

## 照度のフィンガープリンティングとアクティブ照明制御に基づく屋内位置推定手法の提案

坂本 一樹<sup>†1</sup> 孫 為華<sup>†1</sup> 柴田 直樹<sup>†2</sup>  
安本 慶一<sup>†1</sup> 伊藤 実<sup>†1</sup>

本稿では、照度センサのフィンガープリンティングに基づいた屋内向け位置推定手法を提案する。屋内では、照明装置が対称に設置されていることが多いため、近い照度を有するエリアが複数存在する場合が多い。そのため、1つの照明点灯パターンで照度を計測するだけでは、正確な位置推定ができない。そこで、照明点灯パターンを短い時間変化させることで、照度の変化を生じさせ、変化後の照度から推定位置を絞り込むアプローチをとる。その際、ユーザの位置推定までにかかる照明点灯パターン変更回数が最も少なくなるようなアルゴリズムを提案する。一般に、照明装置が  $n$  個存在する場合  $2^n$  通りの照明点灯パターンが存在し、それら全てに対しフィンガープリントデータベースを作成するのは非常にコストが大きい。そのため、屋内空間における照明装置の位置、種類、強度と各地点への距離から、その地点での照度を算出するモデルを実測値に基づき構築する。本手法を、蛍光灯が3つ設置してある部屋に適用した結果、平均誤差約 0.2m で位置を推定できた。

### An Indoor Localization Method based on Light-Intensity Fingerprinting and Active Switching of Lighting Patterns

KAZUKI SAKAMOTO,<sup>†1</sup> WEIHUA SUN,<sup>†1</sup> NAOKI SHIBATA,<sup>†2</sup>  
KEIICHI YASUMOTO<sup>†1</sup> and MINORU ITO<sup>†1</sup>

In this paper, we propose a method for indoor localization based on fingerprinting with a light-intensity sensor. In an indoor environment, there are a lot of areas with similar intensity because illumination devices are likely to be placed symmetrically. Therefore, measuring intensity with one lighting pattern of illumination devices is not sufficient to estimate the precise location. Thus, we change light-intensity by switching lighting pattern of illumination devices in a short time, and estimate the location from the changing intensity. For this purpose, we propose an algorithm which takes the least number of switching among lighting patterns until determining the estimated location. In general,

for  $n$  illumination devices, there are  $2^n$  lighting patterns and constructing fingerprint databases for all the patterns is very costly. Therefore, we build a model to calculate the light intensity at each indoor location from the position, the type and the intensity of each illumination device, based on actual measurement of light intensity at some sample locations. We applied the proposed method to a room with three fluorescents, and confirmed that our method can estimate locations with about 0.2m error on average.

#### 1. はじめに

近年、情報通信技術を用いたユーザ行動支援サービスが多数提案、実装されている。中でも、ユーザやモノの位置情報の取得と利用を前提とするサービスが注目を集めている。主な例として、ナビゲーションや情報配信、拡張現実が挙げられる。例えば、ユーザの現在地を参照し、周辺のお店の情報やクーポンを提供するといったナビ情報配信サービスが、スマートフォンをはじめとする携帯端末ユーザ間で普及している。小型 GPS (Global Positioning System) デバイスが安価になり、屋外における位置情報の取得手段として GPS が普及している。しかし、屋内では、GPS 衛星から送られるビーコンを受信できないため、携帯電話のネットワークを用いて基地局で補正を行う A-GPS (Assisted Global Positioning System) が近年主流となってきている<sup>1)</sup>。しかしながら、携帯電話が圏外となる場所では使用できないことや、精度の点で屋内のどこにいるのかを推定するには向いていない。

屋内で位置情報を取得する方法が多数提案されている<sup>2)</sup>。中でも、推定精度の観点からフィンガープリンティングという方式が有効と考えられる。この手法では、事前処理としてあらかじめ対象エリアの各地点に対し、各アンカーノードからの電波強度の測定を行いデータベース (DB) 化しておき、実際に測定したときの値を DB に照合することで位置を推定する。しかし、電波を用いたフィンガープリンティングでは、屋内空間において類似の測定値を持つ地点が電波の回折・減衰により複数検出される可能性があり、高い精度での推定は困難である。また、フィンガープリンティングで用いる DB (以下、フィンガープリント DB と呼ぶ) を作成するためのコストが大きい。

本稿では、部屋における各地点の明るさは電波強度のように回折や減衰がなく比較的安定

<sup>†1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

<sup>†2</sup> 滋賀大学

National University Corporation Shiga University

していることに着目し、照度フィンガープリンティングに基づき、低コストで実現可能な屋内位置推定手法を提案する。提案手法は対象空間に設置されている照明装置をそのまま利用するため、アンカーの設置コストがかからないというメリットがある。対象空間において、複数照明装置の各点灯パターン（以下、照明点灯パターンと呼ぶ）に対し、対象空間の任意の地点での照度を、照度センサを用いて予め計測しておき、フィンガープリント DB に保存する。ユーザが携帯する照度センサが計測した照度をフィンガープリント DB と照合し、最も照度が近い位置を推定位置として出力する。しかし、照明装置は部屋の中で対称に設置されていることが多く、類似の照度を持つエリアが複数検出される場合がある。そこで、照明点灯パターンを短い時間間隔で変化させることで、照度の変化を生じさせ、変化後の照度から位置を推定できるようにする。その際、ユーザの位置推定までにかかる照明点灯パターン変更回数が最も少なくなるようなアルゴリズムを提案する。

照明点灯パターンが多数存在する場合、それら全てに対しフィンガープリント DB を作成するコストは大きい。例えば、照明装置が対象空間の 3 箇所に設置されている場合、照明点灯パターンが 8 通り存在し、それぞれに対しフィンガープリント DB が必要となる。低コストで有効なフィンガープリント DB を構築できるように、屋内空間における照明装置の位置、種類、強度から、各地点の照度を算出するモデルを実測値に基づき構築する。このモデルを利用することで、事前にフィンガープリント DB を作成する手間を最小限に減らす。

評価実験として、照明装置が 3 箇所に設置された部屋で実験を行ない、位置推定精度および位置推定までに切り替えた照明点灯パターン回数の評価を行った。その結果、照明点灯パターンを 2 回切り替えるだけで、平均約 0.2m の誤差で、ユーザの位置を推定することができた。

以下、2 章では、関連研究について触れ、3 章で照度センサを用いた屋内位置推定における要求事項、想定環境、課題と基本方針を述べる。4 章で提案するアルゴリズムについて説明し、5 章で評価の結果を述べる。そして、6 章でまとめと今後の展望を述べる。

## 2. 関連研究

これまで、屋内位置推定に関する様々な研究が行われてきた<sup>2)</sup>。例えば、基準点となる幾つかの無線局（アンカーノード）との無線通信状況（受信電波強度）を基に測位を行う方法（レンジベース位置推定法）が多数提案されている。対象とされる無線通信方式は 3G、Wi-Fi、RFID、超音波、UWB などであり、推定精度は異なるものの、三辺測量法を用いて受信電波強度から位置を推定する点は同じである。この手法では、あらかじめ位置がわ

かっているアンカーノードを、少なくとも 3 点利用する。推定したい位置への 3 つのアンカーノードからの距離を受信電波強度から算出し、各アンカーノードからの測定距離を半径とする球面が交わる点を対象物の位置として推定する。しかし、屋内では電波の回折や減衰が起こりやすく推定精度が低くなるのが問題となる。

Active Bat は、天井に設置された複数の超音波センサとユーザが持つ受信機を使って位置推定を行うシステムである<sup>3)</sup>。回折や減衰が起こりにくい超音波通信デバイスを多数用いて、正確な位置推定を行うことができる。このシステムでは、推定位置の誤差が 3cm 以内である確率が 95%となっている。しかし、超音波センサのデバイスおよび設置コストが高いという問題があり、一般に普及させるのは難しい。

Azizyan らは、超音波センサのような高価なセンサではなく、照度・色・音・Wi-Fi・加速度センサといった安価なセンサを組み合わせ、フィンガープリンティングを用いることで、ユーザの位置推定を行なった<sup>4)</sup>。このシステムでは、複数ある部屋の中のどの部屋にユーザがいるのかを 87%の正解率で推定できる。N.Ravi らは、安価なセンサである照度センサだけを使って位置推定を行なった<sup>5)</sup>。このシステムでは、部屋に設置されている照明機器の照度を用いて、フィンガープリンティングに基づいて、複数ある部屋の中のどの部屋にユーザがいるのかを 90%の正解率で推定できる。これらの既存研究では、新たにインフラ側にデバイスを設置する必要がないという利点を持つが、複数の部屋の中でどの部屋に存在するかを推定するといった粒度の大きな推定であり、部屋内の位置を推定するような粒度の細かい推定はできない。

萩山らは、ユーザがいる位置の近辺だけをスポット的に明るくする自動照明制御を目指し、照明装置の ON・OFF を切り替え、照度センサにより計測することで、ユーザの位置を推定する方法と、ON・OFF 回数をできるだけ抑えるヒューリスティックアルゴリズムを提案している<sup>6)</sup>。しかし、点光源のみを対象にしていること、照明装置が格子状に配置されていることを想定していること、任意の照明装置に対する照度推定モデルの構築方法が示されていないことなど、一般の環境に適用するには課題が残っている。

## 3. 照度に基づいた屋内位置推定問題と解決の基本方針

本章では、想定環境と位置推定のための前提条件を示し、解決すべき課題を明らかにするとともに解決のための基本方針を述べる。

### 3.1 想定環境と前提条件

対象空間、ユーザ、照度センサに対して、以下のような前提条件を設定する。

### 3.1.1 対象空間

位置推定を行う空間（以下、対象空間と呼ぶ）には蛍光灯や LED ライトといった照明装置が設置されており、ユーザはこの対象空間内を移動するものとする。対象空間では、以下の前提条件が成り立つものとする。

- 外からの光が入ってこない（照明装置の電源がすべて OFF の場合、照度は 0）
- 部屋の形状が既知
- 照明装置の種類・位置が既知
- 照明装置の電源の制御（ON・OFF）と状態（ON・OFF）の取得が可能

### 3.1.2 ユーザと照度センサ

ユーザは照度センサを携帯しており、対象空間内を移動する。照度センサについての前提条件を以下に示す。

- 照度センサはユーザの影や付ける位置の影響を受けない
- 照度センサは常に上方向を向いている（床に対して水平方向に保たれている）

## 3.2 解決すべき課題と基本方針

本稿における解決すべき問題は次の 2 点である。

- (1) 対象空間内には類似した照度のエリアが複数存在すること
- (2) フィンガープリンティング DB を事前に作成するコストが大きいこと

照明装置が発する光の明るさは照度センサによって計測することができ、図 1 のように、光源からの距離に応じて暗くなっていく。また、照明装置が複数ある場合、各地点の明るさは図 2 のように、各照明装置が単体で各地点を照らす明るさの合計で表される。しかし、一般的な部屋では、照明装置は対称に設置されていることが多く、類似した照度を有するエリアが複数存在する可能性が高い。そのため、ある 1 つの照明点灯パターンでの照度の計測だけではユーザがどこにいるのかを正確に推定することができない。

本稿では、この問題に対し基本方針として、対象空間内にある照明点灯パターンを切り替えることで、照度を変化させるというアプローチをとる。この変化を利用すれば、類似した照度をとる場所であっても、ユーザの位置を絞り込める可能性が高くなる。

照明点灯パターンの数は照明装置の個数に依存しており、ライトの個数が  $n$  個とすれば、照明点灯パターンは  $2^n$  通りある。それぞれのパターンに対し、フィンガープリント DB を作成することができれば、ユーザの位置を推定することが可能であるが、照明装置の個数が増えると急激に照明点灯パターン数が増えるため、DB 構築コストが大きくなるという問題がある。そこで、任意の照明点灯パターンに対し、部屋の任意の地点の照度を算出可能なモ

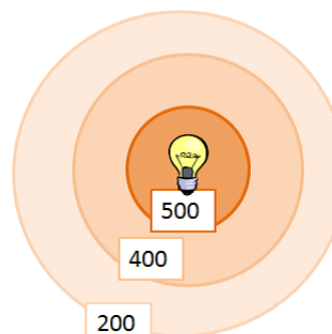


図 1 照度の分布（単体）

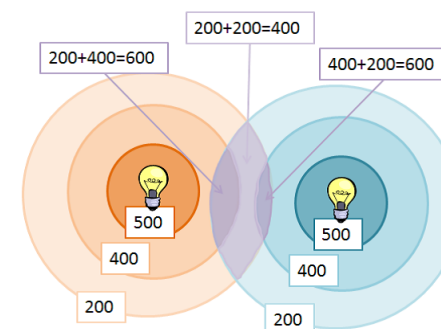


図 2 照度の分布（複数）

デルを、幾つかの照明点灯パターンにおける幾つかの地点での照度の実測により、構築する方法を考案する。

## 4. 提案手法

本章では、3 章で述べた基本方針に基づき、屋内でのユーザの位置推定を行うアルゴリズムを設計する。

### 4.1 類似の照度を取るエリアが複数存在している問題の解決法

フィンガープリンティングに基づいた位置推定を行うために、各照明点灯パターンに対し、対象空間の各地点の照度を記録しておく。位置推定を行う際には、まず、対象空間の現在の照明点灯パターンと対応するフィンガープリント DB を取得し、ユーザの照度センサが計測した照度  $l$  を照合し、フィンガープリント DB における  $l$  に最も近い照度を持つ地点を推定位置とする。しかし、前述の理由により、部屋の中には類似した照度を取るエリアが複数ある。類似した照度を取るエリアの中で、ユーザがどのエリアにいるのかを絞り込むため、複数の照明点灯パターンを利用する。

対象空間に設置された照明装置による照明点灯パターンが  $n$  通りあるとする。この照明点灯パターンを最小回数切り替えることにより、ユーザの位置を推定する。アルゴリズムを Algorithm1 に示す。本アルゴリズムでは、はじめに、推定される可能性のある位置の集合  $Area$ 、照明点灯パターンの集合  $LS$ 、照明点灯パターンの変更回数  $cnt$  を初期化する（1-3 行目）。ここで、 $TargetArea$  は対象空間においてユーザが存在可能な全ての位置の集合であり、 $MaxSwitch$  は照明点灯パターンを切り替えることのできる最大回数である。

次に、現在の照明点灯パターン  $ls$  を取得し、ユーザの携帯する照度センサで照度  $li$  を計測する（4-5 行目）。現在の対象エリア、現在の照明点灯パターンにおけるフィンガープリント DB、現在の照度をを用いて推定エリアを絞り込み、その推定エリアの中心を推定位置とする（6-7 行目）。

推定位置と推定エリアから求まる推定誤差（推定位置から推定エリアの最も遠い位置への距離）が予め設定した閾値  $Threshold$  以内、または、残り照明点灯パターン変更回数が 0 であれば、ループ処理を抜ける（8, 15 行目）。ループ内では、推定エリアをさらに絞り込むために、現在の推定エリア  $Area$  とフィンガープリント DB の各照度エリア（300-400lux など、類似の照度をとるエリア）の共通部分が最小になるような照明点灯パターンを算出し、その照明点灯パターンに切り替え、照度を計測することで、推定エリアを絞り込む（9-12 行目）。そして、ループ処理のための更新処理（変更回数カウンタ  $cnt$  のデクリメントおよび既に適用した照明点灯パターン  $ls$  を集合  $LS$  からの削除）を行う（13-14 行目）。最終的に求まった推定エリアの中心を推定位置とする（16 行目）。

---

#### Algorithm 1 ユーザ位置推定アルゴリズム

---

```

1:  $Area \leftarrow TargetArea$ 
2:  $LS \leftarrow \{1, \dots, n\}$ 
3:  $cnt \leftarrow MaxSwitch$ 
4:  $ls \leftarrow getLightState()$ 
5:  $li \leftarrow getLux()$ 
6:  $Area \leftarrow findArea(Area, FPDB(ls), li)$ 
7:  $pos \leftarrow Center(Area)$ 
8: while ( $Error(pos, Area) > Threshold$ )  $\wedge$  ( $cnt > 0$ ) do
9:    $ls \leftarrow findBestLightState(Area, LS)$ 
10:   $changeLightState(ls)$ 
11:   $li \leftarrow getLux()$ 
12:   $Area \leftarrow findArea(Area, FPDB(ls), li)$ 
13:   $cnt \leftarrow cnt - 1$ 
14:   $LS \leftarrow LS - \{ls\}$ 
15: end while
16:  $pos \leftarrow Center(Area)$ 

```

---

##### 4.1.1 Algorithm1 の動作例

図 3 に動作例に用いた部屋の形状と、想定している照明の位置を示す。以下の動作例で

は、4 つの照明点灯パターン（パターン 1~4）を使用して説明する。図中の番号は各パターンで点灯する照明装置の番号を示している（例えば、パターン 3 では、上中央と下中央の照明装置が点灯し、他は消灯）。各照明パターンに対し、図 4(a) のグレーの濃淡で示されるフィンガープリント DB が与えられているとする。図において、同じ濃さのエリアは類似の照度（例えば 300~400Lux など）を持つエリアを表している。照明点灯パターンの初期状態がパターン 1 とし、計測された照度から推定エリア（図 4(a) 左の赤点線枠内）を求め、次に、その推定エリアの中心（星印）を推定位置として求める。なお、矢印はその推定位置の最大誤差を表している。

次に、アルゴリズムの 1 回目のループで、どの照明点灯パターンに切り替えるのがベストかを計算する（ $findBestLightState()$ ）。パターン 1 で求めた推定エリアをパターン 2~4 のフィンガープリント DB に重ね合わせると、推定エリアは分割される。分割された部分エリアの中で最大誤差を持つ部分エリア（図 4(a) のパターン 2~4 における赤太枠内）をそれぞれ求める。全てのパターンの中で、最大誤差が最小になる照明点灯パターンに切り替える。そして、そのパターンでの照度を計測する。今回の例では、パターン 2 に切り替えられたとする。パターン 2 で計測した照度から、推定エリアが図 4(b) 左の赤点線枠内に絞られたとする。同様に、2 回目のループで、絞り込まれた推定エリアにパターン 3, 4 のフィンガープリント DB を重ね合わせて、どの照明点灯パターンのときに、最大誤差が最小になるのかを求める。以上の処理を最大誤差が閾値（ $Threshold$ ）以下、または、指定した回数に達するまで繰り返し行うことで、最終的な推定位置を決める。

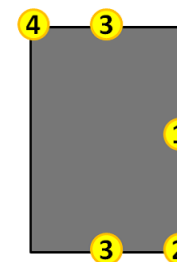
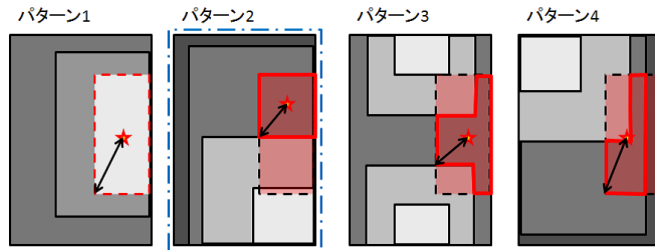


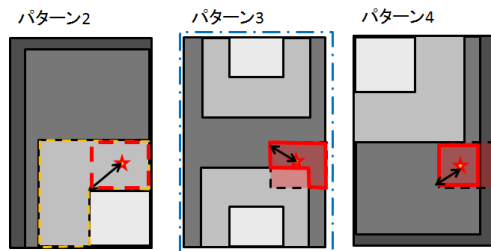
図 3 動作例に用いた部屋と照明の配置

##### 4.2 フィンガープリント DB 作成コストの削減

照明点灯パターンを切り替えることでユーザの位置を推定することができるが、フィン



(a) 1 回目のループ



(b) 2 回目のループ

図 4 Algorithm1 の動作例

ガープリント DB 作成のコストは大きい．そこで，照明装置と照度センサの距離を与えるだけで任意の位置での照度を導くことができる照度推定モデルを構築する．本稿では，照度の実測値を基に，現在電源の入っている照明装置  $n$  と照度センサの距離を入力値  $x$  として，照度を出力関数  $lux_n(x)$  を定義する．なお，電源の入っていない照明装置が与える照度は距離に関係なく 0 と定義する．関数  $lux_n(x)$  は，照明装置からの距離を変えて何回か計測した照度を，3 次式の多項式回帰（曲線回帰）により近似することにより求める．一般的な蛍光灯（32W）に対し，近似により求めた  $lux_n(x)$  を式（1）に示す．式（1）により，電源が ON の単一の照明装置に対する照度を求めることができる．

$$lux_n(x) = -21.937x^3 + 301.56x^2 - 1412.2x + 2301.7$$

しかし，対象空間内には複数の照明装置が存在するため，電源が ON の照明装置が複数ある時の照度推定モデルが必要である．予備実験から，照明装置が複数ある場合，照度は各照明装置による照度の和になることがわかっている．よって，照明装置が複数の場合にお

ける照度は式（2）で求めることができる．ここで， $on_k(ls)$  は，照明点灯パターン  $ls$  に対し，照明装置  $k$  が ON のとき 1 を返し，そうでないとき 0 を返す関数である．

$$L_p = \sum_{k=1}^n lux_k(x) \times on_k(ls) \quad (2)$$

式（2）を利用することで，各照明点灯パターンにおけるフィンガープリント DB を容易に算出することができる．

#### 4.3 任意の形状の照明装置に対する照度の算出

前節では，照明装置を点光源（電球など）と仮定していた．点光源以外の任意の形状の照明装置（蛍光灯など）を本手法で扱えるようにするため，本稿では，照明装置を幾つかの点光源の集合で近似するアプローチをとる．

長さが  $l_f$ ，強度が  $L_f$  の蛍光灯（線光源）を  $n$  個の点光源で近似する場合，強度  $L_f/n$  の点光源が距離  $l_f/(n-1)$  間隔で並んでいると考える．以上より，任意の位置における線光源による照度は  $n$  個の点光源の和として式（2）に準拠して求めることができる．

## 5. 評価

本章では，4 章で述べた提案手法の評価を行う．まず，実験環境と評価項目について述べ，評価結果を示し，考察を述べる．

### 5.1 評価環境

#### 5.1.1 対象空間

評価実験に用いた部屋は， $6 \times 3 \times 2.8\text{m}$ （横 × 縦 × 高さ）の大きさである．蛍光灯が天井に 3 つ設置されており，左から順に  $L_1, L_2, L_3$  とする．また，図 5 に示すように，部屋の左奥の床から 0.7m の位置を原点とする座標軸を設定する．

対象空間内に蛍光灯が 3 つあるため，8 通りの点灯パターンがある．式（2）より求めた，各パターンのフィンガープリント DB（部屋の平面図に対し，100lux の幅で各照度幅をとるエリアを塗り分けている）は図 6 のように表される．

#### 5.1.2 センサデバイス

(1) 実験には，Arduino<sup>7)</sup> の基盤に，Weatherduino<sup>8)</sup> のシールドを取り付けたものをセンサデバイスとして使用し，照度センサは，Weatherduino が備える S9648-100<sup>9)</sup> を用いた．

### 5.2 評価結果

4.2 節で示した照度推定モデル式（1）の精度を調べるため，幾つかの照明点灯パターン

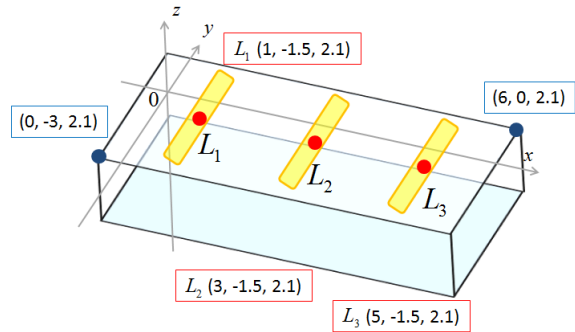


図 5 部屋の形状 (俯瞰図)

に対し、照明装置からの距離が異なる幾つかの地点での照度を測定し、照度の実測値と推定値の誤差を求めた。なお、照度推定モデルは、 $L_1$  が ON の時の測定照度から求めたものを使用した。

表 1  $L_1$  が ON のとき

距離 (m)	実測の照度 (Lux)	近似式から求めた照度 (Lux)	誤差
2.2	436	421	3.3%
2.3	385.5	383	0.8%
2.4	337	335	0.5%
2.6	286	285	0.3%
2.8	231	236	2.0%
3.0	190	191	0.4%
3.2	152	152	0.0%
3.4	118	120	2.1%
3.7	97	96	0.8%
3.9	80	78	2.0%
4.2	66	66	0.4%
4.4	57	56	1.1%
4.7	47	48	2.5%

$L_1$  のみが ON の場合、 $L_2$  のみが ON の場合、 $L_1$  と  $L_2$  の両方が ON の場合の比較結果をそれぞれ表 1~3 および図 7~9 に示す。これらの結果から、最大誤差は約 20% であり、照明装置から離れるほど誤差が大きくなることわかる。

次に提案手法により推定した位置の誤差を求める。図 10 に示す 8 地点  $P_1 \sim P_8$  を対象に、

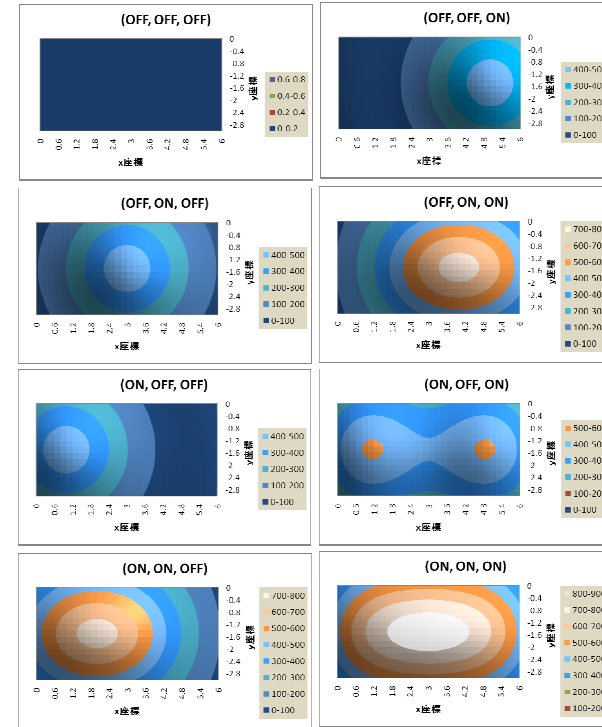


図 6 各照明点灯パターンに対するフィンガープリント DB の例

表 2  $L_2$  が ON のとき

距離 (m)	実測の照度 (Lux)	近似式から求めた照度 (Lux)	誤差
2.1	442	442	0.0%
2.2	423	425	0.4%
2.3	374	393	5.0%
2.4	314	351	11.7%
2.5	249	303	21.6%
2.7	215	254	18.1%
2.9	180	208	15.5%
3.1	149	167	12.1%
3.3	127	133	4.6%

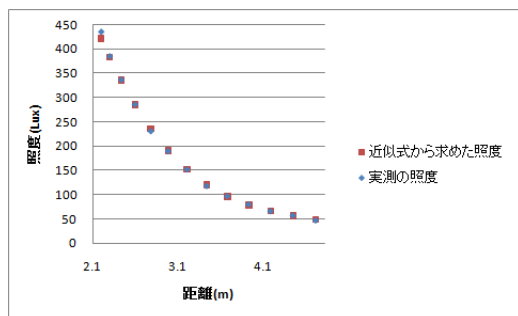


図 7  $L_1$  が ON のとき

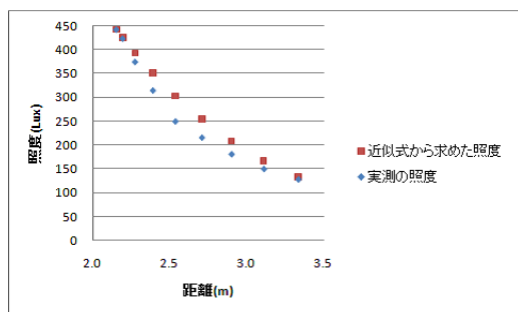


図 8  $L_2$  が ON のとき

表 3  $L_1$  と  $L_2$  が ON のとき

$L_1$ との距離 (m)	実測の照度 (Lux)	近似的から求めた照度 (Lux)	誤差
2.2	628	630	8%
2.3	604	606	13%
2.4	606	608	13%
2.6	611.5	614	11%
2.8	593	596	11%
3.0	577.5	580	10%
3.2	544	547	9%
3.4	506	509	8%
3.7	443	447	10%
3.9	373	377	15%
4.2	308	312	20%
4.4	260	264	19%
4.7	213	218	20%

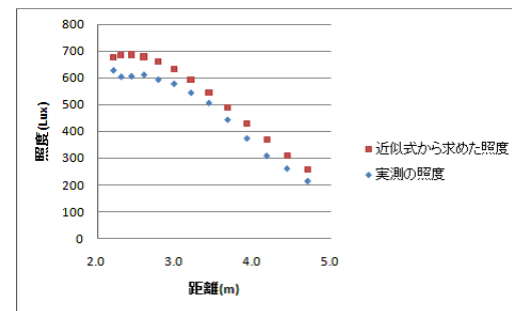


図 9  $L_1$  と  $L_2$  が ON のとき

提案手法により位置を推定し、実際の位置と推測の位置の差を調べた<sup>\*1</sup>。なお、本実験では、照明点灯パターンに関して、3つの照明装置 ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ) が (OFF, ON, OFF) の状態から始めて (ON, OFF, OFF) (ON, ON, OFF) に切り替えることで推定位置を絞り込んだ。結果を表 4 に示す。表 4 における位置推定誤差は、0.10 ~ 0.34m の範囲であり、平均誤差は約 0.19m となった。

## 6. ま と め

本稿では、照度センサによるフィンガープリンティングに基づいた屋内向け位置推定方法を提案した。提案手法では、部屋の中に類似した照度を持つエリアが複数ある場合に、複数の照明点灯パターンを切り替えることにより生じる照度の変化に基づいてユーザの位置を絞り込む。また、フィンガープリンティングの手間を軽減するために、点光源の位置、種類、照度とユーザからの距離を与えることで照度を推測する照度推定モデルを作成した。さらに、任意の形状の照明装置を複数の点光源で近似する方法を提案し、蛍光灯など任意のタイプの照明装置に本手法を適用可能にした。蛍光灯のある一般的な部屋での実験の結果、提案手法により、平均誤差約 0.2m での屋内位置推定が可能であることが分かった。

今後の課題として、照度センサを部屋に埋め込むことで、照度推定モデルの構築なしに位置推定を行う方法を考案したい。また、提案手法の拡張として、4.3 節の問題に対応する他に、対象空間内に窓がある場合のモデルやユーザの立ち位置による影の影響を考慮したモデ

\*1 今回の実験では、蛍光灯が y 軸方向に 1 つずつしか設置されていないため、x 軸方向に限定した位置推定を行った。

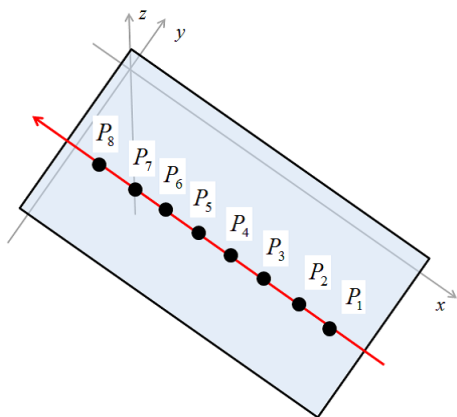


図 10 位置推定の対象地点

表 4 推定誤差

位置	実際の位置	推測の位置	誤差 ( m )
$P_1$	(5, -1.6)	(5.06, -1.5)	0.12
$P_2$	(4.4, -1.6)	(4.44, -1.5)	0.11
$P_3$	(3.8, -1.6)	(3.82, -1.5)	0.10
$P_4$	(3.2, -1.6)	(3.46, -1.5)	0.28
$P_5$	(2.6, -1.6)	(2.84, -1.5)	0.26
$P_6$	(2, -1.6)	(1.85, -1.5)	0.18
$P_7$	(1.4, -1.6)	(1.07, -1.5)	0.34
$P_8$	(0.8, -1.6)	(0.67, -1.5)	0.16

ルを考案することを予定している。さらに、照度センサだけでなく、加速度センサや無線デバイスといった他のセンサを組み合わせることで、位置推定の精度を向上させる方法に取り組むことも検討している。

### 参 考 文 献

- 1) G.M. Djuknic and R.E. Richton. "Geolocation and Assisted GPS". *IEEE Computer*, Vol.2, pp. 123–125, 2001.
- 2) Y.Gu, A.Lo, and INiemegeers. "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.11, No.1, pp. 13–32, 2009.
- 3) A.Ward, A.Jones, and A.Hopper. "A New Location Technique for the Active Office". *IEEE Personal Communications*, Vol.4, No.5, pp. 42–47, 1997.
- 4) M. Azizyan, I. Constandache, and R. Roy Choudhury. "Surroundsense: mobile phone localization via ambience fingerprinting". *In MobiCom*, pp. 261–272, 2009.
- 5) N.Ravi and L.Iftode. "Fiatlux: Fingerprinting rooms using light intensity". *In Pervasive*, 2007.
- 6) 萩山将成, 栗山繁. "照度センサの位置推定を用いた室内照明の自動制御". 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 (MBL), Vol. 2011-MBL-57, No.1, pp. 1–5, 2011.
- 7) ARDUINO. "ARDUINO UNO". <http://www.arduino.cc/>.
- 8) 菅工房. "Weatherduino". <http://www.sugakoubou.com/docs/weatherduino3.pdf>.
- 9) 浜松ホトニクス. "フォト IC ダイオード". [http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-ssd/pd089/pd098/S9648-100/index\\_ja.html](http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-ssd/pd089/pd098/S9648-100/index_ja.html).