

## 測位方式 WiPS を用いた無線 LAN 端末の動き検出の応用

北須賀 輝明<sup>†</sup> 久住 憲嗣<sup>††</sup>  
中西 恒夫<sup>†,†††</sup> 福田 晃<sup>†</sup>

あらまし 位置測定技術に対する多様なニーズから屋内で容易に用いることができる位置測定技術の登場が待ち望まれている。屋内での位置測定は超音波や無線 LAN を用いて様々な研究・開発がなされているが、部屋に専用設備を設置する必要があるものや、事前のキャリブレーション作業が必要であるため、簡便さに欠ける。本論文では、市販の PDA と無線 LAN カードの組合せで容易に位置測定を行うことができ、測位インフラの低コスト化を狙った位置測定方式 WiPS の実装について述べ、WiPS を用いた端末の動き検出実験について述べる。WiPS は無線 LAN 端末が相互に受信信号強度を計測することで位置測定の高精度化を目指す測位方式である。実験の結果、端末間の距離が約 40cm から 1.3m の間で変化したことを、平均 4.8 秒で検出することが可能であった。

キーワード 屋内位置測定, 測距, 無線 LAN, IEEE 802.11, 受信信号強度

### An Application of Motion Detection of Wi-Fi Terminals using the Positioning System WiPS

TERUAKI KITASUKA<sup>,†</sup> KENJI HISAZUMI<sup>,††</sup> TSUNEO NAKANISHI<sup>†,†††</sup>  
and AKIRA FUKUDA<sup>†</sup>

*Abstract:* To meet the diverse needs of positioning technology, easy and simple indoor positioning technology is craved. As indoor positioning technology, there are ultrasonic based systems, GPS pseudolite, Wireless LAN based system and so on. These systems require high installation cost or long calibration before use. In this paper, we describe the implementation of simple wireless LAN based indoor positioning system WiPS. WiPS requires only off-the-shelf PDAs and IEEE 802.11 LAN cards. We perform an experiment of movement detection. The experiment is a flag game, which the person pumps and dumps the PDA. As results of the experiment, WiPS detects the movement of PDA in 4.8 sec. in average.

*Keywords:* Indoor positioning system, Distance measurement, Wireless LAN, IEEE 802.11, Received signal strength

#### 1. 背景と目的

本論文では、無線 LAN 端末を所有するユーザの位置を推定する位置測定方式 WiPS (Wireless LAN based Indoor Positioning System) の実装について述べ、その応用例として無線 LAN 端末の動きを検出する実験を行い、その結果を報告する。WiPS では、無線 LAN の受信信号強度 (RSSI; Received Signal Strength Indicator) を各無線 LAN 端末で測定し、測定データを位置測定サーバで集計することによって各無線 LAN 端末の位置を推定する。主として屋内での位置測定

を対象とし、目標とする精度は 50cm、1 秒間隔での位置測定を目指している。

すでに無線 LAN を用いた位置測定システムは研究が進み、一部は実用化されている<sup>1)~6)</sup>。しかしながらこれらはキャリブレーションが必要であったり、専用のアクセスポイントを必要とするなど広く普及するには多くの課題があると考えられる。

筆者らはキャリブレーションを不要にしつつ、汎用の無線 LAN 端末で位置測定を行うシステムの実現を目指して、WiPS を提案している<sup>7),8)</sup>。本論文では開発中の WiPS の実装について述べる。市販の PDA に無線 LAN カードを装着したものを無線 LAN 端末とし、ノート PC を位置測定サーバとしている。図 1 に機器構成を示す。

既存の位置測定システムにおいては各無線 LAN 端末の位置測定をする際に、それぞれの端末を独立して測定しており、端末間の相対的な位置関係を利用していない。WiPS では無線 LAN 端末間の相対的な位

<sup>†</sup> 九州大学 大学院システム情報科学研究院  
Faculty of Information Science and Electrical Engineering,  
Kyushu University

<sup>††</sup> 科学技術振興機構  
Japan Science and Technology Agency

<sup>†††</sup> 九州大学 システム LSI 研究センター  
System LSI Research Center, Kyushu University

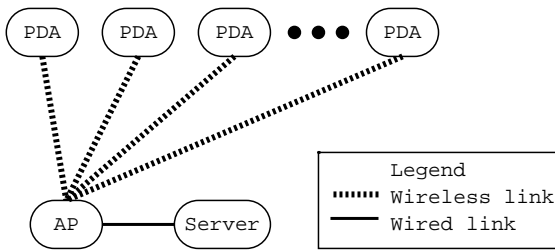


図1 WiPS 実験システムの機器構成．PDA が位置測定の対象であり，Server が収集した受信信号強度情報に基づいて位置測定を行う．

置関係を考慮することで，キャリブレーションをすることなく位置測定の精度の向上を狙う．WiPS では，各無線 LAN 端末は周囲の無線 LAN 端末がデータ送信などでアクセスポイントと通信する際の電波を監視することで，無線 LAN 端末相互の受信信号強度を測定する．無線 LAN 端末相互の受信信号強度から端末間の相対的な位置関係を推定することによって，位置測定精度の向上が見込まれる．

無線 LAN を用いた位置測定技術の利用は，図書館やスーパーにおける利用者への情報提示，公衆無線 LAN を利用した歩行者ナビゲーション，倉庫内の物品管理を RF タグと組み合わせて行うなど様々考えられ，すでに一部は実験的に利用されている．また，位置測定技術は近年注目されているユビキタスコンピューティングの要といえるロケーションアウェアネスで必須のインフラである．ロケーションアウェアネスが容易に実装・テストできる環境を整えることでユビキタスコンピューティングの研究・開発がなお一層加速するものと考えられる．

本論文の構成は次の通りである．2 章で関連研究を述べ，3 章で一般的な位置情報の利用シーンについて述べる．4 章で WiPS の概要を述べた後，5 章で実装方法について述べ，6 章で動き検出の実験結果を述べる．最後に 7 章でまとめと今後の課題を述べる．

## 2. 関連研究

本章では既存の無線 LAN を用いた位置測定システムと，無線 LAN 以外の位置測定システムについて簡単に述べる．

近年位置情報の利用に関する研究が盛んに行われている<sup>9)</sup>．無線 LAN を用いた位置測定システムとして最初のもは RADAR<sup>1)</sup>と考えられる．無線 LAN を用いることで，データ通信と位置測定が単一デバイスで行えるという利点が見られる．RADAR は受信信号強度 (RSSI; Received Signal Strength Indicator) をアクセスポイントで測定し，無線 LAN 端末の位置を測定するシステムである．同様に RSSI を用いるシステムとして，文献<sup>2)</sup>や Ekahau Positioning

Engine<sup>3)</sup> があげられる．いずれも RSSI の測定データと位置のマップを作成するキャリブレーションの作業が必要である．マルチパス (壁などに反射して届いた電波) の影響があるためにキャリブレーションが必要となる．受信信号強度による位置検出を高精度化する検討も行われている<sup>10)</sup>．この検討は携帯電話網を対象としているが，RSSI を用いる点で無線 LAN 位置測定にも適用可能なものと考えられる．

AirLocation<sup>4),5)</sup> は RSSI を用いず，TDOA を用いた位置測定を行う．TDOA は，無線 LAN 端末が出すビーコンを複数のアクセスポイントで受信し，受信時刻のずれから無線 LAN 端末の位置を測定する．キャリブレーションを必要としない点が RSSI と比較して優れている．ただし，複数のアクセスポイントが高い精度で時刻同期し，ビーコンの受信時刻を正確に計測する必要があるため，アクセスポイントには専用のハードウェアが必要である．時刻同期の精度は光速が  $3.00 \times 10^8$  m/s であることから，1 ns (1GHz) 精度で 0.3 m に相当する．

最後に無線 LAN 以外の位置測定システムについて述べる．GPS は衛星を用いた地球規模の測位システムである．通常は数 m 精度だが，高精度 (mm オーダ) なキネマティック GPS も開発されている．GPS と比較すると，無線 LAN を用いた位置測定は屋内でも利用可能であることが利点である．無線 LAN でも通常の GPS と同程度かそれ以上の精度で位置を測定できることが期待される．一方，Active Bat<sup>11),12)</sup> や Dolphin<sup>13),14)</sup> など超音波を用いた位置測定も研究レベルで実現されており，屋内での利用が可能で，10 数 cm から数 mm という非常に高い精度での位置検出が可能である．ただし，超音波を用いた位置測定は超音波発信機をユーザが持ち，環境側 (利用する場所) に超音波センサを設置しなければならないが，専用のハードウェアを用意する必要がある点で普及に難しさが残る．このほかにも日本では GPS レシーバを搭載した携帯電話が急速に普及し，米国でも携帯電話の位置を特定できるよう E-911 プロジェクト<sup>15)</sup> が進められている．さらに RFID を用いた物品の位置管理や，人の位置管理といった利用も注目を集めている．

## 3. 位置情報の利用シーン

本章では一般的な位置情報の利用シーンについて述べ，相対位置の重要性について考察する．道案内，施設内情報提供，倉庫での物品管理という 3 つの代表例をとりあげる．

道案内としてカーナビゲーションや歩行者ナビゲーションが挙げられる．歩行者への道案内は国内携帯電話キャリアによって商用化されている．ユーザの位置情報は地図上の位置として提供され，地図にはユーザの現在位置とともに目的地へのルートが表示される．

ユーザは周囲のランドマークと地図を照らし合わせながら移動することで目的地に移動する。

図書館、書店、スーパーマーケットなどの施設において、施設内情報を提供する際に位置情報を利用して、顧客の利便性を向上させることができる。商用の測位システムが一部の施設に実験的に導入されており、スーパーマーケットでは広い店内で顧客が欲しい商品を購入できるように情報提供を行っている<sup>3)</sup>。また国内書店での実証実験では、書店では利用者が本棚に近づくとその棚の売れ筋書籍のデータが配信される<sup>16)</sup>。

上記 2 例は人のナビゲーションを対象としたものであるが、このほかに物の所在を把握・管理するために位置情報を用いるといった利用シーンもある。倉庫などにおける物品管理がその例である。例えば鉄道貨物分野で、業務効率化によるコスト削減を目的として、コンテナや貨車に RF タグを取り付け、フォークリフトに GPS と RF タグリーダーを取り付けることで、フォークリフトによって移動するコンテナの現在位置を常時把握するシステムが開発され、2004 年 1 月から試験運用が始まっている。

このように位置情報はさまざまな利用シーンが考えられ、ユーザのニーズを満足させ、また企業の省力化を進めるキーテクノロジーとなっている。

いずれの場合においても、相対的な位置関係が重要であるといえる。すなわち、図書館やスーパーマーケットにおいては本棚や商品棚と利用者との相対位置に応じて利用者に情報提供を行っている。また、物品管理においても物品を移動する際には担当者は物品の前に行く必要があり、物品と人との相対的な位置関係が必要になる。このような利用シーンを考慮すると、それぞれの人やもの位置測定を行う際に、相対位置を正確に捉えることが重要であると、筆者らは考える。特に位置測定誤差が多い無線 LAN の受信信号強度による測位の場合には、相対位置の精度向上によって応用範囲が広がるものと考えられる。

#### 4. WiPS の概要

本章では WiPS のシステム概要と特徴を述べる<sup>7)</sup>。WiPS は無線 LAN 端末が周囲の無線 LAN 端末の出すパケットを受信し、その際に受信信号強度を測定することで、無線 LAN 端末間の距離を推定し、位置測定を行う。これまで提案されてきた受信信号強度に基づく位置測定システムと違い、WiPS ではすべての無線 LAN 端末が受信信号強度を測定する側と測定される側という両方の役割を担う。これにより、収集するデータ数を増加させ、位置測定精度の向上を狙う。すなわち (1) 従来方式と同様に、アクセスポイントなどの位置を測位基準として無線 LAN 端末と測位基準間の受信信号強度を計測し、加えて (2) 周囲の無線 LAN 端末間の受信信号強度を端末間で計測し、これら (1)、

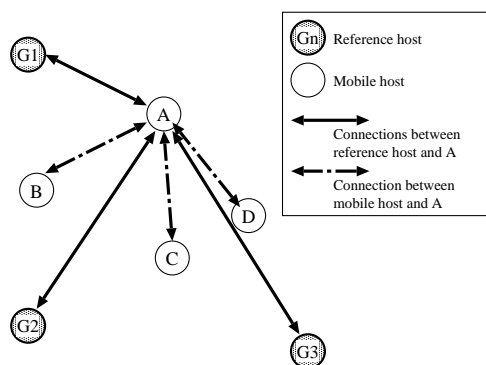


図 2 WiPS の仕組み。無線端末 A の位置を特定する際、従来は基地局との位置関係のみを計測していたが、本方式では無線端末間での位置関係も計測する

(2) を組み合わせて三辺測量の原理で測位を行う。図 2 の無線 LAN 端末 A を例にとると、WiPS では端末 A は測位基準のアクセスポイント G1, G2, G3 の送信パケットのみならず、端末 B, C, D の送信パケットについても受信信号強度を測定し、位置測定に用いる。

上記の仕組みにより WiPS は次のような特徴を備えることをシミュレーションによって確認している。

- 空間あたりの無線 LAN 端末の台数が増加するにしたがって測位精度が向上する。
- 測位基準の台数が少なくてもある程度の測位精度を確保できる。

ただし、このシミュレーションでは、伝播損失モデルは既知と仮定し、受信信号強度から得られる端末間の測定距離は、実距離に比例したランダムな誤差が含まれることを仮定した。

WiPS では、各無線 LAN 端末は周囲の端末が送信したパケットの受信信号強度を測定し、位置測定サーバにこの情報を通知する。位置測定サーバには複数の無線 LAN 端末から受信信号強度のデータが集まる。位置測定サーバでは、すでに位置が分かっている無線 LAN 端末の位置と端末間の受信信号強度から、端末の位置を計算する。測位サーバでは、自由空間伝播損失をもとに受信信号強度から距離をもとめ、端末間の距離関係を満たすように端末の位置を計算する。さらに、データの鮮度などに基づき位置の計算を行うことによって、端末の移動に対してより正確な位置を求めることが可能になると考えられる。

#### 5. WiPS の実装

本章では WiPS の実装例として構築した実験システムと、伝播損失モデルについて述べる。

##### 5.1 実験システムの実装

図 1 に実験システムの構成を示す。位置測定対象の無線 LAN 端末として PDA を、サーバと PDA 間の通信用にアクセスポイント (AP) を配置し、位置測

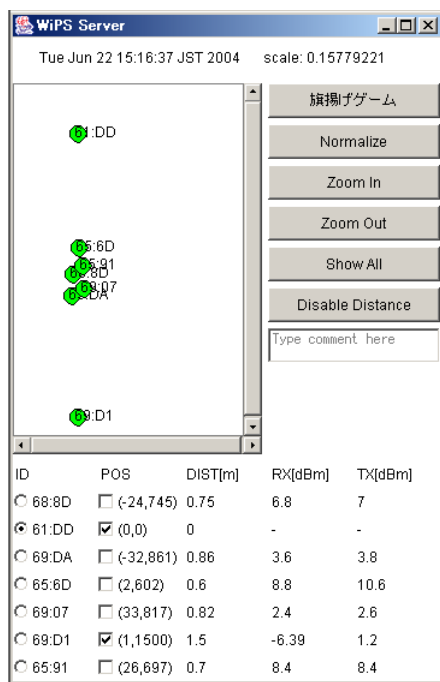


図 3 WiPS サーバスクリーンショット。

定サーバ (Server) が位置測定を行う。なお本実装では、アクセスポイントを位置測定の基準には用いず、PDA のいずれかを位置の基準として用いている。

図 3 に位置測定サーバのスクリーンショットを示す。この図は 7 台の PDA を用いた場合を示している。サーバ画面では、左上部の が各 PDA に対応し、それぞれの位置を 2 次元平面上で示している。画面下部は端末リストであり、POS 欄にチェックが付いている端末 (61:DD, 69:D1 の 2 台) は位置測定の基準になる PDA である。端末リストには位置測定状況を数値で表しており、選択した PDA (61:DD) から他の PDA までの距離や、計測した受信信号強度値を表示している。画面右上部のボタンは左上部の表示縮尺を変更する場合などに使用する。

各 PDA の構成は次の通りである。

- OS: linux-2.4.18-rmk7-pxa3 ベースの Embedix
- CPU: Intel XScale (PXA250 400MHz)
- 無線 LAN カード: IEEE802.11b 準拠コンパクトフラッシュ Type II . PrismII チップセット。
- 無線 LAN ドライバ: wlan-ng ver. 0.1.12 修正版

各 PDA の動作の概要を図 4 を用いながら述べる。各 PDA の搭載した無線 LAN デバイスをプロミスキヤスモード (promiscuous mode) で動作させることにより、周囲の PDA がアクセスポイント宛に送信し

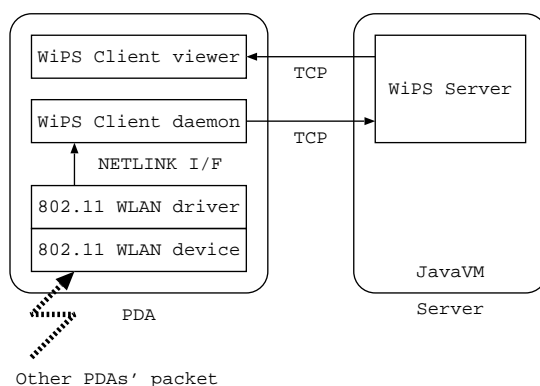


図 4 WiPS 実験システムのソフト構成。

たパケットを取り込む。プロミスキヤスモードで動作させるために `wlanctl-ng eth0 dot11req_mibset mibattribute=p2PromiscuousMode=true` コマンドを用いる。プロミスキヤスモードで取り込んだパケットには自ホスト宛のパケットだけでなく、他ホストからアクセスポイントへのパケットなども含まれる。パケットのヘッダには無線 LAN デバイスが測定した受信信号強度が付加されており、無線 LAN ドライバは送信 MAC アドレスと受信信号強度の情報を取り出す。

無線 LAN ドライバは通常通りデータパケットを TCP/IP スタックに渡す処理を行う。それに加えて、ドライバは取り込んだパケット毎に NETLINK インタフェースを用いて、送信元 MAC アドレスと受信信号強度の情報を WiPS クライアントデーモンに通知する。PDA に標準搭載されているドライバは、NETLINK インタフェースへの通知と、無線 LAN でのデータ通信を排他的に使用するよう実装されていたため、今回の実装ではデータ通信と受信信号強度情報の収集を同時に行えるように無線 LAN ドライバの修正を行った。NETLINK インタフェースによる実装を選択したのは、実験に用いた PDA に搭載されているドライバがサポートしていたためである。

WiPS クライアントデーモンは周辺 PDA の受信信号強度情報を一定時間あるいは一定パケット数収集した後、WiPS サーバに通知する。今回の実験では 5 パケットごとに通知するものとした。WiPS クライアントから WiPS サーバへの通知のデータフォーマットを表 1 に示す。受信信号強度の通知は、表中の開始時刻から最終時刻までの間に受信したパケットについて、平均の受信信号強度を求めて WiPS サーバに通知している。また、WiPS クライアントデーモンは起動時に、NETLINK インタフェースを初期化し WiPS サーバに TCP で接続し、自身の MAC アドレスをサーバに登録する。サーバへの MAC アドレスの登録は表 1 の自 MAC アドレスのデータフォーマットで行う。サーバ側では各クライアントを MAC アドレスで識別する。

PDA 本体はシャープ (株) 製 Zaurus SL-B500 を使用し、無線 LAN カードは (株) パツファロ製 WLI2-CF-S11 を使用している。

表 1 クライアントからサーバへの通知データフォーマット

通知項目	通知内容
自 MAC アドレス	MAC “MAC アドレス”
受信信号強度	SIGNAL “MAC アドレス” 平均強度 バケット数 開始時刻 最終時刻

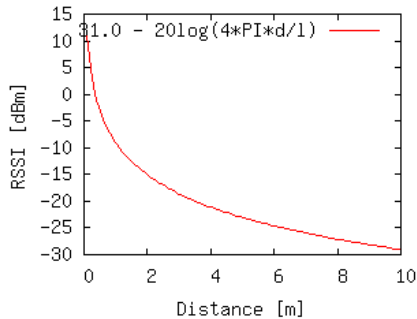


図 5 受信信号強度 (RSSI) と距離の関係。

WiPS サーバでは、各クライアントからの最新の受信信号強度の通知を用いて、定期的に各クライアントの位置決定を行う。6章の実験では WiPS サーバにノート PC (Pentium III 600MHz, 256MB メモリ) を用いている。

### 5.2 伝播損失モデル

WiPS サーバは各 PDA 上で動作する WiPS クライアントデーモンからの受信信号強度の情報を基に、各 PDA の相対位置を求める。受信信号強度  $P_r$  と距離  $d$  の関係は自由空間伝播損失を用いて次式で与える。

$$P_r(d) = P_0 - 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ [dBm]} \quad (1)$$

ただし、

$$P_0 = \text{距離 } 0 \text{ における受信信号強度}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}{2.4 \text{ [GHz]}}$$

とする。今回  $P_0$  は 31.0 [dBm] としている。この値は端末間距離が 2m の場合のデータを基準に実験的に決定した。このときの RSSI と距離の関係を図 5 に示す。図からもわかるように、距離が離れるほど距離あたりの減推量が小さくなるため、RSSI 測定誤差が推定距離に与える影響が大きくなる。

屋内での実験では自由空間伝播損失モデルからの乖離が激しいことを確認している。例えば、図 3 の表示例では PDA 7 台を 25cm 間隔で等間隔に配置し、両端の 2 台の位置をあらかじめ与えて計測している。計測結果からは PDA が等間隔であることは得られていない。これは伝播モデルが実環境と乖離していることが主な理由である。ほぼすべての端末間の測定距離は、実距離の半分かそれ以下になっている。例えば実際には 25cm 離れている PDA 間でも受信信号強

度から求められた測定距離は 10cm 程度と 25cm を大きく下回る距離を示している。その結果、位置測定対象 PDA は中心付近に密集した位置測定結果になっている。

しかしながら、PDA の順序関係は正確に再現できていない。図 3 の中間に位置している PDA 5 台が位置測定対象の PDA で、この 5 台が実際に並んでいる順番は 61:DD 側 (上側) から 65:6D, 65:91, 68:8D, 69:07, 69:DA である。図中の計測結果でもその順序は正しく計測されていることが確認できる。よって、伝播損失モデルと実環境の乖離がある場合においても、どの端末がより近くにあるかといった端末間の相対的な位置関係は高い確率で取得できるものと思われる。

## 6. 動き検出への応用

本章では WiPS を実環境で動作させ、動きの検出を行った結果について述べる。動き検出を行う応用例として、古典的な旗揚げゲームをユーザに行ってもらい、その動きを WiPS で検出するという評価を行った。

### 6.1 旗揚げゲームの概要

出題者と回答者の 2 人のユーザで行う。出題者は左手 (赤)、右手 (白) を上げ下げするように回答者に指示する。例えば「赤上げて」といった指示である。回答者が指示に従って左右の手を上げ下げすると、画面上の人形も旗を上げ下げする。出題者は画面を見て回答者の動きを判断する。回答者の動きは 3 台の PDA を用いて検出する。3 台の PDA のうち、2 台は回答者が左右の手に 1 台ずつ保持し、残る 1 台は回答者の手前の机に置く。回答者と机の間隔は 30cm 程度であり、手を下ろした状態では机上の PDA と手に持った PDA の距離は 40cm 程度、手を上げた状態では 1.3m 程度となる。この距離の差 90cm 程度を検出することで、WiPS は回答者の手の上下を判定する。

WiPS の処理結果 (回答者の手の上下状態) は、図 6 に示す旗揚げゲーム画面によって表示する。画面左右のそれぞれ 5 つの四角が左右の手に対応するレベルメータで、5 つすべてが点灯なら手を上げていることを表し、5 つすべてが消灯なら手を下げていることを表す。画面下部は机上、右手、左手にどの PDA があるのかを指定する部分である。

WiPS はこの 3 台の PDA の位置を受信信号強度から求める。旗揚げゲームでは、机に置いた PDA を基準にして、回答者の保持している PDA までの相対距離が一定値 (閾値) を超えたときに手が上がっていると判断し、一定値を下回ると下がっていると判断する。

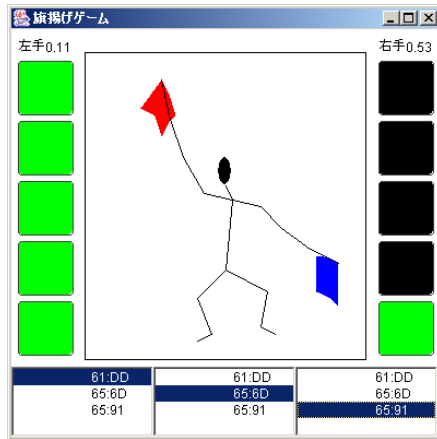


図 6 旗揚げゲームスクリーンショット。

表 2 旗揚げゲーム時の状態検出。

状態	右手と机	左手と机
右上上, 左手下	遠い	近い
右上上, 左上上	遠い	遠い
右手下, 左手下	近い	近い
右手下, 左上上	近い	遠い

つまりそれぞれの手に持った PDA と机上の PDA の距離の遠近を手の上下とみなしている。そのため、回答者が手を机から遠ざけるといった動作をしても手を上げたものと判断する。定性的には表 2 に示すような関係になる。

旗揚げゲームの判定の閾値となる距離は、ゲーム中に計測された相対距離の最小距離と最大距離を元に動的に決定している。これは 5.2 節で述べたように、実環境が WiPS の伝播損失モデルから乖離している場合、すなわち WiPS で得られた PDA 間の相対距離が実際の距離からずれている場合でも、うまく判定を行うための工夫である。判定の閾値は次式で与えている。

手が上がっている：相対距離  $>$  最小距離  $+ 0.7 \times$  幅  
 手が下がっている：相対距離  $<$  最小距離  $+ 0.3 \times$  幅  
 (ただし 幅 = 最大距離 - 最小距離)

この閾値の決定方法のために、回答者は最初に出題とは無関係に両手を上げ下げするというキャリブレーションを行う必要がある。判定で用いる相対距離は、受信信号強度から直接計算した端末間距離を用いるのではなく、WiPS サーバで位置測定を行った結果から求めている。

### 6.2 実験結果

回答者が手を上げ下げしてから、WiPS がはじめて正しい状態を表示するまでの時間 (応答時間) をストッ

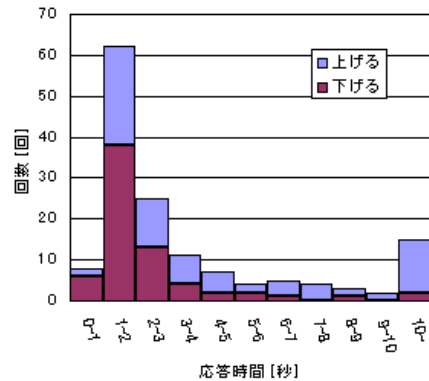


図 7 応答時間の分布。

プウォッチで計測した。のべ 6 人に約 25 回ずつ出題し、合計 146 回の計測を行ったところ、応答時間の平均は 4.8 秒であった。ただし、一旦正しい状態を表示した後に、再度上がりかけ (または下がりかけ) の状態を表示するという計測ぶれが起こる場合があり、その場合でも最初に正しい状態を表示した時刻で時間計測を行った。このような計測ぶれは、受信信号強度の計測値に含まれるノイズのために発生する。

応答時間を手を上げた場合と下げた場合に分けて分析する。まず、回答者が手を上げた場合の平均は 6.9 秒、手を下げた場合の平均は 2.5 秒であった。手を下げるほうが上げる場合より俊敏に反応することが分かる。図 7 に応答時間の分布を、手の上げ下げ別に表示。グラフは、応答時間が 1 秒から 2 秒の間を例にとると、手を上げた場合が 24 回、下げた場合が 38 回、合計 62 回であることを表している。

手を上げた場合の応答時間 (平均 6.9 秒) の内訳は、試行回数の 5 割が 3 秒以内で、最良値は 0.8 秒である。しかしながら、17% の試行が 10 秒を超えてしまい、最悪値は 52 秒である。この遅さの原因として、距離が離れるほど距離あたりの受信信号強度の減衰量が減少し (図 5 参照)、受信信号強度の計測ノイズの影響が距離に大きな影響を与えることが考えられる。また、もうひとつの原因として、前述の最大距離を用いた閾値の決定方法が考えられる。つまり、一旦ノイズ等で非常に長い距離を計測すると、判定の閾値が上昇し、閾値を超える機会が減少することである。後者は閾値を固定することで容易に対応可能であるが、今回は閾値を固定しての実験は行っていない。

手を下げた場合の応答時間 (平均 2.5 秒) の内訳は、1 秒以内が試行回数の 10% 弱あり、2 秒以内に 60% 強、3 秒以内に 80% 強が含まれる。最良値は 0.7 秒、最悪値は 14 秒である。応答時間が最良でも 0.7 秒程度となっているのは、WiPS サーバの測定位置の更新間隔によって律速されているものと考えられる。WiPS サーバは PDA からの受信信号強度を随時受信しているものの、測定位置の更新は平均 1.3 秒間隔で行って

旗揚げゲームの判定の閾値となる距離を動的に決定しているのは、本文中の理由のほかに、身長の高い人にも対応するという目的もある。

表 3. 送信受信パケット数 [パケット/秒]

送信元	送信回数	プロミスキャス受信数		
		PDA1	PDA2	PDA3
PDA1	9.5	-	6.7	6.7
PDA2	9.4	6.8	-	6.7
PDA3	9.5	7.0	6.9	-
AP	NA	33.4	32.8	33.3
その他	NA	0.4	0.4	0.4

いる。

次に位置測定に関する通信量について述べる。表 3 に 1 秒あたりの平均パケット数を示す (計測時間約 50 分)。送信回数は各 PDA が WiPS サーバに対して送信した受信信号強度通知の 1 秒あたりの回数である。プロミスキャス受信数は、送信元 PDA が送信したパケットを他の PDA がプロミスキャスモードで受信したパケット数を表している。受信信号強度通知よりもプロミスキャス受信数が少ないことから、複数の通知が 1 つの TCP パケットで送信されていることが推測できる。また、アクセスポイントやその他の無線 LAN 機器が送信したパケットもプロミスキャスモードで受信している。各 PDA は送信元毎にプロミスキャス受信したパケット数が 5 パケットになると、受信信号強度通知を送る。1 回の通知のサイズは 70 バイト程度であることから、各 PDA は 6kbps 程度で WiPS サーバにデータを送信している。

## 7. ま と め

本論文では、無線 LAN 端末の位置測定を行うシステム WiPS (Wireless LAN based indoor Positioning System) の実装について述べ、その応用例として無線 LAN 端末の動きを検出する実験を行った。

実装は、市販の Linux PDA に無線 LAN カードを取り付けた簡便な端末を複数台用意し、位置測定の基準端末と測定対象端末のどちらにもこの端末を用いた。PDA にはカスタマイズした無線 LAN ドライバとデーモンプログラムをインストールし、WiPS サーバと無線 LAN を介して通信し、サーバ上で位置測定の処理を行う。

実験は、古典的な旗揚げゲームを作成し、ユーザが手を上下いずれかに動かしてから WiPS がそれを検出するまでの応答時間を計測した。この実験では、ユーザが両手それぞれに PDA を持ち、目の前の机にもう 1 台の PDA を置いた状態で、ユーザの手の上げ下げを検出した。手を上げ下げすることで、手に持っている PDA と机上の PDA の間の距離は約 40cm から 1.3m まで 90cm の幅で変化する。ユーザが手を上げる場合は平均 6.9 秒、下げる場合は平均 2.5 秒の応答時間で検出することができた。

今後は、複数人が各自の端末を持ち寄った場合といった、より現実的な状況における位置測定精度、位置測

定の時間応答性、ネットワーク負荷、消費電力量などの性能評価を行う。その他の課題として、現状の実験システムでは無線 LAN 端末として均一な PDA を用いたが、無線 LAN 端末ごとのアンテナ特性が異なる場合など、不均一な端末環境の扱い方が挙げられる。また、測定データから位置測定の精度を検出できる仕組みも検討すべき課題としてあげられる。送信電力制御への対応も検討が必要である。

謝 辞

本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度、および文部科学省科研費 (萌芽研究 15650004, 若手研究 (B) 15700062) による助成を受けている。

## 参 考 文 献

- 1) P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *Proc. of IEEE infocom 2000*, pp. 775-784, 2000.
- 2) 小川 智明, 吉野 修一, 清水 雅史, "学習機能を用いたロケーション検出方法の検討," 信学技報 NS2002-79, RCS2002-107, pp. 13-18, 2002.
- 3) Ekahau, Inc., "Ekahau Positioning Engine," <http://www.ekahau.com/products/positioningengine/>.
- 4) 荻野 敦, 恒原 克彦, 渡辺 晃司ほか, "無線 LAN 統合アクセスシステム - 位置検出方式の検討 -," 情処学 DICOMO2003, 2003 年 6 月.
- 5) 無線 LAN 位置検知システム「日立 Air-Location(TM)」, 2003 年 11 月, <http://www.hitachi.co.jp/Prod/vims/solutions/ssup/airlocation/>.
- 6) Meshnetworks, Inc., "MeshNetworks Positioning System Solutions," <http://www.meshnetworks.com/>.
- 7) 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃, "無線通信網を用いた屋内向け測位方式", 情処学論: コンピューティングシステム, Vol.44, No. GIS10(ACS2), pp.131-140, 2003 年 7 月.
- 8) T. Kitasuka, T. Nakanishi, and A. Fukuda, "Design of WiPS: WLAN-Based Indoor Positioning System," Korea Multimedia Society, Vol.7, No.4, pp.15-29, Dec., 2003.
- 9) J. Hightower and G. Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," *IEEE Computer*, pp. 57-66, Aug. 2001.
- 10) 渋谷 昭範, 中津川 征士, 久保田 周治, 梅比良 正弘, "正規化した最小 2 乗法による高精度位置検出の検討," 情処学研報, 2001-MBL-18, pp. 9-14, Sep. 2001.
- 11) A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, and P. Webster, "The Anatomy of a Context-Aware Application," *Proc. of ACM/IEEE MOBICOM'99*, pp. 59-68, Aug. 1999.

- 12) M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggles, A. Ward, and A. Hopper, "Implementing a Sentient Computing System," *IEEE Computer*, pp. 50-56, Aug. 2001.
- 13) S. Shih, M. Minami, H. Morikawa, and T. Aoyama, "An Implementaion and Evaluation of Indoor Ultrasonic Tracking System," *情処学研報*, 2001-MBL-17, pp. 1-8, May 2001.
- 14) Y. Fukuju, M. Minami, H. Morikawa, and T. Aoyama, "DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment," Proc. of IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems(WSTFES2003), pp.53-56, May 2003.
- 15) FCC Enhanced 911, <http://www.fcc.gov/911/enhanced/>.
- 16) Skyley Networks, Inc., <http://www.skyley.com/>.