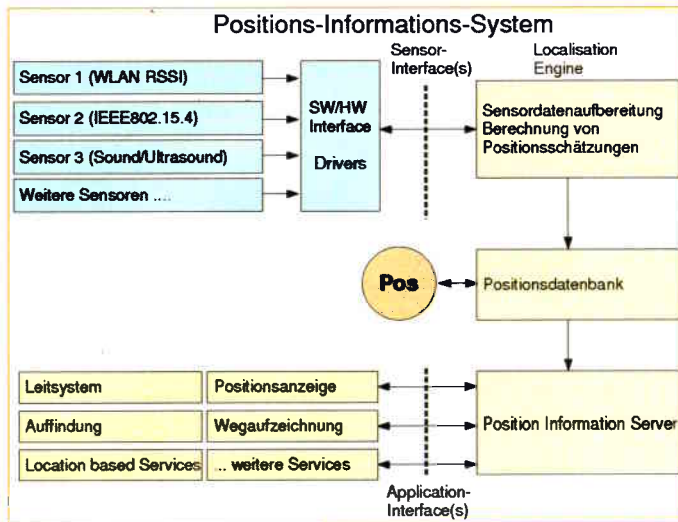
**embedded world 2007**  
Exhibition & Conference  
Nürnberg

13.-15.02.07, Halle 12.0, Stand #12.326

© 2006 Advantech Germany [www.advantech.de](http://www.advantech.de)

#### Advantech Europe GmbH

Hans-Fiedl-Str. 23 85622 Feldkirchen  
Tel.: +49 (89) 125 99-0 Fax: +49 (89) 125 99-1220



**Bild 2: Indoor-Positions-Informationssystem**

die Positionen eines Gegenstandes oder einer Person finden. Eine Lokalisierungs-Engine füttert diese Datenbank, sie errechnet Positionsschätzungen anhand von Daten der Lokalisierungshardware sowie von Informationen über das Gebäude (Wände, Treppen, Türen, Decken, etc.) und Annahmen über die Mobilität des gesuchten Gegenstandes/Person. Eine solche Lokalisierungs-Engine kann Daten verschiedenster Sensoren mit unterschiedlicher Genauigkeit und Verfügbarkeit in die Berechnung mit einbeziehen und ermittelt anhand der Daten eine optimale Positionsschätzung.

### Beispiele aus der Forschung

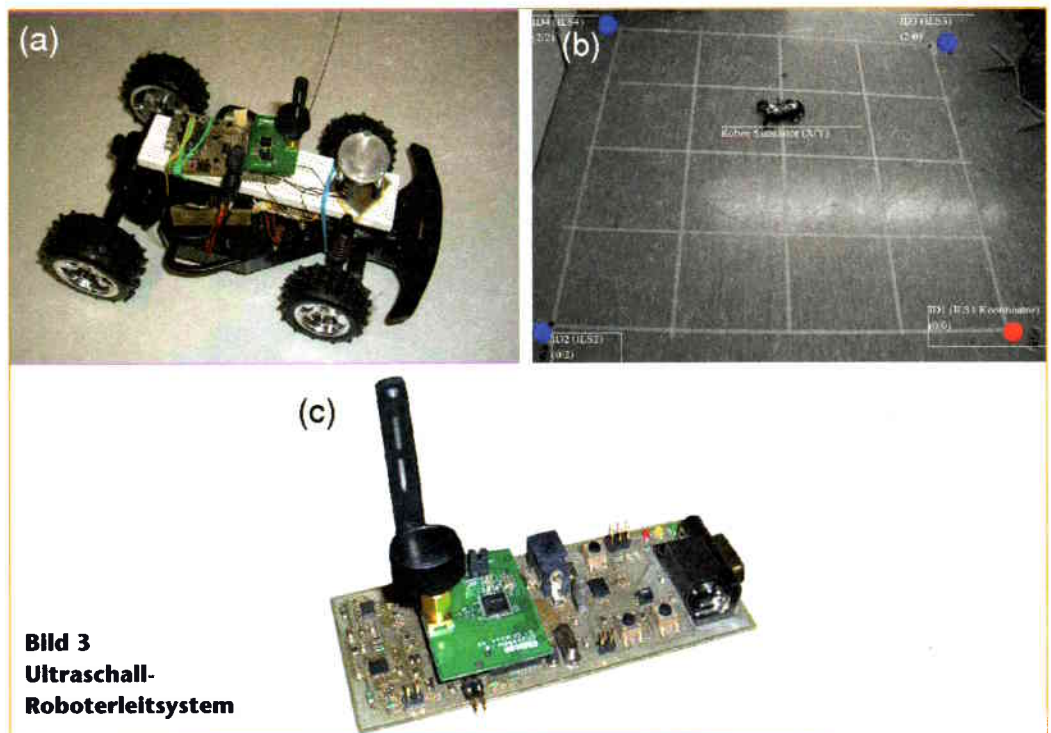
Über das Anwendungs-Interface, auch als Position-Information-Server bezeichnet, greift der Anwender auf die Positiondatenbank zu. Anwendungen wie »Geräte- und Personenauffindung« fragen über das Interface Positionsdaten ab und stellen die Daten beispielsweise auf dem Bildschirm einer Krankenschwester dar, die einen Arzt sucht. Dienste wie Besucherführung laufen auf einem PDA und zeigen Karten und Hinweise an, wo ein Ort zu finden ist. Das mobile

Gerät ist über WLAN mit dem Position-Information-Server verbunden. Der PDA kann auch Sensoren besitzen, um seine Position zu bestimmen. Diese Sensoren können Treiber sein, welche die WLAN-Feldstärkedaten auslesen. Die Sensorinformationen werden von der Lokalisierungs-Engine über das Sensor-Interface abgefragt. Ein solches System ist sehr anpassungsfähig und stark von den eigentlichen Lokalisierungsmethoden abstrahiert, und doch können die Sensoren und manche Applikationen auf ressour-

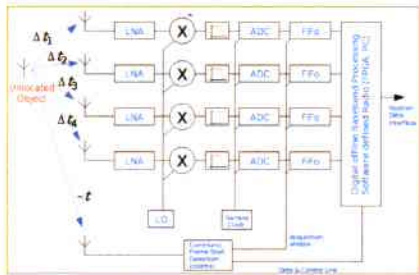
schwachen Embedded Systemen implementiert werden.

Das am CEESAR (Centre of Excellence for Embedded Systems Applied Research der Hochschule für Technik und Architektur Luzern) entwickelte Ultraschallbasierte Lokalisierungssystem »ILS« erreicht Genauigkeiten von wenigen Zentimetern bei einer Update-Rate von etwa einer Sekunde. Eine Beispielanwendung ist die automatische Führung und Steuerung eines Roboters, hier ein Modellauto (Bild 3b). Das System besteht aus Markierungssendern und einem mobilen Empfangsteil, welches seine Position anhand der empfangenen Signale selbst berechnen kann. Die Sender arbeiten einige Monate batteriebetrieben und senden Ultraschall- und Funksignale aus (Bild 3c). Solche Systeme sind an einigen Labors implementiert und untersucht worden [10]. Einfache Systeme detektieren den Beginn des Ultraschallpulses mit Hilfe eines Schwellwertes. Dadurch wird die gemessene Laufzeit Intensitätsabhängig. Komplexe Systeme sampeln das Ultraschallsignal mit A/D-

Wandlern und werten es dann mit Signalverarbeitungs-Algorithmen aus. Dies ist jedoch in einem 8-Bit-Mikrocontroller nicht sinnvoll implementierbar. In diesem System werden mehrere Schwellwerte beobachtet und dadurch der Anstieg des Signals bestimmt. Mit dieser verhältnismäßig einfachen Methode lässt sich der Abstand zwischen Sender und Empfänger über einen Bereich von 10 m ohne Verstärkungsregelung auf ein bis zwei cm genau bestimmen. Aus drei solchen Messungen wird die Position auf dem Empfangscontroller selbst auf wenige cm genau bestimmt. Die Sender senden alle 0,6 s einen 40-KHz-Ultraschallburst und einen IEEE802.15.4-Frame, welcher den Empfänger synchronisiert und die Sender-Identifikation enthält. Ein zufälliger Jitter von  $\pm 0,1$  s reduziert die Kollisionswahrscheinlichkeit. Da die Sender untereinander nicht kommunizieren, können sie sehr effektiv von den energiesparenden Schlafmodi der verwendeten HCS08-Mikrocontroller von Freescale Gebrauch machen und verbrauchen durchschnittlich etwa 1 mA,



**Bild 3**  
**Ultraschall-**  
**Roboterleitsystem**



**Bild 4 Schema eines Laufzeitmesssystems**

was etwa zwei Monaten Laufzeit mit zwei AAA-Batterien entspricht. Ein weiteres Forschungsprojekt untersucht die genaue Lokalisierung von IEEE802.15.4-Sendern (Zigbee) mittels Funk-Laufzeitmessungen, welche normale Datenpakete verschicken. Der prinzipielle Aufbau entspricht Bild 1d. Ein detaillierteres Schema des Vierkanal-Empfängers ist in Bild 4 dargestellt. Das HF-Signal wird von vier Antennen an verschiedenen Standorten empfangen und verstärkt. Dann werden die vier RF-Zweige mit einem gemeinsamen lokalen Oszillator gemischt und gefiltert. Für IEEE802.15.4 mit einer Bandbreite von ca. 4 MHz wird eine ZF von 20 MHz gewählt. Das Signal wird mit typisch 100 MSamples digitalisiert und gepuffert. Die Daten der Frames werden asynchron via USB von einem PC ausgelesen, welcher die IQ-Demodulation und Berechnung der Phasenableitung durchführt und schließlich durch Korrelation die Laufzeitunterschiede berechnet. Im Moment ist das volle Setup noch nicht implementiert. Mit einem vereinfachten Zweikanal-Setup mit

4 MHz Abtastrate konnten aber bereits Signale aufgezeichnet und dekodiert werden. Durch gegenseitige Korrelation und Normierung mit den Autokorrelationen der Signale der einzelnen Kanäle wurden bereits Standardabweichungen der Laufzeitunterschiede gemessen, die bei Einzelmessungen ca. 0,5 m bzw. ca. 2 ns betragen. Dies entspricht grob einem Hundertstel des Abstandes zweier Samples. Da etwa 50 bis 100 Datenpakete pro Sekunde ausgewertet werden können, liegt das Rauschen der Messwerte bei einer Sekunde Messzeit unter 5 cm, aufgrund der niedrigen Sampling-Frequenz des bisher verwendeten Setups lassen sich unterschiedliche Signalwege (Mehrwegausbreitung) nicht ohne weiteres auflösen. Dafür ist es im vorgestellten Messprinzip möglich, die Phasenunterschiede der Trägerfrequenz der empfangenen Signale sehr genau zu bestimmen.

Wenn die Korrelationsgenauigkeit besser als die halbe Wellenlänge ist, dies entspricht bei den verwendeten 2,4 GHz etwa 12 cm, kann die Phaseninformation mit verwendet werden und die Gesamtgenauigkeit des Verfahrens kann wenige Zentimeter oder besser sein. (mc)

CEESAR, Hochschule für Technik und Architektur Luzern  
Telefon 00 41/41 34 93 51 2  
www.ceesar.ch



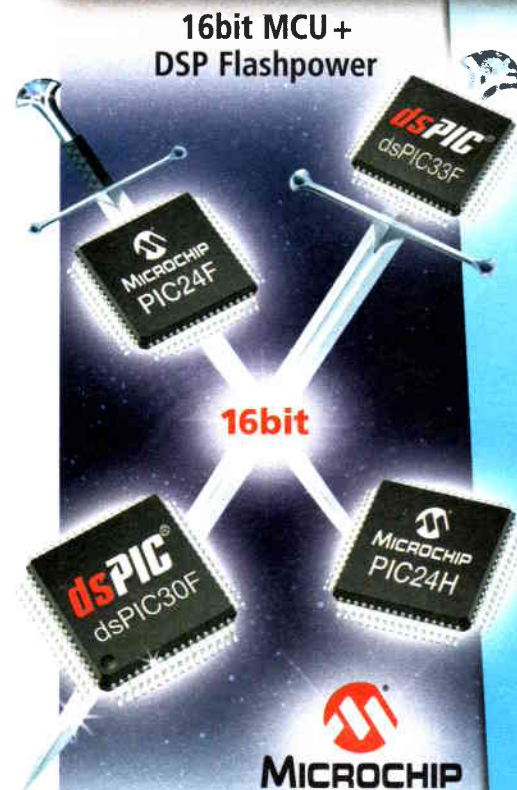
Halle 11  
Stand 210

#### Referenzen

- [1] Microsoft-Radar: <http://research.microsoft.com/~padmanab/papers/infocom2000.pdf>
- [2] Intel WLAN Lokalisierung: [www.placelab.org](http://www.placelab.org)
- [3] Fraunhofer: [http://www.iis.fraunhofer.de/ec/navigation/indoor/kompetenz/index\\_d.html](http://www.iis.fraunhofer.de/ec/navigation/indoor/kompetenz/index_d.html)
- [4] TI-Chipcon CC 2430: [www.chipcon.com](http://www.chipcon.com)
- [5] UWB-Lokalisierungssysteme: Sapphire DART, Multispectral Solutions Inc, Germantown, MD, USA; UBISENSE RTLS, Cambridge, UK; Parco RTLS, Parco Merged Media, Portland, Maine, USA
- [6] RF-TOF-Lokalisierungssysteme: CAIROS Technologies AG, Karlsbad, BRD; Navsys POS-COMM, Navsys Corporation, Colorado Springs, CO, USA; Paric Measurement, Auckland, New Zealand; LPM System, ABATEC Electronic AG, Regau, Österreich
- [7] Symeo GmbH, München, BRD: [www.symeo.com](http://www.symeo.com)
- [8] Active BAT Infrared: [www.cl.cam.ac.uk/Research/DTG/attarchive/ab.html](http://www.cl.cam.ac.uk/Research/DTG/attarchive/ab.html)
- [9] The IRIS IR Project: [http://www.tk.informatik.tu-darmstadt.de/SpotlightProjekt/02\\_04/IRIS](http://www.tk.informatik.tu-darmstadt.de/SpotlightProjekt/02_04/IRIS)
- [10] Ultraschall: MIT cricket: <http://nms.lcs.mit.edu/projects/cricket/>; Berkeley Calamari: <http://www.cs.berkeley.edu/~kamin/calamari/>; Carnegie-Mellon Millibot: [http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~rjg/millibots/millibot\\_localization.html](http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~rjg/millibots/millibot_localization.html); Cambridge Active Badge: <http://www.cl.cam.ac.uk/Research/DTG/attarchive/bat/>

**HY-LINE®**  
COMPUTER COMPONENTS

# Die vier Musketiere



**Vier Familien, gleicher Core, gleiches Instruction Set, gleiche Entwicklungsumgebung**

- Mehr als 80 verfügbare Basis-Derivate
- 40MIPS Flash Power bis 256kb
- Volle DSP Funktionalität abrufbar, wenn benötigt
- Lowest Cost 18pin 6x6mm bis Highest Performance Peripherie in 100pin
- ADC 10bit/12bit bis zu 2 Msamples

#### Explorer 16 Starter Kit

inkl. IDE, C Compiler-SE, MPLAB® ICD 2-In Circuit Debugger, Explorer 16-DevBoard, Netzteil, PIC24FJ128GA010 & dsPIC33F256GP710 Module



**Aktionsangebot**  
**€119,-**  
zzgl. MwSt.  
\*bis Ende März 2007

HY-LINE Computer Components GmbH  
Inselkammerstr. 10 · D-82008 Unterhaching  
Tel.: 089/614 503-40 · E-Mail: [computer@hy-line.de](mailto:computer@hy-line.de)