

indoor.Locky: 屋内位置推定のための 無線 LAN 情報プラットフォーム

梶 克彦^{†1} 河 口 信 夫^{†1}

近年、モバイル端末の普及や、家庭や公共施設等への無線 LAN アクセスポイントの設置箇所の増加に伴い、屋内・屋外を問わず電波を受信可能な無線 LAN 情報を利用した位置推定手法が注目されている。屋外に関しては、複数のプロジェクトが位置推定のためのプラットフォームを構築しており、様々なサービスに利用されているが、現在一般に利用可能な屋内位置推定のためのプラットフォームは存在しない。本稿では、現在研究開発中の、無線 LAN に基づく屋内位置推定プラットフォーム indoor.Locky について述べる。本プラットフォームは UGC(User Generated Content) のアプローチを採用しており、屋内無線 LAN 観測情報を一般ユーザから収集する。また本プラットフォームは、ユーザから投稿される無線 LAN 観測情報を管理する Web サービスと、投稿された無線 LAN 情報に基づいて位置推定を行うクライアントを備える。ブラウザや任意のアプリケーションは本プラットフォームの API を通じて位置推定結果を利用できる。

indoor.Locky: Wireless LAN Information Platform for Indoor Location Estimation

KATSUHIKO KAJI^{†1} and NOBUO KAWAGUCHI^{†1}

Recently, mobile devices become common and wireless LAN access points are installed to various buildings so that location estimation using wireless LAN begins to making a mark. In the open air, several projects for location estimation are already exist. In contrast, there is no general platform for indoor location estimation. In this paper, we describe a location estimation platform based on wireless LAN named indoor.Locky. This platform adopts UGC (User Generated Content) approach to correct indoor wireless LAN information from public users. Indoor.Locky consists of two modules. One is indoor.Locky Web Service to manage the wireless LAN information posted by users. The other is indoor.Locky Client to estimate current location. Any browsers and applications are able to treat current location through the client.

1. はじめに

近年、モバイル端末の普及やユビキタス環境の整備に伴い、ユーザや端末のリアルタイムでの位置情報を用いたサービスやアプリケーションの需要が高まってきている。屋外にいるユーザや端末の位置は GPS により得ることができているが、屋内では電波が弱くなるため GPS を利用できない場合が多い。そこで、屋内でも位置推定を可能にするために、無線 LAN、RF タグ、赤外線、IMES などを用いた研究が進められている^{1),3),5),6),8),10),15),18),19)}。

位置推定精度とインフラ設置コストはトレードオフの関係にあるが、無線 LAN 基地局は既に家庭や公共施設に広く設置されているため、屋内位置推定の準備に必要なコストの面で無線 LAN が有利といえる。位置推定に求められる精度はアプリケーションにより異なるが、一般に屋内では屋外に比べて高い精度が求められる。我々はこれまでに、5-10 メートル程度の精度での屋内位置推定精度を達成している¹⁹⁾。この精度であれば、屋内位置情報を用いたナビゲーションやチェックインサービスなど様々な用途に適用可能であろう。

屋外については、既に無線 LAN に基づく位置情報プラットフォームが一般に利用可能であり^{15),21)}、GPS を備えていない端末からでも位置情報サービスを利用できる。屋内の無線 LAN 情報プラットフォームを構築できれば、屋外・屋内をシームレスに接続する位置推定サービスが実現可能になる。しかし現在、一般に利用可能な屋内位置情報プラットフォームは存在しない。

一般の位置情報サービスに適用可能にするには任意の建物で位置推定を可能にする必要があるが、多くの建物で無線 LAN 情報をするのは大学や研究所単位で行うにはコスト的に非現実的である。一方、近年では有用な情報を一般ユーザからコンテンツを収集し共有する UGC(User Generated Content) ベースのサービスが多く存在しており、いくつかの位置情報サービスでも UGC のアプローチを採用している^{9),15),20),21)}。

本研究では屋内位置推定のための無線 LAN 情報プラットフォームを構築することを目的とする。広範囲の地域の建物の無線 LAN 情報を効率的に収集するため、Web を通じた一般ユーザの協力に基づく UGC ベースのアプローチを採用し、屋内無線 LAN 情報を収集する。また屋内無線 LAN 情報を利用するための Web サービスやクライアントやライブラリ

^{†1} 名古屋大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

を一般に公開し、位置情報サービスの発展に貢献することを目指す。

本稿では、まず無線 LAN に基づく位置推定の関連研究や現在提供されている位置情報サービス等について述べる。次に開発中の屋内無線 LAN 情報プラットフォーム indoor.Locky について述べ、最後に今後の課題を挙げる。

2. 関連研究

モバイル端末の普及や位置情報プラットフォームを一般に利用可能になったことで、コミュニティ形成支援やコミュニケーション支援など、位置情報に基づいた多様なサービスが提供されてきている^{2),4),7),14)}。たとえば位置情報をもとにしたコミュニケーションサービスである Foursquare は、2010 年 8 月の時点で 250 万人以上のユーザが参加している。また 1 週間に 10 万人以上の新規ユーザを獲得していることから、位置情報サービスは今後さらに隆盛すると考えられる。現在これらのサービスでは、屋内の位置情報を利用していないが、屋内の位置情報プラットフォームを構築できれば、これらのサービスの利便性を大幅に改善できるだろう。

従来の位置情報に関するプロジェクトとして、Place Lab⁵⁾、Loki¹¹⁾、Place Engine²¹⁾、Locky.jp¹⁵⁾、OpenStreetMap⁹⁾ 等が挙げられる。Place Lab は無線 LAN、GSM(携帯電話用無線)、Bluetooth 等の電波情報を共有しており、Loki、Place Engine、Locky.jp は、無線 LAN 情報に基づいた屋外位置推定プロジェクトである*1。OpenStreetMap は、道路地図などの地理情報データを誰でも利用できるよう、フリーの地理情報データを作成することを目的としたプロジェクトである。ユーザが GPS のトレースを投稿し、そのトレースを地図上に転写する作業を行うことで、少しずつ地図が作成されていく。

これらのプロジェクトでは、広範囲の情報を効率的に収集するために、UGC のアプローチを採用しており、ユーザから少しずつ提供される情報によって大規模 DB を構築している。たとえば Locky.jp では、プロジェクト立ち上げから 5 年の運用期間中に、延べ 10 億件以上の無線 LAN 観測情報、80 万個以上の基地局情報を収集した。UGC ベースのアプローチが成功している理由は、情報のエコシステムとして成立していることである。ユーザは情報を提供する代わりに、無線 LAN 情報 DB をダウンロードできたり¹⁵⁾、プラットフォームを通して容易に位置推定結果を利用できる²¹⁾。

屋外の位置推定では、GPS から得られる緯度経度とその時観測された無線 LAN 情報の組

を記録した DB に基づき、現在観測されている無線 LAN 情報から緯度経度を推定する^{15),21)}。一方屋内位置推定を行うためには、複数階層の建物を対象とする必要があり、かつフロア中のどこにいるかを表示する必要があるため、フロアの階層情報やフロアマップを導入する必要がある。かつ、屋外の地理座標系と相互変換可能な屋内の空間情報フォーマットの策定が必要であることが指摘されている¹⁶⁾。

位置推定結果は、特定のアプリケーションのみで利用できるようにするのではなく、ライブラリとしてアプリケーションから利用できることが望ましい。たとえば Place Engine は位置推定 API を提供しており、Place Engine クライアントを起動している PC であれば、アプリケーションから Place Engine のプラットフォームに位置情報を要求できる。また W3C は Web ブラウザからの位置情報利用フォーマットを統一化する Geolocation API を提案している¹³⁾。現在、Mozilla、Google Chrome、Opera、Mobile Safari などの複数のブラウザが Geolocation API を採用している*2。本 API によって、ブラウザベースのサービスである twitter¹²⁾ でも、tweet に位置情報を関連付けられるようになった。

これらをまとめると、屋内無線 LAN 情報プラットフォームの要件として以下の 3 点を満たさなければならないといえる。

- 様々な建物で位置情報サービスを利用できるようにするために、任意の建物の無線 LAN 情報を収集可能にしなければならない。
- 階層やフロアマップを導入する必要がある、かつ屋外の地理座標系と互換性のあるフォーマットにする必要がある。
- 無線 LAN 情報の観測や投稿をするユーザのために、ブラウザや任意のアプリケーションから位置情報を利用できるライブラリを提供する必要がある。

3. indoor.Locky

我々は前章で挙げた要件を満たす屋内無線 LAN 情報プラットフォームとして、indoor.Locky を研究開発中である。本プラットフォームは任意の建物の無線 LAN 情報を効率的に収集できるよう、UGC ベースのアプローチを採用している。また位置情報を利用可能なアプリケーションを制限しないようにするため、ユーザから投稿される無線 LAN 情報を管理する Web サービスと、端末側で Web サービスと連携するクライアント (PC 用、iPhone/iPad 用など) に分割して実装を行っている。

*1 Place Engine は 2010 年 6 月に無線 LAN 情報を用いた屋内位置推定サービスも開始している。

*2 Mozilla や Opera などの複数のブラウザでは、位置認識に Loki の技術を利用している。

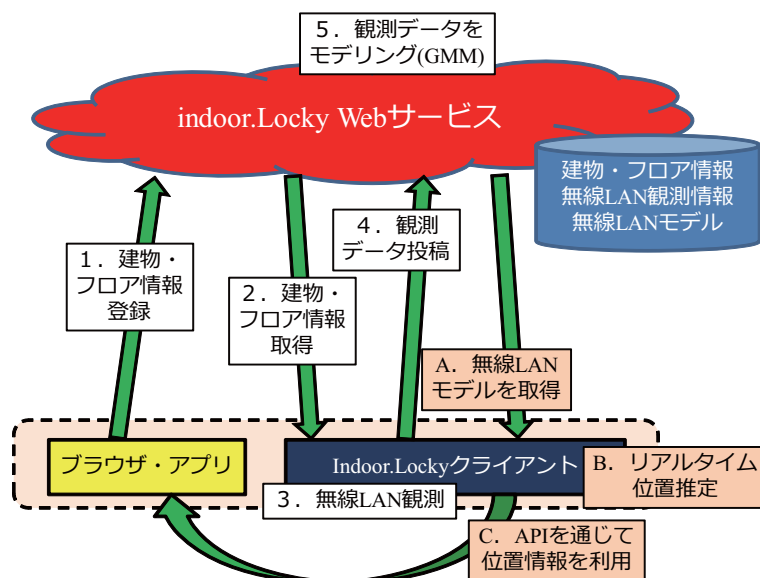


図 1 indoor.Locky プラットフォーム利用の流れ
Fig. 1 Usage flow of indoor.Locky platform.

プラットフォーム利用の流れは、位置推定のための屋内無線 LAN 情報を収集するまでの”観測フェーズ”(図 1 の 1~5) と、収集された情報に基づいて現在位置を推定する”位置推定フェーズ”(図 1 の A~C) に分けられる。

観測フェーズの流れは以下のとおりである。まず、ブラウザから直接 Web サービスにアクセスし、建物やフロア情報を登録する (図 1-1)。また、ユーザはクライアントから建物を選択し建物とフロア情報をダウンロードする (図 1-2)。ユーザはクライアントを用いて建物内の無線 LAN 情報を観測し (図 1-3)、観測情報を Web サービスに投稿する (図 1-4)。Web サービス側では、投稿された無線 LAN 観測情報を、位置推定に適したモデルに変換して DB に保存する (図 1-5)。

位置推定フェーズの流れは以下の通りである。まずクライアントは、あらかじめ位置推定の対象となる建物やフロアの無線 LAN 情報のモデルデータをダウンロードしておく (図 1-A)。位置推定を開始すると、クライアントは現在端末が観測している無線 LAN 電波情報とモデルデータに基づいて位置推定を行う (図 1-B)。推定された現在位置の情報や、推定精



図 2 建物登録画面
Fig. 2 Registration form of building.

度の情報は、クライアントの API を通してブラウザや任意のアプリケーションから利用できる (図 1-C)。位置推定したいフロアの無線 LAN 情報が既に他のユーザにより構築済みである場合は、新たに観測フェーズを行う必要はない。

3.1 建物とフロアの登録

位置推定の対象となる建物情報は、Web サービスを通して登録する。図 2 は建物登録画面である。建物名、地上と地下の階層をフォームから入力し、Google Maps の操作により、建物の代表点の座標を一つ登録する。

次に建物の各フロアのフロアマップを登録する。現在のところ、ほとんどの建物で CAD データのような詳細なフロアマップは一般公開されていないため、そのようなデータが取得できないときは、建物中に存在するフロア画像をカメラで撮影した画像を利用できるようにした。

ここで、ユーザが投稿するフロア画像の管理方法について考察する。まず、フロアマップの表現方法は一般に統一されていない。まず、必ずしも 1 枚のフロア画像に 1 つのフロアしか存在しないわけではなく、1 枚のフロア画像に複数のフロアが存在するものもある。たとえば図 3 では、2 階と中 2 階が 1 枚のフロア画像に収まっている。また、複数フロア間

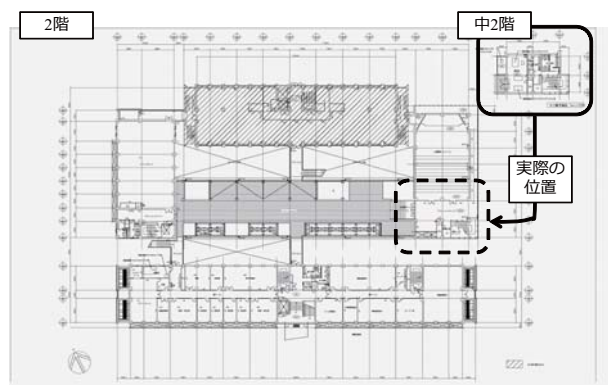


図3 フロア画像例1：複数フロア間の位置関係が崩れている

Fig.3 An example of floor map. Physical relationships of these floors are not consistent.



図4 フロア画像例2：複数のフロアが立体的に表示されている

Fig.4 An example of floor map. The floors are as three-dimensionally.

の位置関係が崩れている場合もある。図3では、実際に中2階のある箇所は点線で囲った位置である。さらに、必ずしも平面的に表現されているわけではなく、図4のように立体的に表現されている場合もある。

これらを踏まえ、以下のようにフロア画像を管理することにした。一つのフロア領域は、フロア画像中の3点以上を指定することで作成される。図5左では、駅の2階の部分（頂点にピンが表示され、頂点間が線で結ばれた領域）を一つのフロア領域としている。フロア画

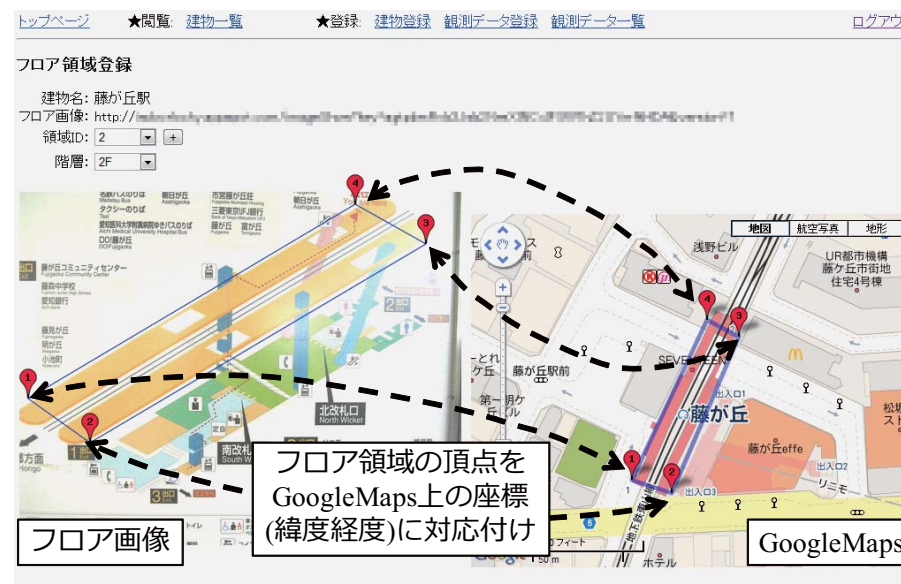


図5 フロア領域の作成と地理座標系との対応付け

Fig.5 Mapping between a floor area and geographical coordinates.

像に複数のフロアが存在する場合は、フロア領域を複数作成する。これにより、1枚のフロア画像中に複数のフロアが存在する問題に対応でき、かつ台形やひし形で表現される立体的なフロアマップに対応でき、多角形のフロア領域を作成することもできる。次に、それぞれのフロア領域の該当する階層を選択する。さらに、地理座標系と関連付けるため、フロア領域の多角形の各頂点に対応する地理座標（緯度、経度）を GoogleMaps から入力する（図5右）。これにより、フロア画像中の座標から地理座標への変換、またはその逆の変換はアフィン変換により実現される。フロア領域ごとに緯度経度の対応付けを行うため、フロア画像内の複数フロアの位置関係が崩れていても、地理座標系と正常に対応付けることができる^{*1}。

3.2 無線 LAN 情報の観測

屋外では GPS を利用できるため、観測ツールをスタートさせて移動するだけで地理座標

*1 建物で1つの代表座標を指定し、さらにフロア領域の頂点の座標と階層（高度）を指定する方式は、経済産業省が検討している3次元空間参照系フォーマットの1つとほぼ同等である¹⁷⁾。ただし、経済産業省ではフロア情報としてフロアのCADデータを利用すること想定している。



図 6 屋内無線 LAN 情報観測クライアント (iPad)
Fig.6 Indoor WLAN observation client.

と無線 LAN 情報が自動でマッピングされていく^{5),15),21)}。一方屋内では GPS のように座標を取得する手段がないため、移動するだけでは位置と無線 LAN 情報のマッピングが行えない。そこで、屋内で無線 LAN 情報を観測する際には、観測する際には、自身がフロア画像をタップしたりクリックしてどこにいるのかをシステムに通知し、その時の位置と無線 LAN 情報を記録していく (図 6)。

3.3 無線 LAN 情報のモデリング

観測データを indoor.Locky Web サービスに送信すると、Web サービス側は自動的にアップロードされたデータを基地局ごとにモデリングする。モデリングには GMM(Gaussian Mixture Model) を用いる¹⁹⁾。モデリング後、クライアントは再度 Web サービスにアクセスし、無線 LAN 情報モデルをダウンロードすることで、そのフロアの位置推定を行う準備が完了する。

GMM によるモデリングには、以下の 3 つの利点が存在する。1. 観測する地点の間隔を広めにしても、観測地点間の隙間を連続的に補完することができるため、観測に必要なコストを抑えることができる。2. GMM に変換することで、無線 LAN 観測情報のデータ量を 5%程度に軽量化できるため、位置推定を行う端末の負担軽減につながる。3. 観測情報をユーザが視認しやすくなる。図 7 のように、各基地局のモデルデータの形状を閲覧すべ



図 7 GMM によりモデル化された無線 LAN 情報
Fig.7 WLAN information model using GMM.

ば、観測が不十分な箇所や観測に不備のあった箇所を容易に発見できる。無線 LAN モデルの閲覧をしながら無線 LAN 情報の観測をすることで、無線 LAN 情報 DB がより正確に、網羅的なものになると期待できる。

3.4 位置推定結果の利用

クライアントは、Web サービスからダウンロードした GMM モデルに基づき、Particle Filter で現在位置の推定を行う¹⁹⁾。本手法の位置推定精度は、5-10 メートル程度である^{*1}。クライアントでは推定位置を閲覧することができ (図 8)、ブラウザや任意のアプリケーションは API を通じてクライアントにアクセスし、推定位置 (Particle の重心) や推定精度 (Particle の分散) を利用することも可能である。ただし、位置推定情報を利用するブラウザやアプリケーションは、クライアントと同一端末で動作する必要がある。

推定位置は、フロア画像中の座標として、また地理座標 (緯度経度) としてのどちらでも利用可能である。フロア画像中の座標は、屋内の相対的な位置関係が重要なサービス (たとえば屋内ナビゲーション) で有用であり、地理座標は緯度経度を用いている従来の多くの位置情報サービスにそのまま適用できるという利点がある。

*1 本手法の位置推定精度は基地局の数や分散によって変化する。



図 8 Particle Filter による屋内位置推定の様子
Fig. 8 A scene of indoor location estimation using particle filter.

4. おわりに

本稿では、我々が現在開発中の屋内無線 LAN 情報プラットフォーム indoor.Locky について述べた。本プラットフォームは任意の建物の無線 LAN 情報を収集できるよう、UGC ベースのアプローチを採用しており、任意のアプリケーションやブラウザから位置情報を利用可能である。

今後は、プラットフォーム全体の機能を充実させ、早い時期に一般公開する予定である。また、公開後は実際に多くのユーザーに実際に利用してもらえるよう、普及活動を進める必要がある。

参 考 文 献

- 1) Bahl, P., and Padmanabhan, V. N.: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, *Proceedings of IEEE Infocom 2000*, pp.775–784 (2000).
- 2) Booyah: MyTown, <http://www.booyah.com/>.
- 3) Cheverst, K., Davies, N., Mitchell, K., and Friday, A.: Experiences of developing and deploying a context-aware tourist guide: the GUIDE project, *Proceedings of the Sixth of an Annual International Conferences on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 2000)*, pp.20–31 (2000).
- 4) foursquare: <http://foursquare.com/>.

- 5) LaMarca, A., Chawathe, Y., Consolvo, S., et al.: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, *Third International Conference Pervasive 2005, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.LNCS3468, pp.116–133 (2005).
- 6) Lim, H., Kung, L.C., Hou, J.C., and Luo, H.: Zero-configuration indoor localization over IEEE 802.11 wireless infrastructure, *Wireless Networks*, Springer Netherlands, Vol.16, No.2, pp.405–420 (2010).
- 7) livedoor: ロケタッチ, <http://tou.ch/>.
- 8) Manandhar, D., Kawaguchi, S., Uchida, M., et al.: IMES for Mobile Users Social Implementation and Experiments based on Existing Cellular Phones for Seamless Positioning, *International Symposium on GPS/GNSS* (2008).
- 9) OpenStreetMap: <http://www.openstreetmap.org/>.
- 10) Seidel, S., and Pappert T.: 914Mhz Path Loss Prediction Model for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings, *Proceedings of IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp.207–217 (1992).
- 11) Skyhook Wireless Inc.: Loki, <http://loki.com/>.
- 12) twitter: <http://twitter.com/>.
- 13) W3C: Geolocation API Specification, <http://dev.w3.org/geo/api/spec-source.html>.
- 14) コロプラ: <http://pc.colopl.jp/pages/wl/welcome.html>.
- 15) 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫: 無線 LAN を用いた広域位置情報システム構築に関する検討, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3124–3136 (2006).
- 16) 経済産業省: 地理空間情報サービス産業の将来ビジョン, 報道発表 (2008). <http://www.meti.go.jp/press/20080703007/20080703007.html> (access: 2010.8.9).
- 17) 経済産業省: 3次元空間参照系データベース構築流通フォーマットの要件(案), 3次元地理空間情報データベース検討会(第4回) (2009). http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/GIS/090319/090319.html (access: 2010.8.9).
- 18) 中村嘉志, 並松祐子, 宮崎伸夫, 松尾豊, 西村拓一: 複数の赤外線タグを用いた相対位置関係からのトポロジカルな位置および方向の推定, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, pp.1349–1360 (2007).
- 19) 藤田迪, 梶克彦, 河口信夫: Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム, pp.944–952 (2010).
- 20) 矢野幹樹, 岩崎陽平, 河口信夫: 駅.Locky: 無線 LAN 位置推定を用いた時刻表アプリの開発, 情報処理学会全国大会, 6ZP-4 (2010).
- 21) 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, pp.95–104 (2006).