

Rekonstruktion der Topologie einer Wohnung mit Hilfe eines Installationsbus-Systems

Matthias Gietzelt, Klaus-Hendrik Wolf, Michael Marscholke, Bianying Song, Reinhold Haux

Peter L. Reichertz Institut für Medizinische Informatik der
Technischen Universität Braunschweig und der Medizinischen Hochschule Hannover
Mühlenpfordtstr. 23
38106 Braunschweig
Matthias.Gietzelt@plri.de
Klaus-Hendrik.Wolf@plri.de
Michael.Marscholke@plri.de
Bianying.Song@plri.de
Reinhold.Haux@plri.de

Abstract: Hintergrund - Installationsbusse dienen zur erweiterbaren Steuerung der Elektroinstallation in Gebäuden und ermöglichen die Kommunikation zwischen Sensoren und Aktoren. Die beim Nachrichtenaustausch anfallenden Daten können gespeichert und weiterverarbeitet werden. Im medizinischen Kontext können, zur Unterstützung der Frühdiagnostik, Prävention oder Rehabilitation, aus solchen Nachrichten und Daten weiterer Sensorik Aktivitäten klassifiziert und bewertet werden. Insbesondere steht dabei der alleinlebende, ältere Mensch im Mittelpunkt der Untersuchung. Dessen Gewohnheiten werden auf erste mögliche Anzeichen einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes hin analysiert (z.B. häufige Toilettennutzung, unregelmäßige Essenszubereitung etc.). Problemstellung - Das bei der Aktivitätsklassifikation auftretende Problem ist, dass sich weitere Personen im Ein-Personen-Haushalt aufhalten können. Dann ist eine zuverlässige Bewertung der Handlungsfähigkeit der Zielperson unmöglich. Würde man die Topologie der Wohnung oder des Hauses kennen, dann könnte man aufgrund ungewöhnlicher Kombinationen oder zeitlicher Abfolgen von Aktivitäten in voneinander topologisch entfernten Räumen Hinweise auf eine weitere Person im Haushalt erhalten. Methode - Es wird während einer Lernphase durch die zeitliche Abfolge von Schaltvorgängen ein ungerichteter, nicht zusammenhängender Graph generiert, dessen Kanten gewichtet werden. Zu diesem Zweck wurden Beispieldaten über einen Zeitraum von zwei Monaten in einer wohnungsähnlichen Umgebung gesammelt und ausgewertet. Die Methode wurde so auf Eignung, Genauigkeit und Robustheit geprüft. Auswertung und Diskussion - 96,5% aller Verbindungen von topologisch miteinander in Beziehung stehenden Geräte konnten erkannt werden. Außerdem war eine klare Trennung von topologisch entfernten Geräten feststellbar. Der Vorteil dieser Methode ist, dass sie auch auf retroektiv vorliegende Daten anwendbar ist, da die Rekonstruktion durch reines Beobachten geschieht.

1 Einleitung und Hintergrund

Eines der grundsätzlichen Bedürfnisse des Menschen ist der Wunsch nach Unabhängigkeit und Selbstständigkeit. Bedingt durch eine zunehmende Funktionseinschränkung und Multimorbidität im Alter, steigt auch die Gefahr, die Selbstständigkeit zu verlieren. Dieser Kreislauf aus zunehmenden Funktionsdefiziten löst weitere Faktoren aus, die das Fortschreiten der körperlichen und geistigen Einschränkungen begünstigen können.

Assistierende Gesundheitstechnologien sind Instrumente, die Aussagen über den Gesundheitszustand des Menschen treffen sollen, indem sie systematisch zweckmäßige Daten sammeln, sie zu Informationen verarbeiten und mit medizinischem Wissen kombinieren [De08, KB04]. Sie dienen dazu, den Gesundheitszustand eines Individuums zu erhalten oder zu verbessern. Dabei leisten assistierende Gesundheitstechnologien unterstützende Aufgaben im gesamten medizinischen Versorgungsprozess, also von der Früherkennung von Krankheitsbildern, über die Diagnostik und Therapie bis hin zur Rehabilitation. Sie können daher dazu beitragen, die Selbstständigkeit des alternden Menschen in seiner vertrauten Umgebung zu erhalten [BMW07].

2 Problemstellung

Bedingt durch das breite Spektrum des Anwendungsbereichs, gibt es jedoch auch besondere Situationen, die an die Konstrukteure assistierender Gesundheitstechnologien große Herausforderungen stellen. Eine dieser Situationen ist im Bereich der Frühdiagnostik zu finden. In diesem Fall wird der Wohnbereich mit Sensoren ausgestattet, die kontinuierlich Parameter zur Überwachung und Einschätzung des Gesundheitszustandes des Patienten erheben. Dabei steht der alleinlebende, ältere Mensch im Mittelpunkt der Untersuchung. Dessen Aktivitäten und Gewohnheiten werden auf erste mögliche Anzeichen einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes hin analysiert (z.B. häufige Toilettennutzung, unregelmäßige Essenszubereitung etc.) [AEG06]. Solche Aktivitäten kann man auch hinsichtlich ihrer Dauer, der Häufigkeit in einer bestimmten Zeitperiode, ihres zeitlichen Abstandes und des Zeitpunktes ihres Auftretens innerhalb einer Zeitperiode bewerten. [Sa08]

Dabei kommen nicht nur körpernahe, sondern auch stationäre Sensoren zum Einsatz. Befinden sich jedoch mehrere Personen in der Wohnung, z.B. eine Haushaltshilfe, können die Schlussfolgerungen, die mittels stationärer Sensoren gezogen wurden, verfälscht sein: plötzlich kümmert der Patient sich um den Abwasch, reinigt die Zimmer mit einem Staubsauger oder bereitet sich Essen zu. Stationäre Sensoren haben an dieser Stelle den Nachteil, dass sie solche Szenarien zwar messen können, dem einzelnen Sensor jedoch unter Umständen die Kontextinformation fehlt, wer diese Tätigkeit ausführt. Im Grunde sollten die von den stationären Sensoren klassifizierten Aktivitäten von der Zielperson ausgeführt werden, aber in diesem Fall scheint eine zuverlässige Bewertung der Handlungsfähigkeit unmöglich.

Würde man jedoch die Topologie der Wohnung oder des Hauses kennen, also den räumlichen Bezug der Zimmer zueinander, dann könnte man, aufgrund ungewöhnlicher Kombinationen oder zeitlicher Abfolgen von Aktivitäten in voneinander topologisch entfernten Räumen, Hinweise auf eine weitere Person im Haushalt erhalten und könnte dann die Aktivitätserfassung und -bewertung unterbrechen. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt also in der Rekonstruktion der Topologie der Wohnung.

3 Material und Methode

Installationsbusse, wie der europäische Installationsbus (EIB / KNX), dienen zur erweiterbaren Steuerung der Elektroinstallation in Gebäuden und ermöglichen die Kommunikation zwischen Sensoren und Aktoren [KNS05]. Ihnen werden feste Adressen zugewiesen, mit Hilfe denen sie miteinander kommunizieren können und die sie beim Nachrichtenaustausch verwenden müssen. Der Anwendungsbereich für den Anschluss von Geräten beschränkt sich jedoch nicht nur auf Bewegungsmelder, Schalter und Lampen, sondern dehnt sich auch auf Jalousie- und Heizungssteuerungen, Drucksensoren in Stühlen, bis hin zu Kühlschränken und Backöfen aus, die ihren Status melden können [EH97].

Auch aus solchen Installationsbussen kann man assistierende Gesundheitstechnologien entwickeln, wenn die beim Nachrichtenaustausch anfallenden Daten gespeichert und zu Informationen fusioniert und weiterverarbeitet werden. Der Vorteil von Installationsbussen als Datenquelle für assistierende Gesundheitstechnologien ist, dass die Nachrichten unaufdringlich erzeugt und praktisch allgegenwärtig in der gesamten Wohnung ausgelöst werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die mit diesen Bussystemen verbundenen Schalter naturbedingt fast den gesamten Wohnraum umfassen und darüber hinaus noch ortsfest sind. Topologisch gesehen spannen sie den Raum einer Wohnung auf.

Die Idee ist, dass der räumliche Bezug der Sensoren stark mit der zeitlichen Abfolge von Schaltvorgängen korreliert. D.h., der räumliche kann durch den zeitlichen Bezug erschlossen werden. Dabei sind die angesteuerten Aktoren irrelevant, da sie einerseits meist einen hohen räumlichen Bezug zum Sensor aufweisen (zusammengehörige Lampen und Schalter befinden sich meist in demselben Raum) und andererseits nur das Ziel der Nachrichten markieren, sie jedoch nicht auslösen können. Aktoren liefern daher keine weiteren für diesen Zweck nutzbaren Informationen.

Während einer Lernphase wird ein ungerichteter, nicht zusammenhängender Graph generiert, dessen Kanten gewichtet werden. Die Knoten des Graphen repräsentieren die Sensoren, die Kanten den zeitlichen Bezug der Sensoren zueinander. Die Kanten entstehen durch die Auswertung des Nachrichtenaustausches. Die beiden so verbundenen Knoten stehen, bedingt durch den zeitlichen, auch in einem räumlichen Zusammenhang. Der Graph ist nicht zusammenhängend, da nicht zwingend von jedem Knoten aus jeder andere Knoten erreichbar sein muss.

Das Gewicht in Form einer Wahrscheinlichkeit, wird durch eine Zeitfunktion berechnet. Da das Gewicht der Kanten mit der Zeit abnehmen soll, wird folgender Ansatz verwendet:

$$p(t) = e^{-at} \quad (1)$$

Dieser Ansatz ist günstig, da er rechenbar ist, die Funktion $p(t)$ für $a > 0$ monoton fallend ist, für $p(t = 0) = 1$ annimmt und für $p(t \rightarrow \infty) = 0$ ist. Das sind genau die gewünschten Forderungen, die in diesem Fall an eine Funktion, die einer Wahrscheinlichkeit berechnet, gestellt werden. Um den Parameter a zu bestimmen, legt man eine zusätzliche Bedingung fest, z.B. dass die Wahrscheinlichkeit $p(t = 10 \text{ Sekunden}) = 0,5$ betragen soll. Die Zeitspanne von 10 Sekunden zwischen zwei Schaltvorgängen legt einen zeitlichen und topologischen Zusammenhang nahe. Es wird sich erweisen, dass die Wahl von 10 Sekunden durchaus als günstig erachtet werden kann. Daraus folgt:

$$p(t = 10 \text{ Sekunden}) = 0,5 = e^{-a \cdot 10s} \Rightarrow a = -1/10s \cdot \ln(0,5) \quad (2)$$

$$\Rightarrow p(t) = e^{-t \cdot (-1/10s \cdot \ln(0,5))} = e^{t/10s \cdot \ln(0,5)} \quad (3)$$

$$\Rightarrow p(t) = 0,5^{t/10s} \quad (4)$$

Nach einer Dauer von 10 Minuten zwischen den Schaltvorgängen wird die Wahrscheinlichkeit auf $p(t \geq 10 \text{ Minuten}) = 0$ festgelegt. Dies dient der Vereinfachung der Berechnung des Graphen. Eine Zeit von 10 Minuten zwischen zwei Schaltvorgängen deutet darauf hin, dass die Schaltvorgänge keinen topologischen Zusammenhang besitzen sollten. Werden zu einer Kante mehrere Gewichte bestimmt, wird das Maximum dieser Gewichte verwendet.

Um die entwickelte Methode zu erproben, wurden Beispieldaten eines Installationsbussystems aus einer wohnungsähnlichen Umgebung ausgewertet. Diese stammen aus dem Labor für assistierende Gesundheitstechnologien des Peter L. Reichertz Instituts für Medizinische Informatik am Standort Braunschweig und wurden während eines Zeitraums von 2 Monaten aufgezeichnet. Mit diesen Daten soll die Methode auf Eignung und Robustheit geprüft werden. Das Labor wird insbesondere für Lehrveranstaltungen, studentische Projekte, Präsentationen und zur Erprobung neuer assistierender Gesundheitstechnologien genutzt. Es besteht aus einem größeren (ca. 18m²) und 2 kleineren (ca. 7m² bzw. 5m²) Räumen, in denen insgesamt 21 Sensoren mit unterschiedlichen Adressen mit dem Installationsbus verbunden sind. Als räumlich miteinander in Beziehung stehende Geräte sollen solche Sensoren definiert werden

- 1) die sich in demselben Raum befinden und
- 2) einen Abstand von höchstens 2m aufweisen.

Der Abstand wurde so gewählt, dass er mit den oben erwähnten 10 Sekunden verträglich ist. Beide Parameter wurden prospektiv, ohne besondere Rücksicht auf die Wohnumgebung, gewählt. Die Bedingung, ob ein Gerät einen topologischen Bezug zu einem anderen Gerät hat, wird durch das Kantengewicht entschieden: Bei einem Kantengewicht von $p \geq 0,5$ gibt es einen topologischen Bezug, bei $p < 0,5$ nicht.

4 Auswertung

Zur Prüfung der Eignung der Methode zur Rekonstruktion der Topologie der Wohnung wurde der gesamte Datensatz, der in einem Zeitraum von 2 Monaten aufgenommen wurde, verwendet. Es wurden während des Zeitraumes 20 der 21 an den Installationsbus angeschlossenen Sensoren bedient. Zu erwarten wäre also, dass sich 20 Knoten und 190 Kanten in dem Ergebnis-Graphen befinden. Die 190 Kanten entstehen unter der Voraussetzung, dass alle Knoten miteinander verbunden sind. Dazu verbindet man den ersten Knoten mit den 19 übrigen, den Zweiten mit den verbleibenden 18 usw. Unter Verwendung des Datensatzes konnten jedoch nur 141 Kanten entdeckt werden. Unter den 49 nicht erkannten Verbindungen waren aber nur solche, die räumlich nicht miteinander in Beziehung stehende Geräte verbunden hätten.

Die folgende Wahrheitsmatrix zeigt die Anzahl der erkannten Verbindungen der räumlich miteinander in Beziehung stehenden Geräte x , die bei einem festgelegten Kantengewicht von 0,5 richtig bzw. falsch erkannt wurden.

	x	$\neg x$
$p \geq 0,5$	64	1
$p < 0,5$	4	72

Die Korrekturklassifikationsrate beträgt 96,5%, der positive Vorhersagewert 98,5% und der negative Vorhersagewert 94,7%.

Zur Auswertung der Robustheit der Methode wurde der Datensatz mit den Schaltenachrichten in zwei Teile aufgetrennt, die jeweils einen Monat umfassen. Im ersten Zeitraum lösten 17 von 21 Sensoren aus; im Zweiten nur 14. Im ersten Zeitraum wurden 109 von zu erwartenden 136 Kanten gefunden. Im zweiten Zeitraum waren es 83 von erwarteten 91. Insgesamt unterschieden sich beide Graphen in 64 Kanten, die jedoch insbesondere aus der unterschiedlichen Knotenanzahl der Graphen resultiert. Wenn man die Schnittmenge der Knoten beider Graphen betrachtet, so unterscheiden sie sich noch in 7 Kanten, die zudem noch von einem einzigen Knoten ausgehen.

5 Diskussion

Sensoren, die mit einem Installationsbus verbunden sind, rufen Schaltvorgänge hervor und generieren Nachrichten, die an Aktoren gerichtet sind. Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode rekonstruiert die Topologie einer Wohnung mit Hilfe von Nachrichten, die durch einen Installationsbus übertragen werden.

Die Methode eignet sich für diesen Zweck, da sie trotz ihrer Einfachheit in der Lage ist, mit hoher Genauigkeit die Topologie einer Wohnung zu rekonstruieren. Dabei konnte gezeigt werden, dass sie bereits mit wenigen Daten schon relativ robust arbeitet.

Da es dennoch zu Fehlerkennungen kommen kann, sollten die noch fehlenden Verbindungen durch "Umwege", die durch den Dijkstra-Algorithmus bestimmt werden können, kompensiert werden. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Rekonstruktion auf reinem Beobachten basiert und somit auch auf retroektiv vorliegende Daten anwendbar ist.

Die Studie hat gezeigt, dass man Aussagen über die Topologie einer Wohnung mit Hilfe von Nachrichten eines Installationsbusses treffen kann. Dabei ergeben schon Hinweise auf ungewöhnliche Schaltvorgänge einen Anhaltspunkt, dass eine sich eine zweite Person im Haushalt aufhalten kann. Für Systeme, die die Aktivitäten der im Allgemeinen alleinlebenden Person beobachten und bewerten, um im Notfall oder bei Verschlechterung des Gesundheitszustandes Hilfe zu rufen, können solche Informationen überaus nützlich sein. Eine weitere prospektive Studie ist jedoch notwendig, um die Eignung des hier vorgestellten Algorithmus zur Erkennung mehrerer Personen in einem Haushalt festzustellen.

Literaturverzeichnis

- [AEG06] Adlam, TD; Evans, N; Gibbs, C; Orpwood, R: User Evaluation of Smart Flats for People with Dementia. In: Pervasive Health Conference and Workshops, 2006; S. 1-4
- [BMW07] Bott, OJ; Marscholke, M; Wolf, KH; Haux, R: Towards new scopes: sensor-enhanced regional health information systems - part 1: architectural challenges. *Methods Inf Med* 2007; 46(4): S.476-483
- [De08] Demiris, G editor: Smart homes and ambient assisted living in an aging society: new opportunities and challenges for biomedical informatics. *Methods Inf Med.* 2008; 47: S. 56-59
- [EH97] EHSA: European Home Systems Specification, Release 1.3. EHSA Zaventem 1997
- [KB04] Korhonen, I; Bardram JE: Introduction to the special section on pervasive healthcare. In: *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2004; 8: S. 229-234
- [KNS05] Kastner, W; Neugschwandtner, G; Soucek, S; Newmann, HM: Communication Systems for Building Automation and Control. In: *Proceedings of the IEEE* 2005; 93(6): S. 1178 - 1203
- [Sa08] Saranummi, N: IT Applications for Pervasive, Personal, and Personalized Health. In: *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2008; 12(1): S. 1-4