

ユビキタス環境におけるコンテキスト ストアウェアのためのモノの表現

A Representation of Objects for Context Awareness in Ubiquitous Environments

前川 卓也[▼] 柳沢 豊[▲]
服部 正嗣[▲] 岡留 剛[▲]

Takuya MAEKAWA Yutaka YANAGISAWA
Takashi HATTORI Tsuyoshi OKADOME

本論文では、モノにセンサノードを添付するだけで、添付されたモノが何であるか、そしてそのモノが現在どのような状態にあるかを推定するためのモノの表現方法について述べる。想定している環境では室内のさまざまなモノにセンサノードが添付され、センサノードには、それが添付されるモノに関する情報を一切与えない。その環境内でユーザが活動し、センサノードは、センシングして得られたデータのある程度の期間収集する。そして、あらかじめ用意した様々なモノのメタデータとセンシングデータを比較し、そのデータが観測され得る尤もらしいメタデータを決定することでモノの推定する。

By attaching sensor nodes to physical objects in a sensor networked environment, the object expression method introduced here infers what the physical objects are and their states. The method does not assume that initially the sensor nodes have information about the objects to which the sensor nodes are attached. The sensor nodes collect data by sensing humans' daily living in the environment for a certain period of time. The method compares the collected data with metadata of physical objects prepared in advance and determines a presumable metadata where the collected data can be observed.

1. まえがき

ユビキタス環境においてコンテキストストアウェアなサービスを実現するための重要な要素とされているのは、モノやユーザの位置とユーザの行動の把握と言われている[2,5]。さらに、われわれはユビキタス環境に存在するモノの状態も重要な要素になると考える。モノの状態は、コンテキストストアウェアなサービスを提供するための直接的なトリガとなることは言うまでもない。単純な例だと、ドアが開きっぱなしになっていたりドアがロックされたりしたときに、ユーザに通知することなどがある。また、複数のモノの状態の組み合わせ

[▼] 正会員 日本電信電話株式会社コミュニケーション科学基礎研究所 maekawa@cslab.kecl.ntt.co.jp

[▲] 非会員 日本電信電話株式会社コミュニケーション科学基礎研究所 [yutaka,takashi_hattori@cslab.kecl.ntt.co.jp](mailto:{yutaka,takashi_hattori}@cslab.kecl.ntt.co.jp), houmi@idea.brll.ntt.co.jp

せから提供するサービスを変更することも可能である。さらに、モノの状態は、モノの位置やユーザ行動の把握の精度を向上させるパラメータにもなり得る。例えば、ユーザにセンサを添付することでADL(Activity of Daily Living)を推定する研究[3]が多く行われているが、モノの状態の情報を利用することでその精度を向上できると考える。ユーザが食事中であることを推定するために、食卓の机、イス、コップなどの状態を利用することがその例である。

モノの状態を推定するためには、そのモノやモノの周辺の環境を何らかの方法でセンシングする必要がある。われわれは、モノに加速度や温度などを測るセンサノードを添付することで、室内に設置されているドアや机といったさまざまなモノの状態を推定する。このとき、センサノードには、添付されるモノに関する情報を一切与えない。つまり、センサノードが添付された直後は、センサノードはどのようなモノに添付されているかを知らないものとする。そして、ある程度の期間の生活から収集したデータを用いて、そのモノとモノの現在の状態の推定を行う。センサノードはさまざまなモノに添付される可能性があり、さらに各々のモノは本来の機能以外の使われ方を含めて多様に利用をされるので、全て同一の機能を持つ汎用的なセンサノードであるとする。すなわち、イスに添付するために作られた圧センサをもつセンサノードのような、特定のモノのためのセンサノードは仮定しない。汎用的なセンサノードは特定のモノ専用のノードに比べ、生産の際にコスト的に優位なだけでなく、実際にコンテキストストアウェアなサービスを家庭に導入する際、エンドユーザが何も考えずにモノにセンサを添付するだけでコンテキストストアウェアなサービスの基盤を構築できるため、導入の労力を抑えられる点でも有利である。

以上を実現するために、本研究では、コンテキストストアウェアなサービスに利用できそうな室内にあるモノをピックアップし、それらの状態の遷移をモデル化した状態遷移図を作成する。例えばドアというモノには「開」状態と「閉」状態があり、それらの状態はユーザに「開かれ」たり、「閉じられ」たりすることで他方の状態に遷移する状態遷移図が作成される。そして、ある程度の期間にセンサノードにより観測されたデータから、そのデータが観測され得る尤もらしい状態遷移図を決定することでモノの推定を行う。状態遷移図を決定することで、そのセンサノードが添付されているモノがどのような状態にあるかも同時に知ることができる。本論文では、以上のプロセスの内、特にモノの状態遷移図の作成について説明し、センサデータとの対応付けに関して予備的な検討を行う。

2. 実験環境

まず、本研究で利用するセンサノードについて説明する。センサノードはわれわれの研究グループが開発したもので、一般的に普及している温度センサ、照度センサ、焦電センサ、三軸加速度センサを搭載している。これらのセンサから取得したデータをデータの保存用に設置したサーバシステムに送信するために、XPort(Lantronix)もしくは無線モジュール(Millennial Net, iB-5324EK end point)を搭載している。また、データ処理のためにCPU(Renesas Technology, H8/36049GH)を搭載しており、60msecごとにその間にセンシングしたデータの平均値を送信する。

以上のセンサノードを設置して観測を行うために、実験室内にセンサネットワークシステムを構築した。実験室は作業

部屋としてレイアウトしており、イスや机、棚などの家具とPC類を配置して、日常的な作業が行える環境を整えている。この部屋では、午前9時から午後5時頃まで1人から4人程度の作業員（研究者ではない）が各々の作業や本センサネットワークシステムの整備などを行っている。また、実験室の床にはセンサフロアシステム(Vstone, VS-SF99)を設置しており、床面の圧力の有無を180mm四方の分解能で観測することができる。

センサノードは室内のドア、スライドドア、背もたれのあるイス、車輪付き回転イス、机、ロッカーの扉、ロッカーの内部、引き出し、ごみ箱、コップ、目覚まし時計にセンサノードを添付した。

3. 定義

状態遷移図の詳細な表現方法について説明する前に、本研究で定義するモノの状態と遷移について説明しよう。

モノに添付したセンサが何の変化も検知しない間を状態とし、変化を検知している間を遷移と定義する。つまりセンサが検知できない現象については関知せず、センサノードがもつ加速度センサのX軸、Y軸、Z軸方向、照度、温度のいずれかに変化が起こったときを遷移とする。焦電センサは、その変化の有無がセンサノードを添付する位置に大きく依存するため今回は用いない。床圧センサは、モノや状態の推定の際に補完的に利用する。

われわれの提案する状態遷移図における遷移は値を持ち、それらの値は、遷移の際に加速度センサ、照度センサ、温度センサ、床圧センサにより検知されるイベントを用いて記述される。例えば、ドアが開く遷移が起こるときは、床圧センサが人が歩いているイベントを検知した後、ドアに添付された加速度センサと照度センサがほぼ同時に変化するイベントを検知し、その後、人が歩いているイベントを検知することが考えられ、それらを遷移の値として記述する。

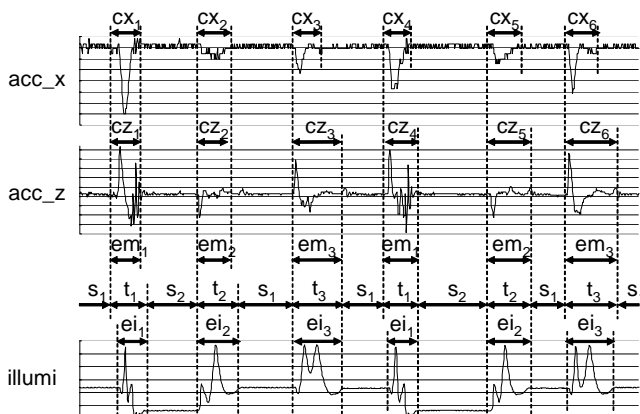


図1 ドアに添付されたセンサノードから取得した信号の例

Fig.1 An example of signals from a sensor node attached to a door.

ここで、図1を用いてセンサが検知する変化、イベント、遷移、状態の関係を説明する。図はドアが「開き」、「閉じ」、「開閉する」遷移を2回繰り返したものである。ただし、Y軸方向の加速度と温度の波形は省略している。cx_iおよびcz_i

($i=1, \dots, 6$)は、XおよびZ方向の加速度センサから得られた波形における変化である。これらの範囲を併合したものが加速度センサのイベントである em_i ($i=1, 2, 3$)である。このとき、同じイベントである「開く」、「閉じる」、「開閉する」をまとめている。 ei_i ($i=1, 2, 3$)は照度センサのイベントである。加速度センサと照度センサのイベントの範囲を併合したものが遷移である t_i ($i=1, 2, 3$)である。さらに、遷移の範囲以外が状態 s_i ($i=1, 2$)である。 s_1 と s_2 はそれぞれ閉状態と開状態を表す。すなわち、本研究で定義する遷移は、加速度センサ、照度センサ、または、温度センサのいずれかが変化している範囲であり、変化が起こっていない範囲を状態としている。

ここで、われわれは「開閉する」を一つの遷移と捉えている。一般的には、「開閉する」は「開く」と「閉じる」の二つの現象が連続して起こるものとしたほうが自然である。しかし、図1のcx₃などの波形を見ても分かるように、センサデータからは「開く」と「閉じる」の二つの遷移が連続して起こったと認識するのは容易ではない。これはトレーニングデータをあらかじめ用意しないことに起因するが、「開閉する」という遷移が認識できれば、ドアが開いたということも認識できるため問題はないと考える。以上のように、間を置かずに連続して起こる現象は本研究では一つの遷移とする。

4. モノの状態遷移図

本節では以上の定義に従って状態遷移図を記述する方法を説明する。

4.1 状態遷移図の形状

まず、状態遷移図を決定する。簡単に言えば、モノに一般的に起こると考えられる遷移と、モノの状態を選定し、それらをつなげることで状態遷移図を決める。このとき、前節で定義したような条件に則って遷移と状態を選ぶ必要がある。

われわれの提案するモノの状態遷移図における状態は遷移のように値を持たないことに注意されたい。これは、モノのそれぞれの状態におけるセンサノードから得られる値は環境に大きく依存し一般性をもたないためである。以降では、遷移の記述方法について、まず遷移の要素であるイベントの記述から説明していく。

4.2 イベントの記述

様々な環境や状況でモノの推定を行うため、抽象化した表現で状態遷移図（特にイベント）を表現する必要がある。しかし、推定の精度を高くするためには、ある程度詳細な表現も必要になる。そこで、センサの種類ごとに環境に依存せず取得できるイベントを選定し、それらのみを詳細に表現する。例えば、ロッカーを開けるとロッカーの内部に設置しているセンサノード付近の照度は上昇する。これは信号の解析から容易に解析できるため、ロッカーが閉まっている状態から開いている状態への遷移には、照度の上昇というイベントが含まれると具体的に記述できる。しかし、ドアを開けるときドアに添付しているセンサノード付近の照度は変化するが、上昇するか下降するかはそのドアの周辺的环境による。したがって、ドアが閉まっている状態から開いている状態への遷移には、照度の変化というイベントが含まれると抽象的に記述する。また、例えばイスに人が座ったなどの、センサデータの解析から一意に特定が不可能な遷移も、人が座っている状態から座っていない状態への遷移には加速度センサの変化というイベントが含まれると抽象的に記述する。本研究では、図2のようにそれぞれのセンサが検知するイベントを、ノードの深さが抽象度に対応する木構造で表現している。

“illumi”を根とする木は照度センサが検知できるイベントを表しており、まず最も抽象的なイベントとして“change”がある。そして、その子に対応する具体的なイベントとして、“brightly”と“darkly”がある。温度センサの木でも、最も抽象的なイベントとして“change”がある。そして、その子に対応する具体的なイベントとして、“increase”と“decrease”がある。加速度センサの木でも最も抽象的なイベントとして“change”がある。そして、その子に対応する具体的なイベントとして、“drop”と“slide”と“raise”と“fall”がある。これらはそれぞれ、「落下」と「水平方向への移動」と「垂直上方向への移動」と「倒れること」をそれぞれ表す。床圧センサの木でも最も抽象的なイベントとして“change”がある。その子に対応する具体的なイベントとして、“walk”と“point”がある。これらはそれぞれ、床圧センサが検知する人の歩行と、なんらかのものが落下するなどして床の一点に接地した現象を表す。さらに、“walk”の子に対応する最も具体的なイベントとして、“through”と“here”と“away”がある。これらはそれぞれ、「モノを通り抜ける」、「モノまで歩いてくる」、「モノから遠ざかって歩いていく」を表す。つまり、これらのイベントはモノの位置が分かっているなければ検出できないものであるが、モノの推定後にこのイベントを用いてモノの位置をさらに推定する応用も考慮してこれらを採用した。

ここで、ドアが開いた際の照度の変化は環境に依存するため、照度が変化する(“illumi.change”)というイベントを用いて記述すると前述した。実際に、ある環境でドアを開いた際のセンサの照度が上昇していたとしても、階層的な表現を用いることにより、照度の上昇は照度の変化に含まれることが分かるため、モノの推定の際の遷移のマッチングに利用できる。

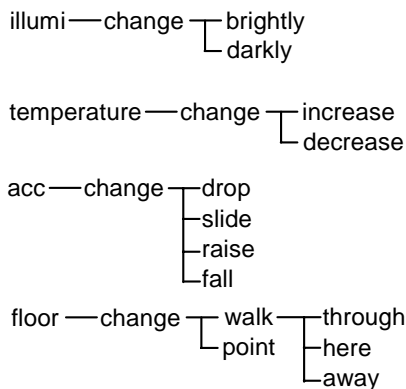


図2 センサが検知するイベント

Fig.2 A list of events detected by sensors.

4.3 遷移の記述

イベントの集合である遷移の記述について説明しよう。状態遷移図における遷移は、それぞれのセンサによって得られたイベントの集合であり、それらのイベントの間に時間的な関係が存在する。例えばドアを閉めるという遷移では、床圧センサが人が歩くイベントを検知した後、加速度センサと照度センサがそれぞれの信号が変化するというイベントをほぼ同時に検知する。その後、さらに床圧センサが人が歩くイベントを検知する。このようなイベント間の時間的な関係は

Allen の時区間関係表現[1]を用いて表現する。Allen は図3に示す 13 通りの時区間関係を定義している。(“equal”以外にはそれぞれインパースの関係が存在する。) 例えば、“X before Y”では、黒の矩形がイベント X の、白の矩形がイベント Y の時間的な範囲を表し、イベント X のあとにイベント Y が起こっている。この時区間関係表現を用いて、遷移の際に起こりうるイベントの時間的な関係を遷移の値として記述する。

4.4 モノの可搬性と可動性

モノには可搬性(portability)と可動性(mobility)があるものがあり、それらに共通して起こる遷移が存在する。例えばコップは可搬性のあるもので、人が持ち歩いたり座りながらその位置を移動させる遷移が存在する。さらに、高いところから落ちたり倒れたりする遷移も存在する。イスは可動性のあるモノで、人が押して移動させたり倒れたりする遷移が存在する。また、全てのモノに共通して起こる遷移も存在する。例えば、あるモノに人が近づくと、人の影によりそのモノの周辺の照度が下がることがある。以上の遷移を全て考慮すると、状態遷移図は複雑となり記述の際に大きな負担となる。そこで、記述したいモノに可搬性や可動性があると明示すれば、そのモノの全ての状態に対応する遷移が存在すると解釈する。

以下に、可搬性があるモノ、可動性があるモノ、全てのモノに共通して起こる遷移を示す。

可搬性 {倒れる, 持ち歩く(人の移動あり), 移動する(人の移動なし), 落ちる}

可動性 {倒れる, 移動する(人の移動あり)}

全て {人がぶつかる, 人が近づいて暗くなる}

ページの都合上示さないが、それぞれの遷移をイベントの集合として定義した。ただし、これらの遷移は、上記した遷移の内容からも分かるように全てループバックの遷移とする。すなわち、状態が変化しない遷移とする。

X before Y	
X equal Y	
X meets Y	
X overlaps Y	
X during Y	
X starts Y	
X finishes Y	

図3 Allen の時区間関係表現[1]

Fig.3 Allen s interval logic[1].

4.5 状態遷移図の記述

以上を考慮して第2節で述べた 11 のモノの状態遷移図を作成した。状態遷移図はあらかじめ記述方式を定義した XML で記述する。図4に、ドアの状態遷移図を図式化したものを示す。“Open”の遷移から出ている吹き出しは、その遷移が起こる際のイベントの集合を時系列で表している。この例では、“Open”の遷移は2通りのケースが存在しており、

一つ目は、人が歩きながらドアを開けて通り抜けていくケースを、二つ目は、人がドアの前まで歩いてきて立ち止まってからドアを開けドアから離れて歩いていくケースを表している。このように一つの遷移に対して複数のケースを記述できるため、さまざまな状況を考慮できる。

5. モノの推定について

本節では、前節で述べた状態遷移図とセンサノードから得られた信号のマッチングを行う方法について考察する。すなわち、その信号が観測され得る尤もらしい状態遷移図を決定することでモノの推定を行う。第3節において図1を用いて説明したように、センシングした信号からは遷移と状態のシーケンスが得られると考えられる。このシーケンスから、状態遷移図の形を推定するような従来研究は存在する。例えばコンピュータへの侵入検知の研究では、呼び出されたシステムコールのシーケンスから異常な侵入を検知している。このとき、通常のユーザのシステムコールのシーケンスから学習された有限状態オートマトンなどを作成し、それから逸脱したシーケンスを異常な行動としている[4]。有限状態オートマトンなどの作成方法は、本研究でも利用できると考えられる。つまり、有限状態オートマトンを本研究における状態遷移図に置き換え、学習した遷移図とあらかじめ用意した遷移図とのマッチングを行うことで、シーケンスが観測される尤もらしいモノを決定できると考える。

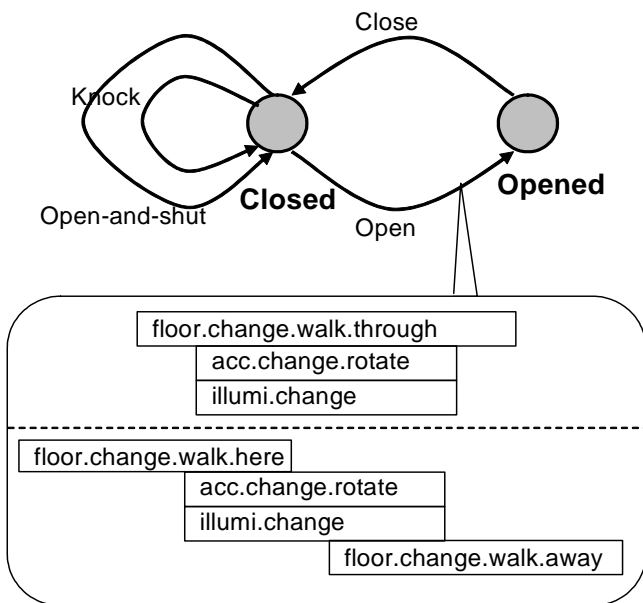


図4 ドアの状態遷移図

Fig.4 Door's state transition diagram.

6. まとめと今後の課題

本論文では、ユビキタスコンピューティング環境において、汎用的なセンサノードをモノに添付するだけで、そのモノやモノの状態の推定を可能とするための方法について考察した。さまざまな環境においてモノの状態推定を実現するためには、モノの状態や遷移などを抽象的に記述できる状態遷移図が必要であると考え、その記述方法について述べた。今後

は、具体的な状態の推定方法についての検討と実現を行う予定である。

[文献]

- [1] J. F. Allen, "Maintaining knowledge about temporal interval," *Commun. of the ACM*, 26(11):832-843, 1983.
- [2] S.-W. Lee and K. Mase, "Activity and location recognition using wearable sensors," *IEEE Pervasive computing*, 1(3):24-32, 2002.
- [3] P. Lukowicz, H. Junker, M. Stager, T.V. Buren, and G. Troster, "WearNET: a distributed multi-sensor system for context aware wearables," *Proc. UbiComp 2002*, pp. 361-370, 2002.
- [4] R. Sekar, M. Bendre, D. Dhurjati, and P. Bolline, "A fast automaton based method for detecting anomalous behaviours," *Proc. IEEE Symposium on Security and Privacy*, pp. 144-155, 2001.
- [5] B. Schilit, N. I. Adams, and R. Want, "Context-aware computing applications," *Proc. IEEE Wrokshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 85-90, 1994.

前川 卓也 Takuya MAEKAWA

2003年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。2006年同大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。NTT コミュニケーション科学基礎研究所所属。博士(情報科学)。日本データベース学会、情報処理学会の各会員。モバイル環境における Web 閲覧、ユビキタスコンピューティングの研究に興味をもつ。

柳沢 豊 Yutaka YANAGISAWA

1998年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻博士後期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。NTT 基礎研究所入所。現在、NTT コミュニケーション科学基礎研究所、研究主任。博士(工学)。空間データベース、センサネットワーク、移動オブジェクトの研究に従事。情報処理学会、他4学会の各会員。

服部 正嗣 Takashi HATTORI

2002年京都大学工学部物理工学科卒業。2004年同大学院情報科学研究科システム科学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。NTT コミュニケーション科学基礎研究所所属。センサーネットワークにおける実世界セマンティクスに関する研究に従事。人工知能学会員。

岡留 剛 Tsuyoshi OKADOME

1983年3月東京大学理学部情報科学科卒。1985年3月同大学大学院修士課程、1988年3月同大学大学院博士課程終了。同年4月日本電信電話株式会社(NTT 基礎研究所)入社。2001年4月から2年間(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)経営企画部。2003年7月からNTT コミュニケーション科学基礎研究所。現在同研究所主幹研究員(グループリーダー)。人間の認知過程とりわけ運動生成、知覚・運動系の発達の計算理論、形式言語の学習、ユビキタス計算に興味をもつ。ACM、情報処理学会、日本認知科学会各会員。博士(理学)。