

超音波到来方向推定を用いた SDMA 基地局指向性制御

市川 澄人 藤元 美俊 堀 俊和

福井大学工学部 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

E-mail: ichikawa@wireless.fuis.fukui-u.ac.jp

あらまし 室内通信や路車間通信などの到来波間の伝搬距離が短い環境においては、一般に到来波の推定精度が大きく劣化する。本論文では、マイクロホンアレーで受信される超音波の遅延プロファイルをMF(マッチドフィルタ)を用いて推定し、その情報を基に電波を用いる通信システムの基地局を制御する指向性制御法を提案する。また、到来方向推定に用いる超音波波形についての考察を行い、従来法では推定精度が劣化する伝搬環境においても提案推定法で精度よく推定できること示す。

キーワード 到来方向推定, 超音波, マッチドフィルタ, SDMA

Directional Pattern Control Method for SDMA Base Station Utilizing Ultrasonic DOA Estimation

Sumito ICHIKAWA Mitoshi FUJIMOTO and Toshikazu HORI

Faculty of Engineering, University of Fukui 3-9-1Bunkyo, Fukui-shi, Fukui, 910-8507 Japan

E-mail: ichikawa@wireless.fuis.fukui-u.ac.jp

Abstract The accuracy of the DOA estimation degrades in the case of an environment with a short propagation distance such as indoor wireless communications and Road-to-Vehicle Communications. This paper proposes a directional pattern control method that utilizes the direction of arrival (DOA) of an ultrasonic wave to control the base station of a communication system and evaluates the estimation accuracy of the DOA using the ultrasonic wave. Moreover we consider an appropriate wave form of the ultrasonic used in the proposed method. It is shown that the DOA can be estimated with high accuracy by the proposed method compared with the conventional method.

Keyword DOA estimation, Ultrasonic wave, Matched filter, SDMA

1. まえがき

現在、無線通信システムにおいて使用できる周波数帯域は限られている。そこで、与えられた周波数資源を効率良く利用するための技術として、さまざまな多元接続技術が研究されている。多元接続技術としては、現在実用化されている符号分割多元接続(CDMA)などの技術の他に、同一時間・同一周波数で複数のユーザーに別々の指向性ビームを割り当てる空間分割多元接続(SDMA)の適用が考えられている[1]。SDMAにおいて干渉端末方向に指向性のヌルを向けるためには、移動端末の正確な方向を把握することが重要である。

端末の位置情報を知るための到来波方向推定技術として MUSIC 法などの高分解能技術が盛んに研究されている[2][3]。しかし、一般に、室内通信や路車間通信など伝搬距離が短く、到来波間の相関が大きい場合は推定精度が大きく劣化する。また、伝搬経路差が小さいことから時間的に分離することも非常に困難である。

それらの問題を踏まえて本報告では、

1) 超音波を用いて到来方向を推定し、得られた到来方向の情報に基づき、電波を用いる通信システムのアンテナの指向性を制御する SDMA 基地局制御法を提案する[4]。

さらに超音波の到来方向推定法として、

2) 電波と超音波の伝搬速度の違いに着目し、マッチドフィルタ(MF)を用いて超音波の到来遅延時間差から到来方向を推定する手法を提案し、その高精度化の検討を行う。

2. 提案システム概要

2.1 SDMA 基地局指向性制御法

図1に提案システムの構成を示す。まず、各端末で通信用の電波とともに到来方向推定用の自己相関特性の鋭い超音波を発信する。基地局ではアレーアンテナと同じ位置にマイクロホンアレーを配置し、受信した超音波の到来方向を推定する。推定した到来方向の情

報を基に指向性ビームを形成する重み係数を求め、この係数をアンテナで受信した信号に対する重みとして用いる。

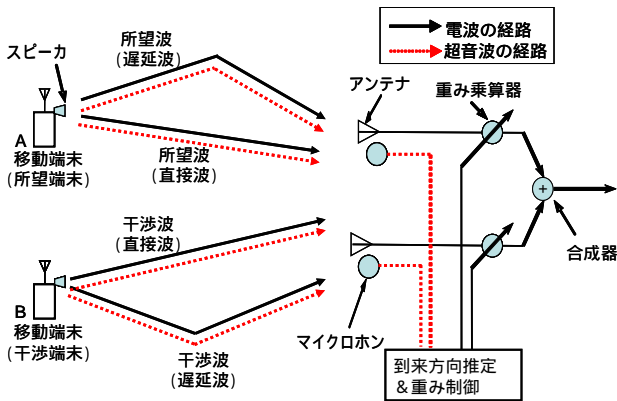


図1 SDMA 基地局制御法

2.2 超音波到来方向推定法

図2に提案する到来方向推定法を示す。まず、各マイクロホンで受信される信号はノイズや帯域制限の影響によりきれいなスペクトルにならない。そこで、受信した超音波信号をMFに入力する。MFのインパルス応答を送信信号波形とすることによって、MFの出力波形は様々な経路を経て受信された受信信号の遅延プロファイルとなる。電波と音波の伝搬経路が同一であるならば、各MF出力から得られる遅延プロファイルのピークの時間差からそれぞれの到来波の到来方向を推定できる。また、MFを通すことで送信信号と相関のないノイズが除去されるためSN比の向上が期待できる。

超音波を用いることで、電波を用いて到来方向推定を行う場合に比べ、到来波間の伝搬経路差が短い場合でも、推定精度が劣化しないことが考えられる。これは超音波の伝搬速度が電波のそれに比べ約90万分の1であることにより高い時間分解能を持つことが期待されるためである。

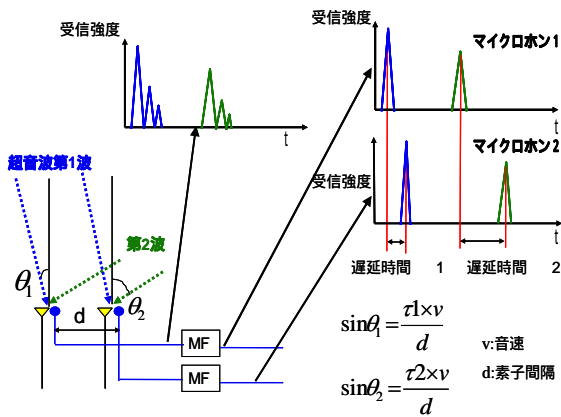


図2 提案到来方向推定法

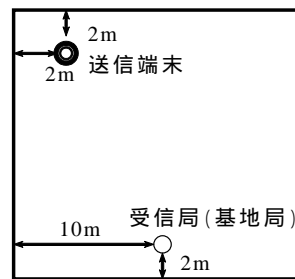
3. 提案到来方向推定法の有効性

3.1 シミュレーションモデル

2.2で提案した到来方向推定法の推定精度について検討するために、図3に示す室内環境を想定したモデルを用い計算機シミュレーションを行った。部屋の壁は比誘電率5、導電率0.05(S/m)のコンクリートとし、受信素子は4素子リニアアレー、素子間隔は6(cm)とした。送信する電波は、中心周波数2.5(GHz)帯域幅20(MHz)とし、超音波は中心周波数50(kHz)帯域幅40(kHz)とし、帯域制限にはレイズドコサインフィルタを用いた。このモデルに対し、レイラウンチング法を用い、電波および超音波についての伝搬解析を行った。

各素子で得られた伝搬データに対しSNRを変化させ、以下の3つの到来方向推定法を適用し推定誤差の比較を行った。

- a) 受信した超音波信号をMFに入力し、得られる遅延プロファイルから到来方向を推定する。(提案推定法)
- b) 受信した超音波信号をMUSICアルゴリズムに適用させる。(超音波MUSIC)
- c) 受信した電波をMUSICアルゴリズムに適用させる。(電波MUSIC)



部屋サイズ：
20×20×3(m)
受信局：高さ3(m)
素子数4
素子間隔6(cm)
壁材質：コンクリート
・比誘電率5
・導電率0.05(S/m)

図3 屋内伝搬モデル

なお、試行回数はそれぞれ1000回とし、a)提案推定法においては、伝搬データから得られた第1素子と第2素子の到来時間差、第2素子と第3素子の到来時間差、第3素子と第4素子の到来時間差それぞれから得られる推定結果を平均したものを推定結果とした。また、MFには32タップのトランスバースフィルタを用いた。b)超音波MUSIC、c)電波MUSICについては、伝搬解析で得られた伝搬データをMUSIC法に適用させ、到来方向推定のシミュレーションを行った。

3.2 推定誤差に対するSNRの影響

図4に第1波(伝搬解析で得られた最大強度の到来波)のみ到来したときの推定精度を示す。図4の横軸は第1波のSNR、縦軸は1000回試行後の平均推定誤差である。

図4においてc)電波 MUSIC より b)超音波 MUSIC のほうが推定誤差が少ないのは、経路差が同じでも伝搬速度が異なるため超音波の到来波間の相関が電波の場合に比べ低くなるためである。また、a)提案推定法とb)超音波 MUSIC では SNR=10~25[dB]で、平均1(deg.)ほど a)提案推定法のほうが到来方向推定誤差が小さいことがわかる。さらに、提案推定法は演算量が MUSIC アルゴリズムよりも少なく計算負荷が少ないという利点があり、提案推定法は優れた到来方向推定法であると言える。

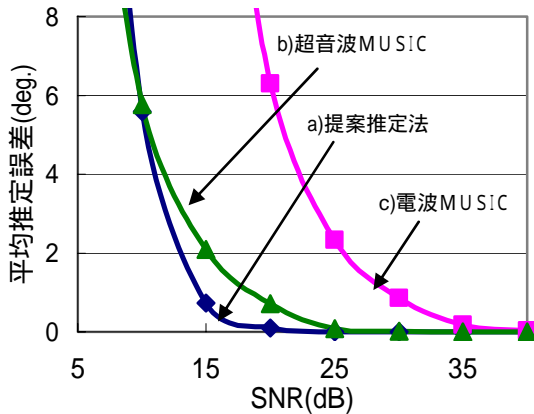


図4 各推定法における平均推定誤差

4. 超音波波形による推定誤差改善

4.1 到来方向推定用超音波波形

今回提案した到来方向推定法において、使用する周波数帯域をなるべく有効に利用するために、送信超音波波形はレイズドコサインフィルタを用いて帯域制限した。しかし、提案推定法では遅延プロファイルのピーク時間差から到来方向を推定するため、一つの波が複数のピークを持つと他の波と誤って推定してしまい、推定精度が劣化すると考えられる。したがって、周波数軸上で特定の帯域のみにエネルギーを持ち、かつ、時間軸上で単一のピークを持つ超音波波形とすることが望ましい。

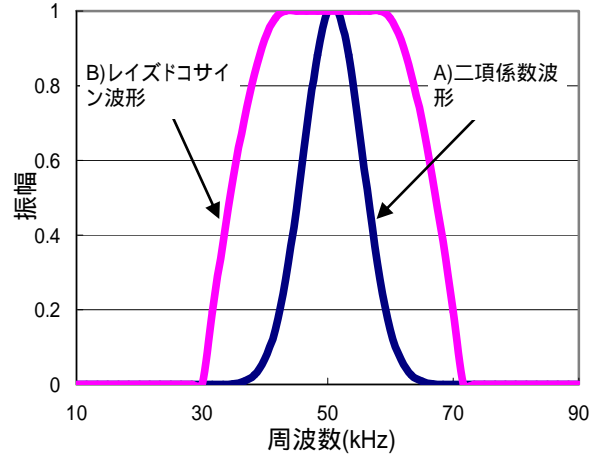
そこで、周波数軸上では特定帯域にのみエネルギーを持ち、時間軸上でも単一のピークを持つ二項係数を送信波形として用いることを考える[A)二項係数波形]。その周波数軸と時間軸上の波形を、レイズドコサインフィルタのインパルス応答[B)レイズドコサイン波形]と共に図5に示す。

二項係数を用いることで、特定の帯域にエネルギーを持ちながら時間軸上で単一のピークを持つことがわかる。

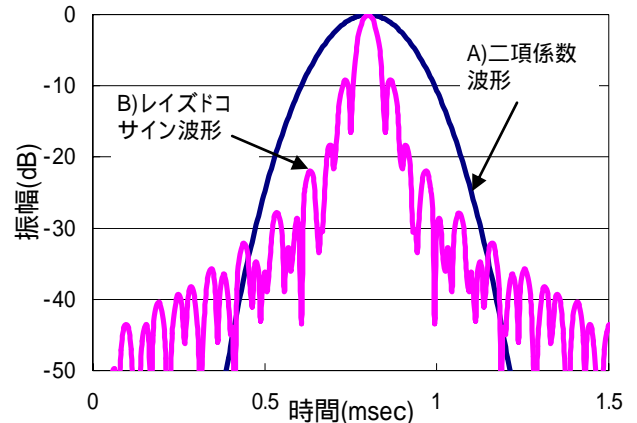
4.2 推定誤差に対する DUR の影響

推定誤差に対する DUR(第1波/第2波電力比)の影響を検討するために、図3で示す屋内伝搬モデルから得

られた伝搬データに対し、DUR を変化させて推定精度への影響を検討した。送信波形は上述の A)二項係数波形と B)レイズドコサイン波形を用い、SNR は 40[dB]とした。



(a) 周波数軸上の超音波波形



(b) 時間軸上の超音波波形

図5 送信超音波波形

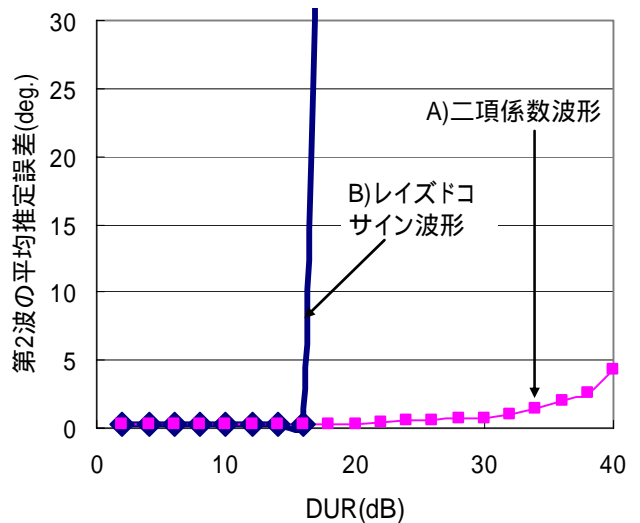


図6 推定誤差に対する DUR の影響

到来方向推定結果を図 6 に示す．横軸は DUR を，縦軸は第 2 波の到来方向推定結果の平均推定誤差を示す．B)レイズドコサイン波形を用いた場合に推定誤差が急激に劣化するのは，第 1 波の第 2 ピークを第 2 波と誤って推定してしまうためと考えられる．一方，単一のピークを持つ A)二項係数波形では大きく推定誤差が改善されていることがわかる．

4.3 推定誤差に対する SNR の影響

4.2 の結果から A)二項係数波形を用いることで，第 2 波が小さな場合において推定誤差を改善できた．しかし，A)二項係数波形の周波数軸上でのエネルギーが B)レイズドコサイン波形よりも少なくなっていることから，相対的に SN 比が劣化していることが考えられる．

そこで，それぞれの波形の推定誤差に対する SNR の影響を比較するために図 3 で示す屋内伝搬モデルから得られた伝搬データに対し，SNR を変化させて第 1 波の平均推定誤差を比較した．また，そのとき DUR は 10[dB]とした．

到来方向推定結果を図 7 に示す．横軸は SNR を，縦軸は第 1 波の到来方向推定結果の平均推定誤差を示す．SNR が 25[dB]以下の場合，A)二項係数波形のほうが推定誤差が大きいのが，SNR に換算して約 2[dB]程度の劣化にとどまっている．

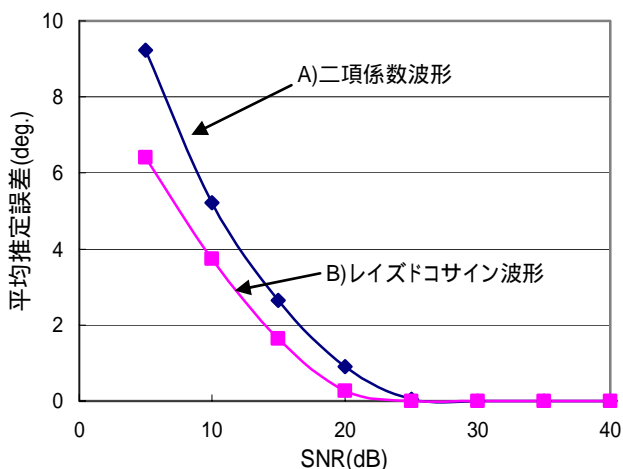


図 7 推定誤差に対する SNR の影響

4.4 超音波波形による時間分解能への影響

図 5 に示すように，時間軸上の A)二項係数波形のピーク付近のパルス幅が B)レイズドコサイン波形よりも広いため，到来波間の時間分解能が低下することが考えられる．

そこで，それぞれの波形の時間分解能を比較するために，図 3 で示す屋内伝搬モデルから得られた伝搬データに対し，第 1 波と第 2 波の遅延時間差を変化させて推定精度を比較した．試行回数は 1000 回，SNR は 40[dB]，DUR は 10[dB]とした．

到来方向推定結果を図 8 に示す．図の横軸は第 1 波と第 2 波の遅延時間差を，縦軸は第 1 波の平均推定誤差をそれぞれ示す．やはり時間軸上のパルス幅が広い A)二項係数波形のほうが，時間分解能が 0.1(msec)ほど低い．しかし，音速を 343(m/s)として時間分解能を距離分解能に換算すると約 34.3(mm)程度の劣化である．

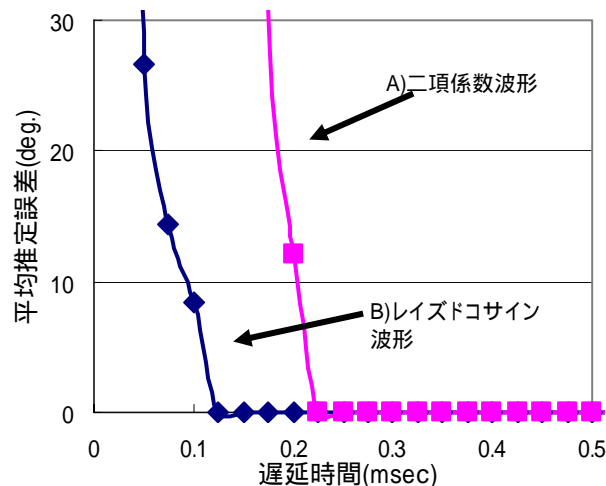


図 8 推定誤差に対する遅延時間差の影響

以上のことから，SNR 耐性や時間分解能がやや劣化するが DUR に対する推定誤差改善効果が大きい A)二項係数波形のほうが B)レイズドコサイン波形に比べ，超音波到来方向推定に適した波形であるといえる．

5. むすび

超音波到来方向推定を用いた SDMA 基地局制御法を提案し，さらにそこで用いる MF を用いた到来方向推定法を提案した．また，計算機シミュレーションにより提案到来方向推定法の有効性を示した．さらに，提案到来方向推定法で用いる超音波波形として，DUR 耐性，SNR 耐性，時間分解能について検討し，二項係数波形が優れていることを示した．

文 献

- [1] K. Cho and T. Hori, "Smart Antenna System Actualizing SDMA for Future Wireless Communications," ISAP2000, Fukuoka, Japan, pp. 1485-1488, Aug. 2000.
- [2] R.O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," IEEE Trans. AP, vol. AP-34, no. 3, pp. 276-280, Mar. 1986.
- [3] 菊間信良, 安西睦, 小川勝, 山田幸一, 稲垣直樹, "室内無線通信のための MUSIC 法による多重波の到来方向と伝搬遅延時間の推定," 信学論 vol. J73-B-II, no. 11, pp. 786-795, Nov. 1990.
- [4] 市川澄人, 藤元美俊, 堀俊和, "超音波を用いた SDMA 基地局指向性制御法," 2005 信学総大, B-1-269, Mar. 2005.