

屋内位置推定システムのための間取り推定に関する一検討

渡邊 賢治[†] 達可 敏充[†] 島中 理英[†] 尾上 孝雄[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科
〒565-0871 吹田市山田丘 1-5

E-mail: †{watanabe.kenji,tatsuka.toshimitsu,masahide,onoye}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし ホームネットワークなどにおける屋内位置推定システムによって、ユーザ位置に連動したサービス提供、トラッキングなど、さまざまなサービスが実現できる。これらのサービスを構築する際、位置推定結果をサービスプログラムと連動させるための間取り情報が必須である。しかしながら、一般に間取り情報は事前に手入力する必要があり、導入コストの面で問題となる。そこで本研究では、ホームネットワーク機器が位置する座標および部屋の番号から自動的に壁位置を推定し、間取り推定を行う手法を検討する。本手法ではドロネー三角形分割を利用することで部屋の隣接関係を導き、ドロネー辺の串刺し直線により間取り推定を行う。実在する家屋の間取りに対して本手法を適用した結果、推定結果が実際の間取りと一致した面積の割合が93.7%となった。

キーワード 位置推定, 間取り推定, ドロネー三角形分割, 串刺し直線

An Approach to Room Layout Estimation for Indoor Localization System

Kenji WATANABE[†], Toshimitsu TATSUKA[†], Masahide HATANAKA[†], and Takao ONOYE[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: †{watanabe.kenji,tatsuka.toshimitsu,masahide,onoye}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract An indoor localization system can provide various services, such as user tracking and service switching linked to user location. Room layout information is indispensable for indicating the location of each device or analyzing tracking data. However, a room layout is generally input by users, which increases the installation cost. In this paper, we propose a room layout estimation method that automatically determines locations of inner walls. Using the coordinates and the room number of each device, the proposed method estimates a room layout with Delaunay triangulation and stabbing line. Experimental results show that the proposed method achieves 93.7% accuracy in room layout estimation with node locations of a real house.

Key words location estimation, room layout estimation, Delaunay triangulation, stabbing line

1. はじめに

近年、より安全で便利な生活への要求や無線技術の向上に伴い、無線ホームネットワークに対する期待が高まっている。ここで、ホームネットワークとは家庭内の家電機器により構成されたネットワークのことを指す。主なサービスとして、携帯電話などを用いて宅外から家電を操作・状態表示する「遠隔操作・遠隔モニタリング」、センサ類などの連携による「侵入検知・ホームセキュリティ」、健康機器の測定結果を集積し、定期的に病院に送信することで診療サービスを受ける「ホームヘルスケア」などが挙げられる。ホームネットワークにおいては導入コストの低さやモビリティが重要となるため、配線が不要な無線通信が適している。今後、上記で述べたようなアプリケーション

の重要性が増し、また無線デバイスのコスト低下により、ほぼ全ての家電機器・センサ類に無線が搭載されることが期待される。このような背景のもと、筆者らは無線ホームネットワーク向けネットワーク層プロトコルの開発を行ってきた [1, 2]。

一方で、センサネットワークの分野では位置推定 [3] に関する研究が進められている。ここで、位置推定とは受信信号強度 (RSS: Received Signal Strength) や信号到来時間 (TOA: Time Of Arrival) などを用いて無線機器間の距離を見積もり、その距離情報を用いて各機器の位置を推定することを指す。ホームネットワークに位置推定を取り入れた場合、ユーザの位置に連動したサービスの提供、高齢者のトラッキングによる遠隔介護、紛失物品の探索など、ユーザにとって利便性の高い新しい機能が実現できる。

これらのサービスをホームネットワークにおいて提供する際、位置推定結果をサービスプログラムと連動させるための間取り情報が必要である。例えば、機器の位置をグラフィカル表示する際に部屋の境界線がない場合、ユーザが瞬時に機器の位置を認識するのは困難である。また、トラッキング結果を部屋名により簡易表示する際にも、座標値から部屋名で変換するために間取り情報が必要となる。しかしながら、一般に間取り情報は事前に手入力する必要があり、導入コストの増大を招く。位置推定システムを幅広い消費者に普及させるためには、ホームネットワーク機器の座標値などから自動的に間取りを推定する手法の確立が必要不可欠である。

そこで本研究では、機器の座標と部屋番号から自動的に壁位置（間取り）を推定する手法を検討する。ここで、「部屋番号」とはノードが位置する部屋の識別子である。提案手法では最小包含長方形を利用して家屋の外形を推定し、その後ドロネー三角形分割を利用することで部屋の隣接関係を導出し、ドロネー辺の串刺し直線により間取り推定を行う。また、実際の家屋の間取りを元に本手法の精度を検証する。

2. 既存の位置推定方式

位置推定のフローチャートを図1に示す。まず、何らかの物理量を測定することで各ノード間の距離を推定する。その後、距離情報を位置推定アルゴリズムに与え、各ノードの位置を推定する。位置推定を行う際、見通し通信（LOS: line-of-sight）か見通し外通信（NLOS: non-line-of-sight）かを識別することで、より推定精度を高めることもでき、NLOS 識別と呼ばれる。

2.1 距離測定

距離測定の方法は、超音波を用いる方法と電磁波を用いる方法の2種類に大別できる。超音波を用いる方法は、雑音に弱いという欠点がある。また、無線ネットワークにおいては、通信モジュールのみで実現できる電磁波を用いる方式の方がコストの面で有利である。

電磁波を用いる方法としては、RSS と TOA が主流である。測定精度は TOA の方が RSS よりも優れている。2007年に標準化された無線 PAN (Personal Area Network) 規格である IEEE 802.15.4a [4] は RSS, TOA の両方式に対応しており、今後の普及が見込まれる。

2.2 位置推定アルゴリズム

これまで、様々な位置推定アルゴリズムが提案されている。例として MDS-MAP [5] を挙げる。MDS-MAP は多次元尺度構成法 (MDS: Multidimensional Scaling) を利用した位置推定アルゴリズムであり、位置が既知のノードが全くない場合でも各ノードの位置推定が可能（アンカーフリー）という特長がある。MDS により求めた座標値を初期解として最適化を行うことでさらに推定精度を高めることが可能である [6]。

2.3 NLOS 識別

NLOS 識別には様々な方法があるが、距離測定値の分散などの統計量を基に判定する方法が提案されている [7]。この手法は IEEE 802.15.4a での住宅環境モデルにおいて 95%以上の高い精度での識別を実現している。

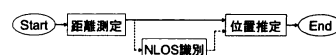


図1 位置推定のフローチャート

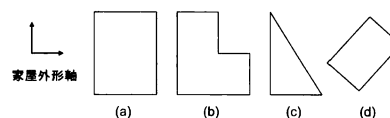


図2 部屋形状の例

3. 間取りの性質

ここでは、一般的な住宅における家屋外形、部屋形状・壁位置について考察する。

3.1 家屋外形

床全体の形状を「家屋外形」と呼ぶことにする。家屋外形は建築時に様々な形状を選択することが可能である。しかしながら、家屋外形は矩形あるいは矩形のごく一部を変形した形状が一般的である。よって、本稿では家屋外形が矩形であることを前提とする。また、家屋外形の各辺に平行な軸を「家屋外形軸」と呼ぶことにする。

3.2 部屋形状・壁位置

部屋の形のことを「部屋形状」と呼ぶことにする。壁位置は、壁を線分と見なして2点の座標により表現できる。以降、単に壁といった場合、内壁のことを指す。

部屋形状は矩形であることが多いが、必ずしも矩形とは限らない。図2に考えられる部屋形状を示す。(a)のような矩形が最も一般的な部屋形状であるが、部屋の隣接関係などにより(b)のようなL字型の形状となることも頻繁にありうる。一方で、(c)のように直角でない角を持つ部屋形状や、(d)のように家屋外形軸と平行でない壁は一般的ではない。

よって、本稿では部屋形状として(a),(b)のように壁が家屋外形軸と平行な場合のみを考慮の対象とし、(c),(d)のような部屋形状は考慮しない。

4. 間取り推定手法

各無線機器（ノード）の位置と部屋番号から壁位置を推定することを「間取り推定」と定義する。

4.1 間取り推定の流れ

本研究では各ノードの座標値と部屋番号が既知として間取りの推定を行う。間取り推定の流れを図3に示す。まず、TOA や RSS の測定を行う。その情報に基づき、ノード i の座標値 (\hat{x}_i, \hat{y}_i) を MDS-MAP などの位置推定アルゴリズムを用いて導出する。また、NLOS 識別あるいは手入力によりノード i の部屋番号 z_i を得る。ただし、 z_i は整数値で部屋数を M とすると $1 \leq z_i \leq M$ である。

こうして得られた $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, z_i)$ を用いて家屋外形の推定・補正を行う。家屋外形軸は3.2で示したように壁位置の推定に大きな影響を与えるため、推定の後ユーザからの入力などにより正しい方向に補正する必要がある。その後、 x, y 軸が家屋外形軸と平行になるように各ノードの座標値を変換する。変換後の座標値を (x_i, y_i) とする。

最後に、 (x_i, y_i, z_i) を用いて間取り推定を行う。間取り推定では各部屋の壁位置の推定を行う。

4.2 計算幾何学による包含・領域分割

点を囲む最も単純な方法として、単に x, y 座標の最小・最大値により壁位置を定める方法がある。しかしながら、この方式では図 2(b) のような L 字型の部屋形状には対応できない。そこで、計算幾何学 [8] による点の包含・領域分割の各手法の利用を検討する。ここでは凸包、最小包含長方形、ポロノイ図、ドロネー三角形分割、および串刺し直線について検討する。

4.2.1 凸包・最小包含長方形

凸包 (図 4) は与えられた点を全て含む最小の凸多角形であり、Graham 走査法などの解法が知られている。間取り推定に凸包を用いることが考えられるが、凸包で得られるのは凸多角形であるため図 2(b) のような L 字型の凹多角形には対応できず、そのままでは利用できない。

最小包含長方形は与えられた点を全て含む最小の長方形である。最小包含長方形は少なくとも凸包の 1 辺と必ず辺を共有することが知られており、キャリパー法 [9] で解くことができる。

最小包含長方形も凸包と同様の理由で間取り推定には利用できない。しかしながら、一般に家電機器が壁際に設置されることや、防犯用の窓センサが家屋外形付近に設置されることを考えると、最小包含長方形を家屋外形の推定に利用することは有力である。

4.2.2 ポロノイ図・ドロネー三角形分割

ポロノイ図 (図 5) は与えられた点集合に対し、どの点に最も近いかという基準により領域分割したものである。分割されたそれぞれの領域はポロノイ領域と呼ばれる。ドロネー三角形分割はポロノイ領域が隣接している母点間に辺を引くことによりできる図 (ポロノイ図の双対グラフ) であり、逐次添加法などの解法が知られている。得られたそれぞれの辺はドロネー辺と呼ばれる。

ポロノイ図の間取り推定への利用を検討する。各ノードの座標値に基づいてポロノイ図を作成し、同一の部屋に位置する (z_i が同一である) ノードのポロノイ領域を併合することにより間取りの概形を得ることができると予想される。しかしながら、この方法で得られる辺は家屋外形軸と平行ではないため、平行にするようにポロノイ領域の頂点を移動させる必要がある。この頂点の調整処理では、一方の頂点の移動により家屋外形軸と平行となったとしても、別の要因により他方の頂点を移動する時に平行関係が崩れてしまう。よってこの方式では逐次的な処理で解くことは困難であり、煩雑な処理が必要となることが予想される。また、図 6(b) に示すように、壁を挟んで壁近くに位置するノード同士が描くポロノイ領域では、実際の辺が x 軸に平行であるのに対して、ポロノイ領域の境界線が垂直に近い状態になることがある。このような場合、例えば上記の頂点調整処理がうまくできたとしても、余分な壁が出現する可能性がある。

以上の考察により、ポロノイ図は間取り推定に直接利用することは困難である。一方で、ポロノイ図あるいはドロネー三角形分割により、どの部屋同士が隣接しているかという情報を知

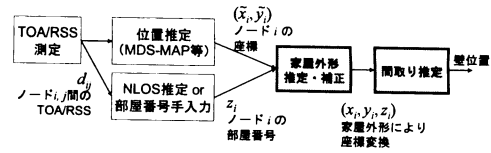


図 3 間取り推定の流れ

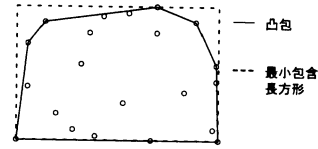


図 4 凸包、最小包含長方形の例

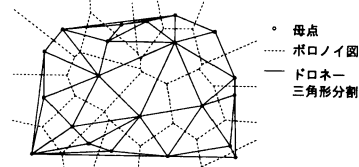


図 5 ポロノイ図、ドロネー三角形分割の例

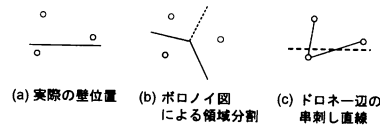


図 6 ポロノイ図、串刺し直線の間取り推定への適用例

ることができるため、間取り推定への何らかの利用が期待できる。

4.2.3 串刺し直線

串刺し直線は与えられた線分を全て串刺しにする直線であり、双対変換を利用する解法が知られている。

串刺し直線の間取り推定への適用を検討する。ある部屋 k の内部に位置するノードと外部に位置するノードを結ぶドロネー辺のみを抽出することにより、ギザギザの形状で部屋を囲むことができる (図 7)。以下ではこの抽出したドロネー辺を「抽出ドロネー辺」と呼ぶことにする。図 7 を見ると、部屋の各辺は抽出ドロネー辺の串刺し直線になっていることがわかる。

よって、ある部屋における壁位置の推定手法として、以下のような方法が考えられる。

- 抽出ドロネー辺を時計回り順に辺集合に追加し、その辺集合に対して家屋外形軸に平行な串刺し直線が引けるかどうかを確認して壁位置を決定。
- 串刺し直線が引けなくなった時点で部屋の角に到達したと見なし、次の抽出ドロネー辺から先ほどの処理を繰り返す。最初の抽出ドロネー辺に到達したら終了。

この方法の利点として、角の数を限定しないため図 2(b) のような L 字型の部屋への適用が可能な点や、図 6(c) のように、壁を挟んだノード間にドロネー辺がある場合でも家屋外形軸に平行な串刺し直線を選択することにより図 6(b) の問題を解消できる点などがある。家屋外形に隣接する部屋に関しては、ド

ロネー三角形分割を行う前に家屋外形の外側にダミーノードを複数配置することによって通常の部屋と同様の処理で壁位置の推定ができる。

よって、抽出ドロネー辺の串刺し直線を用いる方法はこれまでの方法と比較して最も優れていると言える。しかしながら、ノードが斜めに隣接する時に問題となる場合がある。

図8に例を示す。ノード2,3が斜めに隣接しているとき、部屋Bの壁位置を推定する際、ドロネー辺 β が x 軸に平行な壁位置推定にも使用されてしまい、串刺し直線が実際の壁位置よりも内側に配置されてしまう。ノード2,3は y 軸に平行な壁を挟んだ場所に位置するので、辺 β は y 軸に平行な壁を推定する時のみ利用されるべきである。一方で、部屋Aの壁位置推定時にはこの問題は発生しない。

そこで、壁位置推定の前に各ドロネー辺が横切る壁の方向をまず決定し、その後壁位置の推定を行うようにする。説明のため、壁の方向を表す変数 X_{ij}, Y_{ij} を以下のように定義する。

$$X_{ij} = \begin{cases} 0 & e_{ij} \text{ が } x \text{ 軸方向に平行な壁を横切らない} \\ 1 & e_{ij} \text{ が } x \text{ 軸方向に平行な壁を横切る} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 0 & e_{ij} \text{ が } y \text{ 軸方向に平行な壁を横切らない} \\ 1 & e_{ij} \text{ が } y \text{ 軸方向に平行な壁を横切る} \end{cases}$$

ただし、 e_{ij} はノード i, j により構成される抽出ドロネー辺であり、現在処理中の部屋に位置する方のノードを i 、他方を j とする。

図8の例において、ドロネー辺 β を横切る壁を考える。部屋Aでは $(X_{23}, Y_{23}) = (0, 1)$ であり、部屋Bでは $(X_{32}, Y_{32}) = (1, 1)$ となる。よって、これらの論理積を取ると $(0, 1)$ となり、ドロネー辺 β は y 軸方向に平行な壁のみを横切ると決定できる。

4.3 提案間取り推定手法

これまでの考察をもとに、家屋外形推定手法および間取り推定手法を提案する。

4.3.1 家屋外形推定

家屋外形推定では、最小包含長方形を利用する。すなわち、全ノードの最小包含長方形を家屋外形と推定する。

家屋外形軸は壁位置の推定に大きな影響を与えるため、家屋外形推定の後ユーザからの入力などにより正しい方向に補正する。

4.3.2 間取り推定

間取り推定では、ドロネー辺の串刺し直線を利用する。間取り推定アルゴリズムを図9に示す。ただし、各手続き・関数は以下のように定義される。

procedure surround(n : integer);

家屋外形の外側にダミーノード(部屋番号 $z_i = -1$)を n 個配置する。

function findFirst(k : integer): edge;

部屋 k に関する抽出ドロネー辺を一つ見つけてその枝を返す。

function selDir(e_0 : edge; d : dir; **var** e_H, e_T : edge): dir;

傾きが $d(= 1: x$ 軸に平行, $-1: y$ 軸に平行, 0 : 任意)の串刺し直線が引ける間、ドロネー辺 e_0 から時計回り順および反時計回

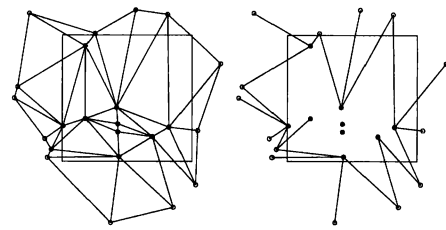


図7 ドロネー辺の抽出例

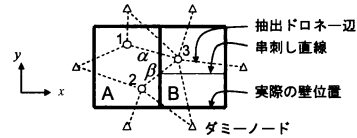


図8 ドロネー辺の配置に依存した問題点

```

L1: procedure layoutEstimation;
L2:   var
L3:      $e_0, e_H, e_T$ : edge;
L4:      $d$ : dir;
L5:      $r$ : range;
L6:   begin
L7:     surround( $n$ );
L8:     for  $k := 1$  to  $M$  do
L9:       begin
L10:         $e_0 :=$  findFirst( $k$ );
L11:         $d :=$  selDir( $e_0, 0, e_H, e_0$ );
L12:        repeat
L13:           $d :=$  selDir(nextEdge( $e_H$ ),  $-d, e_H, e_T$ );
L14:        until include( $e_0, e_H, e_T$ );
L15:        end;
L16:     for  $k := 1$  to  $M$  do
L17:       begin
L18:         $e_0 :=$  findFirst( $k$ );
L19:         $d := 0$ ;
L20:         $r :=$  getRange( $e_0, d, e_H, e_0$ );
L21:        register( $d, r$ );
L22:        repeat
L23:           $d := -d$ ;
L24:           $r :=$  getRange(nextEdge( $e_H$ ),  $d, e_H, e_T$ );
L25:          register( $d, r$ );
L26:        until include( $e_0, e_H, e_T$ );
L27:        end;
L28:     end;

```

図9 提案間取り推定手法の手続き

り順に、抽出ドロネー辺を辺集合 E に繰り返し追加していく。その後、 E の各辺に対して壁の方向により X_{ij} あるいは Y_{ij} に1をセットする。 E の先頭要素と末尾要素をそれぞれ e_H, e_T にセットし、串刺し直線が引ける方向 d を返す。

function nextEdge(e : edge): edge;
時計回り順で e の次の抽出ドロネー辺を返す。

function include(e_0, e_H, e_T : edge): bool;
 e_0 が e_T と e_H の間にあれば真、そうでなければ偽を返す。

procedure register(d : dir; r : range);

壁位置を登録する。ここでは、串刺し直線が引ける範囲の中間値を壁位置と推定する。

```
function getRange(e0: edge; var d: dir; var eH, eT:
edge): range;
selDir と同様の方法でドロネー辺を走査する。この時  $X_{ji}, Y_{ji}$ 
を参照し、走査するドロネー辺を限定する。串刺し直線の方向を  $d$  に、走査した辺集合の先頭要素と末尾要素をそれぞれ  $e_H, e_T$  にセットし、串刺し直線が引ける  $x$  あるいは  $y$  座標の範囲（最小値と最大値）を返す。
```

処理の流れを説明する。前処理として、全ノードを取り囲むようにダミーノードを複数配置する (L7)。その後、部屋ごとに処理を行う。まず、最初の抽出ドロネー辺を探し (L10)、最初の壁の方向を導出し、 X_{ij}, Y_{ij} をセットしていく (L11)。その後、時計回り順に次の壁の方向の導出および X_{ij}, Y_{ij} のセットを繰り返す (L13)。このような処理を最初の枝に到達するまで繰り返す (L14)。

その後 L16 から L27 では X_{ji}, Y_{ji} の情報を用いて余分なドロネー辺を除去しながら壁位置推定を行っている。

5. 評価

5.1 間取りの測定

提案間取り推定手法を評価するため、実在するある家屋において各部屋の大きさ、家電機器の配置をレーザ距離計を用いて測定した。ここで、家電機器とは電灯、AV (Audio Visual) 機器、エアコンなどの生活家電である。また、窓センサや電力線通信-無線ブリッジを考えて、窓の鍵の位置およびコンセントの位置も測定した。測定結果を図 10 に示す。図中のアルファベットは部屋名を表す。どの部屋にも属さない空間があるが、これは壁およびクローゼットである。部屋数は 7 であり、うち 5 部屋は矩形である。ノード数 N は 51 であり、うちコンセントは 12 ノード、電灯は 13 ノードである。

5.2 実験条件

ダミーノード数 $n = 20$ として、以下の 4 条件でそれぞれ実験を行った。

Full 全てのノードに対して提案手法を適用。

Dir 全てのノードに対して X_{ij}, Y_{ij} の情報を使わずに提案手法を適用。

Outlet コンセント以外のノードに対して提案手法を適用。

Light 電灯ノードのみに対して提案手法を適用。

5.3 結果

Full, Dir, Outlet, Light のそれぞれの条件において提案間取り推定手法を適用した結果を図 11, 12, 13, 14 に示す。

推定精度を定量的に評価するため、一致面積率を導入する。一致面積率 R を以下の式で定義する。

$$R = \frac{\sum_{k=1}^M S'_k}{\sum_{k=1}^M S_k}$$

ただし、 S_k は各部屋の実際の面積であり、 S'_k は各部屋の実際の領域と間取り推定による領域が重なっている部分の面積である。一致面積率は、ある位置にノードがいるとして、そのノ

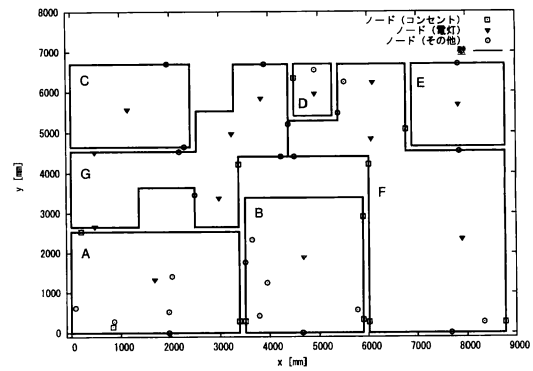


図 10 間取りの測定結果

表 1 各条件に対する提案手法の適用結果

条件名	ノード数	一致面積率 [%]
Full	51	93.7
Dir	51	85.0
Outlet	39	82.0
Light	13	36.6

ドの座標値と間取り推定結果から部屋番号を導出したときに正しい部屋番号となる確率、と考えることができる。

また、間取り推定結果において部屋が重なっている場合に、一致面積率が不当に大きくなる可能性があるため、事前に重ならないように処理を施してから評価する必要がある。今回は、角の数が少ない方の領域に属するようにした後一致面積率を計算する。

各条件における一致面積率を表 1 に示す。条件 Full が最も高く、 $R = 93.7\%$ となった。

5.4 考察

条件 Full では、部屋 G 以外の部屋では部屋形状が一致している。これは良好な結果といえる。一方で、部屋 G は部屋 B の領域と重なっている。これは、重なっている領域にノードが存在しないために起こっている。この問題は重なっている領域をどちらかの領域（例えば、角の数が少ない方の領域）のみに属するようにする後処理を行うことで解決できると考える。

条件 Dir ではほとんどの部屋で壁位置が条件 Full よりも内側に配置されている。この原因は、例えば部屋 C の左下の角の場合では、ドロネー辺 α が x 軸に平行な壁だけでなく y 軸に平行な壁の位置推定にも使用されているため、左端の壁が右側にずれている。一方条件 Full では、ドロネー辺 α が部屋 G において x 軸に平行な壁のみに使用されている、という情報を用いて部屋 C の壁位置を再推定しているため、上記のような問題は発生しない。したがって、 X_{ij}, Y_{ij} の情報の利用は有効である。

条件 Outlet では一部の部屋間で壁位置が一致していない場合がある。例えば、部屋 D の左端の壁は部屋 G の右端の壁位置と一致していない。これは、部屋 G の壁位置推定において部屋 DG 間、FG 間の両方のドロネー辺を用いているのに対し、部屋 D の壁位置推定では部屋 DG 間のドロネー辺しか用いていないためである。この問題はドロネー辺のグループ化を行い、部屋 DG 間のドロネー辺を部屋 FG 間のドロネー辺と関連づけ

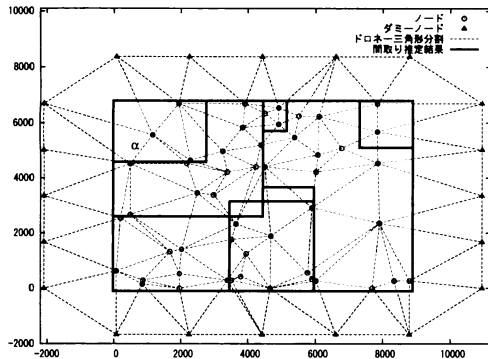


図 11 条件 Full に対する提案手法の適用結果

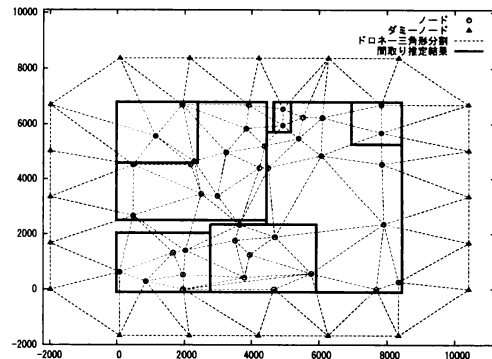


図 13 条件 Outlet に対する提案手法の適用結果

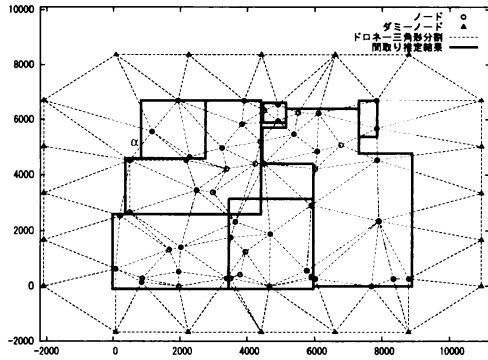


図 12 条件 Dir に対する提案手法の適用結果

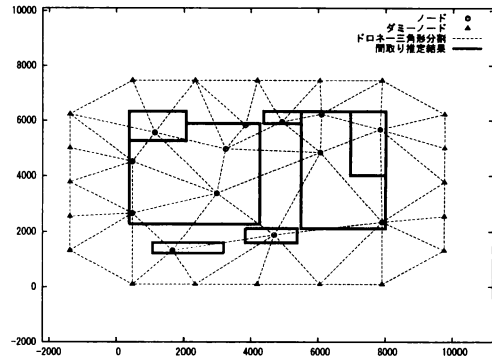


図 14 条件 Light に対する提案手法の適用結果

ることによって解決できることが予想される。

条件 Light では、部屋が斜めに隣接しているという現象が起きている。これは、ノード数が少ないため部屋間の隣接方向に関する情報が十分に得られず、 X_{ji}, Y_{ji} を用いても壁の方向を限定できていないことに起因する。

6. まとめ

本研究では屋内位置推定システム向け間取り推定手法の提案を行った。本手法では各ノードの座標値と部屋番号を用いて各部屋の壁位置を推定する。壁位置推定には抽出ドローン辺の串刺し直線を利用する。本手法を実際の家屋におけるノード配置に対して適用した結果、面積一致率が 93.7% となり、それ以外に関しては良好な結果が得られた。一方で、ノード数が減ったときに一部の部屋で推定壁位置が実際より内側になってしまう現象が確認された。これはドローン辺のグループ化により解決できると予想される。

今後はまず上記のグループ化処理の検証を行う。また、ノードをランダム配置し、ノードの密度と間取り推定精度の関係性を検証する。さらに、実際のノード位置推定処理では推定位置に誤差が含まれるため、誤差が含まれる場合の壁位置推定手法を検討する必要がある。

文 献

[1] M. Ise, Y. Ogasahara, K. Watanabe, M. Hatanaka, T. Onoye, H. Niwamoto, I. Keshi, and I. Shirakawa, "Design and Implementation of Home Network Protocol for Appli-

ance Control Based on IEEE 802.15.4," International Journal of Computer Science and Network Security, vol.7, no.7, pp.20-30, July 2007.

- [2] K. Watanabe, M. Ise, T. Onoye, H. Niwamoto, and I. Keshi, "An Energy-efficient Architecture of Wireless Home Network Based on MAC Broadcast and Transmission Power Control," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol.53, no.1, pp.124-130, Feb. 2007.
- [3] N. Patwari, J.N. Ash, S. Kyperountas, A.O. Hero III, R.L. Moses, and N.S. Correal, "Locating the Nodes: Cooperative Localization in Wireless Sensor Networks," IEEE Signal Processing Magazine, vol.22, no. 4, pp.54-69, July 2005.
- [4] IEEE Std 802.15.4a, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 1: Add Alternate PHYs," Aug. 2007.
- [5] Y. Shang, W. Ruml, Y. Zhang, and M.P.J. Fromherz, "Localization from Mere Connectivity," Proc. the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing, pp.201-212, June 2003.
- [6] Y. Shang and W. Ruml, "Improved MDS-based Localization," Proc. IEEE Infocom '04, pp.2640-2651, Mar. 2004.
- [7] I. Güvenç, C-C. Chong, F. Watanabe, and H. Inamura, "NLOS Identification and Weighted Least-squares Localization for UWB Systems Using Multipath Channel Statistics," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol.2008, issue 1, article no.36, Jan. 2008.
- [8] M.D. Berg, M.V. Kreveld, M. Overmars, and O. Schwarzkopf, *Computational Geometry: Algorithms and Applications*, Springer-Verlag, 2000.
- [9] G. Toussaint, "Solving Geometric Problems with the Rotating Calipers," Proc. MELECON '83, May 1983.