

センサーネットワークの観測事象の特微量に関する考察

平松 薫 服部 正嗣 山田 辰美 岡留 剛

日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 2-4

E-mail: {hiramatu, takashi_hattori, tatsumi, okadome}@cslab.kecl.ntt.co.jp

あらまし 室内に存在する物体にセンサーノードを貼り付けて構築したセンサーネットワークで観測されたデータから事象が変化する確率とその変化が共起する確率を求め、それらの特微量に基づくセンサーネットワークの特徴分析と観測事象間の順序関係の発見を試みる。

キーワード 特徴抽出, 共起確率, センサーネットワーク, コンテキストウェアアプリケーション

A Study of Sensor Data Characteristics Captured by Sensor Networks

Kaoru Hiramatsu, Takashi Hattori, Tatsumi Yamada, and Takeshi Okadome

NTT Communication Science Laboratories, Nippon Telegraph and Telephone Corporation

2-4, Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0237 Japan

E-mail: {hiramatu, takashi_hattori, tatsumi, okadome}@cslab.kecl.ntt.co.jp

Abstract We calculate change and co-change probabilities of sensor data captured by a sensor network that consists of small sensor nodes attached to objects in the smart environment, and investigate characteristics of the sensor network and states of real-world situations for creating efficient context-aware applications.

Keyword Characteristic extraction, Co-occurrence probability, Sensor Network, Context-aware application

1. はじめに

コンテキストウェアアプリケーションは、ユビキタスコンピューティング[1]の実現形態の一つであり、人々の日常生活を様々な形で支援するように、実世界の状況変化に適応して動作する。この状況変化の観測には、多種多数のセンサーで構成されるセンサーネットワークが大きな役割を果たす。環境内に設置されたセンサーが周囲の物理量を観測し、その情報をネットワーク経由で集約することで、実世界で発生する状況変化の一部を把握することができる。

多くの場合、コンテキストウェアアプリケーションは、あらかじめ設定されたルールに従い、状況変化に適応する。例えば、ヘルスケアで利用されるアプリケーションであれば、観測した状況変化を activities of daily living (ADL) [2]や instrumental activities of daily living (IADL) [3]に従って分類し、その結果に応じた動作をすることになる。しかし、実際に観測される人々の動作には多くのバリエーションがあり、センサーの配置状況もその観測に大きな影響を及ぼす[4]。もし、センサーネットワークが適切に構成されていなければ、状況変化の見落としや誤認識が発生し、アプリケーションの誤動作として表面化することになる。

こうした課題の一部は、センサーの設置位置の調整やセンサー未設置領域へのセンサーの追加設置、今まで観測されていなかった物理量を観測する新たなセンサーの導入に

より解決できる。また、その効果をコンテキストウェアアプリケーションの動作をみて評価するのではなく、より生データに近い段階で評価できれば、アプリケーション開発効率の向上にもつながる。

そこで本稿では、センサーデータの変化に注目し、その発生確率から、センサーネットワークで観測される実世界の状況変化の特徴分析を試みる。本稿では、ある時間内に観測されたセンサーデータの最大値と最小値の差が閾値を超えた場合に「変化あり」とみなす。この変化は、センサーデータから簡単に抽出できる特徴の一つであり、時間窓を動かしてその発生確率を求めると、アプリケーションのルールの前提条件として設定した状況変化の観測頻度が推測できることになる。また、その確率からエントロピーを計算すると、センサーデータを組合せて利用することの効果も、情報量の大小で評価可能となる。また、時間窓の長さを変更して変化が共起する確率を比較すると、センサー間に存在する変化発生の順序の存在も検出可能となる。そしてこれは、センサーネットワークが実世界の状況変化をどのように観測するかを表す指標にもなるので、新たなルールを作成する際の見落としとしていた状況変化の発見にも有用と考える。本稿では、これらの評価基準により、実際に実験室に設置したセンサーネットワークの特徴分析と、観測された状況変化の順序性について検討してみたい。

2. 提案手法

本稿が想定するコンテキストウェアアプリケーションの内部階層を図 1 に示す。なお、この階層図は Schmidt らによる定義 [5] を拡張したものである。アプリケーションが扱う実世界の状況は、センサーが観測したデータの集合で表され、その抽象化によりコンテキストが生成される。そして、一つ以上のコンテキストを前提条件としたルールを用意し、環境内のユーザを支援する動作を実行する。例えば、オフィスで動作するコンテキストウェアアプリケーションであれば、様々な物体に添付したセンサーの出力をセンサーネットワークを通じて集約して、室温やドアの開閉、椅子の状態などの実世界の状況を観測し、その状況の集合を抽象化することで「オフィス＝空室/使用中」などのコンテキストを作成し、そのコンテキストの変化に基づき照明や室温の制御などを行うことになる。

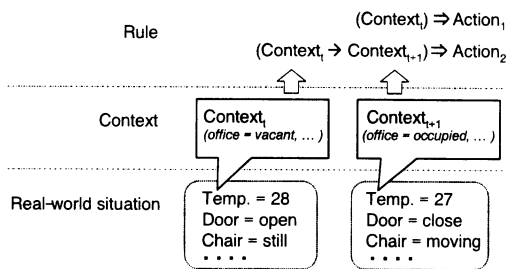


図 1 事象・コンテキスト・ルール

Wikipedia では、センサーは物理量や信号を検知するデバイス、と定義されている [6]。従って、実世界の状況の一面を観測するために利用できるが、ある瞬間ある場所で観測されたセンサーデータの値は別の基準で評価しなくてはならない。そこで本稿では、センサーで観測される実世界の状況変化と複数のセンサーで観測される状況変化の間の依存関係に注目し、その発生確率と共起確率、エントロピーを計算することで、観測される状況変化の特徴分析や、状況変化の発生順序の有無の判断などを試みる。

2.1. 変化の定義

図 2 にセンサーデータの変化の検出方法と、長さの異なる時間窓を複数利用した場合の状況変化の発生確率及びその共起確率の計算方法を示す。本稿では、ある時間内に観測されたセンサーデータの最大値と最小値の差が閾値を超えた場合に変化が発生したとみなす。

状況変化の発生確率は、センサーが状況変化を観測する感度の指標であり、その共起確率は任意の2つのセンサーが観測する状況変化の依存関係を示す。また長さの異なる複数の時間窓を適用することで、状況変化の発生傾向（一時期に集中、均一に発生、など）や複数のセンサーで

観測される状況変化の同時性や順序性の有無を判断することができる。

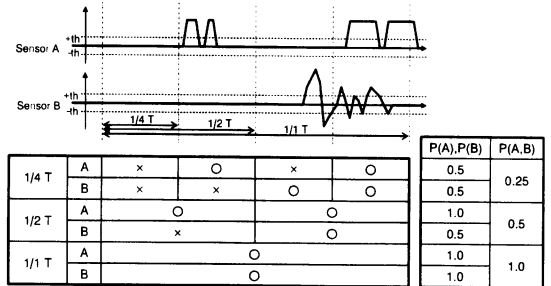


図 2 センサーデータの変化の定義

2.2. エントロピー

本稿では、情報理論におけるエントロピーを

$$H(X) = - \sum_{x \in X} P(x) \log_2(P(x))$$

で計算する。なお A_i はセンサーで観測される状況変化の事象であるが、ここでは「変化あり」と「変化なし」の二事象になる。また $P(x)$ は事象 x の発生確率を表す。

3. 実験

筆者らは、オフィス内にセンサーネットワークを構築 [7] し、小型センサーノードを添付した多数のオブジェクトからセンサーデータを収集して、室内で発生する状況変化の観測を試みている。今回は、サーバに蓄積したセンサーデータの一部を利用して、オフラインでその特徴分析を試みる。

3.1. 実験環境

図 3 左上にセンサーネットワークを設置したオフィスのレイアウトを示す。オフィスにおける日常作業で発生する状況変化を観測するために、小型センサーノードを添付した机や椅子や本棚などの什器と、PC や本やカップなどの備品を配置している。センサーノードが観測したセンサーデータはネットワーク経由でサーバに収集し、研究目的で利用することを前提に全データの蓄積を行っている。

3.2. 小型センサーノード

オフィスの状況変化を観測するために、様々なオブジェクトに添付している小型センサーノードの概要を図 4 に示す。組込型 CPU (H8/36049HG, Renesas Tech. Corp.) とネットワークインタフェース (Xport, Lantronix, Inc.) と、加速度、照度、温度、湿度、人感の各センサーを備える。観測したセンサーデータは、CPU で A/D 変換後、平均化を行い、約 100 ms 周期でサーバに送信している。

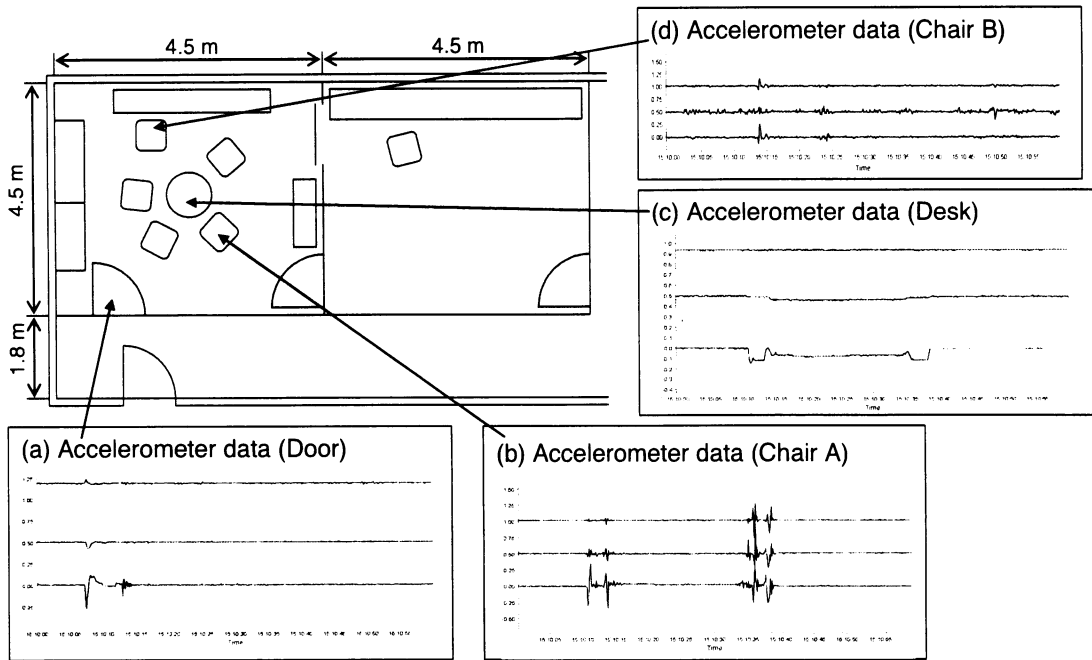


図 3 実験環境のレイアウトと観測したセンサーデータ

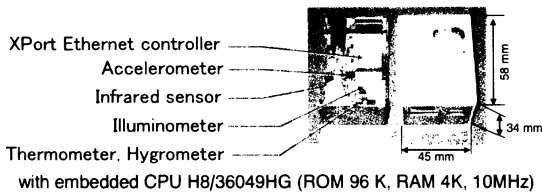


図 4 小型センサーノード

3.3. 観測データ

観測したセンサーデータの一例として、2005年9月1日 15:10 前後に観測された加速度データを図 3 のグラフ (a)-(d) に示す。この時刻にオフィスには二人の作業者が滞在し、一人はドアからオフィスに入り、椅子 A に着席後すぐに離席した。この動作はドアの開閉の動き(グラフ(a))、着席時と離席時の椅子の動き(グラフ(b))、机の動き(グラフ(c))として記録された。各グラフに現れた加速度のピークと静加速度の方向変化から、観測された状況変化の発生順序を読み取ることができる。また、もう一人は椅子 B に着席して、PC で作業を行っていた。グラフ(d)が示すように小刻みな振動が椅子 B で観測されており、作業者の細かな姿勢変化を加速度から読み取ることができる。

3.4. 状況変化の分析

観測データの変化発生の共起や順序関係を分析するために、2005年9月1日 9:00 から一時間のデータに対して

複数の長さの時間窓 (1,2,5,10,15,30,60 秒) を適用し、変化の発生確率とそのエントロピーを計算した。なお、変化検出の閾値は各センサーデータの標準偏差とした。

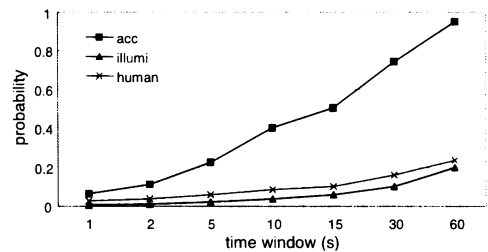


図 5 椅子 B で観測した変化の発生確率

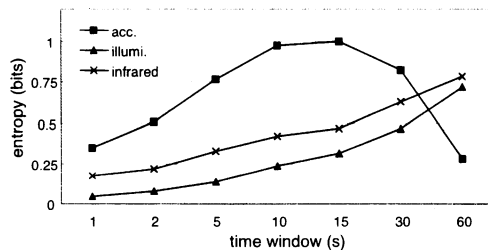


図 6 椅子 B で観測した変化のエントロピー

まず図 5 に椅子 B で観測されたセンサーデータの変化発生確率を示す。加速度データの変化発生確率が照度や人感センサーより高く、着席した作業者の動きが周囲の人の

動きや照明の変化より頻繁に観測されたことがわかる。長い時間窓を適用することにより変化発生確率が高くなるのは、一回の変化検出で「変化あり」とみなされる期間が長くなり、その結果「変化なし」とみなされる期間が短くなることと、短い時間窓で検出されなかった緩やかなデータ変動が、長い時間窓を適用することによって検出されるようになったことが原因と考えられる。また図 6 をみると、照度と人感センサーのエントロピーは時間窓の拡張によって単調増加しており、時間窓の拡張によって観測された状況変化の情報量が増加したことを示している。これに対し、加速度センサーのエントロピーは、15 秒の時間窓をピークに減少しており、長い時間窓の適用によって状況変化の情報量が失われたことがわかる。

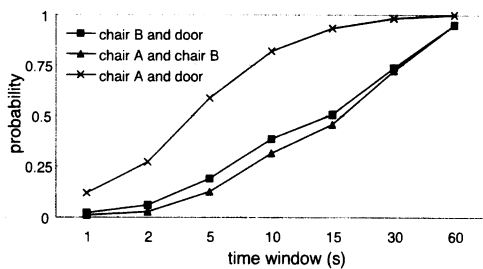


図 7 物体間の変化発生の共起確率

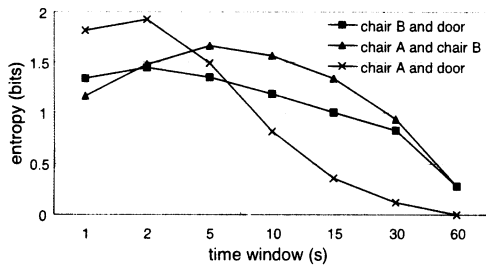


図 8 物体間の変化発生のエントロピー

次に、オフィス内の椅子 A と椅子 B とドアに添付したセンサーノードで観測された加速度データの変化の間の共起確率を図 7 に示す。椅子 A とドアの組の加速度変化の共起確率に注目すると、1 秒の時間窓では他の組と同様に低かったものの、時間窓を 5 秒に拡張すると急激に高くなった。この共起確率の変化は、椅子 A とドアの加速度の変化が、同時ではなく順番に発生したことが原因として考えられ、作業者の行為によって加速度が発生したと考えられ、椅子 A とドアの間の移動時間がこの時間差の原因と予測できる。この特徴は、図 8 のエントロピーの急激な減少としても現れている。このような状況変化の順序に関する指標は、コンテキストウェアアプリケーション作成時に対応すべき状況をリストアップする際や、ルールの前提条件であるコンテキストを評価する際に有用と考えられる。

また、加速度変化の共起確率の逆数を距離とし、センサーノードを Graphviz [8] でレイアウトすると、図 9 のように物体間の関連度を可視化することができる。椅子 A に添付された複数のノードが中央に集まり、その他のノードが周辺に表示されるなど、観測された共起確率によって環境内の物体間の関係を直感的に表現することができる。

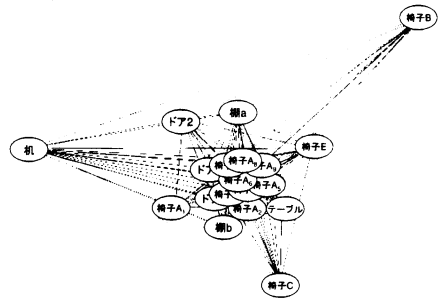


図 9 共起確率に基づいた物体間の関連度

4. おわりに

本稿では、実世界に設置したセンサーネットワークで観測された状況変化の特徴をセンサーデータの変化発生確率から分析した。センサーデータの変化は、簡単に抽出できる基本的な特徴であるが、センサーから観測できる状況変化の情報量の評価や、状況変化の発生順序の発見に有用であることがわかった。今後は、より詳細なセンサーデータの特徴分析と組合せて、コンテキストウェアアプリケーションのルール生成やコンテキスト生成に応用していきたい。

文 献

- [1] M. Weiser: "The Computer for the Twenty-First Century", Scientific American, 265, 3, pp.115-124 (Sep.1991)
- [2] S. Katz: "Assessing Self-Maintenance: Activities of Daily Living Mobility, and Instrumental Activities of Daily Living", Journal of the American Geriatrics Society, 31, 12, pp.721-726 (1983)
- [3] S. Katz, AB Ford, RW Moskowitz, BA Jackson, and MW Jaffe: "Studies of illness in the aged. The Index of ADL: A Standardized Measure of Biological and Psychological Function", The Journal of American Medical Association, 185, pp.914-919 (1963)
- [4] M. Philipose, K. Fishkin, M. Perkowski, D. Patterson, D. Fox, H. Kautz, and D. Hahnel: "Inferring Activities from Interaction with Objects", IEEE Pervasive Computing, 3, 4, pp.50-57 (Oct. 2004)
- [5] A. Schmidt, and K.V. Laerhoven: "How to build smart appliances", IEEE Personal Communications, pp.66-71 (Aug. 2001)
- [6] Wikipedia: Sensor <http://en.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- [7] 平松薫, 小倉康樹, 岡留剛: "P2P 通信アダプタを用いたセンサー情報管理システム", 情報処理学会第 67 回全国大会, Vol.3, pp.367-368, (March 2005)
- [8] Graphviz: <http://www.graphviz.org/>