

携帯電話とウェアラブルセンサによる人間行動認識

66815 水野 礼崇
指導教員 佐々木 健 教授

This paper presents a lifelog system that utilizes users' mobile phones. The system can seamlessly locate users, with GPS when outside and with Bluetooth Indoor Positioning System when inside. The users' positions are very closely related to their behaviors. The system includes a Java program that let the users manually input their own behaviors, for when the system cannot determine what they are doing only with the positioning data. With this system, we made a behavior recording experiment for 76 days and discussed the way to predict behaviors. We also made a behavior recognition experiment with Illuminance sensor and Bluetooth Indoor Positioning System.

Key Words: Lifelog, Mobile Phone, Positioning, Bluetooth, GPS, Behavior Prediction

1. 緒言

Mark Weiser が提唱したユビキタスコンピューティングの概念においては、コンピュータがユーザにとって「invisible」であることを強調しており、究極的には「区別がつかないほど日常生活に織り込まれる」ことが理想とされている¹⁾。

人間行動認識をはじめ、ユビキタスコンピューティングのためのコンテキスト推定を目的としたシステムは様々なものが研究されている²⁻⁵⁾が、これらのシステムの多くは十分に「日常生活に織り込まれている」とはいえないため、日常的に使用する上ではいくらかの課題がある。

そこで本研究では、「日常生活に織り込まれた」行動認識システムの実現を目指し、携帯電話を用いた行動認識システムを構築した。

2. Bluetooth による屋内位置計測システム

GPS を利用した測位では、屋内における人間の位置を精度良く測定することは困難である。しかし人間の活動履歴を記録する上では、屋内での移動履歴は非常に重要な情報である。

そこで本研究では、ハンズフリー通話などの用途を目的として実装されている Bluetooth 機能を屋内位置計測に活用することを提案し、実際に屋内での移動履歴をトレース可能なシステムを構築した。

本システムは環境中に存在する PC を基地局として用いて携帯電話の位置を測定する (Fig. 1)。各基地局 PC は常時 Bluetooth 端末が周囲に存在するかどうかスキャンしており、ユーザ

が通信範囲内に入れば即座にそれを認識可能である。通信範囲内に Bluetooth 端末を発見した基地局はその端末との間に Bluetooth 通信を確立し、受信電力を測定する。位置判定アルゴリズムとしては、ロケーションベースの手法として Cell-ID 方式と学習型位置推定方式、座標ベースの方法として三点測量方式を実装した。

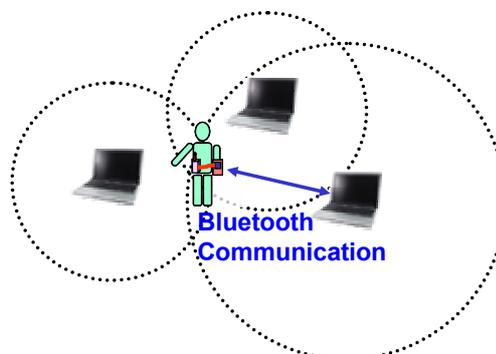


Fig. 1 Bluetooth Indoor Positioning System

3. その他のセンシングシステム

3.1 GPS 機能による屋外位置記録システム

携帯電話の GPS 機能を用いて屋外における移動履歴を記録するシステムである。

ユーザの操作により記録が開始されると、携帯電話はインターネット経由で行動記録サーバに接続する。行動記録サーバは web サーバとして動作しており、携帯電話から CGI パラメータとして渡された位置情報を記録するとともに、携帯電話に対して次に測位を行うまでのインターバル(秒単位)を返す。指定された時間の経過後、携帯電話は GPS 衛星の電波を受信し、位置演算サーバに位置計算を依頼して算出さ

れた位置情報を行動記録サーバに送信する。この際に再び次の測位までのインターバルを受け取ることで、全自動での連続的測位が可能となっている(Fig. 2)。

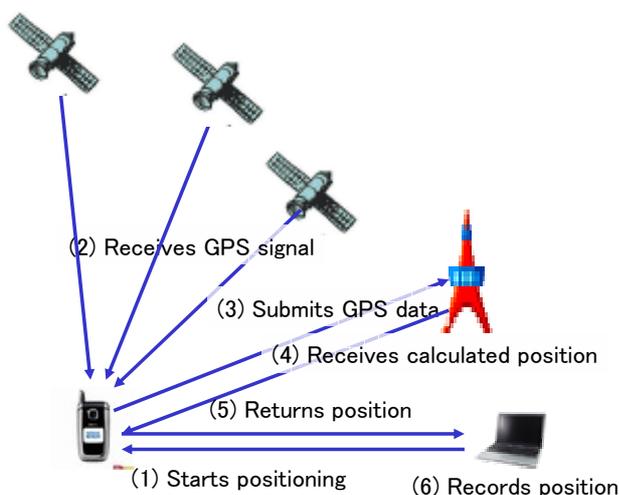


Fig. 2 Position Logging with GPS

3.2 行動入力ソフトウェア

前述のシームレス測位システムで得られた位置情報から行動を推定するための教師データ入力ツールとして、また位置情報のみから行動が特定できない場合にユーザ自身に行動を入力させるための手段として、行動入力ソフトウェアを開発した。

携帯電話のボタン 12 個(1-9, *, 0, #)がそれぞれ 1 種類の行動に対応しており、ユーザはこれらのボタンを 1 回押すだけでそのときの行動と時刻を記録することができる。また、画面下部には入力された行動履歴が表示されており、入力ミスがあった場合にも容易に発見、修正が可能である(Fig. 3)。

なお、本ソフトウェアは携帯端末向けの Java 規格である CLDC1.0+MIDP1.0 に準拠しており、同規格に基づいた Java ランタイムを備える携帯電話、PDA であればどの機種でも動作可能である。

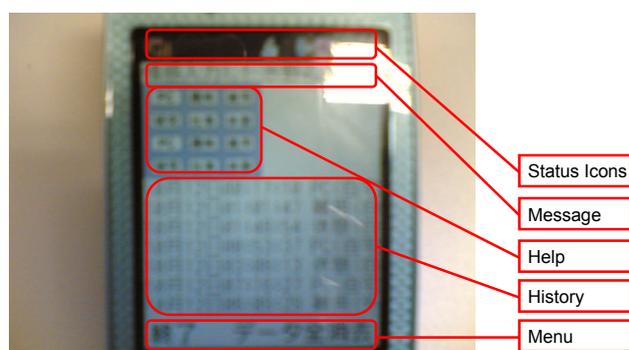


Fig. 3 Behavior Input Software

3.3 照度センサによる行動認識システム

携帯電話のバックライト調節用照度センサで測定した照度をもとに行動認識を行うことを想定して、照度に基づく行動認識アルゴリズムを実装した。ただし、実験においては便宜上 ELSEC 社製の環境測定器を照度センサとして用いた。

4. 行動認識と行動予測

4.1 実験条件

以上に述べたシステムを用いて、学生の日常生活における行動認識実験と行動予測実験を行った。いずれの実験においても、行動の種類は「睡眠」、「PC」、「読書」、「入浴」、「外出」の 5 クラスに分類した。ただし、この 5 種類以外の行動は、この中で最も似通っているクラスに含まれるものとした。具体的には、「休憩」は「睡眠」クラスに含まれ、仕事に近い性質を持つ行動は全て「PC」に含まれ、趣味に近い性質を持つ行為は全て「読書」に含まれる。

4.2 行動予測実験

行動入力ソフトウェアによって得た 76 日分の行動履歴データを Fig. 4 に示す。このデータについて行動予測実験を行った。

Fig. 5 は各行動について、行動中=1、それ以外=0 として自己相関を計算したものである。それぞれの行動を比較すると、「外出」および「睡眠」は非常にはっきりとした 24 時間周期のピークを持っている。この 2 つの行動は決まった時間に現れる傾向が強いことが分かる。「PC」と「入浴」にも、わずかながら 24 時間の周期性が見られる。図左端部分に注目すると、「PC」は時間に関わらず現れていることが分かる。また、「入浴」は継続時間が非常に短く、一度現れてから 12 時間以内に再び現れることはほとんどない。「読書」は他の行動と大きく異なり、図左側から右側に行くにつれ自己相関が小さくなっている。これは、「読書」に分類される趣味的な行動は、ユーザが暇な時期に集中して行われたからではないかと考えられる。

行動予測アルゴリズムとしては、認識したい行動や個々人の生活スタイルの違いへの対応を容易にするため、特徴量空間によって判別を行うものとした。特徴量としては、前述のような分析を通し、「時刻」、「現在の行動」、「起床からの経過時間」の 3 軸を採用した。これらの特徴量だけでは空間上で各行動クラスを完全に分離できなかったため、空間分割アルゴリズムとしては 3-Nearest Neighbor 法を採用した。

Leave-One-Out法によって精度を評価したところ、66%の正答率が得られた。

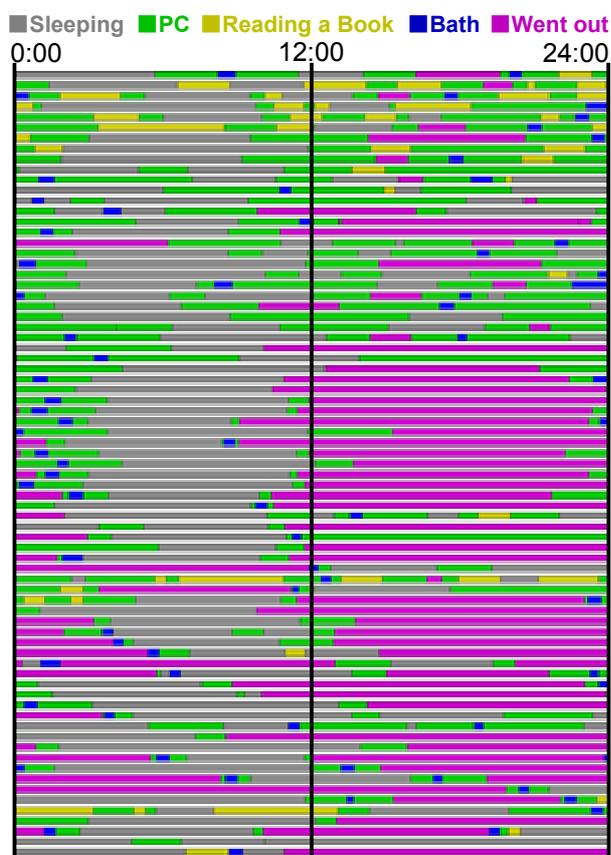


Fig. 4 Behavior Records for 76 Days

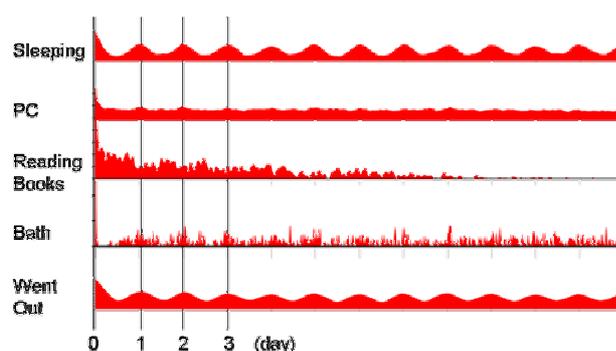


Fig. 5 Autocorrelations of Each Behavior

4.3 位置からの行動認識実験

一人暮らしの学生を対象として、屋内位置に基づく14日間の行動認識実験を行った。部屋内にあったPC1台を基地局として用い、受信電力値を特徴量として、ソフトマージンの線形SVM(Support Vector Machine)で、One-Versus-Rest方式により行動判定を行った。SVMを用いたのは、複数台のPCを基地局とし

て利用可能な環境においても過学習が起こりにくいことが期待できたからである。与える教師データの長さを1日分から13日分まで動かしたときの行動認識正答率をFig. 6に示す。教師データが7日分に達した段階で、13日分の場合とほぼ等しい70%の精度が得られた。

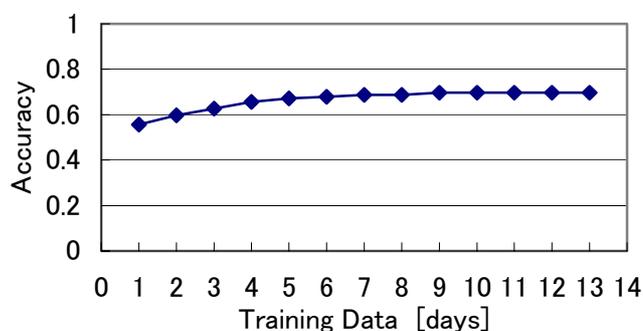


Fig. 6 Behavior Recognition with Bluetooth

4.4 照度による行動推定実験

照度センサを用いて、30日間の行動認識実験を行った。なお、行動の分類は前述のものと同じ5種類としたが、「出先でPC作業を行った」といった行動は本実験においては「外出」ではなく「PC」と分類した。行動認識アルゴリズムとしては、他種のセンサとの連携を考慮し、前節と同じくソフトマージン線形SVMを採用した。特徴量としては計測した照度の値を用いた。

学生1人について7日間分の教師データを与え、同一学生のその後30日間における行動認識を行った(Fig. 7)ところ、正答率77%で行動が認識できた。

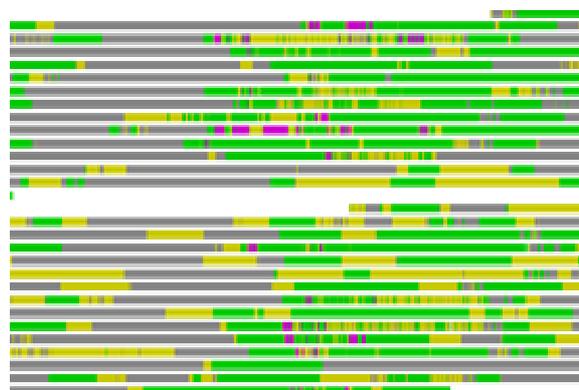


Fig. 7 Behavior Recognition with Illuminance

5. 結言

本研究では「日常生活に織り込まれた」人間

行動認識の実現を目的として、携帯電話を利用した人間行動認識システムとそのアプリケーションを開発した。ユーザの所有する携帯電話をセンサ兼情報入出力装置として利用することで、ユーザが利用する際の手間を最低限に抑えた行動認識システムを構築した。

開発した Bluetooth 屋内位置計測システムでは、オフィスビルのような各ロケーションに PC が 1 台以上存在する環境においてはほぼ 100% の精度でロケーションを特定可能であった。また、住宅やイベント会場のような、認識したいロケーションの数よりも PC の数が少ない環境においても、隣接する部屋など周辺の PC と通信可能である場合は、予め各ロケーションでの受信電力値を学習しておくことにより位置を推定することができた。ロケーションベースの方式とは別に、三点測量によって位置座標を求める方式も実装したが、携帯電話を移動端末として用いるという制約が原因で位置精度は 4m 程度にとどまった。なお、本システムは平均的な電波環境においては多数のユーザに対し各々 10 秒未満の間隔で測位が可能であった。

学生の日常生活について行動を 5 種類に分類し、行動認識実験と行動予測実験を行った。屋内位置に基づく行動認識実験では 70%、照度センサによる行動認識実験では 77% の認識精度が得られた。ほぼ毎日起こる行動を限界に近い精度で認識するためには、7 日間程度の教師データが必要とされた。また、76 日分の行動履歴データを対象とした行動予測実験においては、66% の予測精度が得られた。さらなる精度向上のためには、本研究では使用しなかった、現在にいたるまでの複数ステップの行動を用いることが有望である。

本行動認識システムを用いて、実社会のニーズに基づいた 3 種類のアプリケーションを開発した。学生 9 人を対象とした「留学生向け交流支援システム」においては、あるユーザが食堂に移動したのを知った別のユーザが食堂に向かって合流したなど、コミュニケーション機会の増加が確認できた。

参考文献

1) M. Weiser, "Some Computer Science

Issues in Ubiquitous Computing", *Communications of the ACM*, 36, 7, pp. 74-83, 1993.

- 2) R. Want et al. "The Active Badge Location System", *Trans. Information Systems*, 10, 1, pp. 91-102, 1992.
- 3) J. Healey et al. "StartleCam: A Cybernetic Wearable Camera", *Proc. ISWC'98*, pp. 42-49, 1998.
- 4) J. Gemmell et al. "MyLifeBits: Fulfilling the Memex Vision", *Proc. ACM Multimedia '02*, pp. 235-238, 2002.
- 5) P. Lukowicz et al. "WearNET: A Distributed Multi-Sensor System for Context Aware Wearables", *Proc. 4th International Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 361-370, 2002.