

Wireless Body Area Networks (WBAN)

Michael Ederer

Betreuer: Christoph Söllner, Corinna Schmitt

Seminar: Sensorknoten - Betrieb, Netze und Anwendungen

Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste, Lehrstuhl Betriebssysteme und Systemarchitekturen

Fakultät für Informatik, Technische Universität München

Email: michael.ederer@in.tum.de

KURZFASSUNG

Der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der kabellosen Kommunikation sowie in der gesamten Halbleiterbranche hat einen signifikanten Einfluss auf den Bereich der Sensornetzwerke, die in einer Fülle von unterschiedlichen Anwendungen verbreitet sind. Thema dieses Papers sind sogenannte Wireless Body Area Networks (WBAN), welche vorrangig zur Erfassung von Vitalfunktionen eingesetzt werden können. Hierbei werden die Daten von unterschiedlichen Sensoren erfasst und an einen zentralen, intelligenten Sensorknoten zur weiteren Verarbeitung kabellos übermittelt. Dieses Konzept beschränkt sich auf die Anbindung der am Körper getragenen Sensorik, wobei das jeweilige drahtlose Netzwerk nur genau die Sensoren eines bestimmten Trägers umfasst. Im weiteren Verlauf dieses Papers werden neben der zugrundeliegenden Architektur die typischen Einsatzszenarien sowie die Bestandteile eines WBANs dargestellt.

Schlüsselworte

Wireless Body Area Networks, WBAN, Sensornetz, Activity Monitoring, Medical Monitoring

1. EINLEITUNG

Im Profisport werden die Athleten mittels neuester Computertechnik ständig beobachtet, meistens unter Verwendung von hochwertigen Tracking-Systemen. Aber auch abseits des Profisports lassen sich neuerdings Leistungswerte relativ einfach ermitteln, durch den Einsatz von WBAN basierenden Anwendungen [17]. Der Bereich der Wireless Body Area Networks profitiert wie alle Sensornetzwerke vom rasanten Fortschritt im Bereich der drahtlosen Kommunikation sowie der Miniaturisierung elektronischer Schaltkreise [3]. Beflügelt durch den technischen Fortschritt bieten WBANs eine breite Palette an möglichen Anwendungsgebieten. Ein wichtiges Anwendungsszenario eines WBAN Systems könnte im Bereich der intelligenten medizinischen Patientüberwachung [4], sowie im Sportsegment zur Erfassung von Körperfunktionen, liegen. Durch die große Vielfalt an existierenden Sensoren können die verschiedensten Applikationen realisiert werden. Traditionelle Überwachungssysteme wie etwa ein Elektrokardiogramm basierten bisher auf kabelgebundenen Sensoren, welche nur im offline Betrieb verwendet wurden. D.h. die erfassten Daten werden nicht weiterkommuniziert sondern direkt verarbeitet. Ein kabelloses Monitoring System könnte unter Verwendung eines Body Area Networks

(BAN) am Körper des Nutzers angebracht oder in dessen Kleidung integriert werden [7]. Mit Sensorik ausgestattete Kleidung ist kein neues Thema. So wurde zum Beispiel bereits um die Jahrtausendwende an der Universität von Rochester an intelligenten Socken und Bandagen geforscht [12]. Allgemein betrachtet stellen sogenannte „smart clothes“ eine Alternative zu WBAN basierenden Systemen dar [4]. Bei diesem Ansatz wird auf drahtlose Kommunikation verzichtet, was den Preis der Sensorik verringert, allerdings mit dem Nachteil der eingeschränkten Erweiterbarkeit.

Im 2. Abschnitt dieses Papers wird neben dem Begriff des WBANs die Architektur sowie typische Herausforderungen an ein solches System definiert. Kapitel 3 gibt einen Überblick über typische Einsatzszenarien, welche anhand von zwei Anwendungsbeispielen im medizinischen und kommerziellen Segment illustriert werden. Abschließend wird in Abschnitt 5 eine kurze Zusammenfassung des Papers präsentiert.

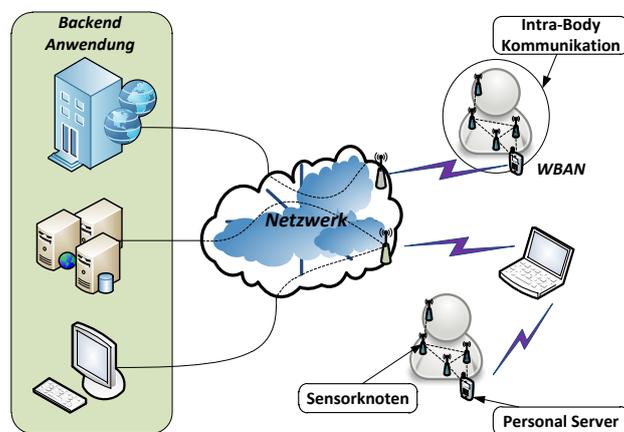


Abbildung 1: Illustration eines WBANs

2. DEFINITION EINES WBANS

Ein drahtloses körpernahes Netzwerk (Wireless Body Area Network - WBAN) stellt ein spezialisiertes Netzwerkkonzept dar, das sich im IEEE 802.15 Standard der Wireless Personal Area Network - WPAN einordnen lässt (vgl. Abbildung 2). Der prinzipielle Unterschied zwischen WBAN, das in der IEEE Working Group sechs und sieben [8] bearbeitet wird und WPAN liegt in den verschiedenen Reichweiten. Man spricht von einem WPAN typischerweise bei einer

Entfernung von 0,2 - 50 Meter. Bei einem WBAN liegt die

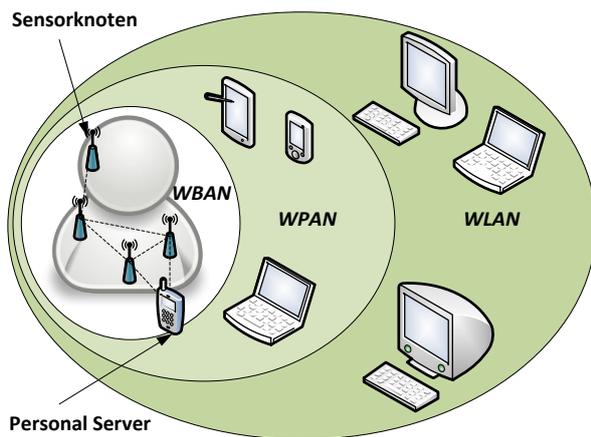


Abbildung 2: Einordnung eines WBANs

maximale Ausbreitung bei etwa zwei Metern [8]. Funktionell entspricht ein WBAN den sogenannten Body Area Networks (BAN), welche hauptsächlich zur Erfassung von Vitalfunktionen eingesetzt werden. Die wesentliche Abgrenzung liegt in der drahtlosen Kommunikation der Sensorik. Bei diesem Konzept werden am Körper getragene oder implantierte Sensoren via Funktechnologie verbunden, wobei jeweils nur die Geräte genau einer Person zu einem WBAN zusammengefasst werden. Die heterogenen Sensorknoten kommunizieren kabellos mit einem zentralen, intelligenten Knoten, welcher für die weitere Verarbeitung bzw. Übertragung der erfassten Sensordaten zuständig ist. Ein Wireless Body Area Network besteht im wesentlichen aus drei Segmenten:

1. Erfassung der Vitalfunktionen
2. Zentrale Datensammlung
3. Datenauswertung/ Analyse

Abbildung 1 stellt die mögliche Struktur eines WBANs mit den zuvor aufgeführten Teilbereichen dar. Die am Körper angebrachte Sensorik erfasst Vitalfunktionen wie Blutdruck, Herzfrequenz oder Körpertemperatur und übermittelt diese an einen zentralen Knoten, welcher zum Beispiel durch ein Smartphone oder einen PDA repräsentiert werden kann. Häufig wird der zentrale Knoten als CCU (Central Control Unit) [1] oder als Personal Server [7] bezeichnet, wobei es sich beim Personal Server in der Regel um eine Anwendung handelt, welche auf dem jeweiligen Endgerät installiert wird. Hingegen entspricht die CCU einem eigenständigen Gerät. Diese Tatsache ermöglicht bereits Rückschlüsse auf typische Einsatzgebiete dieser beiden Varianten. So kann der Personal Server im privaten Sektor und die Variante mit einer CCU eher im Krankenhausbereich angesiedelt werden [1]. Der zentrale Knoten agiert, abhängig vom Einsatzgebiet als Benutzerschnittstelle oder eine Art Gatewayknoten, welcher die Daten über ein beliebiges Kommunikationsnetzwerk an

eine Remote-Anwendung übermittelt. Gerade bei der Smartphone Variante ist oftmals eine Kombination der beiden Features die Regel. In den nachfolgenden Teilabschnitten dieses Kapitels werden die einzelnen Sektoren eines WBANs genauer beschrieben.

2.1 Architektur

Wie im einleitenden Abschnitt dieses Kapitels bereits erwähnt, besteht ein Wireless Body Area Network im wesentlichen aus drei Segmenten, wobei jeder Bereich durch eigenständige Netzwerkkomponenten repräsentiert wird. Abbildung 1 zeigt eine Multi-Tier-Architektur eines typischen WBANs, welche sich in drei Segmente mit zwei möglicherweise unterschiedlichen Kommunikationsverbindungen einteilen lässt. Dabei stellt der erste Bereich, bestehend aus der einfachen Sensorik und dem zentralen Knoten die Basisfunktion eines WBANs dar. Der Kommunikationskanal dieser beiden Netzsegmente wird in Abbildung 3 durch die kabellose Verbindung, betitelt als 1. Hop, dargestellt. Im Prinzip entspricht dieses Subsegment dem eigentlichen Body Area Network. Das zweite Teilsegment bildet sich aus dem zentralen Knoten und der möglichen Remote-Anwendung, zum Beispiel in Form einer Patientendatenbank. Die Kommunikation dieser beiden Bereiche wird durch den 2. Hop aus Abbildung 3 visualisiert.

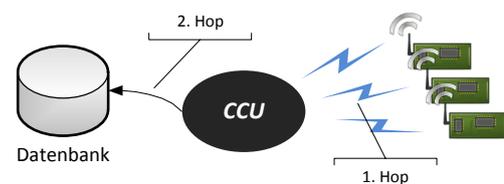


Abbildung 3: Multi-Hop Architektur

2.1.1 Sensorebene

In einem Wireless Body Area Network kann eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren, aber auch Aktuatoren eingesetzt werden [6]. Hauptaufgabe der Sensor Ebenen besteht in der Erfassung biometrischer Daten und der direkten Interaktion mit dem Träger eines solchen Systems. Somit stellt dieser Bereich eines WBANs, welcher zwingend immer unmittelbar am Körper getragen werden muss, die Basisfunktionalität dar. Hauptbestandteil dieser Ebenen sind kabellose Sensorknoten, welche verschiedene Sensoren und Aktuatoren beinhalten können. Hierbei sind unterschiedliche Konfigurationen möglich. So kann ein WBAN dahingehend aufgebaut sein, dass jeweils pro Sensorknoten nur ein Sensor oder Aktuator eingesetzt wird. Im Falle eines einzelnen Aktuators spricht man auch von einem Aktuator Knoten. Ein solcher könnte zum Beispiel ein Reservoir für Medikamente beinhalten und diese, getriggert durch ein externes Ereignis, in den Organismus injizieren. Eine weitere Möglichkeit des Sensorknoten Designs liegt darin, dass pro Knoten mehrere Sensoren oder Aktuatoren angebracht bzw. angebunden sind.

Ein klassischer Sensorknoten ist dahingehend aufgebaut, eines der nachfolgenden physiologischen Signale zu erfassen

und zu verarbeiten [13][1].

- Elektrokardiogramm (ECG)
- Photoplethysmogram (PPG)
- Elektroenzephalografie (EEG)
- Puls
- Blutfluss
- Blutdruck
- Sauerstoffsättigung des Blutes
- Temperatur
- Atemfrequenz
- Bewegung

Die vom eigentlichen Sensor erfassten analogen Signale werden im Sensorknoten digitalisiert, kodiert und für die drahtlose Übertragung aufbereitet. In welchem Intervall erfasste Vitaldaten vom Sensorknoten aus weiter propagiert werden, ist wieder stark anwendungsspezifisch. Auch bestehen für die verschiedenen Signale, aufgrund der unterschiedlichen physiologischen Eigenschaften, verschiedenartige Anforderungen zum Beispiel bezüglich der Abtastrate eines bestimmten Signales [7].

Zur drahtlosen Kommunikation werden meistens Übertragungsverfahren mit geringer Sendeleistung und kurzer Reichweite im Frequenzbereich von 2,40 GHz eingesetzt [8]. Ein typisches Funkprotokoll im Bereich der WBAN Systeme, welches hier kurz vorgestellt werden soll, stellt das sogenannte ANT+ Protokoll dar. Dieses Protokoll basiert auf dem ANT Protokoll Stack, welcher die ersten vier Schichten des ISO-OSI Modells implementiert. ANT+ arbeitet im Frequenzband zwischen 2,403 GHz - 2,480 GHz auf insgesamt 78 Kanälen. Ein ANT+ Sensornetzwerk besteht aus eigenständigen ANT+ Teilnehmern welche in verschiedenen Topologien zusammengefasst werden können. Vor allem die geringe Leistungsaufnahme, welche im Bereich von 25 - 30 Mikroampere liegt, qualifizieren diese Technologie für den Einsatz in WBAN Systemen [16].

2.1.2 Zentraler Sensorknoten

Die zentrale Datensammlung der einzelnen Sensorwerte geschieht in einem zentralen Sensorknoten. Dieser stellt eine Art Schnittstelle zwischen der Sensorik und der weiteren Datenverarbeitungsanwendung dar. Hierbei sind wieder unterschiedliche Variationen denkbar. So könnte der zentrale Sensorknoten direkt am Körper getragen werden, repräsentiert durch eine Art Master-Sensornode, welcher die Daten der einfachen Sensoren sammelt und diese anschließend weiter kommuniziert. Eine andere Möglichkeit, die vor allem für Patientenüberwachung in Krankenhäusern von Interesse sein könnte, besteht darin, dass jeweils pro Zimmer ein zentraler Sensorknoten vorhanden ist. Dieser sammelt die Sensordaten aller Patienten innerhalb eines Raumes und kümmert sich um die Datenübertragung. Ein hybrider Ansatz dieser beiden Möglichkeiten könnte durch einen zusätzlichen leichtgewichtigen zentralen Sensorknoten pro Patient bzw. Nutzer

realisiert werden, welcher wiederum die biometrischen Daten pro Person sammelt und diese anschließend an die nächste Hierarchieebene in Form eines zentralen Sensorknotens pro Raum weitergibt [1]. Diese Möglichkeit wird an dieser Stelle aus Gründen der Vollständigkeit erwähnt aber nicht weiter vorgestellt, da es noch kein konkretes Forschungsszenario zu diesem Aufbau gibt.

Wiederum sind also, offensichtlich abhängig vom Einsatzgebiet, unterschiedliche Varianten eines WBANs möglich. Die grundlegenden Aufgaben auf dieser Ebene lassen sich aber immer wieder antreffen und stellen sich wie folgt dar [7]:

- Konfiguration, Initialisierung der Sensorknoten
- Synchronisation der Kommunikation
- Datensammlung der physiologischen Sensordaten
- Kommunikation zur dezentralen Zielerreichung

Wie eingehend bereits erwähnt, wird der zentrale Sensorknoten des öfteren als Personal Server [7], Personal Device [3] oder als CCU [1] bezeichnet. Im Rahmen dieses Papers wird der Begriff des Personal Servers als Assoziation für eine Anwendung verwendet, welche auf einem handelsüblichen Gerät wie einem Smartphone, PDA oder einem PC implementiert werden kann. Die CCU stellt hingegen ein vollständig eigenständiges Gerät dar, welches exklusiv für die Aufgaben innerhalb des WBANs verwendet wird. Unabhängig von der Konfiguration und der Tatsache, dass es sich bei dem zentralen Sensorknoten um einen Personal Server oder eine CCU handelt werden die Daten der Sensoren zentral gesammelt und anschließend die Gatewayfunktionalität realisiert.

D.h. der zentrale Knoten bedient sich eines beliebigen Kommunikationsnetzwerkes für die eigentliche Datenübertragung hin zur Zielerreichung (vgl. Abbildung 3 2. Hop). Im Prinzip sind alle gängigen Kommunikationstechnologien denkbar, angefangen bei Festnetztelefonie, Mobilfunk, LAN- oder WLAN-Technik bis hin zu mobilen 3G/4G Datennetzwerken [1]. Für die drahtlose Kommunikation des 1. Hops zwischen den einzelnen Sensorknoten und dem zentralen Knoten werden in der Regel sparsamere Technologien benötigt. So werden für die Kommunikation zwischen CCU bzw. Personal Server und den einfachen Sensorknoten in der Regel drahtlose Technologien wie ZigBee, WLAN, ANT+, Bluetooth oder gerade im medizinischen Umfeld spezielle ISM (Industrial, Scientific and Medical) Frequenzbänder verwendet [1].

2.1.3 Backend Anwendung

Auf der höchsten Hierarchiestufe gibt es eine sehr große Vielfalt an unterschiedlichen Zielerreichungen. Das Herzstück einer jeden Backend Anwendung wird in den meisten Fällen durch einen Datenbankserver dargestellt, welcher die Gesamtheit der gesammelten Daten enthält. Basierend auf diesem Datenschatz folgen nun weitere anwendungsspezifische Analyseschritte. So können im Gesundheitssektor die gesammelten Daten zielgerichtet ausgewertet, und nach bestimmten Mustern automatisiert vorverarbeitet werden [1]. Außerdem ergeben sich gerade im Bereich des Patienten-Monitoring neue umfassende Möglichkeiten (siehe 3.1). Im

Tabelle 1: Physiologische Signal Eigenschaften [3][1]

Signal	Datenrate	Frequenz
EEG	43 kbps	0,5 - 60 Hz
ECG	288 kbps	0,01 - 250 Hz
EMG	320 kbps	10 - 5000 Hz
Blutdruck	k.A.	0 - 50 Hz
Atemrate	k.A.	0,1 - 10 Hz
Temperatur	120 bps	0 - 0,1 Hz

privaten bzw. kommerziellen Segment muss nicht zwingendermaßen eine dezentrale Datensammlung stattfinden. Es wäre durchaus denkbar, dass die biometrischen Daten einer Zielperson lokal am Personal Server analysiert und über eine Benutzerschnittstelle visualisiert werden. In den meisten aktuell verfügbaren Produkten geht allerdings die Tendenz in Richtung zentrale Datenhaltung in der Cloud. Mehr Details zu den unterschiedlichen Anwendungen können dem Abschnitt 3 entnommen werden.

2.2 Herausforderungen

In einem Wireless Body Area Network existieren verschiedene Herausforderungen, welche vor allem durch den direkten Kontakt zum menschlichen Körper sowie die begrenzte räumliche Ausdehnung geprägt werden. Beim menschlichen Körper handelt es sich um einen sehr sensitiven Bereich. D.h. es müssen bestimmte Richtlinien zum Beispiel bezüglich der maximal zulässigen Sendeleistung eingehalten werden. In diesem Abschnitt werden nun allgemeingültige Anforderungen an ein WBAN diskutiert.

2.2.1 Heterogene Datenübertragungsraten

Aufgrund der heterogenen biometrischen Signale ergeben sich unterschiedliche Daten- und Abstraten. Eine kurze Übersicht bezüglich der Datenraten kann Tabelle 1 entnommen werden. Obwohl das Datenaufkommen eines einzelnen Sensors ziemlich gering ist, ergeben sich aus der Summe der Sensoren relativ schnell einige Megabyte an Sensordaten. Außerdem muss das Abfrageintervall bzw. der Einsammelvorgang der Sensordaten vom einfachen Sensorknoten hin zur CCU bzw. Personal Server an das jeweilige Signal angepasst werden [3].

2.2.2 Energiebedarf

Der Energieverbrauch eines WBAN Knotens lässt sich im wesentlichen in drei Bereiche aufteilen:

1. Datenerfassung
2. Datenverarbeitung
3. Kommunikation

Die Datenkommunikation verbraucht hierbei die meiste Energie. Die Menge an verfügbarer Energie ist gerade im Bereich der am Körper getragenen Sensorknoten sehr stark begrenzt. Meistens basiert die Energieversorgung auf Batterien, die im Idealfall relativ klein gehalten werden um einen optimalen Tragekomfort zu gewährleisten. Aus diesem Grund ist es essentiell wichtig zum einen energieeffiziente Hardware einzusetzen und zum anderen Energiesparfunktionen zu implementieren [3].

2.2.3 Benutzerfreundlichkeit

Dieser Punkt adressiert neben den Trägern auch die Betreuer eines WBAN basierenden Systems. Der Tragekomfort muss sichergestellt werden um die Akzeptanz beim Patienten bzw. Nutzer zu gewährleisten. Die Erweiterung des WBANs mit zusätzlicher Sensorik muss ohne das Zutun externer Fachkräfte vom medizinischen Personal durchgeführt werden können. Dies verlangt ein gewisses Maß an Selbstorganisation und automatisierter Rekonfiguration des Systems [3].

2.2.4 Ausfallsicherheit/Verfügbarkeit

Die Verlässlichkeit bzw. ständige Verfügbarkeit eines WBAN Systems ist eines der wichtigsten Ziele beim Design solcher Anwendungen. Gerade im medizinischen Umfeld spielt dieser Punkt eine sehr wichtige Rolle. Es muss garantiert werden, dass die zu überwachenden Vitalfunktionen im geforderten zeitlichen Intervall korrekt erfasst und übermittelt werden. Daher werden oftmals „Quality of Service“ Verfahren benötigt um kritische Signalen oder bedürftigeren Patienten eine höhere Priorität einzuräumen [3].

2.2.5 Sicherheit

Da es sich bei dem anfallenden Datenaufkommen um hochgradig persönliche Daten handelt, müssen diese mit äußerster Vorsicht behandelt werden. Vor allem die Datenübertragung zur Remoteanwendung muss daher zwingend verschlüsselt erfolgen. Eine verschlüsselte Kommunikation des 1. Hops muss aufgrund der begrenzten Ressourcen gut ausbalanciert werden. So existieren für Sensornetzwerke spezifische Anforderungen bezüglich der Verschlüsselungsverfahren und einsetzbaren Schlüssellängen [4]. Wegen der geringen Reichweite der Körpersensorik muss eine verschlüsselte Datenübertragung im 1. Hop nicht immer zwingendermaßen realisiert werden [3].

2.2.6 Sensorknoten Merkmale

Folgende Merkmale sind für Sensorknoten eines Wireless Body Area Networks und bei Sensornetzwerken im allgemeinen gültig [1]:

- Geringe Rechenleistung
- Begrenzte Kommunikationsbandbreite
- Niedrige Sendeleistung
- Energieeffizienz
- Lange Laufzeit
- Skalierbarkeit

3. EINSATZSZENARIEN

Es bietet sich eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten für WBAN basierende Systeme immer mit dem Fokus auf der Erfassung von Körperfunktionen und der anschließenden Verarbeitung der erhobenen Daten. Im wesentlichen konzentrieren sich die Einsatzgebiete dabei momentan hauptsächlich auf den medizinischen und den kommerziellen Sektor. Aber auch für diverse Forschungsbereiche bieten diese Art von Systeme neue Möglichkeiten und Methoden. So können WBAN Systeme zur Verhaltens- und Bewegungsanalyse an

Menschen, aber auch bei Tieren eingesetzt werden [2]. Ein WBAN System bietet im Vergleich zu herkömmlichen BAN Systemen zwei wesentliche Vorteile, welche diese besonders für die bereits erwähnten Sektoren qualifizieren. Zum einen wird die Mobilität des Trägers durch den Einsatz portabler Sensoren deutlich weniger eingeschränkt und zweitens kann der Monitoring-Prozess ortsunabhängig durchgeführt werden [1]. In diesem Abschnitt werden vor allem der medizinische sowie der kommerzielle Sektor genauer vorgestellt und durch sektorspezifische Beispiele illustriert.

3.1 Health-Care Sektor

Im Gesundheitssektor werden vermehrt innovative ICT (Information- and Communicationstechnology) Systeme eingesetzt um bestehende Health-Care Anwendungen zu optimieren und deren erhobene Daten effizient zu verarbeiten [1]. Ein ICT System wie etwa ein WBAN bietet Gesundheitsanwendungen, wie zum Beispiel Patienten-Monitoring, nicht nur für Patienten innerhalb eines Krankenhauses, sondern ermöglicht es auch bestimmte Dienste von Zuhause oder vom Arbeitsplatz aus in Anspruch zu nehmen [7]. Auf diese Weise wird die Lebensqualität des Patienten deutlich verbessert und es können zusätzlich Kosten eingespart werden. Außerdem ergibt sich durch den Einsatz der WBAN Technik die Möglichkeit der Langzeitüberwachung eines Patienten [5]. So könnte zum Beispiel ein Früherkennungssystem für epileptische Anfälle auf der Basis eines langzeit EEG bei Epilepsie Patienten eingesetzt werden um den Nutzer frühzeitig über einen bevorstehenden Anfall zu informieren. Desweiteren stellen die erfassten Sensorwerte vor, während und nach einem Anfall für die Erforschung bzw. Bekämpfung dieser Krankheit einen großen Wert dar. ICT Systeme sind bereits seit

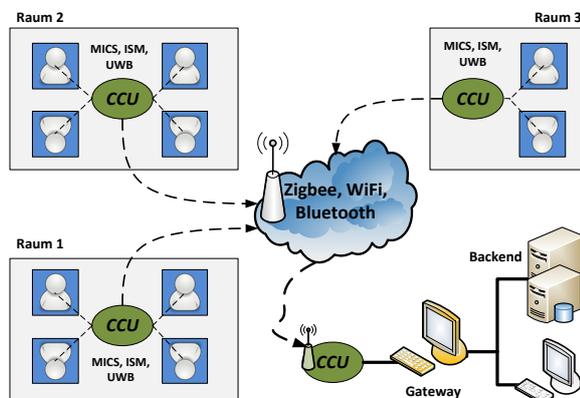


Abbildung 4: Multi-Patienten Monitoring WBAN System [1]

längerem in verschiedenen Anwendungen im Einsatz. Allerdings zumeist in Form der traditionellen kabelgebundenen Variante mit den Nachteilen der Ortsabhängigkeit und der fehlenden Mobilität für den Patienten. Daher besteht gerade im Bereich der Patientenüberwachung großes Potenzial für WBAN basierende Systeme. Aktuelle, sich im Einsatz befindende Monitoring Systeme basieren auf kabelgebundenen Lösungen mit sperriger Elektronik, welche die Mobilität eines Patienten sehr stark einschränken [1]. Daher werden

WBANs benötigt welche individuelle, schlanke Sensoren kabellos miteinander verbinden, die Mobilität und Ortsunabhängigkeit des Patienten erhalten und auf diese Weise seine Lebensqualität verbessern.

Anwendung: Multi-Patienten Monitoring

Eines der potenziellen Hauptanwendungsgebiete eines WBAN basierenden Systems liegt im Bereich der Kranken- und Gesundheitspflege[1]. Ein möglicher Aufbau einer solchen Anwendung im Krankenhausumfeld wird in Abbildung 4 dargestellt. Dabei handelt es sich um ein Multi-Patienten Monitoring System, in welchem eine große Anzahl von Patienten gleichzeitig und kontinuierlich überwacht werden soll. In Abbildung 4 wird eine Ebene eines Krankenhauses bestehend aus mehreren Krankenzimmern dargestellt. Für eine großflächige WBAN Anwendung wie diese, werden mehrere unterschiedliche zentrale Sensorknoten benötigt um eine dauerhafte und vor allem zuverlässige Patientenüberwachung zu ermöglichen. So existiert pro Zimmer eine CCU, welche jeweils die Sensordaten der sich in diesem Raum befindlichen Patienten erfasst. Die Anwesenheit von zusätzlichen CCUs, zum Beispiel auch auf den Fluren, ist ein weiterer wichtiger Bestandteil um den Personen ein gewisses Maß an Bewegungsfreiheit innerhalb des Krankenhauses zu ermöglichen.

Abbildung 4 zeigt ein komplettes WBAN, das im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Universität von Newcastle, Australien entwickelt wurde[1]. Dieses Netzwerk basiert auf unterschiedlichen Kommunikationsverbindungen und Frequenzen um Interferenzen so weit wie möglich zu eliminieren. Für den 1. Hop zwischen Sensorknoten und CCU wird ein ISM (Industrial, Scientific and Medical) Band wie MICS (Medical Implant Communication Service), WMTS (Wireless Medical Telemetry Systems) oder ein 433 ISM Frequenzband eingesetzt. Die einzelnen CCUs kommunizieren über existierende drahtlose Standards wie ZigBee, Bluetooth oder WiFi mit einer CCU Basis Station, welcher via USB/RS232 an einem lokalen PC angeschlossen ist. Der PC in Kombination mit der Basis Station stellt den Gateway Knoten dar, der sich um die Anbindung der Zielanwendung über eine beliebige TCP/IP Verbindung kümmert.

3.2 Kommerzielle Anwendungen

Ein weiteres Anwendungsszenario für WBANs, das sich in den letzten Jahren immer größere Beliebtheit erfreut, liegt im Bereich von sportlichen Aktivitäten, bei welchen die Nutzer eines solchen Systems ihre persönlichen Vitalfunktionen protokollieren. Athleten unterschiedlichster Sportarten oder Hobbysportler können mit Hilfe solcher Geräte Leistungsdaten erfassen, analysieren und ihr Training zielführend optimieren. Vor allem im Bereich der Lauf- und Ausdauersportarten erfreuen sich solche Systeme großer Beliebtheit. Außerdem ergeben sich mit zusätzlicher Intelligenz bzw. steigender Rechenleistung in der zentralen Kontrolleinheit weitere Möglichkeiten. So existieren bereits Anwendungen, welche dem Sportler ein interaktives, virtuelles Coaching während einer Trainingseinheit bieten.

Anwendung: Adidas micoach

Adidas bietet unter der Marke „micoach“ eine breite Palette an Aufzeichnungsgeräten und Software, welche die Erfassung und Analyse von Trainingsergebnissen ermöglichen.

Der weitere Verlauf dieses Abschnitts basiert, falls nicht anders angegeben, auf Informationen der Adidas Homepage [10]. Das erste Gerät dieser Serie stellt das Fitnesshandy Samsung SGH-F110 microach [11] dar, das bereits 2008 erschienen ist. Dieses Gerät wurde in Kooperation von Samsung und Adidas entwickelt und bietet neben der klassischen Handyfunktionalität einen Personal Trainer. Das SGH-F110 lässt sich per Bluetooth mit einem Herzfrequenzmesser sowie einem Schrittzähler vernetzen und stellt somit den zentralen Sensorknoten eines WBANs dar. Die erfassten Vitalfunktionen werden vom Handy überwacht, mit nützlichen Trainingsinformationen aufbereitet und mittels Kopfhörer an den Sportler weitergegeben. Mittlerweile hat sich das Sortiment der „microach“ Produktfamilie vergrößert. So existieren, neben einer microach Smartphone Anwendung für alle gängigen Betriebssysteme auch komplexere Produkte. Ein Ausschnitt aus dem Produktsortiment kann Abbildung 5 entnommen werden. Aktuell hat Adidas mit SPEEDCELL,



Abbildung 5: Adidas microach Übersicht

dem Herzfrequenz-Messer sowie Schrittzähler insgesamt drei Sensoren im Sortiment. Die sogenannte SPEEDCELL repräsentiert einen Trackingsensor, welcher die Aufzeichnung von Leistungsdaten wie Maximalgeschwindigkeit, zurückgelegte Distanz und Anzahl der Sprints ermöglicht. Die SPEEDCELL wird direkt am Schuh, oder in einer Art Zwischensohle im Schuh angebracht. Dies stellt an sich noch keine Neuerung dar, da bereits seit längerem Laufschuhe mit Schrittzählern ausgestattet werden. Allerdings bietet Adidas mit der microach SPEEDCELL erstmals einen Sensor, welcher sich für Sportarten mit dynamischeren Bewegungsabläufen, wie etwa Fußball oder Basketball eignet. Dafür besitzen die Sportschuhe eine Ausbuchtung in der Sohle für den Einsatz des Trackingsensors. Die SPEEDCELL bietet Speicherkapazität für acht Stunden Trainingsdaten aus welchen folgende Werte extrahiert werden [9]:

- Zeit
- Durchschnittsgeschwindigkeit
- Höchstgeschwindigkeit
- Zurückgelegte Distanz

- Anzahl Sprints
- Intensität

Wird der Trackingsensor zur einfachen Protokollierung einer Sporteinheit verwendet, so erfolgt die Verbindung mit einem zentralen Sensorknoten bzw. Personal Server erst im Anschluss an eine Einheit. Prinzipiell besteht die Möglichkeit auch während des Sports die Daten direkt zu verarbeiten, allerdings birgt dies gerade für Mannschaftssportarten zusätzliche Schwierigkeiten da ein zentraler Knoten immer mitgeführt werden müsste. Dies liegt vor allem an der Beschaffenheit der verfügbaren Personal Server. Die Rolle des zentralen Sensorknotens kann je nach Sensortyp und sportlicher Aktivität von einem anderen Gerät ausgeführt werden. Prinzipiell besteht die Nutzungsmöglichkeit eines iPhones oder iPods in Verbindung mit einem sogenannten microach Connector. Dieses Modul wird an der Ladeschnittstelle des jeweiligen Endgerätes angebracht und realisiert die drahtlose Kommunikation mit den Sensorknoten. Desweiteren existiert ein USB basierender Connector für PC oder Mac, welcher für die Auswertung einer Trainingseinheit benötigt wird, um die Daten via ANT+ aus den Sensoren auszulesen. Eine Alternative zu den bisher genannten zentralen Sensorknoten stellt der sogenannte microach PACER dar, welcher die Daten mehrerer Sensoren in Echtzeit kombiniert, auswertet und an den Sportler via Kopfhörer weitergibt. Ein typisches Anwendungsszenario für Ausdauersportler stellt die Kombination aus Herzfrequenzmesser, Schrittzähler und PACER dar. Der Nutzer wird während einer Sporteinheit von einem virtuellen Trainer begleitet, welcher seine Vitalfunktionen überwacht und diese interaktiv an den Sportler weitergibt.

Sind die Sensorinformationen auf einem der Personal Server angelangt, so bieten sich verschiedene Möglichkeiten. Die Daten können, falls der zentrale Knoten im Sinne eines WBANs immer mitgeführt wird in Echtzeit verarbeitet und dem Nutzer während des Trainings über die Coaching Funktion mitgeteilt werden. Außerdem können die Daten, wie im Falle der SpeedCell, während des Sports erfasst und im Anschluss analysiert werden. Für die Auswertung der Daten wird ein microach Konto auf der bereits genannten Webseite benötigt. Mit diesem Konto werden die Sensordaten mittels der Synchronisationssoftware microach Manager abgeglichen. Eine lokale Datenauswertung ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht verfügbar. Die Tendenz geht auch in diesem Bereich in Richtung zentrale Datenhaltung. So werden neben diversen Funktionen im Bereich der Trainingsplanung, Datenauswertung und Datenvisualisierung auch Funktionen geboten, welche man aus dem Bereich der sozialen Netze kennt. So können zum Beispiel Trainingsdaten direkt bei Facebook veröffentlicht oder intern mit anderen microach Nutzern verglichen werden.

Eine ähnliche Produktserie wird vom Sportartikel Hersteller Nike unter dem Markennamen „Nike+“ angeboten, wobei der Schwerpunkt im Laufsegment liegt [14]. Mittlerweile bietet aber auch Nike Systeme für dynamischere Sportarten wie zum Beispiel Basketball an. Hierbei besteht das Produkt, ähnlich wie bei Adidas, aus einem speziellen Sportschuh, in dessen Sohle ein SPEEDCELL ähnlicher Sensor integriert ist. Die Aufgabe des zentralen Sensorkonten kann auch hier wieder von iPhone oder iPod übernommen wer-

den. Die abschließende Datenauswertung und Aufbereitung geschieht über die Nike+ Webseite.

Abschließend muss an dieser Stelle mit dem Navigationssysteme Hersteller Garmin noch ein weiterer Vertreter WBAN basierender Analyse Systeme aufgeführt werden. Unter dem Namen „GARMIN connect“ bietet das amerikanische Unternehmen eine Webplattform zur zentralen Datenanalyse der Garmin eigenen Sensor-Geräte an. Hierbei wurde dieses System für die Trainings- und Outdoorgeräte in Form von Fahrradcomputern, Läuferuhren oder ähnlichen Produkten entwickelt. Wie bei den bereits genannten Produkten von Nike und Adidas können die gesammelten Daten der Geräte via Funkschnittstelle oder USB an einen lokalen PC übertragen und von dort aus mit der Webseite von Garmin synchronisiert und analysiert werden [15].

3.3 Gegenüberstellung

Im Verlauf dieses Kapitels wurden die beiden Hauptanwendungsgebiete von WBANs vorgestellt und anhand eines Beispiels veranschaulicht. Stellt man einen Vergleich zwischen medizinischen und kommerziellen Anwendungen an, so ergeben sich signifikante Unterschiede in den Anforderungen an ein WBAN System. Bedenkt man die Herausforderungen aus Abschnitt 2.2 so ergeben sich für die folgenden Punkte anwendungsspezifische Unterschiede [4][3].

- Sicherheit
- Verlässlichkeit
- Benutzerfreundlichkeit

Diese lassen sich wie folgt gruppieren. Die Anforderungen Sicherheit, Privatsphäre und vor allem Verlässlichkeit stellen die wohl wichtigsten Kriterien im medizinischen Umfeld dar. Auch existieren bei bestimmten Healthcare Anwendungen wie der Multi-Patienten Monitoring Anwendung aus Abschnitt 3.1 besondere Anforderungen an die Datenübertragungsraten aufgrund der Vielzahl aktiver Netzwerkteilnehmer. Was wiederum unter dem wohl wichtigsten Punkt der Verlässlichkeit eingeordnet werden kann. Gerade im medizinischen Bereich muss eine hohe Ausfallsicherheit gewährleistet werden [1]. Man bedenke ein Monitoring System, welches kritische Vitalfunktionen mittels EKG überwacht. Eine Störung oder Fehlfunktion könnte drastische Folgen nach sich ziehen, indem zum Beispiel aufgrund eines Ausfalls des Systems ein Herzstillstand eines Patienten nicht oder verspätet erkannt wird. Auch im Hinblick auf implantierte Sensoren oder Aktuatoren ist eine höchstmaß an Verfügbarkeit bzw. Verlässlichkeit unabdingbar, da jeder Austausch der Sensorik eine Operation erfordert.

Dem gegenüber steht die Nutzbarkeit bzw. Benutzerfreundlichkeit im Sektor der kommerziellen WBAN Systeme [4]. Der Tragekomfort stellt einen wichtigen Unterpunkt der Benutzerfreundlichkeit dar, welcher in beiden Anwendungsgebieten von großer Bedeutung ist. Vor allem bei Langzeitanwendungen bestehen besondere Anforderungen an die eingesetzten Sensoren [5]. So muss zum Beispiel eine sehr gute Hautverträglichkeit gewährleistet sein. Die Nutzbarkeit einer WBAN Anwendung betrifft in diesem Sinne die Interaktion mit dem Endanwender. In diesem Fall liegen größere

Anforderungen auf Seiten der kommerziellen Anwendungen. Die Usability und nicht zu vergessen das Design einer Applikation entscheiden über den Erfolg des Produktes.

Sicherheitstechnische Probleme betreffen im wesentlichen beide Systeme, wobei im medizinischen Bereich der Anteil an sensitiven Vitalwerten deutlich höher liegt [4]. Aus diesem Grund müssen die vertraulichen Daten durch anwendungsspezifisch Maßnahmen entsprechend geschützt werden.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Dieses Paper gibt einen kurzen Überblick über den Aufbau, die Struktur und mögliche Anwendungsgebiete von Wireless Body Area Networks. Neben der Architektur wurden die Anforderungen, Herausforderungen und Merkmale eines WBAN Systems diskutiert.

WBAN Systeme mit physiologischen Sensoren stellen eine sehr nützliche Technologie mit großem Potenzial im Bereich der Monitoring Anwendungen dar. Im kommerziellen Sektor existieren bereits seit längerem WBAN basierende Anwendungen, welche den Weg zum Endanwender gefunden haben. Repräsentanten solcher Produkte sind die Systeme „Nike+“, „micoach“ und „GARMIN connect“ von den Sportartikelherstellern Nike und Adidas sowie dem in der Navigationsbranche angesiedelten Unternehmen Garmin. Gerade aber für den Einsatz im medizinischen Umfeld bieten WBAN Systeme ideale Voraussetzungen um sich in naher Zukunft dauerhaft zu etablieren. Durch den technologischen Fortschritt werden schon bald drahtlose Sensoren in Form von einfachen Pflastern bzw. Patches entwickelt werden, welche in ein WBAN integriert werden können[3]. Auf diese Weise entwickeln sich WBAN basierende Systeme, welche den Einzug in den medizinischen Alltag schaffen können und somit die Lebensqualität von Patienten signifikant verbessern.

5. LITERATUR

- [1] Jamil. Y. Khan and Mehmet R. Yuce (2010): *Wireless Body Area Network (WBAN) for Medical Applications*, New Developments in Biomedical Engineering, Domenico Campolo (Ed.), ISBN: 978-953-7619-57-2, InTech, <http://www.intechopen.com/books/new-developments-in-biomedical-engineering/wireless-body-area-network-wban-for-medical-applications>
- [2] Johannes Thiele, Jo Agila Bitsch Link, Okuary Osechas, Hanspeter Mallot and Klaus Wehrle (2010): *Dynamic Wireless Sensor Networks for Animal Behavior Research*, New Developments in Biomedical Engineering, Domenico Campolo (Ed.), ISBN: 978-953-7619-57-2, InTech, <http://www.intechopen.com/books/new-developments-in-biomedical-engineering/dynamic-wireless-sensor-networks-for-animal-behavior-research>
- [3] Benoît Latré, Bart Braem, Ingrid Moerman, Chris Blondia, and Piet Demeester (2011): *A survey on wireless body area networks*, *Wirel. Netw.* 17, 1 (January 2011), 1-18. DOI=10.1007/s11276-010-0252-4, <http://dx.doi.org/10.1007/s11276-010-0252-4>
- [4] Dejan Raskovic, Thomas Martin and Emil Jovanov

- (2003): *Medical Monitoring Applications for Wearable Computing*, The Computer Journal (2004) 47 (4): 495-504. doi: 10.1093/comjnl/47.4.495
- [5] Hao Qu, Jean Gotman (1997): *A Patient-Specific Algorithm for the Detection of Seizure Onset in Long-Term EEG Monitoring: Possible Use as a Warning Device*, Biomedical Engineering 44, 2, 115-122.
- [6] Jovanov E, Milenkovic A, Otto C, De Groen P, Johnson B, Warren S, Taibi G (2005): *A WBAN System for Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Health Status: Applications and Challenges.*, Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005, 3810-3813.
- [7] Emil Jovanov, Aleksandar Milenkovic, Chris Otto and Piet C de Groen (2005): *A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation*, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2005, 2:6
doi:10.1186/1743-0003-2-6,
<http://www.biomedcentral.com/1743-0003/2/6>
- [8] IEEE Working Group 802.15.6 (2012): *802.15.6 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks*, ISBN 978-0-7381-7206-4
- [9] *SPEEDCELL User Manual* aufgerufen am 20. Juni 2012,
http://www.adidas.com/com/micoach/Multimedia/com/PDF/miCoach%20SPEED_CELL%20User%20Manual_en.pdf
- [10] *Adidas micoach*, aufgerufen am 20. Juni 2012,
<http://www.adidas.com/de/micoach/>
- [11] *Samsung SGH-F110 micoach*, aufgerufen am 22. Juni 2012,
<http://www.samsung.com/de/consumer/mobile-device/mobilephones/feature-mobile-phones/SGH-F110DAAXEG-spec>
- [12] *University of Rochester, Center for Future Health*, aufgerufen am 30. Juni 2012
<http://www.rochester.edu/pr/Review/V62N2/feature2.html>
- [13] T. Falck, J. Espina, J. P. Ebert, and D. Dietterle(2006): *BASUMA - the sixth sense for chronically ill patients*, Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2006. BSN 2006. International Workshop on, Cambridge, MA, USA, 3-5 April 2006, 57-60.
- [14] *Nike+*, aufgerufen am 20. Juni 2012,
<http://nikeplus.nike.com/plus/>
- [15] *GARMIN connect* , aufgerufen am 10. August 2012,
<http://connect.garmin.com/>
- [16] *ANT Message Protocol and Usage*, aufgerufen am 10. August 2012,
http://www.thisisant.com/images/Resources/PDF/1204662412_ant%20message%20protocol%20and%20usage.pdf
- [17] *Netzwelt*, aufgerufen am 29. Juni 2012,
<http://www.netzwelt.de/news/92661-adizero-f50-micoach-speed-cell-sensor-test.html>