Vol.2015-UBI-46 No.2
2015/5/11

# 照明装置からの距離－照度モデルの提案と位置推定への応用

守谷 一希[1,a)]　荒川 豊[1,b)]　安本 慶一[1,c)]

**概要**：本稿では，照明装置を点灯した際の照明装置からの距離と照度の実測値に基づいた関係モデルを提案する．また，その距離－照度モデルを利用した三辺測量方式に基づく屋内位置推定手法を提案する．照度を用いた位置推定の先行研究として，フィンガープリンティング方式に基づく屋内位置推定手法が提案されている．その手法の問題点として，対象空間内の既設照明装置を利用するため照明装置種類ごとの距離－照度モデルが必要であることや，制御可能照明装置以外の光源の影響を考えていないことが挙げられる．この問題点に対し，提案手法では，新規に設置した 3 つの照明装置を順番に点灯させた際の推定対象地点の照度を基にそれぞれの照明装置からの距離を推定する．新規に設置する照明装置だけを考慮すればよいので，複数の距離－照度モデルが必要なく，他の光源の影響を考える必要もない．一般家庭の部屋を想定した対象空間内での実験により，提案モデルと提案手法を用いて平均 0.3m の誤差で位置推定が可能であることを確認した．

**キーワード**：屋内位置推定，照度，三辺測量，距離－照度モデル

# Proposal of Distance-illminance Model for Lighting Devices and its Application to Indoor Localization.

***Abstract:***
In this paper, we propose a distance-illuminance model for lighting devices. We also propose an indoor localization method utilizing the model and trilateration. In our previous study, we proposed an indoor localization method based on illuminance fingerprinting. This previous method, however, takes a non-negligible human labor to construct multiple distance-illuminance models for different lighting devices since it supposes to use all existing lighting devices installed in the target indoor space and to be able to control these devices via home network. To cope with these problems, our method proposed in this paper estimates distances from three newly installed controllable lighting devices based on the illuminance at the target point by alternately turning on each of the devices. Then, the proposed method estimates the position of the target point based on trilateration. Merits of the proposed method are two folds. First, it requires only one distance-illuminance model since we newly install three identical lighting devices. Second, it does not need to consider influences by external lighting devices (or sunlight) since the proposed method measures the difference of the illuminance between before and after turning on a lighting device. We conducted experiments in a room in an ordinary home and confirmed that the proposed method could estimate the position of the illuminance sensor within 0.3m error on average.

***Keywords:*** Indoor localization, Illuminance, Trilateration, Distance-illuminance model

## 1. はじめに

近年，屋内での人や物の位置情報を利用したサービスが注目を集めている．主な例として，屋内でのユーザの位置に応じた目的地までのナビゲーションを行う屋内ナビゲーション [1] や，Web ページ上から子どもの位置をいつでも確認できる子ども見守りサービス [2]，エアコンが部屋内の人の位置を検知して風向きを変える省エネ家電制御 [3] が挙げられる．

これらのサービスを実現するために，既に幾つかの屋内位置推定手法が提案されている．例えば，複数の Wi-Fi 基

[1] 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
[a)] moriya.kazuki.me0@is.naist.jp
[b)] ara@is.naist.jp
[c)] yasumoto@is.naist.jp

© 2015 Information Processing Society of Japan

地局からの電波強度を基に位置推定を行う方式 [5] や超音波センサを多数設置する方式 [6] などが挙げられる．前者は追加のセンサやデバイスが必要ないという点で低コストであるが，位置推定精度が 5-6m であるため位置情報として活用するには精度が不十分である．後者は位置推定精度が数 cm 程度と高いものの高価である．

精度が良く低コストな屋内位置推定手法の一つとして，対象屋内空間の各地点の照度の分布に基づく屋内位置推定手法 [4] が提案されている．その手法は照度計を用いているため低コストで実現でき，推定誤差も平均 0.4m と高精度である．しかし，この手法では対象空間内の既設照明装置を用いて自動的に照度分布を作成して推定に利用しているため，既設照明装置ごとの距離－照度モデルを予め求めておく必要がある．また，その照明装置の明るさや種類を変更した際や新規に照明装置を追加した際には，再度距離－照度モデルを求めて照度分布を作成しなければならない．さらに，先行研究の手法では，太陽光などの既設照明装置以外の光源の影響を考慮していない．

本稿では，これらの問題点を解決し，かつ先行研究の位置推定精度を保ちながら屋内の位置情報を取得可能であるサービスの実現を目指し，新規に設置した照明装置からの距離－照度モデルを利用した三辺測量方式に基づく屋内位置推定手法を提案する．距離－照度モデルは，逆二乗法則を拡張したモデルを定義し実験値に基づいて推定する．提案手法では，対象空間内に新規に設置された 3 つの照明装置を順番に点灯させ，各点灯状態での推定対象地点で計測した照度を基に，求めた距離－照度モデルにより推定対象地点から 3 つの照明装置への距離をそれぞれ推定する．そして，3 つの照明装置からの距離を基に三辺測量方式に従ったアルゴリズムにより推定対象の位置を推定する．

また，評価実験を行うために，推定に使用する照明装置における照度センサまでの距離とその地点での照度を予め複数点で計測を行った．その計測データを基に最小二乗法を用いることで，実験で利用した照明装置における距離－照度モデルのパラメータを求めた．評価実験では，その照明装置と距離－照度モデルを用いて実験を行い，提案手法が平均 0.3m の誤差で，照度計の位置を推定可能であることが確認できた．

## 2. 照度を用いた屋内位置推定の先行研究

本章では，2.1 節で照度を用いた屋内位置推定の先行研究であるフィンガープリンティング方式を用いた手法の概要を示し，その手法のメリットや問題点について述べる．また，2.2 節で先行研究の問題点を解決するために本稿で提案する手法の概要について述べる．

### 2.1 照度のフィンガープリンティングを用いた屋内位置推定

先述したように，照度を用いた屋内位置推定の先行研究として，照度のフィンガープリンティングを用いた手法が提案されている．その手法では，対象空間には複数の照明装置があり，点灯状況の取得および各照明装置の ON・OFF が遠隔から行えるものとする．各照明点灯状況に対し，対象空間の各地点での照度を記録したものを照度マップとして自動作成する．この照度マップは既に対象空間内に設置されている照明装置の種類と位置を与えることで，数回の測定を行うだけで自動作成できる．そして，位置推定を行う際には，ユーザの照度センサが計測した照度を現在の照明点灯状況の照度マップと照合し，最も照度が近い位置を推定位置として決定する手法である．先行研究での評価実験では，照明装置が 4 箇所に設置された部屋で実験を行い，位置推定精度および切替回数の評価を行っている．その結果，照明点灯状況を平均約 2 回切り替えるだけで，平均約 0.4m の誤差で，ユーザの位置を推定可能であることが確認されている．

先行研究で提案されている手法のメリットとしては，屋内での位置情報として十分な精度を保ちつつ，比較的安価な照度センサを用いているため導入コストが低いという点である．しかし，照度マップの自動生成には，既設照明装置ごとの距離－照度モデルが必要であるため，過去に測定したことのない照明装置が設置されている部屋では予備実験が必要となる．また，新たな照明装置を対象空間内に設置した場合や照明装置の種類や明るさを変更した場合や，太陽光の強さが変更した場合はその都度照度マップの自動生成を行う必要がある．これらは，実際の建物内で屋内位置推定を用いたサービスを実用化する際に大きな妨げとなると考えられる．

### 2.2 提案手法による問題解決

先行研究の問題点を解決するために，提案手法では三辺測量方式を用いている．三辺測量とは，位置推定対象の 3 つの点それぞれからの距離が既知であるとして，その 3 点それぞれを中心に距離を半径とした円を考えてその交点が推定点となる手法である．この手法は様々な位置推定手法の基礎技術として広く利用されている [7]．提案手法では，この三辺測量方式を採用しており，決められた照明装置を 3 つ対象空間内に新たに設置し，設置座標と照明装置からの距離の 2 つを与えることで位置推定を行う．推定開始時の照度から新規に設置した照明装置を点灯させた時の照度の差分を取ることができるため，既設照明装置の種類や点灯状態，太陽光の強さなどに関係なく推定が可能となる．

しかし，三辺測量方式を採用するためには，照明装置からの距離を推定する必要がある．そこで，本稿では照明装置からの距離と照度の関係モデルを提案する．この距離－

照度モデルを用いることにより，推定対象が得た照度を基に照明装置からの距離が推定可能となる．

## 3. 照度を用いた屋内位置推定と解決手法の問題定義

本章では，3.1 節で先行研究における照度を用いた屋内位置推定の前提条件と問題定義について述べる．また，3.2 節で先行研究の問題点を解決するために本稿で提案する手法の前提条件と問題定義について述べる．

### 3.1 先行研究における照度を用いた屋内位置推定

#### 3.1.1 前提条件

先行研究における照度を用いた屋内位置推定の前提条件について以下に述べる．

- 複数台の照明装置が設置可能である一般的な部屋を対象空間とする
- 対象空間内にある照明装置の設置位置座標が既知である
- 対象空間内にある照明装置には点灯と消灯の 2 種類の状態が存在する
- 対象空間内にある照明装置の状態の遠隔操作による切り替えと取得が可能である
- 照度センサの位置を推定対象とする
- 推定開始から終了までの間に，照度センサ付近の光環境（影など）は変化しないものとする

#### 3.1.2 問題定義

問題定義の概念図を図 1 に示す．前提条件に従う対象空間の集合を $A$ とする．$a \in A$ を満たす $a$ 内に設置された照明装置の集合を $L = \{l_1, ..., l_n\}$（$n$ は照明装置の個数）とし，$a$ 内に設置された照度センサ（推定対象）の位置座標を $u$ とする．$l_i \in L$ を満たす全ての $l_i$ に対して，点灯状態 $p_i$ を 2 進数で表し（点灯時は 1，消灯時は 0），設置位置座標を $x_i$ とする．また，$p_i$ と $x_i$ の集合をそれぞれ $P = \{p_1, ..., p_n\}$，$X = \{x_1, ..., x_n\}$ とする．

任意の $a$ において，$L$，$P$，$X$ が与えられた時に $u$ を推定する問題を照度を用いた屋内位置推定問題として定義する．先行研究の手法では，$L$ を $a$ 内に存在する全ての照明装置としており，$L$ の個数や種類が変更された場合などにはその都度照度分布を与える必要がある．

### 3.2 三辺測量方式に基づいた屋内位置推定

#### 3.2.1 前提条件

先行研究における屋内位置推定問題を解決する手法として，三辺測量方式に基づいた推定手法を提案する．提案手法の前提条件として，先述した前提条件に加えて以下の 3 つの条件を追加する．

(1) 提案手法で制御可能な照明装置を 3 つ新規に設置可能である

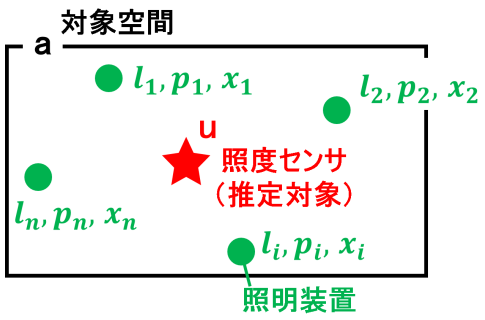


図 1 照度を用いた屋内位置推定問題
**Fig. 1** A subject of Indoor localization with illuminance.

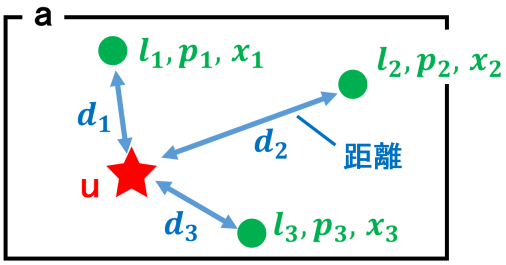


図 2 三辺測量方式に基づいた屋内位置推定問題
**Fig. 2** A subject of Indoor localization with trilateration.

(2) 新規に設置した照明装置だけを考慮する（既設照明装置は使用しないが，その個数、設置個所、点灯状態は任意で良い）

(3) 新規に設置した照明装置からの距離－照度モデルが既知である

#### 3.2.2 問題定義

問題定義の概念図を図 2 に示す．先行研究の位置推定問題に加えて，照明装置の設置位置座標 $x_i$ と $u$ の 2 点間距離を $d_i$ として，その集合を $D = \{d_1, ..., d_n\}$ とする．また，$L$ は新規に設置した照明装置のみとし，対象空間内の既設照明装置は含まない．

$n = 3$ の時，任意の $a$ において，$L$，$P$，$X$ が与えられた時に $D$ を推定し，得た $D$ を基に三辺測量方式に基づいたアルゴリズムを用いて $u$ を推定する問題を本稿における対象問題として定義する．

#### 3.2.3 解決すべき課題と解決手法

三辺測量方式に基づいた推定問題では，$L$ の個数や種類が変更されることがないため，先行研究の問題点の解決が可能である．しかし，新たに解決すべき課題として，$P$ と $X$ が与えられた時に $D$ を推定する手法が必要であるということが挙げられる．本稿では，この課題を解決するために，照明装置からの距離と照度の関係モデルとそのモデルを利用する手法を提案する．

© 2015 Information Processing Society of Japan

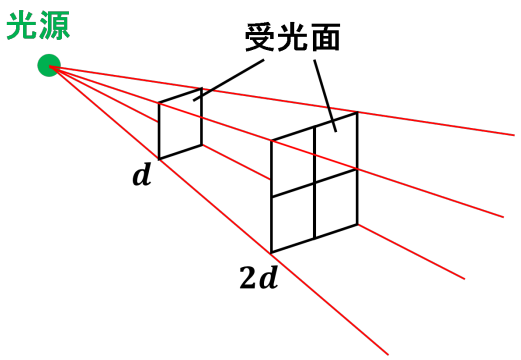


図 3　逆二乗の法則
**Fig. 3**　Inverse square law

## 4.　照明装置からの距離－照度モデルの提案

本章では，4.1 節で距離と照度の関係において一般的な法則である逆二乗の法則について述べる．また，4.2 節で本稿で提案する距離－照度モデルの定義と求め方について述べる．

### 4.1　逆二乗の法則

点光源からの距離と照度の関係について，逆二乗の法則が一般的に知られている．逆二乗の法則の概念図を図 **3** に示す．これは，点光源から出る光線が距離 $d$ から 2 倍の距離 $2d$ に達するまでに 4 倍の領域を必要とすることから，明るさは距離の逆二乗に比例するという法則である．この法則は，ヘッドランプの照射距離の性能表示などに利用されている [8]．

### 4.2　照明装置からの距離－照度モデル

本稿で提案する距離－照度モデルは，逆二乗の法則を拡張して，以下の数式に従うものとする．

$$L = Cd^{-r} \tag{1}$$

上式において，$L$ は照度，$d$ は照明装置からの距離である．また，$C$ と $r$ は対象とする照明装置と照度センサにおけるパラメータである．位置推定で利用する照明装置と照度センサにおけるパラメータ $C$ と $r$ を実験的に求めた距離－照度モデルを提案モデルとする．具体的には，予め複数の距離における照度値を測定しておき，最小二乗法を用いてパラメータ $C$ と $r$ を推定する．

## 5.　距離－照度モデルを用いた三辺測量方式に基づく位置推定手法

本章では，5.1 節で三辺測量法の概要と屋内位置推定におけるメリットについて述べる．また，5.2 節で提案手法のアルゴリズムを疑似コードで表し，そのアルゴリズムの流れについて述べる．

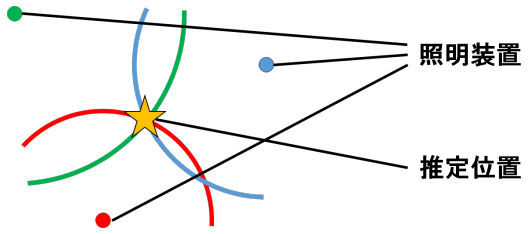


図 4　三辺測量法
**Fig. 4**　Trilateration

### 5.1　三辺測量法

提案手法では，先行研究の問題点を解決するために三辺測量法を用いている．三辺測量の概念図を図 **4** に示す．これは，推定対象地点への 3 つの基準点（提案手法では，照明装置の位置）それぞれからの距離が既知であるとして，その 3 点それぞれを中心に距離を半径とした円を考えてその交点が推定点とする手法である．照度を用いた屋内位置推定にこの手法を用いるメリットを以下に示す．

- 3 つの照明装置は理論上，対象空間内の任意の位置に設置可能である
- 推定開始時と終了時での光環境が変化しない場合に限り，照度センサで計測した照度のうち，他の光源の影響と照明装置の影響を分けて考えることができる

### 5.2　提案手法のアルゴリズム

提案する距離－照度モデルを用いた三辺測量方式に基づく位置推定手法においての前提条件と問題定義については 3.2 節で示している．提案手法のアルゴリズムを疑似コード形式で Algorithm1 に示す．ここで，前提条件に示している距離－照度モデルが既知であるとは，モデルのパラメータである $C$ と $r$ が既知であるという意味である．

Algorithm1 に示す疑似コード内において，簡略化のために独自に定義した関数が複数含まれている．以下に独自に定めた関数について説明する．以下の説明内において，$p$ は照明装置の点灯パターンを表しており，例えば 3 番目の照明装置が ON で他が OFF の場合は $\mathbf{p} = \{0, 0, 1\}$ である．また，$x$ は照明装置の座標，$d$ は推定対象地点から照明装置への距離，$\mathbf{q}$ は intersection() で得られる交点座標（2 地点）である．

- **getIllumination**() :
  現在の照度センサで計測した照度を取得する
- **ChangeLight**($\mathbf{p}$) :
  パターン $\mathbf{p}$ に対応した照明装置点灯状態に変更する
- **getPositionLightSource**() :
  3 つの照明装置の設置座標を取得する
- **distance**($\mathbf{x_1}, \mathbf{x_2}$) :
  $x_1$ と $x_2$ の 2 点間距離を取得する
- **intersection**($\mathbf{d_1}, \mathbf{d_2}, \mathbf{x_1}, \mathbf{x_2}$) :
  引数で表される 2 つの円の交点を取得する

© 2015 Information Processing Society of Japan

**Algorithm 1** 提案手法のアルゴリズム

1: $p \leftarrow \{0, 0, 0\}$
2: $i \leftarrow 1$
3: $flag \leftarrow true$
4: $l(0) \leftarrow getIllumination()$
5: **while** true **do**
6:  **if** $flag = true$ **then**
7:  **while** $i < 4$ **do**
8:  $p(i-1) \leftarrow 1$
9:  ChangeLight(p)
10:  $l(i) \leftarrow getIllumination()$
11:  $L(i) \leftarrow l(i) - l(i-1)$
12:  $d(i) \leftarrow (C/L(i))^{1/r}$
13:  $i \leftarrow i + 1$
14:  **end while**
15:  $i \leftarrow 3$
16:  $flag \leftarrow false$
17:  **else**
18:  **while** $i > 0$ **do**
19:  $p(i-1) \leftarrow 0$
20:  ChangeLight(p)
21:  $l(i-1) \leftarrow getIllumination()$
22:  $L(i) \leftarrow l(i) - l(i-1)$
23:  $d(i) \leftarrow (C/L(i))^{1/r}$
24:  $i \leftarrow i - 1$
25:  **end while**
26:  $i \leftarrow 1$
27:  $flag \leftarrow true$
28:  **end if**
29:  $x \leftarrow getPositionLightSource()$
30:  **while** $|d(1) - d(2)| > distance(x(1), x(2))$ **do**
31:  **if** $d(1) > d(2)$ **then**
32:  $d(1) \leftarrow d(1) \times 99/100$
33:  $d(2) \leftarrow d(2) \times 101/100$
34:  **else**
35:  $d(1) \leftarrow d(1) \times 101/100$
36:  $d(2) \leftarrow d(2) \times 99/100$
37:  **end if**
38:  **end while**
39:  **while** $d(1) + d(2) < distance(x(1), x(2))$ **do**
40:  $d(1) \leftarrow d(1) \times 101/100$
41:  $d(2) \leftarrow d(2) \times 101/100$
42:  **end while**
43:  $q \leftarrow intersection(d(1), d(2), x(1), x(2))$
44:  $u \leftarrow near(q, d(3), x(3))$
45: **end while**

- $\mathbf{near(q, d, x)}$ :
  **q** の内，d と x で表される円に近い方の点を取得する

Algorithm1 に示す提案手法のアルゴリズムの流れを詳しく説明する．まず，このアルゴリズムは大きく分けて 2 つのセクションに分けることができる．1 つ目は 7-28 行目で，ここでは推定対象と 3 つの照明装置それぞれからの距離を推定する．2 つ目は 29-44 行目で，ここでは得られた距離情報を引数として推定対象の位置を推定する．

まず，1 つ目（7-28 行目）のアルゴリズムでは，照明装置を順番に点灯させ（9 行目），それぞれの点灯状態における照度と 1 つ前の点灯状態における照度の差分を計算することで，それぞれの照明装置が付加した照度を得る（10-11 行目）．そして，パラメータが既知である距離－照度モデルを用いて逆算することにより，推定対象とそれぞれの照明装置からの距離を推定する（12 行目）．また，照明装置の点灯状態の変化を出来る限り少なくするために，点灯もしくは消灯させる順番を交互に入れ替えて行っている（7-16 行目と 18-27 行目）．

次に，2 つ目（29-44 行目）のアルゴリズムでは，まず，得られた照明装置からの推定対象の距離を基に描いた 2 つの円が交差しているかどうかを確認する（30 行目と 39 行目）．交差しないパターンは 2 種類存在し，それぞれのパターンに合わせて 2 つの円が交差するように 1 %ずつ円のサイズを変更させる（31-37 行目と 40-41 行目）．最後に，その交差した 2 点の座標を取得し（43 行目），その 2 点の座標の内 3 つ目の円と近い方を取得することで推定対象の位置を推定する（44 行目）．

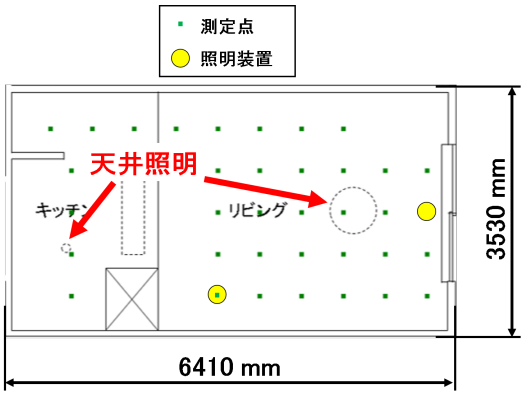


図 5　実験の対象空間
**Fig. 5**　A target room of the experiment.

## 6. 照明装置からの距離と照度の測定実験

### 6.1 実験方法

#### 6.1.1 対象空間と測定機材

実験の対象空間として，**図 5** に示すような部屋を利用した．本実験では，理想的な環境での距離推定を想定し，誤差の要因となる家具等は部屋の外へ移動した．なお，基本的に家具は動かないことから，照度センサ周りの光環境が推定中に変化することは考えられないため，家具の有無による推定手法への影響は少ないと考えられるが，その検証は今後の課題である．対象空間の部屋の見取り図を**図 6** に示す．さらに，実験で使用した照明装置（シリカ電球の 60 形 100V，高さ 1.1m，赤外線による制御が可能）を**図 7** に，照度センサ（自作，市販のフォトダイオード，マイコン，XBee により構成され，計測照度値を無線送信可能）を**図 8** に示す．

#### 6.1.2 実験の流れ

照明装置からの距離と照度の測定を予備実験として行っ

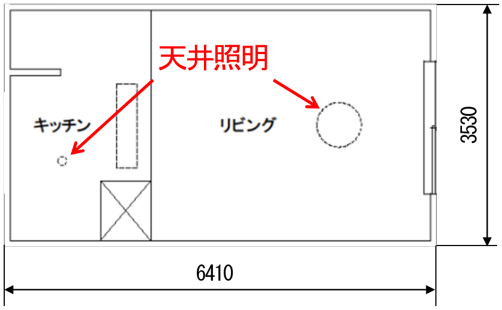


図 6　対象空間の見取り図
**Fig. 6**　The sketch of the target room

図 7　照明装置
**Fig. 7**　The lighting device.

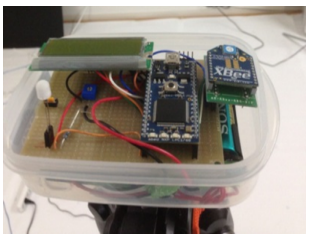

図 8　照度センサ
**Fig. 8**　The illuminance sensor.

た．日常的には，照明装置は壁際に置くため，予備実験でも壁際に照明装置を置いた状態で行った．また，照度センサの床からの高さを照明装置と同じ 1.1m とした．設置した照明装置から前後左右に 60cm ずつ離れた地点（計 35 点）での照度を測定し表とグラフにまとめた．その後，測定した距離と照度それぞれの対数を取ったデータに対し最小二乗法を適用することにより，最も測定データを満たすパラメータ $C$ と $r$ を求めた．

### 6.2　実験結果と距離－照度モデルの推定

予備実験の測定結果を図 **9** に示す．また，この測定データの両対数を取り最小二乗法を適用した際の結果を図 **10** に示す．この結果より，実験で用いた照明装置と照度センサにおける距離－照度モデルが以下に示す数式であると推定できる．

$$L = 24173 \times d^{-1.0287} \tag{2}$$

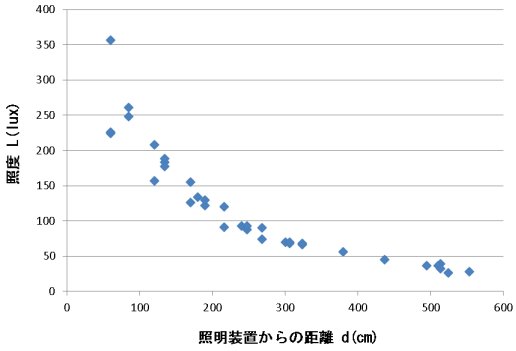


図 9　予備実験の結果
**Fig. 9**　The result of preliminary experiment.

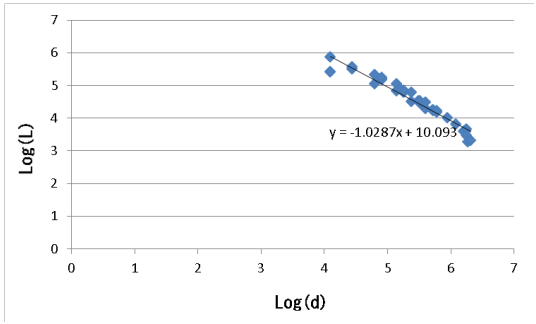


図 10　予備実験の結果（両対数）
**Fig. 10**　The result of preliminary experiment (Double logarithm).

## 7.　提案手法を用いた位置推定実験

### 7.1　実験方法

実験の対象空間と測定機材は予備実験と同じものを使用した．ただし，今回の実験では 3 つめの照明装置を天井照明として，天井照明を点灯することにより得られた照度を基にフィンガープリンティング方式を用いて推定候補点を導いている．予め予備実験と同様に対象空間内の 60cm ずつ離れた地点（計 35 点）での天井照明点灯時の照度を測定しておき，その測定データと推定時に得られた照度を照らし合わせることで推定候補点を得る．予備実験と同様の地点のうちの 120cm ずつ離れた地点において，提案アルゴリズムに従った位置推定を 3 回ずつ行った．推定対象地点については，図 **12** に示している．ここで，本実験では 3 つめの照明装置を天井照明としているため，Algorithm1 での 44 行目が少し異なる．具体的には，天井照明による照度を基に得られた推定候補点と，1 つめと 2 つめの照明装置により得られた 2 つの交点のうち，一番近い 2 点の平均を位置推定点とする．

### 7.2　実験システム

実験を行うにあたって，位置推定システムを構築した．システム構成を図 **11** に示す．対象空間である部屋内には照明装置，iRemocon，XBee 付属の照度センサが配置され

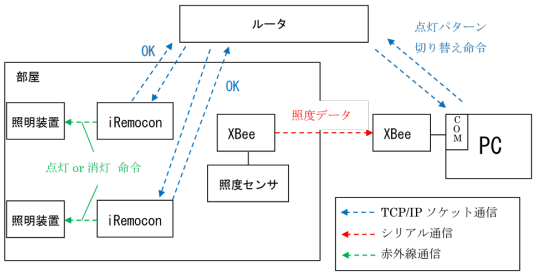


図 11　位置推定システムの構成
**Fig. 11**　The configuration of localization system.

表 1　位置推定実験の結果
**Table 1**　The experiment result of localization.

| | 平均誤差 [cm] | 最大誤差 [cm] |
|---|---|---|
| 1 回目 | 19.3 | 53.8 |
| 2 回目 | 25.8 | 53.7 |
| 3 回目 | 28.3 | 49.7 |
| 全体 | 24.5 | — |

ている．ここで，iRemocon とはネットワーク接続型の高機能学習リモコンである [9]．iRemocon に予め赤外線命令を学習させておき，TCP/IP 通信により特定の文字列を受信した時に学習した赤外線命令を発信する．

推定時には照度センサから XBee 経由で PC に照度値が常に送信され続ける．そして，PC から部屋内の iRemocon に対して順番に点灯・消灯命令を送ることで，位置推定に必要な照度値を自動的に取得し推定を行う．

このシステムを用いて実験を行うことにより，人が直接照明装置の点灯・消灯を行うよりも短い時間で推定が可能である．その結果，推定最中の他光源による照度値の変化が起こる可能性が減少するため，より信頼性の高い実験を行うことができる．

### 7.3　実験結果

実験での推定誤差の平均値と最大値を**表 1** に示す．実験結果から，提案手法を用いた位置推定では平均誤差 0.3m 以内，最大誤差 0.5m 程度の精度が確認できた．また，本実験での推定対象地点における推定誤差平均を円の大きさで表した分布を図 12 に示す．図 12 において，大きい円になればなるほど誤差平均が大きい誤差であることを表している．誤差分布の結果より，部屋の壁から遠い地点において，推定誤差平均が 0.2m 未満と高精度な推定結果を示していることが確認できる．その反面，壁に近い地点での推定誤差平均が 0.4m 程度であり，誤差が大きくなっているのが確認できる．この原因として，壁に反射する光が照度センサの受光面に当たり，照明装置による直接照度よりも大きな測定値となったことが考えられる．壁の影響を考慮した位置推定手法の提案が，今後の課題である．

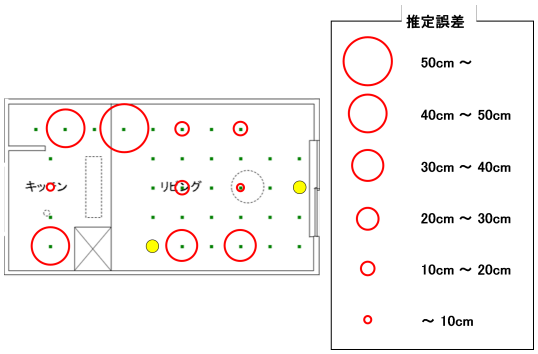


図 12　推定誤差分布
**Fig. 12**　Error distribution of localization.

## 8.　おわりに

本稿では，照度を用いた屋内位置推定問題を解決する手段の 1 つとして，照明装置からの距離－照度モデルと三辺測量方式による位置推定手法を提案した．先行研究の手法と比べて，提案手法では対象空間内に新規に設置した照明装置以外の照明装置の個数，設置箇所，点灯状態や，太陽光など外部光源による影響などに関係なく推定可能であるという点において優れている．距離－照度モデルは，逆二乗の法則を拡張した数式モデルに従うと仮定し，実験値を基に最小二乗法を用いてパラメータを推定し求めた数式を提案モデルとした．提案手法では，求めた距離－照度モデルと三辺測量法を上手く活用して位置推定を行うアルゴリズムを提案した．モデル推定のための予備実験と求めたモデルを利用した位置推定実験の結果より，提案手法が平均誤差 0.3m と先行研究より高精度で推定可能であることが確認できた．

最後に，今後の課題として，以下の 4 点が挙げられる．

(1) 対象空間内における，光を遮蔽する物体（壁など）を考慮した推定手法の提案
(2) 照度センサのウェアラブル化と，それに伴った人影による影響を考慮した推定手法の提案
(3) 対象空間内に複数のセンサまたは複数の人が居た場合を考慮した推定手法の提案
(4) 他種類のセンサ情報との組み合わせによる，行動認識などの位置情報以外の情報の推定手法の提案

### 参考文献

[1] 高梨 郁子，石渡 要介，斎藤 謙一，久永 聡，田中 聡，山路 晃徳，秋間 文和：屋内ナビゲーションシステムに関する一考察，情報処理学会　高度交通システム研究会報告，Vol.2006-ITS-24，No.1，pp. 87-92，2006.
[2] 木村 峻介，松本 卓人，矢澤 櫻子，星野 准一，李 昇姫，浜中 雅俊：屋内位置検出を利用した子ども見守りサービスシステム，情報処理学会論文誌，Vol.56，No.3，pp. 856-868，2015.
[3] パナソニック株式会社：エコナビ，http://panasonic.jp/econavi/aircon/，2015.4 閲覧.

© 2015 Information Processing Society of Japan

[4] 坂本一樹，安本慶一，孫為華，柴田直樹，伊藤実：照明点灯パターンの切り替えによる高精度な屋内位置推定法とその評価，情報処理学会研究報告，Vol.2012-MBL-61，No.26，pp. 1-8，2012.
[5] 梶克彦，河口信夫：gmm に基づく無線 lan 位置推定精度と電波観測情報の関連評価，マルチメディア, 分散, 強調とモバイル（DICOMO）シンポジウム，No.1，pp. 449-455，2011.
[6] 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.
[7] J.Lloret，J.Tomas，M.Garcia and A.Canovas：A hybrid stochasticapproach for self-location of wireless sensors in indoor environments, Sensors(Basel, Switzerland), Vol.9，No.5，pp. 3695-3712，2009.
[8] LOSTARROW：Support，http://www.lostarrow.co.jp/support/，2015.4 閲覧.
[9] 株式会社グラモ：iRemocon，http://i-remocon.com/，2015.4 閲覧.

© 2015 Information Processing Society of Japan