

無線通信を用いた距離測定に関する屋内環境における実験的特性評価

Experimental evaluation of a distance measurement system using radio communication in indoor environments

高屋佑希, 加藤誠, 岩井誠人, 笹岡秀一 (同志社大)

Yuuki Takaya, Makoto Kato, Hisato Iwai and Hideichi Sasaoka (Doshisha Univ.)

1. はじめに

近年, ユビキタスネットワークに注目が集まっている. ユビキタスネットワーク実現の一つの柱となる技術がアドホックネットワークである. アドホックネットワークでは, 従来用いていた基地局や通信ネットワークなどのインフラ設備を利用せずに, 端末間同士で通信を行い, さらに数十から数百の端末をマルチホップ接続することによりネットワークを構成することが想定されている[1]. また, ユビキタスネットワークが実現する代表的なサービスの一つとして位置情報を利用したサービスが検討されている[2,3]. つまり, ユビキタスネットワークおよびそれを実現するアドホックネットワークでは, ノード(端末)の位置検出(測位)が重要な技術課題となる.

現在, 最も一般的な測位方法は GPS である. しかし, GPS は衛星が見通しとなる屋外環境などでしか使えないという問題があり, ユビキタスネットワークが最も重要となるであろうと考えられる屋内では使用できない. また, 屋内でも, 複数の位置センサを設置して測位を行う方法なども検討されている[4-6]が, 膨大な数のセンサが必要となる, という問題がある.

上記のアドホック通信環境では複数のノードが相互に無線により接続される. この無線接続を利用し, 複数ノードがそれぞれ協調して測位を行うことが可能と考えられる. 将来のユビキタスネットワークでは, 室内環境などに極めて多くのノードが存在すると考えられ, それらを有効に活用することにより精度の高い測位が実現可能であると考えられる.

無線通信を用いた測位方法としては, たとえばノ

ード間通信により得られた電界強度や遅延時間などにに基づきノード間距離を求め(測距), これをもとにして三点測量を行うことで位置を測定する方法, その他, 距離の代わりに到来方向を用いる方法, などが一般的である[7]. また, アドホックネットワークの特徴を活かした測位方法[8]なども検討されている. これらの方法では, 測位精度向上のためには無線通信による距離測定の精度向上が必要となる. しかし, 移動通信環境ではたとえばマルチパスなどによって, 電界強度や遅延時間などにより測定される距離と実際の距離との間には誤差が存在する可能性がある[7]. 特に屋内などの環境では壁やフロアなどの影響により, 無線通信により測定される距離と直線距離の間には大きな差があることが予想される. これは最終的には測位精度に影響を与えるものと考えられる.

そこで本稿では, 屋内環境を対象とし, 無線通信を用いて測定したノード間距離と実際の距離との差について実験的に検討したのでその結果を報告する.

2. 距離測定実験の概要

2.1 測距装置

距離測定には, 2 ノード間の往復の伝送時間によってノード間距離を測定する装置(米国 AeroScout 社製)を用いた. この装置は 2.4GHz 帯 ISM バンドを用いる Bluetooth を無線システムとして採用しており, そのため測定可能最大距離は見通し環境で数十 m, 見通し外で十数 m 程度である. 測定システムは PC に接続された Master-Unit と小型の Slave-Unit から構成されており, この二つの装置間距離の測定結果が PC に表示および記録される. それぞれの装置の外

観を図 1 および図 2 に示す。以下、Master-Unit を MU, Slave-Unit を SU と略して表記する。



図 1 Master-Unit (MU)

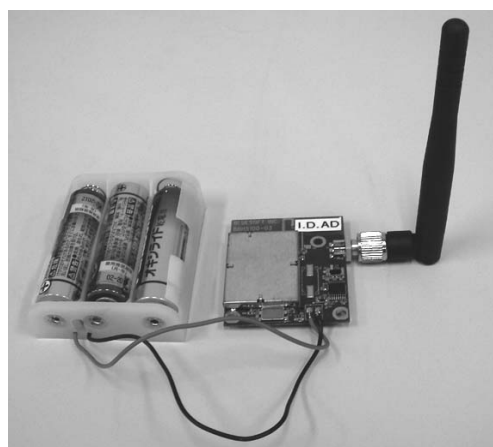


図 2 Slave-Unit (SU)

この装置を用いて以下に示す種々の環境において二地点間の距離を測定し、この結果を実際の直線距離と比較した。

2.2 実験環境

環境に対する測距誤差の影響を検討するため、幾つかの異なる環境における実験を行った。これらの実験環境について以下に説明する。

屋外見通し環境

測定精度のリファレンスを得ることを目的として、

最初に屋外の見通しのよいグラウンドにおいて測定を行った。この環境における測定方法の概要を図 3 に示す。測定環境に対する依存性をできるだけ排除することを目的として、同じ距離に対して複数(10回)の方向を設定して測定を行った。実験を行った際の送受信アンテナ高は約 0.3m である。測定は 5m, 10m, 20m, 30m の各距離に対して測定を行った。

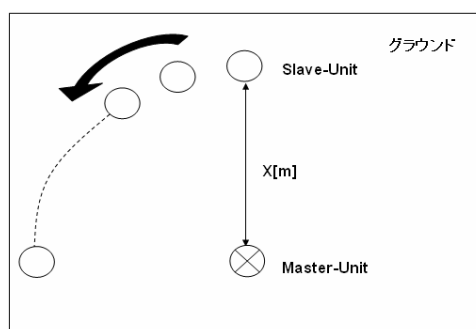


図 3 屋外見通し環境での測定方法

屋内見通し環境

屋内の見通しのよい環境として廊下で実験を行った。廊下は長さ約 86m, 幅約 2.3m, 高さ約 2.8m である。また送受信アンテナ高は約 0.5m であった。この廊下でノード間距離を 2m~30m の範囲で 2m ずつ変化させ測定を行った。

什器のある室内および室内と廊下との間の環境

什器のある室内環境, および, それに隣接する廊下との間で通信を行うような環境を想定した実験を行った。この部屋の写真を図 4 に示す。また, 測定位置を図 5 に示す。(図 4 は図 5 の廊下側入り口から実験室内を撮影した写真) この部屋は机の高さが約 0.7m でありその上に約 0.4m の PC が並んでいる環境である。この室内で送受信アンテナ高を約 0.8m として測定を行った。したがって, 送受信点間は見通しが遮蔽されることが多い環境である。



図4 什器のある実験室の様子

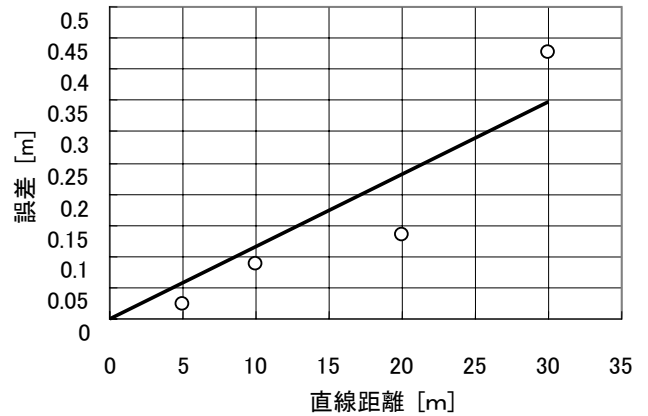


図6 屋外見通し環境の測定結果

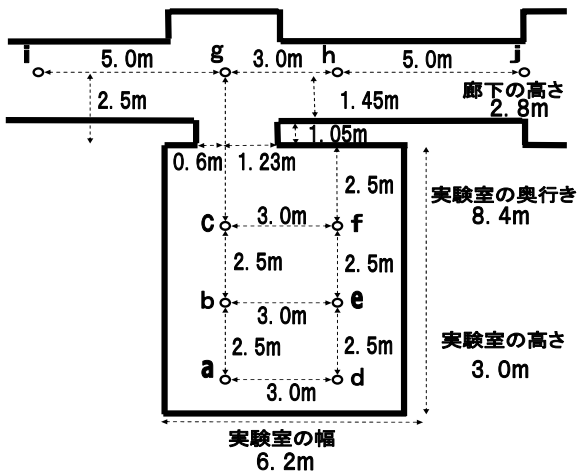


図5 什器のある室内および廊下の測定環境

3. 測定結果

3.1 屋外見通し環境の測定結果

屋外見通し環境(グラウンド)における測定結果を図6に示す。同図は、各実直線距離に対して誤差(=[測定距離]-[実際の距離])の平均値(測定回数 10 回)を求めその結果を示している。また同図に示した実線は、誤差が実際の直線距離に比例すると仮定して最小二乗近似により近似した特性である。

同図より距離の増加に伴い誤差も増加することがわかる。ただしその誤差は十分小さく、実距離の約1%である。この結果から、本測距装置がこの実験の目的に必要な精度を有していると言える。

3.2 屋内見通し環境の測定結果

屋内見通し環境(廊下)における測定結果を図7に示す。測定結果は25回の平均値を示している。同図に示す直線は見通し外の場合と同様に実験結果を近似した特性である。見通し外に比べて測定結果の分散が増加している。平均的な誤差は実距離に対して約4%であった。屋外に比べてばらつきが大きくなっているのは、マルチパス波が屋外に比べて強く、そのために誤差が増大する場合があるものと考えられる。ただし、後述の室内見通し環境に比べるとマルチパス遅延の量は大きくないと考えられ、そのために誤差の増加は室内見通し環境に比べて小さく留まっていると考えられる。

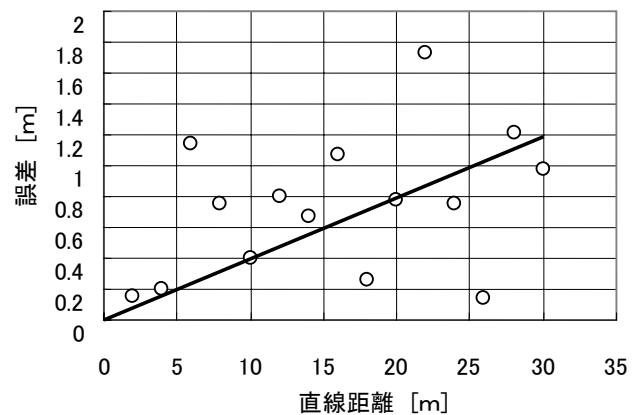


図7 屋内見通し環境の測定結果

3.3 什器のある室内および室内と廊下間の環境の測定結果

室内での什器などの遮蔽がある環境および隣接する廊下と室内間の環境における測定結果をまとめて図 8 に示す。この環境では、後章の位置推定に適用するデータを得ることを目的として、同じ地点で 100 回の測定を行い、その平均値を得た。図 8 は各地点間の測定距離の平均値を示している。

まず、室内での什器などの遮蔽がある環境での測定結果(図中▲および○)について考える。図 5 には示していないが、測定点 a, b, c, d, e, f の 6 点の中央に PC を設置した長方形のテーブルがあり、6 点のうち 2 点の全ての組み合わせの 15 通りのうち、5 通りの無線リンクは光学的には見通しであった。図 8 ではこの見通しの有無を分類して結果を示している。直感的にも推測されるように見通し環境では見通し外環境よりも誤差は小さく、見通し環境で約 20%、見通し外環境では約 85%の誤差であった。この部屋は PC を設置するテーブルの上はオープンな環境であるが、それでも直接波が遮蔽されるような環境ではマルチパスによる影響が大きくなることがわかる。また見通しがあっても、廊下の 4%に対して誤差は大きく増加しており、マルチパスの存在は測距に対して大きな影響をおよぼすことがわかる。

次に、室内と廊下間の環境における測定結果(同□)について検討する。直線距離からの誤差の割合で評価すると約 60%であった。図 8 ではこの環境について 8m 付近および 10m 付近に誤差の小さい結果が示されているが、これは廊下側が地点 g の場合で、室内の測定地点に対して見通し内もしくは見通し内に近い環境であった。これを除いて考えると、室内と廊下間の測定結果は室内の見通し外環境の結果とかなり近いと言える。これらの地点を見通しに分類した場合には、見通し内の誤差が約 25%、見通し外の誤差が約 65%となった。

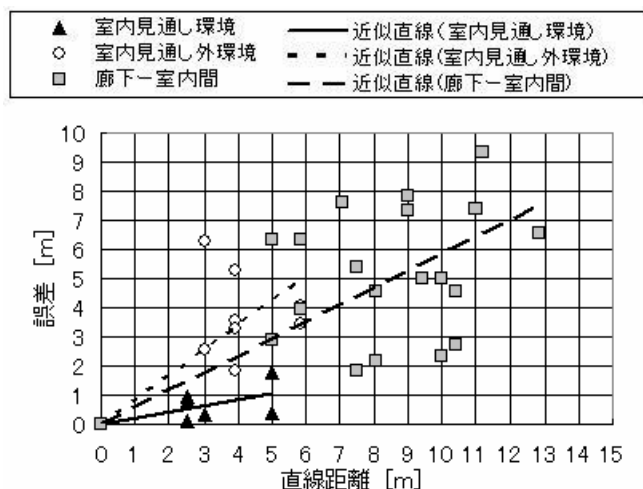


図 8 室内および室内・廊下間の測定結果

3.4 全室内環境での測定結果について

前節までに得られた結果をまとめて図 9 に示す。同図では前節の結果に基づき、室内・廊下間で見通しもしくはそれに近い環境は室内見通し環境に分類した。図 9 に示すように、以下の結果が得られた。

- ・廊下のような大きな遅延を伴うマルチパス波が存在しない環境では誤差は 4%程度である。
- ・室内では見通し環境でもマルチパス波の影響は大きく影響すると考えられ、測距誤差は平均的に 25%程度である。
- ・什器や壁などによって直接波の経路が遮蔽される室内見通し外環境ではその誤差は平均的に 65%程度である。

したがって、たとえば室内環境において位置測定を行う場合、測定距離に含まれる誤差が通信環境により異なることを考慮する必要がある。

また、今回は平均的な誤差についてのみ評価を行ったが、次章に示す測位に対する影響を検討する場合には、測定誤差の分散特性についても今後評価する必要がある。

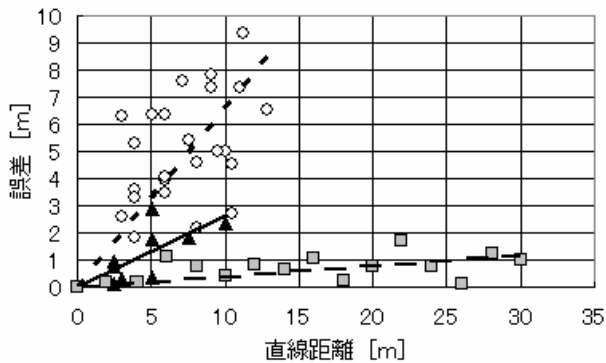
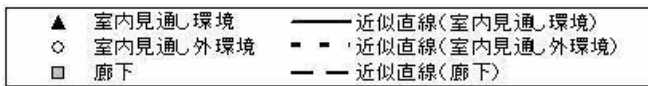


図 9 各環境の測定結果

4. 測距誤差が測位に対して与える影響

本章では、実際に測定した距離を用いて測位を行った場合に、どの程度測位誤差に影響を与えるのか簡単に評価してみる。なお、測位を行う場合には複数地点間の測距が同時に行われている場合が多い。ここでは、異なる時間に行った測距結果を用いて測位計算を行う。その結果複数無線リンクにおける距離測定の同時性は失われていることになるが、異なる無線リンクの特性の間の相関が低いと考えれば、実験の同時性は必ずしも必要ないと考えられる。

ここでは、SOM アルゴリズムを用いた位置推定方法[8]を用いて評価を行う。この推定方法は、アドホックネットワーク的に相互の位置情報を無線通信などで共有しあい、それをもとに自らの位置を分散処理的に計算する手法である。なおこの方法では、絶対位置を算出する条件として、絶対位置が既知な地点(アンカー)がネットワーク内に 3 つ以上存在する必要がある。今回は、図 5 の点 i, j, d をアンカーとした。また、SOM アルゴリズムには各地点の初期値が必要となる。これは本来完全にランダムな位置としてもよいものであるが、ここでは測距の影響を検討するという観点で、最適な結果が得られやすい実

際の正しい位置を初期値として与えた。

まず各地点間の実際の直線距離を用いて計算を行ったところ、得られた測位誤差はほぼゼロとなった。

次に、測距実験から得られた無線通信による測定距離の平均値を用いて SOM アルゴリズムによる測位計算を行った結果を図 10 に示す。アンカー以外の地点について平均測位誤差を求めたところ約 5.5m であった。これから、距離測定誤差が測位誤差に大きな影響をおよぼすことがわかる。

なお、今回用いた SOM アルゴリズムによる測位は、本来地点間測距誤差に対してロバストな方法である。これはアドホックネットワークのような環境で周囲の位置情報を共有することによって齎される特徴である。今回は測定地点数が少ないのでその特徴が活かされていないが、今後地点数を増加させて検討を行う必要がある。

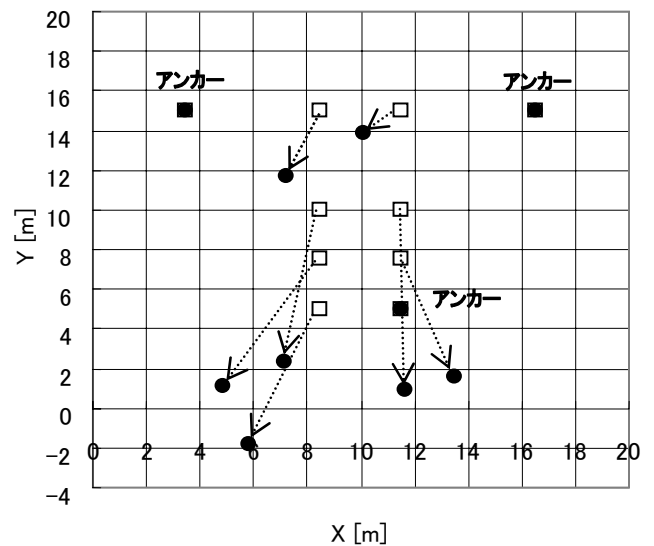


図 10 測距データを用いて測位を行った例 (●は位置推定の結果, □は実際の位置)

5. むすび

本稿では、幾つかの環境において無線通信を用いた測距実験を行い、各環境での測距誤差の値を示し

た. また得られた一つの結果として, この種の測距方法の結果が測距を行う環境によって誤差が大きく変化することを明らかにした. 今回示した結果はある環境における一例ではあるが, 実験に基づくものであり実際の値の一つである.

今後, さらに測定環境・地点数を増やし, SOM アルゴリズムを用いた測位の精度について評価する予定である.

式とその特性," 情報処理学会論文誌, Vol.46, pp.2903-2914, 2005 年.

参考文献

- [1] 間瀬, "無線 LAN とユビキタスネットワーク(3-6 章)," 丸善, 2004 年.
- [2] 森川, 南, "実空間指向ユビキタスネットワーク," 信学論 B, Vol.J88-B, No.11, pp.2137-2146, 2005 年 11 月.
- [3] 山田, 上岡, "ユビキタスコンピューティング: ネットワークとアプリケーション," 信学論 B, Vol.J86-B, No.6, pp.863-875, 2003 年 6 月.
- [4] N.Priyantha, A.Miu, H.Balakrishman and S.Teller, "The Cricket Compass for context-aware mobile applications," MobiCom2001, Aug. 2001.
- [5] A.Harter, A.Hopper, P.Steggles, A.Ward and P.Webster, "The anatomy of a context-aware application," MobiCom1999, Aug. 1999.
- [6] R.Want, A.Hopper, V.Falcao, and J.Gibbons, "The active badge location system," ACM Transactions on Information Systems, vol.10, No.1, pp.91-102, 1992.
- [7] 川端, 朝生, 斎川, 服部, "セルラーシステムにおける最ゆう推定法に基づく TDOA システムの位置検出性能評価," 信学論(B), Vol.J87-B, No.2, pp.285-291, 2004 年 2 月.
- [8] 滝沢, デービス, 岩井, 川合, 小花, "無線アドホックネットワークによる自立的端末位置推定方