

特集 ■ インタラクション技術の新展開

位置情報から Lifelog へ



暦本純一

東京大学 / ソニーコンピュータサイエンス研究所

REKIMOTO JUNICHI

1. はじめに

機器や利用者の位置認識は、現実世界と情報世界をつなぐ各種応用システム(ナビゲーション, コミュニケーション, セキュリティ, エンターテインメント等)を構築する上で重要な基盤技術である。従来は GPS を用いた位置推定が主に利用されてきたが, 近年, IEEE802.11b/g などの無線 LAN(Wi-Fi) アクセスポイントからの電測情報に基づいて位置を認識する技術が目目されている [1-4]。

Wi-Fi による位置認識は, 無線 LAN が普及している都市部等で特に実用性が高く, 屋内や地下街など GPS が使用できない場所でも利用可能である。また測位時間が GPS のコールドスタートと比較すると非常に短い(一秒以内)。精度やカバレッジ等の特性の違いから, GPS による位置測位を置き換えるというより補完するものと考えられる。Wi-Fi はゲーム機器やミュージックプレイヤーなど多くのモバイル機器に搭載されているので, これらが位置情報アプリケーションのプラットフォームとなる可能性は大きい。本稿では, 筆者らが開発し運用している PlaceEngine [4][5] を中心に, 位置情報の新展開について解説を行う。

2. Sensoromy (実世界集合知) と位置情報

携帯電話の基地局などから電波強度の減衰モデルを用いて位置を推定する技術は従来から存在したが, 広域の無線 LAN 方式位置認識では, アクセスポイントの位置を特定するためのデータベースを構築・運用すること自身が最大の課題となる。

オフィスやキャンパス等の限定された環境下や, 特定のプロバイダーのアクセスポイントのみを利用する場合



図 1 無線基地局位置推定結果 (PlaceEngine での例): 80 万強の無線 LAN アクセスポイントの位置が推定されている

であれば, アクセスポイント位置が既知であることを前提としてシステムを構築できる。しかし, 広域環境で, 不特定多数の所有者によって設置されたアクセスポイントを対象とする場合, それらの設置場所は未知である。また, これらのアクセスポイントには漸次的な追加・消滅・移動などが発生する可能性がある。したがって, 実用的な Wi-Fi 位置認識システムを構築するためには, 大量のアクセスポイントの位置を推定し, さらにそれを現実の状態変化に追従させていく必要がある。ネットワーク上で検索エンジンのためのデータベースを構築する過程と類似する点がある。

筆者らが構築した無線 LAN 位置推定システム “PlaceEngine” [4] (www.placeengine.com) では, (1) ホットスポット等, あらかじめ位置が判明しているアクセスポイント, (2) GPS や他の位置取得手段をリファレンスとした電波状況の調査, (3) エンドユーザによる位置の



図2 PlaceEngine を使用した位置推定の例：
フロア情報を含めて位置の推定が可能



図3 GPS と WiFi による位置推定の比較例

明示的な登録、(4) 利用者からの問い合わせに含まれるアクセスポイント間の制約条件、などを利用してデータベースの構築・更新を行っている。図1に、PlaceEngineによって構築された無線 LAN アクセスポイントの推定位置を示す。

とくに(3),(4)などの、利用者からの情報アクセスによってデータベースを進化させようという機構は、不特定多数の利用者が Web サイトに対してタグづけする行為等 (folksonomy) の延長として考えることができる。例えば、ある Web サイトに対して多数の利用者が各自の観点からタグをつけるとする。これらのタグづけ結果を集約すると、対象物 (Web サイト) の特徴情報としての利用価値が出てくる。PlaceEngine でも同様に、実世界におけるアクセスポイントの位置情報を、大量の利用者からの明示的・非明示的な情報を集約することで更新している。この構造を folksonomy からのアナロジーで “Sensonomy (センソノミー)” と呼んでいる [6]。

図2に、PlaceEngine を用いた典型的なアプリケー

ションの例を示す。レストランガイドなどの Web サービスに、容易に「現在位置検索」の機能を付与することが可能になる。屋内位置認識が可能な特性を利用して、電車に乗りながら現在の駅名を表示したり、地下街でナビゲーションを行ったり、あるいは位置情報を利用した携帯型ゲームなどの応用システムが構築されている。

図3に、市販携帯 GPS を用いて得られた位置履歴と、PlaceEngine によって得られた軌跡との比較を示す。WiFi 位置認識の精度は、周辺のアクセスポイントの個数・アクセスポイント推定精度等に左右されるが、図の例では GPS に匹敵する推定精度を達成しているのがわかる。ビルが建て込んである地域や屋内に移動した場面では GPS の精度が悪化しているが、WiFi 方式では位置推定が継続して成功していることも確認できる。

3. 位置情報による LifeLog

このようにして、屋内外を問わず非常に簡易かつ稠密に位置情報が取得できるようになると、従来のナビゲーション的な応用以外の展開が各種考えられる。筆者らは、常時型位置履歴記録によりライフログ [7] への応用可能性に着目している。

もし、人生の任意の時点におけるその人の居場所を正確に特定することができれば、その時刻に撮影した写真の位置も自動的に推定できるし、各個人の位置履歴情報を集約することで、誰に会ったのはいつでどこであるか、などの行動履歴検索や、さらには都市や施設の動線解析や、利用パターン解析などへの適用が可能である。

このようなロギングを実用的に行うためには、利用者の負担を増やさず、利用場面の制約を受けずに、精度の高い位置認識を行う必要がある。GPS では屋内での位置推定が困難、起動に時間がかかるなどの問題があった。ウェアラブルカメラの映像を記録し、それを解析して利用者の現在位置を推定する研究も数多く行われている [8][9] が、画像解析のコスト・精度の点で GPS と比肩すべき性能や簡便性を得ているとはいえない。一方、Wi-Fi 位置認識方式は、屋内外を問わず利用でき、測位時間が非常に短い点がライフログ応用に適している。また、WiFi 方式では、電波状況フィンガープリントを比較することで、位置 (緯度経度) のみならず、ビルの「何階にいるか」「どの部屋にいるか」などもある程度は推定可能であり、利用者の行動履歴情報として有効に利用できる。

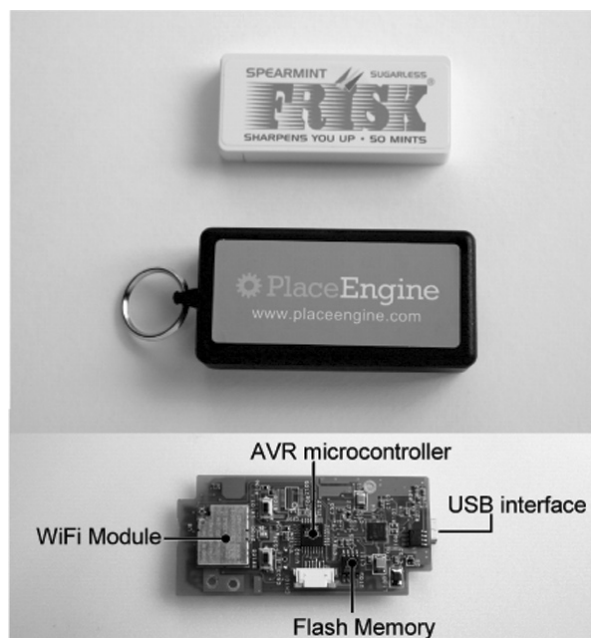


図 4 LifeTag：携帯型ライフログデバイス

WiFi 位置認識技術を応用し、携行することで
利用者の精密な行動履歴情報を記録する。

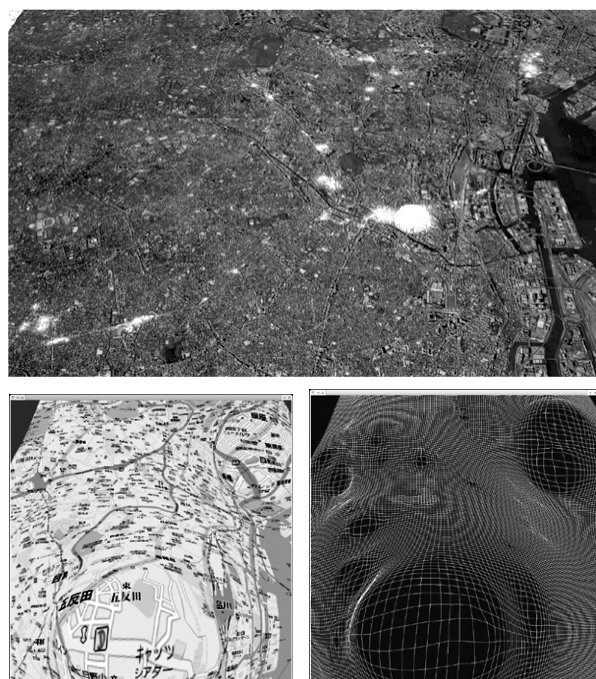


図 5 行動履歴の視覚表現

上：存在確率ヒートマップ。

下：多点 Fisheye 方式に基づいて存在時間分布を
各領域の面積に反映させた認知地図風表現。

4. LifeTag

図 4 は、筆者らが開発した Wi-Fi 方式による位置ライフログシステム LifeTag [5][10] である。LifeTag は、無線 LAN モジュール・マイクロプロセッサ・フラッシュメモリー・バッテリーのみから構成される非常に単純なデバイスで、利用者が常時携帯し、定期的に周辺の無線 LAN 電波状況を測定し、フラッシュメモリーに蓄積する。LifeTag は電波測定時のみ起動することでバッテリー消費を大幅に抑えている。約一週間無充電で動作し、その間の利用者の位置履歴情報を蓄積することができる（典型的な GPS 式ログシステムの連続動作時間は約 10 時間）。

図 5 は LifeTag を携帯した利用者の数ヶ月に渡る全行動の記録結果を図示したものである。これらのマップには、利用者の行動範囲やパターン、趣味嗜好などが反映されていると思われる。

さらに、複数人の位置履歴情報間で比較演算を行うことで、複数人の類似・差異・コミュニケーション履歴などを求めることが可能である。また、個人の平常時のライフパターンが求まると、それとの差分演算で、「どの日が普通で、どの日は特別な日なのか」の度合いを計算することが可能になる。例えば「特別な日に撮った写真だけを見たい」などのリクエストに答えられるようになる。

このようにして、過去の履歴情報をデータマイニングや検索技術の対象として扱うことで、「〇〇氏に最初に会ったのはいつでどこか」、「このボイスメモをどこで吹き込んだのか」、「最後に渋谷に行ったのはいつか」など、単に記録情報ではなく記憶の想起・検索に相当する処理を行うことが可能になる。

以下でいくつかの具体的応用例について述べる。

写真への位置情報添付

撮影したすべての写真に位置情報が添付されていれば、場所ごとに写真を閲覧したり、地図に写真を関連付けたりすることが可能になる。また、Flickr のような写真共有サイトで、大量の写真データに位置情報が添付されるようになると、Photo Tourism [11] で試みられているように、ある位置付近で撮影された写真を大量に収集し、画像処理を施して、撮影対象の 3 次元復元を行うなどの応用が可能になる。

LifeTag により、利用者に特別な操作負担をかけることなく、通常のカメラで撮影した時刻印付きの写真データと、位置ログを時間軸上でマッチングすること



図6 LifeTag による実世界ブックマーキング。ボタンを押した位置と時刻が行動履歴上でマーキングされる。



図7 イベントの自動抽出：位置履歴から、通常の行動パターンから逸脱した部分を抽出して図示したもの
* 口絵にカラー版掲載

で、写真データに位置情報を添付させることができる。GPS のように測位時間によって利用者を待たせることなく、カメラ自体に特別なハードウェアやセンサーの装備を要求せずに、すべての撮影データに位置情報が添付されることになる。

行動履歴に基づいた情報検索・コミュニケーション

位置を常に記録することで、「あの日散歩中に見かけた店の名前は」など、位置・時間・行動に依存した情報検索が可能になる。また、同様の機構を複数人で共有することで「あの日の夜のパーティで同席だった人たちにメッセージを送る」のようなコミュニケーション

が可能になる。“forget-me not” [12] は、このような行動履歴に基づいた情報検索の先駆的な例だが、Active Badge が整備されたオフィス環境に利用が限定されていた。本研究の方式を利用することで、一般的な生活空間で履歴ベース情報検索を行うことが可能になる。

LifeTag では、利用者が自己の行動履歴に対するボタン操作での「ブックマーク」機能を提供している (図6)。例えば、気になるレストランの前で位置と時刻をブックマークしておく。後で「レストラン」と検索すると、マーク位置近傍のレストランに関する情報を得ることができる。

行動イベントの自動抽出

蓄積される行動履歴情報の量が増えてくるにつれて、その情報を効率的にブラウジング・検索する技術も必要になる。個人の行動パターンは、毎日の通勤・通学など、一般的にはかなり規則的なものである。したがって単純に履歴情報を閲覧すると、ほとんど同じ情報の繰り返しになってしまう。一方、この規則的なパターンから逸脱した行動履歴は、例えば旅行や出張などであり、個人の行動履歴中の「イベント」として後で参照する必要が高いものであると考えられる。

そこで、行動履歴パターンからイベントを自動抽出する方式を考える。毎日の位置履歴を集計して、一日の各時刻における利用者位置の存在確率を求めておく。試作システムでは3分ごとに、利用者がどの場所にいるかの位置存在確率を求めている。行動履歴をその存在確率と照合し、確率が一定値以下である箇所をイベントとして記録する。例えば昼に勤務先に居る場合は(履歴上、その場所にいる確率が高いので)イベントとはならないが、深夜に勤務先で作業している場合は(履歴上での存在確率が低いので)イベントとなる。

このようにして抽出したイベントをカレンダー風に表示したのが図7である。このようにして、行動履歴からイベントを自動抽出し、過去の行動内容を効率的にブラウジングすることが可能になる。

セキュリティ

個人の位置履歴とは別に、WiFi 機器それぞれについても、上記の方法で位置履歴を取ることが可能である。例えば、ノートパソコンが、自分の位置を常に記録し続けることが可能になる。ノートパソコンが、普段利用される位置を学習することによって、新規の場所で利用される場合にのみパスワード等で使用者認証を行

うことが考えられる。すなわち、いつもその機器を利用しているオフィスや会議室ではパスワードレスで操作できるが、別の場所を利用するときにはパスワードで利用者を確認する。利用者認証に失敗すると、機器の操作をロックし、現在位置をあらかじめ設定してある通知先に通報する。同様に、IC カードなどが盗難されて不正使用された場合でも、IC カード自身に位置記録能力があれば、移動経路の変化などから通常と異なる使用状況にあることを察知することができる。

このようにして、通常は矛盾した関係にある利便性と安全性を両立させ、普段は煩雑な認証作業を避けつつ、盗難・紛失等が発生した際にも、機器に記録されている情報が流出する危険を防ぐことができる。

5. まとめ

Wi-Fi 位置認識などの技術により、屋内外を問わず、人間や物品の位置を推定することが可能になってきた。これにより、従来 GPS で主に利用されていたナビゲーション型の応用に加え、ライフログやセキュリティなど、ヒューマンインタフェースやユビキタスコンピューティングの観点からも興味深い種々の応用システムが実用的に構築可能になる。

参考文献

- [1] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan: RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system, In INFOCOM (2), pp.775-784 (2000)
- [2] Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, Sunny Consolvo, Jeffrey Hightower, Ian Smith, James Scott, Timothy Sohn, James Howard, Jeff Hughes, Fred Potter, Jason Tabert, Pauline Powledge, Gaetano Borriello, and Bill Schilit. Place Lab: Device positioning using radio beacons in the wild. In Proceedings of Pervasive 2005 (2005)
- [3] 伊藤誠悟, 河口信夫: locky.jp: 無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル, 情報処理学会研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信, No.2005-MBL-34 (4), pp. 25-31 (2005)
- [4] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇: PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス 2006, pp. 95-104 (2006)
- [5] Jun Rekimoto, Takashi Miyaki, and Takaaki Ishizawa: LifeTag: Wifi-based continuous location logging for life pattern analysis. In Jeffrey Hightower, Bernt Schiele, and Thomas Strang, editors, Location- and Context-Awareness,

Vol. 4718 of LNCS, pp. 35-49. Springer (2007)

- [6] Jun Rekimoto: From Folksonomy to Sensonomy: Convergence of real world activities and online space. In International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2007) keynote (2007)
- [7] CARPE 2004. research.microsoft.com/CARPE2004.
- [8] Hisashi Aoki, Bernt Schiele, and Alex Pentland: Realtime personal positioning system for wearable computers, In ISWC, pp. 37-43 (1999)
- [9] M. Kourogi, T. Kurata, and K. Sakaue: A panorama-based method of personal positioning and orientation and its real-time applications for wearable computers, In ISWC2001, pp.107-114 (2001)
- [10] 暦本純一, 味八木崇: When becomes Where: WiFi セルフロギングによる継続的位置履歴記録とその応用, 情報処理学会インタラクシオン 2007 (2007)
- [11] Noah Snavely, Steven M. Seitz, and Richard Szeliski: Photo tourism: Exploring photo collections in 3D. ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol. 25, No. 3, pp. 835-846 (2006)
- [12] Mik Lamming and Mike Flynn: Forget-me-not: Intimate computing in support of human memory. In FRIEND21 '94 International Symposium on Next Generation Human Interfaces (1994)

【略歴】

暦本純一 (REKIMOTO Junichi)

東京大学大学院情報学環 教授

ソニーコンピュータサイエンス研究所

インタラクシオンラボラトリー 室長

1986 年東京工業大学理学部情報科学科修士過程修了。NEC, アルバート大学を経て, 1994 年より株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所に勤務。2007 年より東京大学大学院情報学環教授。PlaceEngine 事業を核とするスタートアップ企業 Koozyt, Inc. の共同創設者でもある。理学博士。ヒューマンコンピュータインタラクシオン全般, 特に実世界指向インタフェース, センシング, 情報視覚化等に興味を持つ。ACM, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。1990 年情報処理学会 30 周年記念論文賞, 1998 年 MMCA マルチメディアグランプリ技術賞, 1999 年情報処理学会山下記念研究賞, 2003 年日本文化デザイン賞, 2005 年 iF Communication Design Award, 2007 年 ACM SIGCHI Academy, 2008 年日経 BP 技術賞などを受賞。

<http://lab.rekimoto.org>