

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究（A）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18686033
 研究課題名（和文） MIMO-UWB-IR 通信システムにおける移動体の高精度位置検出
 研究課題名（英文） High resolution position detection of mobile terminal
 in MIMO-UWB-IR communication system
 研究代表者
 西村 寿彦 (NISHIMURA TOSHIHIKO)
 北海道大学・大学院情報科学研究科・助教
 研究者番号：70301934

研究成果の概要：MIMO-UWB-IR（Multiple-Input Multiple-Output：多入力 - 多出力 - Ultra-Wide-Band：超広帯域 - Impulse Radio）通信システムを用いて移動体の高精度位置検出を行うための基礎研究を行った。MIMO-UWB 通信の実験装置の構築、MIMO チャネルの取り扱い（テストベッド構築、実伝搬環境での実験、チャネル推定法の検討）、信号到来方向推定アルゴリズムの提案を行った。

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2006年度 | 10,600,000 | 3,180,000 | 13,780,000 |
| 2007年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 2008年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,200,000 | 4,260,000 | 18,460,000 |

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：通信方式（無線、有線、衛星、光、移動）、MIMO

1. 研究開始当初の背景

UWB（Ultra-Wide-Band：超広帯域）通信はその起源が軍事技術であり、当初は測距レーダとしての用途が検討されていた。これは、UWB 通信が超短パルスを送信する方式（現在はより複雑な手法も提案されている）であるため、高い分解能で到来時刻を測定できるためである。

一般に、UWB システムでの測距技術はただ一つのアンテナをもつ複数の広く点在した基地局で行われる。それらが協調して動作する（いわゆる、センサネットワークを形成すること）ことで測位精度を向上させている。しか

しながら、本研究では歩車間通信を想定しているため、アンテナを広く点在させることはできない。そのため、車両や歩行者に複数のアンテナを装備して MIMO（Multiple-Input Multiple-Output：多入力 - 多出力）環境を構成し、単一アンテナ使用時に比較して精度を向上させることを検討する。UWB 通信に MIMO 技術を導入した検討はまだ十分行われておらず、多くの検討課題が存在する。特に、位置検出に関する検討はほとんどなされていない。

2. 研究の目的

次世代 ITS 技術の一つに、車両が歩行者等の交通弱者の位置もしくは接近を感知することで事故を防止することを目的とした「歩行者-車両間通信」いわゆる「歩車間通信」がある。本研究では、移動体に設置した無線タグを別の移動体上で高精度位置検出を行う手法を検討する。この技術により、歩行者が無線タグを携帯すれば、車両に搭載した装置でその歩行者を検知して運転者および歩行者に警報することが可能となる（図1）。その際、単に位置検出を行うだけでなく両者が接近しているのかどうかを検知できれば事故防止の効果が高いと思われる。また、検出範囲は十数m程度、精度は1m以内と高い検出精度が要求される。

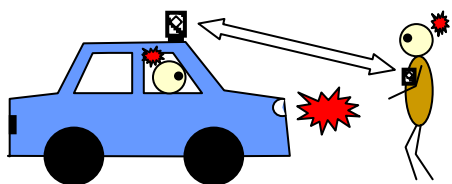


図1 歩行者検知の概念図

一方、無線通信において送受信アンテナにそれぞれ複数のアンテナ素子を設置して効率の良い通信を行う MIMO システムに関する研究が進んでいる。そこで、本研究では、UWB-IR (Impulse Radio)通信（単純な超短パルスを送信する方式）を用いた、MIMO-UWB-IR 通信に関する検討を行う。UWB 通信は、従来の通信システムに比べ数十から数千倍の広い周波数帯域を用い、かつ、非常に小さい電力スペクトル密度（周波数あたりの電力）で通信を行う方式であり、次世代の通信方式として注目を集め、多くの研究がなされている。これらの既得技術を応用し、歩車間での接近警報を実現する要素技術として、複数の UWB アンテナを2つの移動体に取り付けて、他方の位置および移動方向を推定する手法の検討を行う。

3. 研究の方法

(1) パルスジェネレータ、および、デジタルオシロスコープを用いて、MIMO-UWB-IR 通信システムを構築した（図2）。パルスジェネレータを送信機として高速パルスを送信し、デジタルオシロスコープを受信機としてサンプリングする。このとき、パルスジェネレータ、デジタルオシロスコープのチャンネル数はそれぞれ 2CH、4CH なので、チャンネルごとにアンテナ素子を割り当てたとすると、送信 2 素子・受信 4 素子の 2×4 MIMO チャンネルが構成できる。

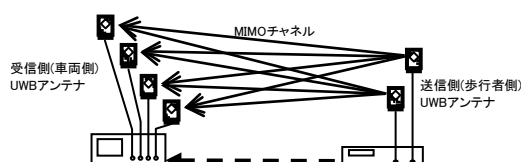


図2 MIMO-UWB-IR 通信実験システム

(2) MIMO-UWB システムによる伝搬実験に基づく、タイミングコントロールやチャンネル推定について考察する。伝搬実験はネットワークアナライザを用いて行われ、 2×2 MIMO 環境をシールドルーム内でダイナミックに測定して、実用的なデータを取得した（図3）。



図3 MIMO-UWB 伝搬実験

(3) 周囲に散乱体が存在しマルチパス波が発生する場合や、送受信間に遮蔽物が存在し見通しとならない場合の MIMO 通信の特性について、フェージングシミュレータを用いたテストベット（図4）を作成して実験を行った。



図4 MIMO 通信テストベットを用いた実験

(4) マルチパス波が発生する実伝搬環境で見通しありとなしの場合について、複数アンテナを用いた伝搬測定を行い（図5）MIMO 通信に対する影響について評価を行った。

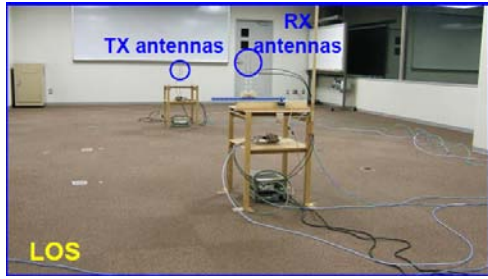


図5 実伝搬環境におけるMIMO伝搬実験

(5) UWB アンテナを送受信双方に設置したMIMOシステムにおいて、多くのマルチパス散乱が存在する環境を想定した場合の周波数領域でのチャネル推定法を考案した。この手法は、周波数領域等化を考慮した際に、繰り返し手法を用いることで推定精度を向上させるものである。

(6) 円筒状にアンテナ素子を配置し、高分解能信号到来方向推定法であるSAGEアルゴリズムを用いて、方位方向および仰角方向を高精度に検出する手法を提案し、計算機シミュレーションにより特性改善効果を示した。

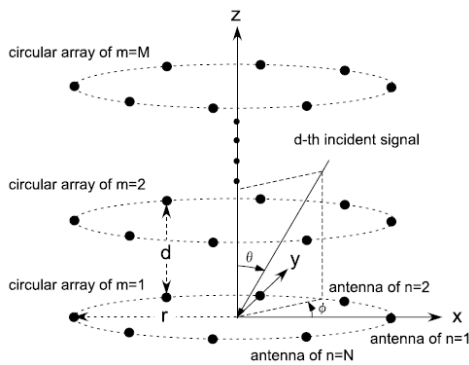


図6 円筒状にアンテナを配置した検討モデル

(7) 2つの端末が方位角的に近接している場合、受信側でその到来方向を分離するためには、SN (信号対雑音) 比が十分大きいか、ある程度時間をかけて信号を観測しなければならない。そこで、UWB信号を用いて、周波数領域の信号を狭帯域条件が満たされる範囲で切り出し、スナップショット数をかせぐことにより、低SN比で短い観測時間でも到来方向推定が可能となるようにした。特に、その範囲を周波数の低いもの、中程度のもの、高い周波数のものに分割し、低い周波数からMUSIC法を適用していくことで、近接して到来する2波を比較適容易に分離することを可能にした。

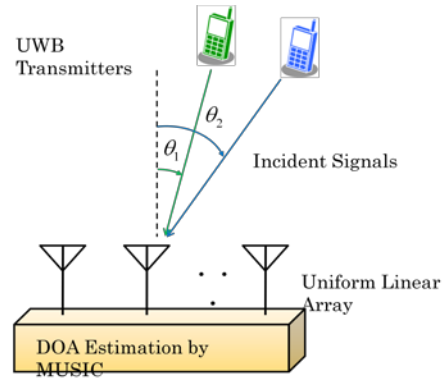


図7 近接2波が到来するモデル

4. 研究成果

(1) 本研究で構築した装置では、 2×4 MIMOチャネルの同時観測が可能であり、フェーディングが起こるような環境下（周囲に散乱体が存在し、送信機、受信機、散乱体のいずれかが移動しているような場合）でも、比較的短時間に効率よく実験が可能となった。

(2) MIMO-UWBシステムによる伝搬実験で取得したデータを用いて、送信信号を効率よく分離するために必要となる、タイミングコントロール法の提案を行い、チャネル推定について考察を行った。タイミングコントロールでは、送信信号をわずかに送信側へずらすことで、効果的に制御できることを示した。

(3) テストベッド内のアルゴリズムはコンパクトなものが望まれるため、簡略手法を提案し、それを組み込んだ。その結果、固有ビーム空間分割多重 (E-SDM) 方式を実現するMIMO通信がリアルタイムに動作することを示すことができた。提案する方式では、移動によるチャネル情報の変化を予測して送受信パラメータを最適化するため、歩行程度の速度まではE-SDM方式によるMIMO通信が有効であることを示した。(図8)

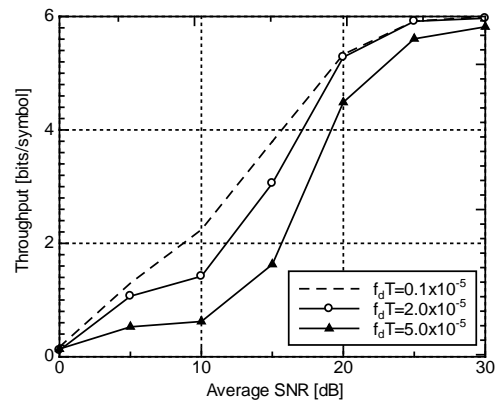


図8 E-SDM方式によるMIMO通信の結果

(4) 実験で得られた伝搬データを用いた計

算機シミュレーションにより、移動端末のチャネル情報の予測法について検討し、2次関数や指数関数を用いた高次の外挿(図9)により良好な特性が得られることが分かった。なお、当研究の成果は、前述のテストベッドに一部組み込まれている。これらの得られた結果から、MIMO通信がマルチパス波が発生する環境において非常に有効なテクニックであることがわかった。

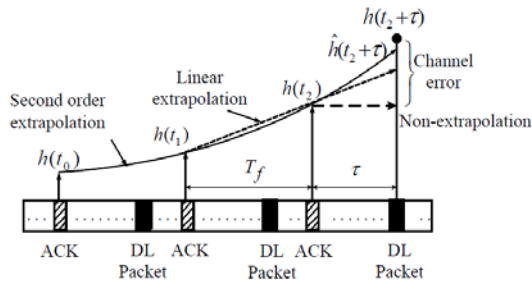


図9 E-SDM方式によるMIMO通信の結果

(5) 提案手法を評価するため計算機シミュレーションを行った。その結果、繰り返し回数が特性に大きな影響を及ぼすことが分かった。(図10) また、計算負荷を低減し、実装時の回路規模を小さくできることを示した。

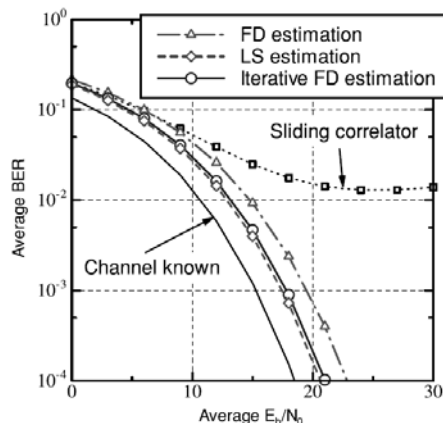


図10 計算機シミュレーション結果

(6) 円筒状アレーによる到来方向推定では、初めに ROOT-MUSIC 法を用いて到来方向の粗推定を行い、次に、2次元サーチを2回の1次元サーチに分解することで SAGE アルゴリズムを適用させ、計算負荷を低減させたうえで精度の高い手法が得られた。

(7) 図11は計算機シミュレーション結果である。周波数が高くなると MUSIC スペクトラムのピーク幅が狭くなり、4800 [MHz] においては到来波の分離ができていることがわかる。試行によっては分離できなかった場合もあったが、今回検討する手法を採用することで近接した2波を比較的少ない計算回数で分離することができる。

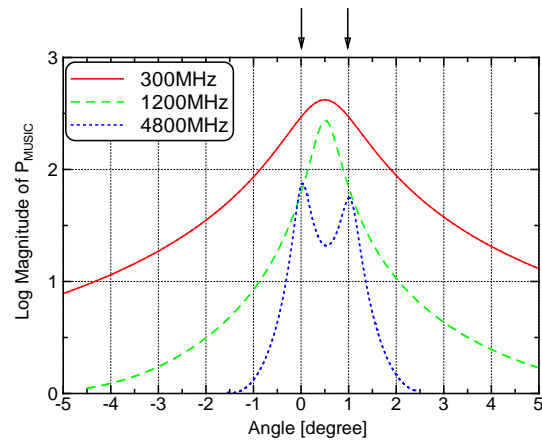


図11 計算機シミュレーション結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① M. Takanashi, Y. Ogawa, T. Nishimura, and T. Ohgane, "Precise DOA Estimation Using SAGE Algorithm with a Cylindrical Array," IEICE Trans. Commun. vol., vol.E91-B, no.11, pp.3784-3787, Nov. 2008. 査読有
- ② M. Takanashi, Y. Ogawa, T. Nishimura, T. Ohgane, "Studies on an Iterative Frequency Domain Channel Estimation Technique for MIMO-UWB Communications," IEICE Trans. Commun. vol., E91-B, no. 4, pp. 1084-1094, Apr. 2008. 査読有

[学会発表] (計9件)

- ① 森川泰成, 西村寿彦, 小川恭孝, 大鐘武雄, "超広帯域信号を用いた到来方向推定に関する基礎的研究," 2009年電子情報通信学会総合大会, B-1-209, p. 209, 2009/3/19, 横須賀市.
- ② 内藤 智, 西村寿彦, 大鐘武雄, 小川恭孝, "適応変調を用いた E-SDM 方式の実験的検討," 平成19年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 136, p. 171, 2007/10/28, 札幌市.
- ③ 内藤 智, 西村寿彦, 大鐘武雄, 小川恭孝, "適応変調制御 E-SDM 通信のテストベッドによる検証実験," 信学技報, vol. 107, no. 262, RCS2007-83, pp. 19-24, 2007/10/18, 長野県茅野市.
- ④ H. P. Bui, T. Nishimura, H. Nishimoto, Y. Ogawa, and T. Ohgane, "Impact of Channel Prediction on the Performance

- of MIMO E-SDM Systems in Actual Dynamic Channels," ISAP2007, 4C1-2, pp. 1310-1313, 2007/8/24, Niigata, Japan.
- ⑤ M. Takanashi, T. Nishimura, Y. Ogawa, and T. Ohgane, "MIMO-UWB Systems with Parallel Interference Canceller Using Timing Control Scheme in LOS Environments," IEEE WCNC2007, pp. 1599-1603, 2007/3/12, Hong Kong, China.
- ⑥ M. Takanashi, T. Nishimura, Y. Ogawa, and T. Ohgane, "Performance Evaluation of Transmit and Receive Timing Control in LOS MIMO-UWB Environments," WPMC2006, pp. 149-154, 2006/9/19, San Diego, USA.
- ⑦ T. Nishimura, Y. Hata, T. Ohgane, and Y. Ogawa, "Simplification of Transmit Resource Control in E-SDM with Adaptive Modulation," IEEE PIMRC'06, 2006/9/13, Helsinki, Finland.
- ⑧ M. Takanashi, Y. Ogawa, T. Nishimura, and T. Ohgane, "Studies on Channel Estimation Techniques in MIMO-UWB Communications," IEEE VTS APWCS2006, pp. 332-336, 2006/8/25, Daejeon, Korea.
- ⑨ M. Takanashi, T. Nishimura, Y. Ogawa, and T. Ohgane, "Transmit and Receive Timing Control in LOS MIMO-UWB Environments," PIERS 2006, p. 529, 2006/8/5, Tokyo, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 寿彦 (NISHIMURA TOSHIHIKO)
北海道大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：70301934

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし