

EIN SYSTEM ZUR BEURTEILUNG DES BEWEGUNGSVERHALTENS CHRONISCH KRANKER

Kalkbrenner G¹, Kemnade A¹, Lawo M¹

Kurzfassung

Im vorliegenden Beitrag werden Methoden, Algorithmen und softwaretechnische Fragestellungen für ein System zur Überwachung des Bewegungsverhaltens chronisch Kranker behandelt. Es wird gezeigt wie aus dem 3D Sensorsignal auf die Körperhaltung des Patienten geschlossen werden kann und wie aus der kumulierten Information XML Dateien erzeugt werden, um die viermal täglich erzeugte Information in dem von der EU geförderten umfassenden offenen und adaptiven System zur Behandlung chronisch Nieren- und Lungenkranken CHRONIOUS verwendet werden kann.

Abstract

In the present paper we give methods, algorithms and software providing an abstraction from 3D acceleration samples to postures of patients with chronic diseases. The accumulated postures information generated 4 times a day is used to generate XML files with this information for further processing on other system components of the EC funded open, ubiquitous and adaptive Chronic Disease Management Platform for COPD and Renal Insufficiency named CHRONIOUS.

Keywords – Monitoring, Bewegungsverhalten, wissensbasiertes System

1. Einleitung

Im Rahmen des durch die EU geförderten Integrierten Projektes CHRONIOUS [1] war auch das Bewegungsverhalten der Patienten zur Beurteilung der Therapie erforderlich. Die sich über den Tagesverlauf ändernde Körperhaltung mit einer Unterscheidung in liegend, stehend, sitzend und laufend sollte bestimmt werden, um den Gesundheitszustand des Patienten zu bestimmen. Die Anzahl der zurückgelegten Schritte sollten gezählt werden, um den Kalorienverbrauch für eine angemessene Diät abschätzen zu können; Stürze waren zu erkennen. Das zu CHRONIOUS gehörende Sensornetzwerk war zu verwenden. Das Projekt hat zwei Zielgruppen, einmal chronisch Lungenkranke (COPD) und zum anderen chronisch Nierenkranke. Das System ist jedoch so konzipiert, dass es später auch für andere chronische Krankheiten genutzt werden kann.

Für eine erfolgreiche Therapie ist eine kontinuierliche Überwachung der Körperfunktionen und Aktivitäten, der Medikamenteneinnahme und der Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme hilfreich. Hier sollen die Intelligente Kleidung und ein persönlicher Assistent (PDA) dem Patienten helfen (vgl. *Abbildung 1*).

¹ Technologiezentrum Informatik und Informationstechnik, Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz Universität Bremen

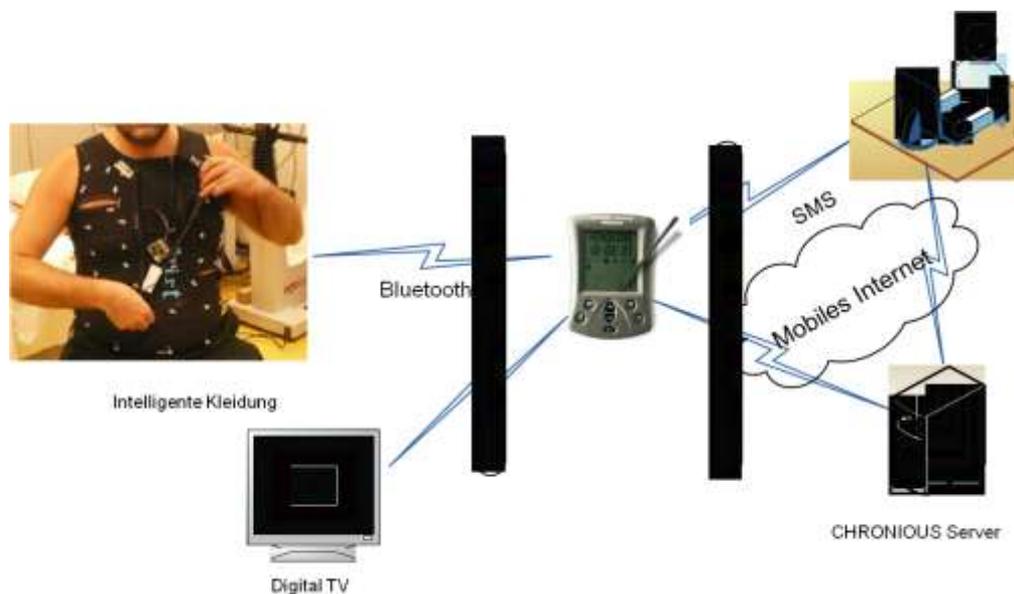


Abbildung 1: CHRONIOUS Systemplattform

Das System hat sieben funktionale Blöcke: Sensor Infrastruktur, Kommunikations- und Sicherheitsmodul, Datenkompressor, digitaler Fernseher, persönlicher Assistent, Zentralsystem und der klinischen Komponente.

Die intelligente Kleidung besteht dabei aus den ersten drei Blöcken und gibt über das Datenerfassungssystem drahtlos die Informationen an den persönlichen Assistenten. Das Datenerfassungssystem erzeugt aus den Rohdaten der verschiedenen Sensorbaugruppen relevante Informationen zur periodischen Überwachung von System und Patient. Er generiert unter bestimmten Gegebenheiten (z.B. Sturz; plötzliche Veränderungen) Alarmmeldungen für den persönlichen Assistenten, die dann ggf. eine Aktion von Patient oder Betreuer erfordern. Die zentrale Rolle spielt also der persönliche Assistent – ein Smartphone der neuesten Generation - . Das digitale Fernsehen dient weitergehend zur vergrößerten Anzeige und benutzerfreundlichen Interaktion in der Wohnung und je nach Erfordernis der Patienten oder Betreuer.

1. 1. Aktivitätsbeobachtung

Zur Beurteilung des Verhaltens von Patienten gehört auch die Bewegungsbeobachtung. Ort und Bewegung geben wertvolle Informationen in Ergänzung zu physiologischen Messungen. Bestimmte Aktivitäten haben Einfluss auf bestimmte Beobachtungsparameter. Fehlinterpretationen von Messergebnissen lassen sich so reduzieren. Durch die Aktivitätsbeobachtung lassen sich ferner therapeutische Übungen besser und objektiv beurteilen sowie an die individuellen Erfordernisse anpassen. Im vorliegenden Beitrag wollen wir zeigen, wie mittels der Bestimmung von Beschleunigungen in der Ebene und einer Winkelgeschwindigkeit sowie der Koppelnavigation Aktivitäten von Patienten klassifiziert werden können. Hierzu ist einzig ein kostengünstiger in einer Brusttasche der Patientenkleidung zu tragender Sensor mit der entsprechenden Software notwendig. Neben der Beurteilung kritischer Situationen, wie beispielsweise einem Sturz werden folgende Körperhaltungen klassifiziert: auf der linken oder rechten Seite sowie auf dem Bauch oder Rücken liegend, stehend und 30°, 60° oder 90° gebeugt.

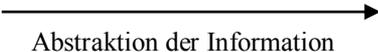
Ausgehend von der Arbeit von Pollak [2] wurde im Rahmen einer Dissertation [3] der Stand der Forschung auf dem Gebiet der Schritterkennung systematisch aufgearbeitet. Auf eine Wiederho-

lung wird hier aus Platzgründen verzichtet. Ein Ergebnis der vorausgegangenen Nutzerstudien hinsichtlich der Platzierung von Sensoren bei den Patienten war, dass eine "Fußfessel" abgelehnt wird. Von daher musste auf eine Platzierung am oder in der Nähe des Fußes verzichtet werden. Es blieb nur eine Positionierung auf der in *Abbildung 1* dargestellten Weste. In den daraufhin im Projekt CHRONIOUS durchgeführten Experimenten zeigte sich, dass ein bereits 2006 erprobtes Verfahren völlig ausreichend war [4]. Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten einfachen Messverfahren wurden die Untersuchungen deshalb hier durchgeführt.

1. 2. Systemarchitektur, Informationskette und Datenverdichtung

Ohne hier auf Details einzugehen besteht das Gesamtsystem aus folgenden Komponenten: einer Sensorbaugruppe mit dem Mikrosteuerbaustein, zu der auch oben skizzierter Bewegungssensor gehört, dem Datenerfassungssystem zur Aufbereitung der Daten, einem Smartphone für die Kommunikation und dem Rechner des betreuenden Arztes. In Tabelle 1 ist die Verdichtung, Veredelung oder Abstraktion der Information vom Sensor zum behandelnden Arzt hin dargestellt.

Tabelle 1: Datenabstraktion

Sensorbaugruppe	Mobiles Datenerfassungssystem	Smartphone	PC des Arztes	Ärztlicher Rat
Beschleunigungsdaten	Haltungsänderungen, Anzahl Schritte, Aktivitätserkennung	Dauer bestimmter Körperhaltungen	Bewegungsmuster über die Zeit (Wochen)	Gesundheit des Patienten
				

Die CHRONIOUS Sensorbaugruppe von Solianis liefert dabei wahlweise 60 oder 1000 3D-Beschleunigungen pro Sekunde, die über die integrierte USB Schnittstelle an das Datenerfassungssystem übertragen werden. Die im Folgenden beschriebene Aktivitäts-Erkennungs-Software ist auf dem mobilen Datenerfassungssystem implementiert. Die Software verdichtet und abstrahiert die Daten zur weiteren Verwendung durch nachgelagerte Systeme. Es werden zwei Versionen der Abstraktion bereitgestellt: Eine Logdatei mit Positionsänderungen und Ereignissen oder akkumulierte Dauern von Positionen über eine vorgegebene Zeit. Im Falle, dass ungewöhnliche Ereignisse eintreten, werden die vorangegangenen Daten gespeichert, so dass diese vom behandelnden Arzt detailliert analysiert werden können. Alle Daten sind vom Menschen lesbar gespeichert.

2. Methoden

Aus der Literatur sind verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Körperhaltung aus Beschleunigungsdaten bekannt: (a) Bestimmung der Zustandsänderung erkannter Bewegungsmuster, (b) Differenzberechnung aus Rohdaten, (c) Fourieranalyse mit Transformation in den Frequenzraum. Die beiden letztgenannten Verfahren erfordern größere Rechenleistung, die bei der vorhandenen Hardware ein Problem darstellt. Daher haben wir uns für die erste Möglichkeit entschieden.

2. 1. Bestimmung von Zustandsänderungen aus Bewegungsmustern

Die 3D Beschleunigungsrohdaten versorgen drei Systemkomponenten. In einer Schleife werden die Zustandsänderungen bestimmt. Die Körperhaltung wird aus jeweils 100 Messungen und der Berechnung des größten Wertes der drei Raumachsen bestimmt. Eine Funktion prüft die zum Maximalwert gehörende Koordinatenachse und legt daraus den „Ausgangszustand“ fest. Wenn der Zustand „stehend“ erreicht ist, wird der Schritterkennungsalgorithmus aktiviert. Sobald Schritte erfasst werden, wird der Zustand „gehend“ erkannt. Wird ein entsprechender Impuls erfasst, wird der Zu-

stand „gefallen“ detektiert, bis der „Ausgangsstatus“ wieder erkannt wird und der Klassifizierer wieder „stehend“ meldet.

2. 2. Schritterkennung

Zunächst wird das Signal durch einen Butterworth Filter im Frequenzbereich geglättet. Ein Schritt entspricht zwei Höchstwerten der vertikalen Beschleunigung. Abhängig vom Laufstil und der Lauffläche können zusätzlich kleinere Extremwerte in der Nähe der Höchstwerte auftreten, die durch den Filter ausgeschaltet werden können. Um Schritte zu erkennen werden Werte oberhalb eines bestimmten Grenzwerts gesucht und die Sensordaten werden so eingegrenzt, dass der Höchstwert in der Mitte des Intervalls liegt. Die benachbarten Höchstwerte müssen am Anfang und Ende des Intervalls liegen. Ein Höchstwert wird als solcher erkannt, falls in einem Fenster von 0,25 s kein größerer Wert existiert. Gibt es innerhalb von 1,5 s keinen weiteren Extremwert so wechselt der Zustand auf „stehend“. Die Anzahl der Schritte wird gespeichert.

2. 3. Sturzerkennung

Für einen Sturz ist kurz nahezu Schwerelosigkeit gefolgt von starker Beschleunigung beim Aufschlag typisch. Aktuelle Beschleunigungssensoren haben diese Funktion bereits im System implementiert. Dieses ist jedoch zu ungenau, da ein Sturz auch Folge eines Stolperns oder Ausrutschens sein kann. Wir haben daher das Verfahren angepasst, um die genannten Formen des Stolperns und Ausrutschens auszuschließen. Als Sturz interpretieren wir den Impuls der durch die Differenz von $1g$ zweier aufeinanderfolgender Beschleunigungswerte definiert wird.

2. 4. Implementierung

Die Bewegungserkennung erfolgt durch die Schritt-, Sturz- und Lageerkennung. Um die für den behandelnden Arzt relevante Information herzuleiten, werden folgende Daten bestimmt: (a) Dauer des Liegens und des Stehens, (b) Anzahl der zurückgelegten Schritte und (c) Zeitpunkte von Positionsänderungen.

Auf die Beschreibung der Systemarchitektur und Details der Implementierung auf dem mobilen Datenerfassungssystem verzichten wir hier. Es sei aber angemerkt, dass die Sensorbaugruppe zur Vereinfachung der Handhabung keine Kalibrierung erfordert, sondern lediglich eine korrekte Positionierung in der Kleidung. Hierzu sind eindeutige Markierungen an der Sensorbaugruppe vorgesehen. Falls die Baugruppe nämlich verdreht angebracht wird, werden Zustände falsch erkannt; „Liegend“ könnte dann als „stehend“ fehlinterpretiert werden. Das mobile Datenerfassungssystem ist ebenfalls in die Kleidung integriert und wertet die Daten wie beschrieben aus.

2. 5. Weiterentwicklung des Systems

Der Hauptgrund für die Implementierung des Zustandsmonitors auf dem mobilen Datenerfassungssystem bestand in den auf diesem vom Betriebssystem bereitgestellten Diensten und der hohen Leistungsfähigkeit der CPU. Prinzipiell könnten aber Teile dieser Software auf der Sensorbaugruppe installiert werden, um das mobile Datenerfassungssystem hinsichtlich des Energieverbrauchs zu entlasten. Damit kann Bandbreite auf dem USB Bus und Rechenleistung auf dem Datenerfassungssystem eingespart werden. Gerade damit könnte die Batterie des Datenerfassungssystems geschont werden. Bei einer solchen Implementierung würden dann von der Solianis Sensorbaugruppe nur die Körperhaltung und die Anzahl der Schritte an das Datenerfassungssystem übertragen. Der maxima-

le Achsenwert, die Schritt- und Körperhaltungsbestimmung wären auf der Sensorbaugruppe konkret zu implementieren. Mit jeder Zustandsänderung würde dann eine ein Byte lange Information an das Datenerfassungssystem übertragen mit den Werten: 0x00 stehend, 0x01 laufend, 0x02 liegend, 0x03 seitlich liegend, 0x04 gefallen und 0x05: Schritte erkannt. Auf dem Datenerfassungssystem würde ein modifiziertes Programm diese Daten lesen. Weiterhin wären die Schritte zu addieren und die Zeiten der verschiedenen Zustände zu berechnen.

3. Ergebnisse

Neben den bei solchen Entwicklungen üblichen Tests der verschiedenen Grundfunktionalitäten wurden empirische Nutzertests über ca. 10 Stunden auf vorgegebenen Parcours für die Schritterkennung durchgeführt. Es wurden einerseits Messungen mit vorgegebener Anzahl von Schritten als auch überprüft durch einen mechanischen Schrittzähler durchgeführt. Für die Körperhaltungserkennung wurden für die Probanden Vorgaben gemacht. Die Tests dauerten mehrere Stunden in denen den Probanden Vorgaben für die Körperhaltung gemacht wurden. Die Daten der Aufzeichnungen wurden mit den Vorgaben annotiert und anschließend ausgewertet. Die Dabei ergaben sich die in Tabelle 2 dargestellten Ergebnisse. In Gebäuden werden Körperhaltungen und die Anzahl zurückgelegter Schritte zuverlässig erkannt. Auch unterwegs werden mit einer Fehlerrate von weniger als zehn Prozent immer noch sehr gut erkannt.

Tabelle 2: Empirische Testergebnisse

Testbedingung	Fehlerrate Schritterkennung	Fehlerrate Körperhaltungserkennung
In Gebäuden	< 3%	0%
unterwegs (Bus, Metro, Tram, Auto)	< 10%	-
Reiten	Erfolglos	-

Ferner wurde das System mit anderen marktgängigen Systemen verglichen (siehe *Tabelle 3*). Zum einen war dieses ein einfacher mechanischer Schrittzähler, der jedoch nicht in ein Gesamtsystem integriert werden kann und zum anderen das in verschiedenen Studien zur Aktivitätskontrolle eingesetzte System Dynastream AMP 231 [5,6].

Tabelle 3: Vergleich mit anderen Systemen

System	Kosten	Schritterkennung Fehlerrate	Körperhaltungserkennung Fehlerrate
CHRONIOUS -Solianis Sensorbaugruppe	Teilsystem	< 3%	0%
Mechanischer Schrittzähler	€10	< 10%	-
Dynastream AMP 231 [5]	€200	1% [6]	-

4. Diskussion

Das vorgestellte System zur Beurteilung des Bewegungsverhaltens chronisch Kranker ist aufgrund seines modularen Entwurfs als Teilkomponente in die Gesamtarchitektur des wissensbasierten CHRONIOUS Systems integrierbar. Hinsichtlich seiner Zuverlässigkeit und Genauigkeit entspricht es dem von anderen Systemen bekannten Stand der Technik.

5. Schlussfolgerungen

Die medizinische Versorgung chronisch Kranker hat sich auch durch den Einsatz der Informationstechnologie in den letzten Jahren stetig verbessert. Mit Hinblick auf die demografische Entwicklung bieten diese Technologien zunehmend Möglichkeiten eines altersgerechten Wohnens. Im Mit-

telpunk stehen dabei Internet gestützte Serviceplattformen. Durch die Verbindung der drei Säulen Fernseher, Mobiltelefon und Netzwerk erhalten gerade Menschen mit chronischen Krankheiten die Möglichkeit ein nahezu normales Leben zu führen und länger in den eigenen vier Wänden zu leben. Hierbei entlasten multimedial aufbereitete Servicedienste aus den Bereichen Betreuung, Gesundheitsvorsorge und Kommunikation das medizinische und pflegerische Betreuungspersonal in erheblichem Maße.

Solche Systeme basieren auf intelligenter Kleidung im weitesten Sinne, die mittels Sensoren wie bei den bekannten Pulsuhren, Blutdruckmessgeräten oder dem hier vorgestellten System zur Beurteilung des Bewegungsverhaltens Aktivitäten aufzeichnen und zunehmend Auswertungsmöglichkeiten über den PC anbieten. Systeme aus dem Sport und Wellness Bereich nähern sich zunehmend an die medizinische und pflegerische Versorgung an. Der demografische Wandel und die damit einhergehende Aufgeschlossenheit gegenüber Technologien kommen hinzu. Die allgegenwärtige Verfügbarkeit von Informationen über Mobiltelefone der neuesten Generation, die sich zunehmend zu Lifestyle-Produkten verändern, bewirken nun, dass die Akzeptanz bei den Menschen für solche Systeme als ausgesprochen hoch eingeschätzt wird.

6. Danksagung

Diese Arbeit wird von der EU als Projekt „CHRONIOUS – An Open, Ubiquitous and Adaptive Chronic Disease Management Platform for COPD and Renal Insufficiency“ (FP7-ICT-2007-1- 216461) unterstützt (www.CHRONIOUS.eu). Die Autoren danken der Kommission und allen 19 CHRONIOUS-Projektpartnern für ihre Unterstützung; vor allem dem Koordinator Roberto Rosso, dem Technischen Manager Anasthios Papadopoulos und Giulia Munaro.

7. Literaturhinweise

- [1] FARRÉ, R., PAPADOPOULOS, A., MURANO, G., ROSSO, R. An Open, Ubiquitous and Adaptive Chronic Disease Management Platform for Chronic Respiratory and Renal Diseases (CHRONIOUS)," etelemed, pp.184-189, 2009 International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine, 2009
- [2] POLLACK, M.E., and et al., L. E. B. 2003. "Autominder: an intelligent cognitive orthotic system for people with memory impairment". Robotics and Autonomous Systems 44(3-4):273–282.
- [3] BEAUREGARD, S. Infrastructureless Pedestrian Positioning, Dissertation Universität Bremen, 2009; letzter Zugriff 22.3.2011, <http://elib.suub.uni-bremen.de/diss/docs/00011529.pdf>
- [4] DIPPOLD, M. Persönliche Positionsbestimmung mit Beschleunigungssensoren, Diplomarbeit Universität Bremen, 2006; letzter Zugriff 22.3.2011, http://auriga.wearlab.de/~midi/leica/Diplom_MiDi.pdf
- [5] RYLANDER, J.H. BOYER, K.A., ANDRIACCHI, T.P., BEAUPRE, G.S. The Challenge of Monitoring Activity Level in the Elderly, Proceedings of the Annual Meeting NACOB, Ann-Arbor, Mi, 2008; letzter Zugriff am 28.12.2010, <http://www.asbweb.org/conferences/2008/abstracts/590.pdf>
- [6] PUTHOFF, M. L., JANZ, K.F., NIELSEN, D.H. The Relationship between Lower Extremity Strength and Power to Everyday Walking Behaviors in Older Adults with Functional Limitations, Journal of Geriatric Physical Therapy: Volume 31(1)2008, p 24–31.

Corresponding Author

Michael Lawo
TZI Universität Bremen
Am Fallturm 1, D 28359 Bremen
Email: mlawo@tzi.de