

ワイヤレスアドホックネットワークに適用するブラインド時空間信号処理に関する研究

石田 優子 指導教員：神谷 幸宏

1 はじめに

ワイヤレスアドホックネットワーク (Wireless Ad Hoc Network, WAHN) は基地局などの中心構造を持たず、柔軟なワイヤレス通信を実現する技術である。しかし、WAHN を実現するには、信号の衝突などの問題を解決する必要がある。この問題を解決するため、BRAKE と呼ばれるブラインド時空間信号処理法を利用する手法が提案されている [1]。BRAKE [2] を複数回用いることで、複数の信号が検出可能となり、信号の衝突問題の解決となる。従来法では、BRAKE により推定された重み係数を用い、レプリカ信号を作成し、マルチステージ処理を行う手法が提案されている。しかし、このレプリカ信号の作成には膨大な計算量を必要とする。本研究では、この計算量を削減するため、レプリカ信号を用いない BRAKE のマルチステージ処理を提案する。この手法は計算量の削減だけでなく、信号の検出性能も向上させる。この有効性については、計算機シミュレーションにより明らかにする。

2 ブラインド時空間信号処理法 - BRAKE

WAHN 環境では、複数の信号が同時に受信される。この中から 1 つの信号を取り出すことを可能とするのが、BRAKE と呼ばれるブラインド時空間信号処理である。BRAKE の構成を図 1 に示す。BRAKE では、スペクトル拡散方式により送信された信号が、 L 本のアレーアンテナを持つ受信機で受信される。受信後、図 1 に示した信号処理が各アンテナで行われる。受信信号は、まずマッチドフィルタ (MF) を通過する。次に、BRAKE は MF 出力を用い、CMA による重み係数の推定 [3] を行う。図 1 に示すように、BRAKE では重み係数の推定を行う前に、長さ R の TDL (Tapped Delay Line) によりダウンサンプリングを行っている。このダウンサンプリングは MF 出力に対し行われる。ダウンサンプリング後、CMA による重み推定が行われ、重み係数 \mathbf{W} が得られる。この重み係数 \mathbf{W} を用い、得られた各アンテナの出力を合算することで、検出された信号が得られることとなる。

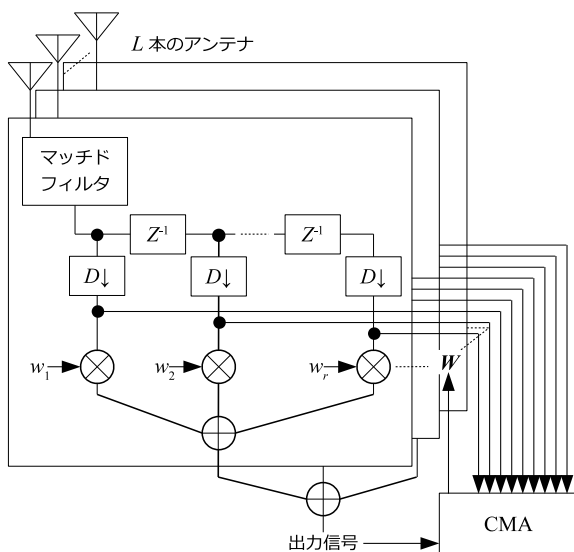


図1 BRAKEの構成

3 レプリカ信号によるマルチステージ処理

BRAKE をくり返し用いることを BRAKE のマルチステージ処理と呼ぶ。従来法では、検出された信号のレプリカ信号を作成することで BRAKE のマルチステージ処理を行う。受信機では、BRAKE によって複数の信号から 1 つの信号が検出される。繰り返し BRAKE を用いた時、すでに検出されている信号を再度検出してしまうのを防ぐ必要がある。そのため、再度 BRAKE を使用する前に、既に検出されている信号を受信信号の中から取り除く必要がある。図 2 にレプリカ信号を用いた BRAKE のマルチステージ処理の概要を示す。図 2 のように、受信信号はそれぞれの信号が足し合わされた信号であると考えられる。そこで、各信号が単一で受信された場合の MF 出力のレプリカ信号を、検出された信号と重み係数を用いることで得る。

こうして得られた MF 出力を受信信号の MF 出力から差し引くことで、検出された信号が取り除かれる。よって、BRAKE により検出される信号が変化し、検出される信号が重複することなく、BRAKE のマルチステージ処理が実現されることとなる。

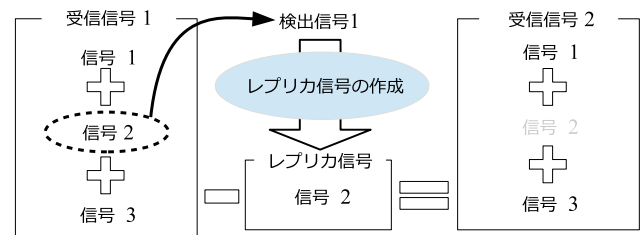


図2 レプリカ信号を用いたBRAKEのマルチステージ処理

4 レプリカ信号を用いないマルチステージ処理

従来法で用いるレプリカ信号を作成するためには、膨大な計算量が必要となる。そこで、このレプリカ信号を用いない BRAKE のマルチステージ処理を提案する。従来法では、レプリカ信号を差し引くことで検出された信号を受信信号から取り除き、検出される信号の重複を防いだ。提案法では、BRAKE で重み係数を求める際、ある条件を加えることでこれを実現する。

提案法の概要を図 3 に示す。まず、各アンテナで受信された信号の MF 出力は図 3 に示すように、振幅の大小がはっきり見て取れる。MF では拡散符号との相関を取っているため、MF 内に 1 シンボル分のチップが存在するとき、出力の値が大きくなる。すなわち、振幅の値が大きくなっている時刻 t_1, t_2, t_3 は、信号の到来タイミングを示していることとなる。この MF 出力から、BRAKE によって推定される重み係数は同図のように表すことができる。ここで、 r はその TDL のタップ位置を示している。求められた重み係数の値が大きくなるタップの位置と、長さ R の TDL によってダウンサンプリングされた MF 出力を比較すると、値が大きくなる地点が同一であることがわかる。これは、重み係数のタップ位置が、時刻 R ごとの信号の到来タイミングを示していることとなる。

レプリカ信号を用いない BRAKE のマルチステージ処理で

は、2 度目以降の BRAKE による重み推定を行う際、前段階まで求められている重み係数のタップ位置の値を 0 に固定する。0 に固定することで、前段階までに検出された信号の影響を受けることなく、他の信号の検出が可能となるのである。この提案法では、レプリカ信号の作成が不要となると共に、特別な計算を必要としないため、大幅な計算量の削減が可能となる。

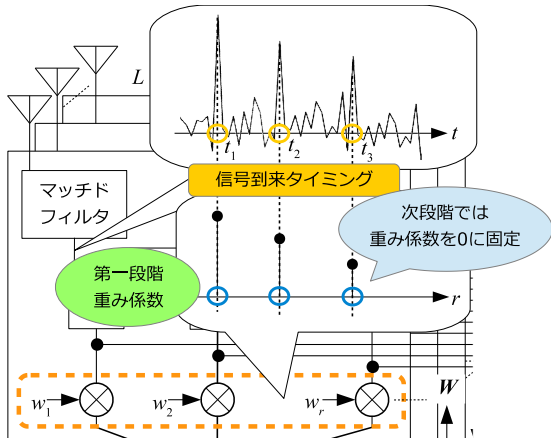


図3 レプリカ信号を用いない BRAKE のマルチステージ処理

5 計算量による二手法比較

本研究では受信機の信号処理で行われる掛け算の数を計算量とし、計算量の比較を行う。従来法の計算量 C_C 、提案法の計算量 C_P はそれぞれ式 (1)、式 (2) で求められる。

$$C_C = 20MLK + 8(ML)^2 + 3K \quad (1)$$

$$C_P = K(16ML + 3) \quad (2)$$

ここで、 M はスペクトル拡散に用いられる拡散符号の長さを、 K はアンテナで受信される受信信号のビット数を表している。拡散符号長 M が 31、アンテナ本数 L が 4、送信データのビット数 K が 3000 の場合の各計算量は表 1 である。表 1 から、従来法に対して提案法では 17.8% の計算量が削減された。よって、提案法は従来法よりも少ない計算量で BRAKE のマルチステージ処理を実現していることがわかる。

表 1 従来法と提案法の計算量

従来法の計算量 C_C	4,685,536
提案法の計算量 C_P	3,852,000

6 計算機シミュレーションによる二手法の比較

計算量の削減が行われた場合、多くの場合信号の検出性能が低下する。そこで、提案法の有効性を示すために、計算機シミュレーションによって性能の評価を行う。シミュレーションでは、2 つの信号が同時に受信される環境を想定する。2 つの信号はそれぞれ異なる 3 つの経路を経て、4 本のアレーアンテナを持つ受信機に受信される。受信機では、BRAKE のマルチステージ処理によって信号が検出される。この検出された信号の出力 SN 比によって、性能の評価を行う。ワイヤレス通信では、常に一定の品質の信号が検出されることが望ましい。そこで、本研究では表 2 のパラメータを用い、累積確率分布関数 (Cumulative probability Distribution Function, CDF) により性能の評価を行う。

表 2 従来法と提案法の計算量

試行回数 [回]	1,000
拡散符号長 [chip]	31
受信機のアンテナ本数 [本]	4
送信信号の入力 SN[dB]	6
受信信号数	2
信号到来角度	一様分布 $[-\pi, \pi]$
遅延波数	3
各波の信号電力	1, 0.5, 0.5
遅延間隔 [chip]	一様分布 $[0, 31]$

計算機シミュレーションの結果を図 4 に示す。図 4 では、横軸に出力 SN 比 [dB]、縦軸に CDF の値を示している。緑、青、赤の各線はそれぞれ理論値、従来法 (レプリカ信号使用)、提案法 (レプリカ信号不使用) のシミュレーション結果を示している。緑線で示した理論値は雑音などの影響を受けない理想の値であり、表 2 から得られる。そのため、このグラフに近づくほどよい結果となる。よって、各手法の結果がこのグラフにどれだけ近づくかにより、性能を評価する。

まず、青線、赤線は共に出力 SN 比 12dB 付近で値が上昇している。しかし、12dB から 15dB にかけて赤線がより緑線に近づき、青線は離れている。出力 SN 比の値が低い部分でも同様に、提案法の結果を示す赤線が緑線に近づいている。一方で、従来法の結果を示す青線は緑線から遠ざかっている。以上のことから、提案法では計算量を削減するだけでなく、信号の検出性能をも向上させることが明らかとなった。

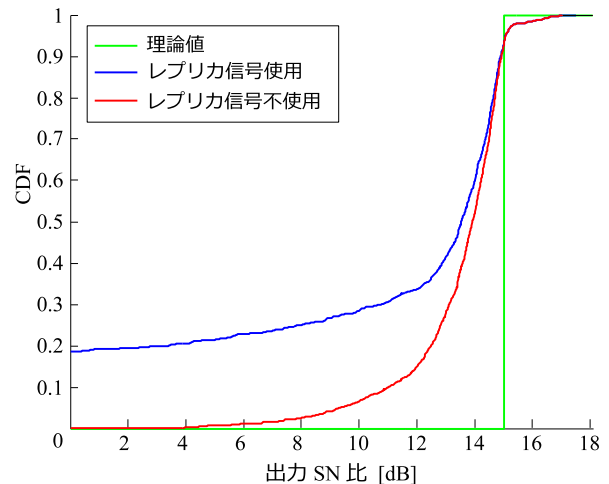


図4 計算機シミュレーションによる結果

7 おわりに

本研究では、レプリカ信号を用いた BRAKE のマルチステージ処理に対し、計算量を削減する手法を提案した。提案法では、レプリカ信号を利用しないことで約 18% の計算量が削減された。さらに、計算機シミュレーションによって信号の検出性能をも優れていることを確認した。

参考文献

- [1] 今井 他, 信学技報, AP-103(457), pp163-168, 2003.
- [2] 神谷 他, 信学論 A, Vol.J85-A, No.1, pp.31-41, 2002.
- [3] 神谷幸宏, “MATLAB によるデジタル無線通信技術”, コロナ社, 2008.