

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560477

研究課題名(和文)見通し外(NLOS)環境におけるUWB信号による位置推定法の研究

研究課題名(英文)A Study of Positioning Using UWB Reflected Waves in a Non-Line-Of Sight (NLOS) Environment

研究代表者

上林 真司(UEBAYASHI, Shinji)

中京大学・工学部・教授

研究者番号：60555415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：反射波を用いることにより、見通し外(NLOS)環境におけるUWB信号による位置推定を、少数基地局(最少は1基地局)で実現できることを実証し、その推定精度、誤差要因を明らかにした。まず、既存の障害物による反射波を利用し、TOA法及びTDOA法により位置推定できることを、実験室内の2次元の実験により実証し、推定誤差を評価した。次に、計算機シミュレーションにより、時間測定誤差と位置推定精度の関係を明らかにした。次に、既存の障害物からの反射波だけではなく、精密に設計した反射体を配置することにより、位置推定エリア内のほとんどの領域で高精度の位置推定を可能とする位置推定法を開発した。

研究成果の概要(英文)：A positioning method that utilizes UWB reflected waves is proposed. This method realizes accurate positioning with few base stations (BSs) (one BS at minimum). NLOS positioning is possible if more than three reflected waves can be received at the BS. The proposed method was verified by fundamental 2 dimensional experiments, and the estimation errors were evaluated theoretically and by computer simulation. TOA and TDOA schemes were adopted for the positioning. The reflected waves from existing obstacles (walls, ceilings, racks, etc.) were considered first. The reflected waves from precisely designed reflectors were considered next. Accurate positioning is possible in almost all area with designed reflectors.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 通信・ネットワーク工学

キーワード：位置推定 TOA TDOA NLOS UWB 反射波

1. 研究開始当初の背景

携帯電話の各種ロケーションサービス、センサーネットワークなど、様々な移动通信システムにおいて高精度の位置推定技術が求められているが、GPS(Global Positioning System)やセルラシステム的位置推定誤差は 10m 以上あり、きめ細かいロケーションサービスのためには不十分であった。また、基地局-移動局間の見通しがないと、直接波が受信できず、反射波が擾乱要因となり、精度が著しく劣化する問題があった。

2. 研究の目的

本研究では、UWB(Ultra Wide Band)信号を用い、障害物の位置が既知であれば、反射波等の遅延プロファイルを測定することにより、見通しのない環境でも、少数の基地局で高精度位置推定を実現する方法を提案し、計算機シミュレーションと実験により検証すると共に、推定誤差を評価し、障害物情報の精度と位置推定誤差の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

研究は以下の手順で進める。

(1) 反射波を用いた TOA 位置推定法の確立

事前に周辺の障害物の配置を確認し、基地局の鏡像の位置を決定しておくことにより、TOA(Time Of Arrival)法によって、少ない基地局(最少は一基地局)で、移動局の位置を推定できるアルゴリズムを開発し、計算機シミュレーションと実験により、実現性を示し、推定誤差を評価する。

(2) 反射波を用いた TDOA 位置推定法の確立

周辺の障害物の配置情報が分かれば、TDOA(Time Difference Of Arrival)法により、一基地局で、極めて簡易な位置推定が可能であることを、計算機シミュレーション及び実験により実証し、その推定誤差を評価する。

(3) 反射体を用いた位置推定法の確立

既存の障害物からの反射波だけではなく、精密に設計した反射体を配置することにより、位置推定エリア内のほとんどの領域で高精度位置推定を可能とする位置推定方法を開発し、計算機シミュレーションと実験により検証すると共に、推定誤差を評価する。

4. 研究成果

(1) 反射波を用いた TOA 位置推定法の確立

位置推定エリア内の障害物の配置を確認し、基地局の鏡像を計算することにより、少ない基地局で TOA 位置推定を行うアルゴリズムを開発し、UWB 無線機を用い、2次元位置推定実証実験を行った。

図 1 は、実験系の構成を示す。金属板と電波吸収体を用いて、一辺 1.8m の正方形の部屋を構成する。図で、 x 軸に沿う面(反射面 1)と y 軸に沿う面(反射面 2)は金属板、他の 2 面は電波吸収体である。移動局 MS を(1.5, 0.8)の位置、基地局 BS_1 を(1.1, 0.7)の位置に配置する。図 2 は、実際の実験系を示す。基地局がパルス状の

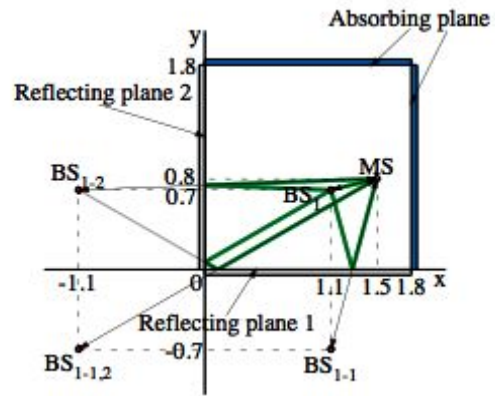


図 1. 実験系の構成

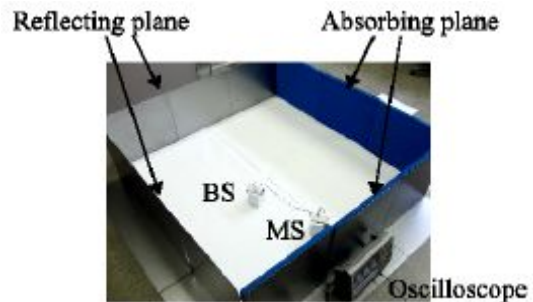


図 2. 実際の実験系

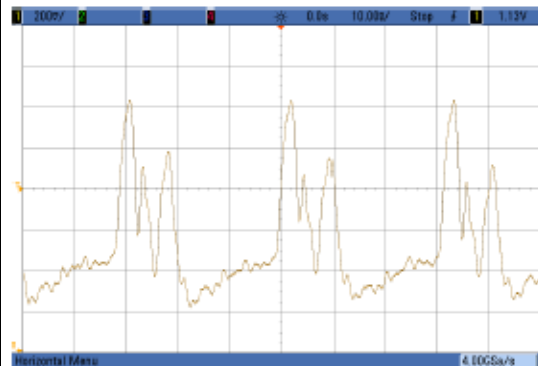


図 3. 移動局の受信信号

UWB 信号を送信し、移動局が受信する。移動局が受信した信号をオシロスコープで観測する。

図 1 において、反射面 1 による基地局の鏡像は $BS_{1,1}$ 、反射面 2 による基地局の鏡像は $BS_{1,2}$ 、反射面 2 による鏡像基地局 $BS_{1,1}$ の鏡像は $BS_{1,1,2}$ である。緑の実線は基地局が送信し移動局が受信した信号の伝搬路を示す。

BS_1 が送信した信号は、直接 MS に到達する。図の場合、その伝搬距離 d_1 は 41.23 cm であり、伝搬時間 t_1 は 1.37 ns. である。また、反射面 1 で反射して MS で受信される。この反射波の伝搬距離 $d_{1,1}$ は、MS と $BS_{1,1}$ の間の距離と等しく、155.24 cm、伝搬時間 $t_{1,1}$ は 5.15 ns. になる。同様に他の反射波の距離、伝搬時間を求めることができ、 $t_{1,2}=8.67$ ns.、 $t_{1,1,2}=10.17$ ns. が得られる。

図 3 は移動局の受信信号の一例である。最初のパルスが直接波、次のパルスが反射面 1 の反射波、3 番目のパルスが反射面 2 の反射波であ

る。反射面 1、2 の 2 回反射波は、伝搬時間が、反射面 2 の反射波とあまり差がないため、第 3 のパルスに含まれてしまい観測できない。

この受信パルス列から、MS-BS₁、MS-BS₁₋₁、MS-BS₁₋₂ 間の距離が求まるので、TOA 法により移動局の位置を推定することができる。この例では、 $t_1=1.37$ ns、 $t_{1-1}=5.34$ ns、 $t_{1-2}=9.24$ ns と測定され、MS の推定位置は(1.71, 0.86)となった。推定誤差は 0.11 m であった。

誤差の原因は、受信機のアナログ回路からプローブ用のリード線を引き出したことによる浮遊容量、インピーダンスの不整合に伴い、観測するパルス幅が広がったこと、実験エリアの金属板、送受信機等の配置精度誤差、熱雑音等による。提案方法では、伝搬路長の差が小さい伝搬路は、受信パルスが重なってしまうため、分離できない。

次に、計算機シミュレーションにより、伝搬時間差(伝搬距離差)の測定誤差による位置推定誤差の評価を行った。例えば、距離測定誤差の標準偏差が 20cm の AWGN(Additive White Gaussian Noise)を付加した場合、3 個のパルスが利用できる場合の位置推定誤差の平均値は 18.3 cm、4 個のパルスを利用できる場合は 15.1 cm、5 個のパルスを利用できる場合は 14.6 cm、6 個のパルスを利用できる場合は 13.4 cm であった。

利用できる受信パルス信号が多いほど、推定精度は向上するが、改善率は漸減する。また、提案する位置推定法では、受信パルスがどの伝搬路のパルスかを同定することができないため、推定のあいまいさが発生する問題がある。

(2) 反射波を用いた TDOA 位置推定法の確立

次に、TDOA 法においても、反射波を用いない基地局(最少は一基地局)で位置推定を実現する方法を開発した。TOA 法では、基地局-移動局間で信号の送受信が必要となるが、TDOA 法では、移動局は送信機能のみ、基地局は受信機能のみで位置推定が可能であり、移動局が簡易になる。一般の TDOA 法では、基地局の受信時間差を測定する必要があるため、高精度の基地局間同期が必要になるが、提案方法で一基地局で位置推定を実現する場合は、基地局間同期は不要である。従って、提案する TDOA 位置推定法は、極めて簡易な位置推定法といえる。

但し、提案方法では、事前に周辺の障害物の配置を確認し、基地局の鏡像の位置を決定しておく必要がある。また、各受信パルス信号がどの伝搬路の信号かの特定(伝搬路の同定)が必要になる。まず、計算機シミュレーションにより、距離測定誤差と、伝搬路の同定間違いの関係、位置推定誤差との関係の評価した。

伝搬路を決定することは、対応する鏡像基地局を決定することと等価である。伝搬路の同定は、以下のように行う。受信パルス列を測定したら、各パルスと、候補の鏡像基地局の全ての組み合わせについて MS の位置を推定する。次にこの推定位置における受信パルス列を理論的に

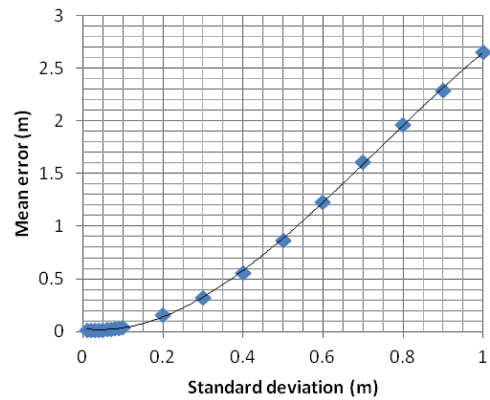


図 4. 距離測定誤差の標準偏差と平均位置推定誤差の関係

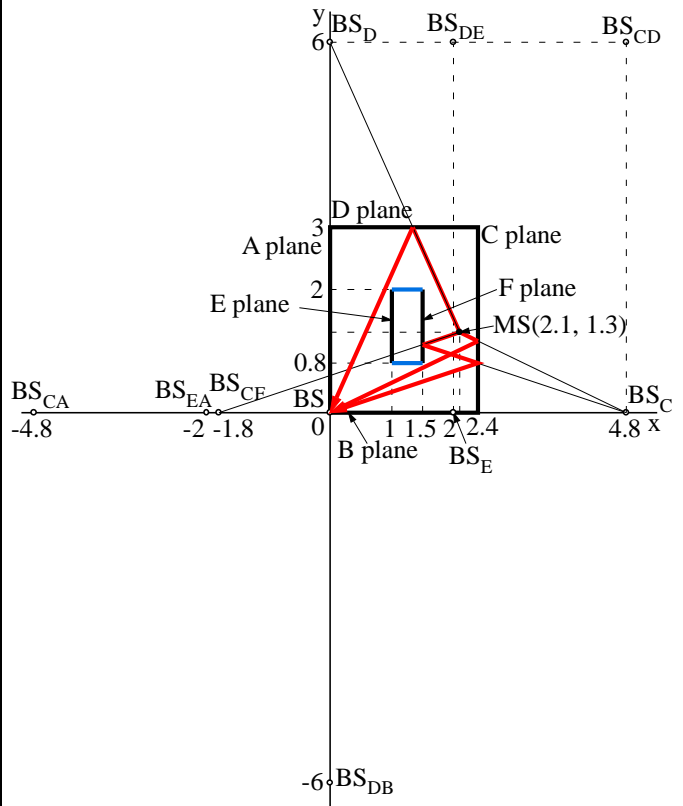


図 5. 実験系の構成

計算し、測定値と比較する。理論値と測定値の差が最も小さい候補位置を MS の推定位置とする。

図 4 は、距離測定誤差の標準偏差と平均位置推定誤差の関係を示す。距離測定誤差の標準偏差が小さい(5 cm 以下の)領域では、位置推定計算時の丸め誤差の影響の方が大きく、位置推定誤差は距離測定誤差の影響をほとんど受けない。距離測定誤差の標準偏差が 50 cm 以下の場合、1,000 回の計算機シミュレーションでは伝搬路の同定誤りは発生しなかった。距離測定誤差の標準偏差が 50 cm 以上になると伝搬路の同定誤りが発生し、位置推定誤差が大きくなるが、統計的に極端な精度の劣化は発生しなかった。

次に、提案法の実現性を実験により検証した。図 5 は、実験系の構成を示す。2.4 m × 3.0 m の部屋の中に、0.5 m × 1.2 m の障害物を配置する。

部屋の壁面は全て金属平面とする。障害物の長方形の長辺は金属平面、短辺は電波吸収体とする。金属平面は、図 5 に示すように、A 面から F 面とする。受信機 (BS) を原点に配置し、送信機 (MS) は長方形の部屋の中の任意の位置 (x, y) に配置する。BS_C、BS_D、BS_{CD} 等は、各金属平面による鏡像基地局である。

MS を (2.1, 1.3) に配置したときの BS-MS 間の伝播路を赤線で示す。障害物のため MS-BS 間の見通しはなく、直接波は受信できないが、3 個の反射波を受信できることが、図から分かる。その受信時間差から MS の位置を推定すると、(2.16, 1.29) となり、位置推定誤差は 6.1 cm であった。誤差要因は、BS、MS、反射板の配置精度の誤差、及び BS における受信パルスの時間差測定誤差である。

(3) 反射体を用いた位置推定法の確立

これまで既存の障害物 (壁、天井、家具等) による反射波を利用した少数基地局による位置推定法を開発し、計算機シミュレーションと UWB 無線機を用いた実験によりその実現性を示し、誤差評価を行った。しかし、3 次元位置推定のためには、3 個以上の反射波が必要であり、実際のフィールドでは、既存の障害物のみで 3 個以上の反射波を受信できる領域は限られていた。

そこで、既存の障害物からの反射波だけではなく、精密に設計した反射体を配置することにより、位置推定エリア内のほとんどの領域で位置推定を可能とする位置推定方法を開発した。

まず、平面反射体を用いる方法を開発し、必要な反射体のサイズ、推定精度を計算機シミュレーションと実験により評価した。反射体の配置 (場所、向き) を正確に把握できれば、高い推定精度を実現できるが、見通しの得られないエリア全体をカバーするためには、一般に大型の反射体が必要になることが分かった。

図 6 は平面反射板の設計例である。図のバックヤードのエリアに基地局の電波を照射するためには、6.4 m の反射板が必要になる。

次に、曲面反射板の設計法を示す。図 7 は、幅 1 m の円筒反射板の例である。BS₁ から (-0.5, 0) に照射した電波を同じ方向に反射するためには円筒の半径を 1.2 m にすれば良いことが分かる。反射板の中央 (y 軸との交点) に照射した電波は正規反射して BS₂ の位置に照射するので、幅 50 cm の曲面でバックヤード全体を照射できる。図は、そのときの反射波の計算例を示す。曲面反射板は任意の幅で所要の反射特性を実現する反射板を設計できる。現在、計算機シミュレーション、及び実験により検証し、本成果を論文文化している。

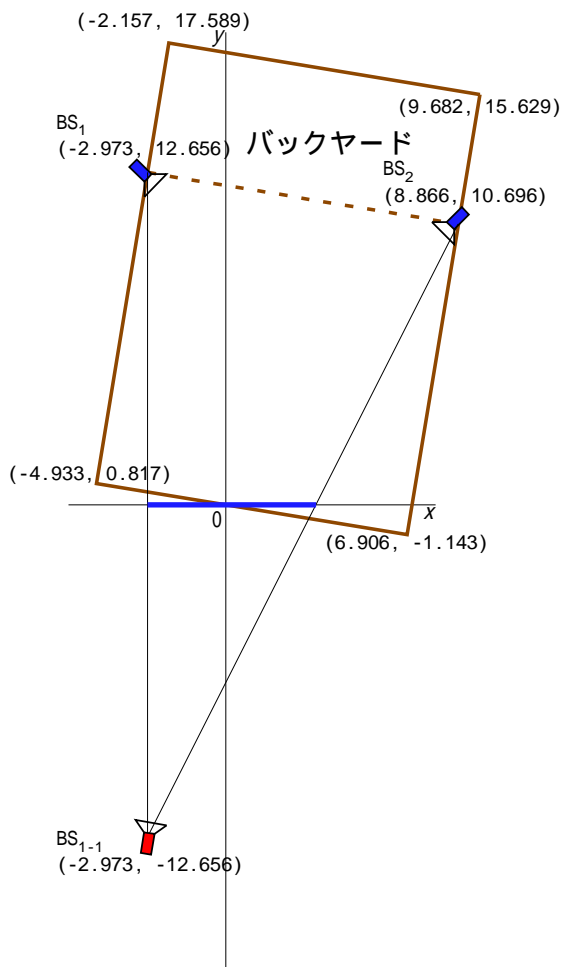


図 6. 平面反射板の例

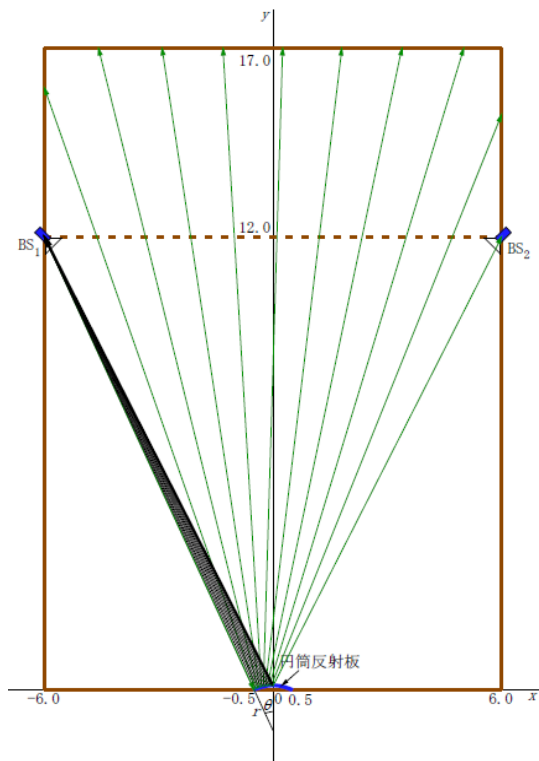


図 7. 曲面反射板の例

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計4件)

S.Uebayashi, M.Shimizu, T.Fujiwara, “A Study of TDOA Positioning Using UWB Reflected Waves”, Proc. IEEE, VTC-2013 Fall (Las Vegas), 2013.10.

M.Shimizu, T.Fujiwara, S.Uebayashi, “Study of TOA Positioning Using UWB Reflected Waves”, Proc. IEEE VTC-2012 Spring (Yokohama), 2012.5.

清水, 藤原, 上林, “UWB 信号の反射波を用いた位置推定法の実験による基礎的検証”, 信学ソ大(北大), 2011.9.

清水, 藤原, 上林, “UWB 信号の反射波を用いた TOA 位置推定法に関する一検討”, 信学全大(電通大), 2011.3.

〔その他〕

ホームページ:

<http://www.sist.chukyo-u.ac.jp/faculty/uebayasi.html>

中部経済新聞、OPINION、“広がる位置検出技術の応用”, 2014.4.30.

6. 研究組織

(1)研究代表者

上林 真司 (UEBAYASHI, Shinji)

中京大学・工学部・教授

研究者番号:60555415

(2)研究分担者

清水 優 (SHIMIZU, Masaru)

中京大学・工学部・教授

研究者番号:40235669

藤原 孝幸 (FUJIWARA, Takayuki)

北海道情報大学・情報メディア学部・准教授

研究者番号:90373068