

# 照明装置の順点灯制御と照度-距離モデルに基づく

## 屋内位置推定手法とその評価

### Evaluation of Indoor Localization Based on Distance-illuminance Model and Switch-on Control of Lighting Devices

守谷 一希†  
Kazuki Moriya

藤本 まなと†  
Manato Fujimoto

荒川 豊†  
Yutaka Arakawa

安本 慶一†  
Keiichi Yasumoto

#### 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]がある。また、屋内の位置情報を利用した研究も進められている。一例として、家の中にいる人の位置と各家電の電力値の情報を基に「料理をしている」「TV を見ている」などの人の行動を推定する研究[4]が挙げられる。この研究の成果の一つとして、位置推定誤差 1m 以内かつ電力計の個数が 3 個の場合において、11 種類の行動を 84.5% の確率で推定が可能であることを示している。ある程度正確な行動推定には、1m 以内の位置推定精度が求められることがわかる。

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[7]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、かつ推定誤差 1m 以内の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、位置推定に用いる推定対象と対象空間における予備実験の実測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、予備実験として、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、実験で利用した照明装置における距離-照度モデルを求めた。評価実験では、その照明装置と距離-照度モデルを用いて幾つかの光環境での実験を行い、全ての光環境状態における提案手法が平均 1m 以内の誤差で、照度計の位置を推定可能であることが確認できた。

本稿で提案する手法については、既に 2015 年度のユビキタスコンピューティングシステム研究会で発表した[8]。しかし、その際の位置推定実験では、位置推定アルゴリズムの中にフィンガープリント方式を含んでいた。提案手法は三辺測量方式のみであるため、実験方法として不十分であるといえる。本稿の実験では三辺測量方式のみを採用したアルゴリズムで実験を行っているため、実験結果の信頼性という点で前回の研究より優れている。さらに、前回は、太陽光や既設照明装置からの光などの推定に利用する照明装置以外からの光の影響が全く存在しない光環境でのみ実験を行っていた。本稿では、それらの光の影響を受ける環境で実験を行っているため、提案手法のメリットを実証できている点で優れている。

#### 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

†奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科,  
Graduate School of Information Science,  
Nara Institute of Science and Technology

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[9]。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として、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、提案手法では照明装置からの距離と照度の関係モデルを予備実験により求める。求めた距離-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 三辺測量方式に基づいた屋内位置推定の問題定義

本章では、3.1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について述べる。また、3.2節で提案手法の問題定義について述べる。最後に、3.3節で提案手法を実現するために解決すべき課題とその解決方法を述べる。

### 3.1 前提条件

先行研究における屋内位置推定の問題点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を以下に示す。

- ・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

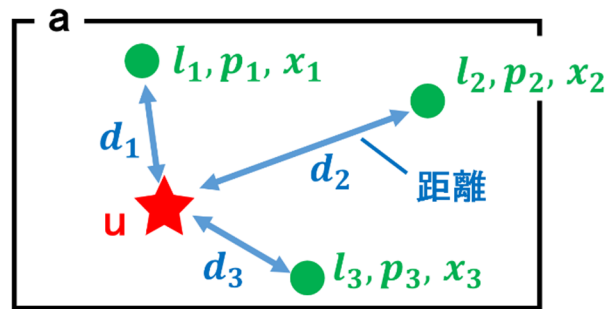


図1 三辺測量方式に基づいた屋内位置推定問題

- ・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
- ・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
- ・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、設置箇所、点灯状態は任意で良い)
- ・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 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 $a$ 内に新規に設置された照明装置の集合を $L = \{l_1, l_2, l_3\}$ とし、対象空間内の既設照明装置は含まない。 $a$ 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。 $p_i$ と $x_i$ の集合をそれぞれ $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ 、 $X = \{x_1, x_2, x_3\}$ とする。また、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 $D = \{d_1, d_2, d_3\}$ とする。

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。

### 3.3 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を利用する手法を提案する。

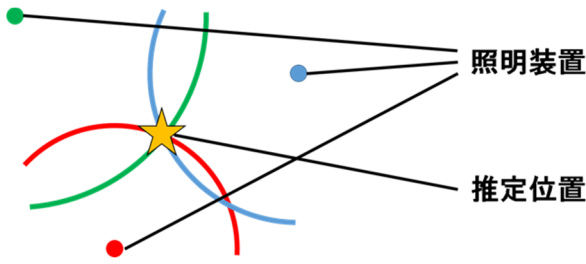


図2 三辺測量法

#### 4. 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、4.1 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、4.2 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。

##### 4.1 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2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ると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

##### 4.2 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 Algorithm 1 に示す。

Algorithm 1 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  $p = \{0, 0, 1\}$  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、 $q$  は  $\text{intersection}()$  で得られる交点座標 (2 地点) である。

- $\text{getIllumination}()$  : 現在の照度センサで計測した照度を取得する
- $\text{ChangeLight}(p)$  : パターン  $p$  に対応した照明装置点灯状態に変更する
- $\text{getDistanceModel}(L)$  : 距離-照度モデルに照度  $L$  を代入して照度センサと照明装置の間の距離を取得する
- $\text{getPositionLightSource}()$  : 3つの照明装置の設置座標を取得する
- $\text{distance}(x_1, x_2)$  :  $x_1$  と  $x_2$  の2点間距離を取得する

#### 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:  $l(0) \leftarrow \text{getIllumination}()$ 
5: while  $true$  do
6:   if  $flag = true$  then
7:     while  $i < 4$  do
8:        $p(i-1) \leftarrow 1$ 
9:        $\text{ChangeLight}(p)$ 
10:       $l(i) \leftarrow \text{getIllumination}()$ 
11:       $L(i) \leftarrow l(i) - l(i-1)$ 
12:       $d(i) \leftarrow \text{getDistanceModel}(L(i))$ 
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:       $\text{ChangeLight}(p)$ 
21:       $l(i-1) \leftarrow \text{getIllumination}()$ 
22:       $L(i) \leftarrow l(i) - l(i-1)$ 
23:       $d(i) \leftarrow \text{getDistanceModel}(L(i))$ 
24:       $i \leftarrow i - 1$ 
25:    end while
26:     $i \leftarrow 1$ 
27:     $flag \leftarrow true$ 
28:  end if
29:   $x \leftarrow \text{getPositionLightSource}()$ 
30:  while  $|d(1) - d(2)| > \text{distance}(x(1), x(2))$  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  $d(1) + d(2) < \text{distance}(x(1), x(2))$  do
40:     $d(1) \leftarrow d(1) \times 101/100$ 
41:     $d(2) \leftarrow d(2) \times 101/100$ 
42:  end while
43:   $q \leftarrow \text{intersection}(d(1), d(2), x(1), x(2))$ 
44:   $u \leftarrow \text{near}(q, d(3), x(3))$ 
45: end while

```

- $\text{intersection}(d_1, d_2, x_1, x_2)$  : 引数で表される2つの円の交点を取得する
- $\text{near}(q, d, x)$  :  $q$  の内、 $d$  と  $x$  で表される円に近い方の点を取得する

Algorithm 1 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、既知である距離-照度モデルを用いて得られた照度値を代入することにより、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)。

## 5. 照明装置からの距離と照度の測定実験 (予備実験)

本章では、5.1 節で距離-照度モデルを求めるための予備実験の実験方法について述べる。また、5.2 節で実験結果と推定した距離-照度モデルを示す。

### 5.1 実験方法

#### 5.1.1 対象空間と測定機材

実験の対象空間として、図 3 に示すような部屋を利用した。この部屋は、既設照明装置として 2 つの天井照明が設置されている。予備実験では、推定に利用する照明装置以外の影響を無くすため、対象空間内の家具等は部屋の外へ移動し、既存の照明装置を全て消灯させ、太陽光の入らない時間帯で行った。対象空間の部屋の見取り図を図 4 に示す (枠で囲まれた領域を対象空間とする)。さらに、実験で使用した照明装置 (LED 電球の 700lm / 6W / E26, 高さ 1.1m, 赤外線による制御が可能) を図 5 に、照度センサ (SensorTag CC2650STK [10], Bluetooth Low Energy により照度値の送信が可能) を図 6 に示す。

#### 5.1.2 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 1 つ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。照明装置を点灯させた時の、設置した照明装置から 30cm ずつ離れた地点 (計 14 点) での照度を測定し表とグラフにまとめた。その後、そのグラフを基に測定値をよく再現するような距離-照度モデルを推定した。

### 5.2 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 7 に示す。図 7 内の数式は、照度が 3[lux]以上のときと 3[lux]未満のときの 2 つに分割した際のそれぞれの測定結果を最もよく満たす 1 次式を最小二乗法により求めた結果である。また、 $L$  は照度 [lux]、 $d$  は照明装置からの距離 [m] を示している。この結果より、実験



図 3 対象空間

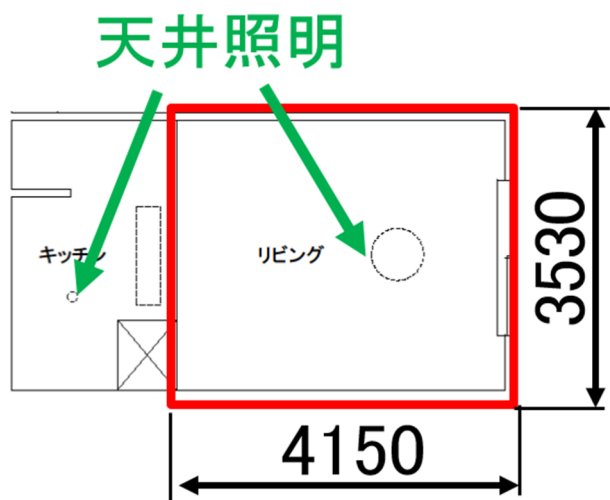


図 4 対象空間の見取り図



図 5 照明装置



図 6 照度センサ

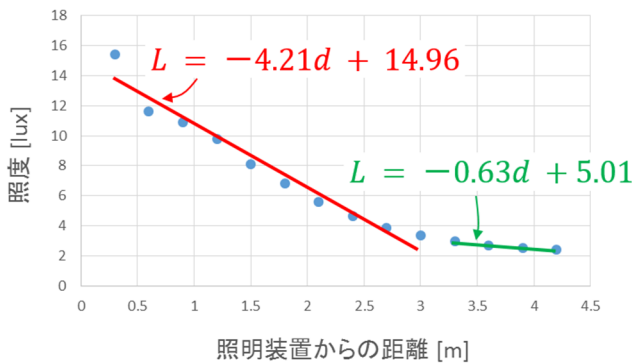


図7 予備実験結果

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。

$$\begin{cases} L = -4.21d + 14.96 & (L \geq 3 \text{ のとき}) \\ L = -0.63d + 5.01 & (L < 3 \text{ のとき}) \end{cases}$$

## 6. 提案手法を用いた位置推定実験

本章では、6.1 節で提案手法を用いた位置推定実験の実験方法について述べる。また、6.2 節で照明装置の順点灯制御および位置推定を自動で行うシステムについて述べる。そして、6.3 節で位置推定実験の結果を示し、結果をもとに今後の課題について述べる。

### 6.1 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。位置推定で利用する照明装置のうちの1つから1mずつ離れた地点(計10点)において、提案アルゴリズムに従った位置推定を行った。図8に推定対象地点と照明装置の設置位置を示す。図8に示すように、本実験では照明装置を壁近くに設置し、それぞれの照明装置ができる限り離れるように配置した。理論的には部屋内の任意の場所に設置可能であるが、本実験では、一般的な家庭において照明装置を部屋の中央付近に設置することや照明装置同士を近づけて設置することは考えにくいため、このような配置にした。対象空間内に設置する照明装置の配置の最適化についての検討については、今後の課題である。

提案手法の「既設照明装置や太陽光などの他光源の影響を受けない」というメリットを実証するために、位置推定実験は以下の4つの条件それぞれで行った。

- (1) 全ての既設照明装置(天井照明2つ)は消灯、太陽光が入らない、家具は対象空間内に無い
- (2) 全ての既設照明装置(天井照明2つ)は点灯、太陽光が入らない、家具は対象空間内に無い
- (3) 全ての既設照明装置(天井照明2つ)は消灯、太陽光が入る、家具は対象空間内に無い
- (4) 全ての既設照明装置(天井照明2つ)は消灯、太陽光は入らない、家具を対象空間内に設置

上記の(3)の場合では、対象空間内に太陽光が入るように、太陽の出ている時間帯で窓のカーテンを開けた状態にして

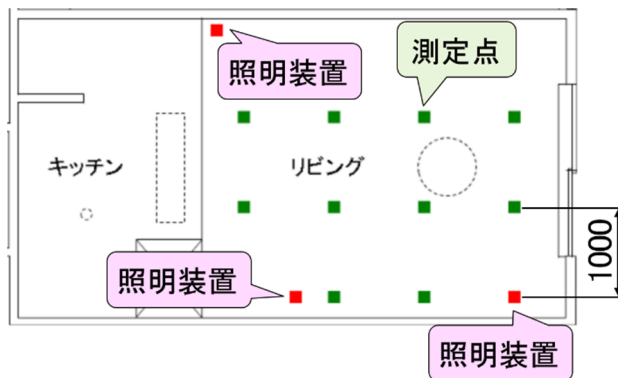


図8 照明装置の位置と測定点



図9 条件(4)の場合における対象空間

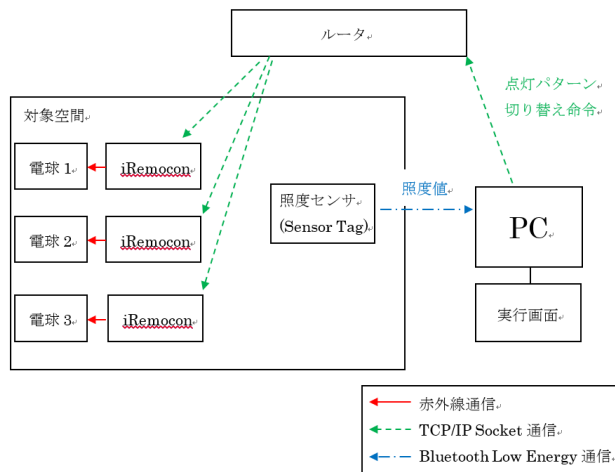


図10 実験システム

実験を行った。今回の実験は、太陽光だけの影響による照度値が50[lux]付近である場合での光環境で行った。また、上記の(4)の場合において、設置する家具はソファ、小テーブル、ダイニングテーブル、椅子、TVである。設置する際は、家具が照明装置からの光を直接遮ることは無いようにした。家具を設置した状態での対象空間を図9に示す。

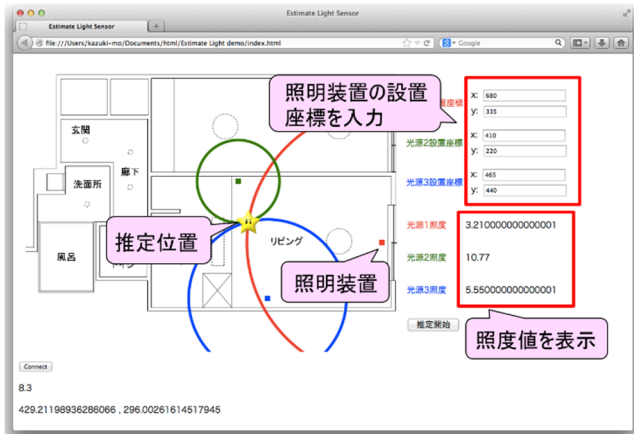


図 11 アプリケーション実行画面

## 6.2 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 10 に示す。対象空間である部屋には照明装置（電球）、iRemocon、照度センサを新規に配置する。ここで、iRemocon とはネットワーク接続型の高性能学習リモコンである[11]。iRemocon に予め照明装置の点灯・消灯を行う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 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 に対して点灯・消灯命令を送ることで特定の照明装置を制御する。各照明装置を順番に点灯させることで、位置推定に必要な照度値を取得し推定を行う。

また、PC 上で、照度センサから送られてくる照度値の取得や iRemocon に対して制御命令を送信するために、HTML5+JavaScript を用いて位置推定アプリケーションを作成した。アプリケーションの実行画面を図 11 に示す。設置した照明装置の位置座標を入力し「推定開始」ボタンを押すと、自動で照明装置を制御し、それぞれの照明装置を点灯した際の照度値を取得して画面上に表示される。その照度値を基に 4.2 節で示したアルゴリズムを用いて位置推定を行い、その結果を画面上に表示する。

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。

## 6.3 実験結果

6.1 節で示した 4 つの条件下において位置推定を行った際の、それぞれの位置推定誤差の平均と最大誤差の結果を表 1 に示す。また、それぞれの条件における各測定点での誤差の大きさを示した誤差分布図を図 12 に示す。図 12 では、推定誤差の大きさを円の大きさで表しており、半径の大きい円ほど誤差が大きいことを示している。

表 1 に示す結果より、全ての条件での平均誤差が目標の 1m 以内であるため、提案手法は屋内位置推定に必要な精度を満たす手法であることが確認できた。さらに、条件(2)～(4)の場合においても十分な精度を保っていることから、

表 1 位置推定実験結果

条件	平均誤差[m]	最大誤差[m]
(1)	0.44	0.85
(2)	0.48	1.00
(3)	0.50	1.06
(4)	0.52	1.07

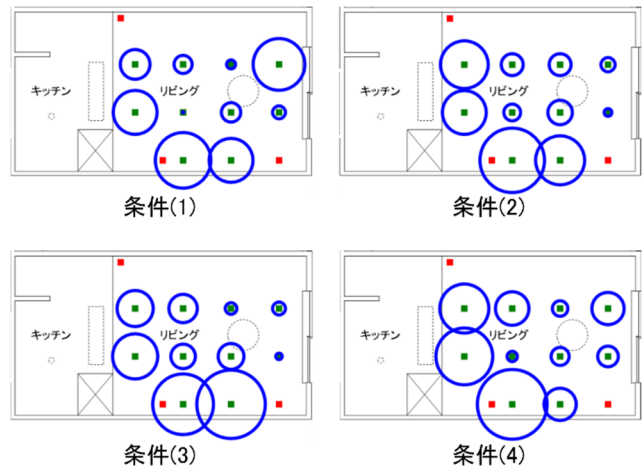


図 12 各条件での誤差分布

先行研究の「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」という問題点を解決できる手法であることも実証できた。また、最大誤差が全ての条件で 1m 付近であることから、最悪の場合においても位置推定精度としては十分な精度を保つことができることが確認できた。

しかし、条件(2)や(3)において、1m 以内の精度は保っているものの、条件(1)と比べて多少精度が落ちていることが分かる。これは、既設照明装置や太陽光の照度値は同じ場所であっても時間とともに値が変化するためである。推定開始から推定に利用するそれぞれの照明装置を点灯した際の照度値を取得するまでの間に照度値が多少揺らぐため、精度が落ちていると考えられる。また、条件(4)において精度が落ちている原因は、照明装置からの光が家具に反射することによる影響を受けるためと考えられる。これらの精度が落ちる原因を解決するため、推定開始から推定終了までの時間（今回のシステムでは 15 秒である）をより短くすることや、家具による反射の影響を考慮することが今後の課題である。

また、図 12 の結果より、全ての条件において壁際での推定精度が比較的低いことが確認できる。これは、予備実験で測定した地点が壁から遠い地点であるため、距離-照度モデルに壁による光の反射の影響が考慮されていないことが原因である。家具だけでなく、壁の光の反射を考慮した推定手法の提案も、今後の課題として挙げられる。



## 7. 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、推定に利用する対象空間と照明装置を用いた予備実験の実験値を基に最小二乗法を用いて求めた数式とした。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、提案手法が既存照明装置を点灯している状態や太陽光が対象空間内に入ってくる状態においても、平均誤差0.5m付近で位置推定が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（壁や家具など）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
- (5) 推定に利用する照明装置の設置位置の最適化の検討

## 参考文献

- [1] 高梨 郁子, 石渡 要介, 斎藤 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.
- [4] 上田 健揮, 諏訪 博彦, 荒川 豊, 安本 慶一: センサデータ粒度が宅内行動認識に与える影響について, 情報処理学会研究報告, ユビキタスコンピューティングシステム研究会, Vol.2015-UBI-45, No.9, pp. 1-6, 2015.
- [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] 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.
- [8] 守谷 一希, 安本 慶一, 荒川 豊: 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, ユビキタスコンピューティングシステム研究会, Vol.2015-UBI-46, No.2, pp. 1-8, 2015.
- [9] J.Lloret, J.Tomas, M.Garcia and A.Canovas: A hybrid stochastic approach for self-location of wireless sensors in indoor environments, Sensors(Basel, Switzerland), Vol.9, No.5, pp. 3695-3712, 2009.
- [10] 株式会社 TEXAS INSTRUMENTS: SimpleLink SensorTag - CC2650STK - TI ツール・フォルダ, <http://www.tij.co.jp/tool/jp/cc2650stk>, 2015.7 閲覧
- [11] 株式会社 グラモ: iRemocon, <http://i-remocon.com/>, 2015.4 閲覧.