

報告番号	甲 第 11485 号
------	-------------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 移動体通信システムのための  
時空間ブロック符号を簡易に用いる  
送信/協調ダイバーシチ技術

氏 名 山岡 智也

## 論 文 内 容 の 要 旨

時空間ブロック符号(space-time block code: STBC)は、通信速度を低減させずに受信局に制約を与えることなく、無線通信を高信頼化できるダイバーシチ技術を実現できる。本論文では、これまで通信における処理手順の改善方法として活用するためには着目されてこなかった STBC の符号の構造に着眼し、STBC を用いる送信/協調ダイバーシチ技術の装置を簡素化できる 4 方式を提案する。ここでは、本論文の背景、提案を行う 4 方式についての要点を説明する。

無線通信の最大の利点は、通信回線をコードレスにできることである。その結果、通信端末が通信インフラとハードウェア上の接続が得られていない場合にも通信を可能にし、移動を行っている端末に対しても通信回線を提供し、移動体通信を実現できるようになる。特にデジタル無線通信方式を導入して以降の移動体通信システムの通信品質と通信容量は飛躍的に向上するとともに、サービスのコスト、通信端末のサイズ・重量が改善されたことから、移動体通信は事業として成立するようになり、1990 年代より携帯電話が広く普及するようになった。移動体通信システムの発展は、無線通信方式の高信頼化・大容量化・低コスト化を実現することによってなされてきた。近年では、携帯電話を含めた通信端末のみならず、あらゆるものをインターネットに接続する IoT(internet of things)の実現に向けて移動体通信システムの高度化は重要な役割を担っている。

無線通信の高信頼化において、ダイバーシチ技術は有効性が高く、検討と実用化が進められている。ダイバーシチ技術とは、送受の過程を複数用意することで通信の信頼性を向上させる技術である。なかでも送信アンテナを複数有してダイバーシチを実現する送信ダイバーシチ技術や、中継伝送を行うシステムにおいて中継局を複数有してダイバーシチを

実現する協調ダイバーシチ技術は、受信局にアンテナ本数や受信機を増大させる制約を与えずに高品質な無線通信を実現できる技術である。軽少な通信端末によって受信を行う必要がある移動体通信システムにおいては、有用性の高い技術として検討されている。しかし、受信局において発生する受信信号間の干渉を抑圧すること、複数の送信アンテナや中継局が必要であるといったハードウェア上の装置構成が複雑となることが課題となっていた。

この送信/協調ダイバーシチ技術における受信信号間の干渉を抑圧するために有効性の高い技術として STBC が提案され、検討が継続されている。STBC は、予め伝搬路の応答を把握することなく、通信速度の低下を発生することなく、少ない演算量で送信/協調ダイバーシチにおける受信信号間の干渉を抑圧できる。この STBC によって、送信ダイバーシチ技術は簡易に実現されるようになって一般的な技術として活用されることになった。STBC は、利用する送信アンテナや中継局の数、受信信号間の干渉を抑圧する性能、演算量といった観点から、さまざまな方式が提案されている。

本論文では、STBC を用いる送信/協調ダイバーシチ技術において、これまで着目されてこなかった STBC の符号の構造に着眼し、STBC を用いる送信/協調ダイバーシチ技術の装置を簡素化できる方式を提案する。本論文が着目する STBC は、CIOD (complex interleaved orthogonal design)、4 本の送信アンテナ向けの 3 つの QOSTBC (quasi-orthogonal space-time block codes) および 2 のべき乗数となる送信アンテナ向けの拡大 Alamouti 符号である。それらを用いて以下の 3 つを確立することを目的とする。

1. 単一の RF (radio frequency) 回路の送信局による簡素化した送信ダイバーシチ
2. STBC を用いながら中継局でキャリアリカバリを行わない協調ダイバーシチ
3. STBC を用いながら中継局で信号分離を行わないマルチホップ協調ダイバーシチ

目的 1. が実現できれば、送信ダイバーシチにおいて装置構成を複雑する RF 回路を複数とすることなく、簡素な装置構成で送信ダイバーシチが実現できるようになる。目的 2. および 3. が実現できれば、協調ダイバーシチの中継処理において計算負荷を減少しながら時間遅延を短縮できる協調ダイバーシチが実現できるようになる。

そして本論文では、これらの 3 つの目的に即して、4 方式を提案する。

- 目的 1. に即した単一 RF 回路の送信局による CIOD を用いる送信ダイバーシチ
- 目的 2. に即した CIOD を用いる協調ダイバーシチを示す
- 目的 2. に即した QOSTBC を用いる協調ダイバーシチを示す
- 目的 3. に即した拡大 Alamouti 符号を用いるマルチホップ協調ダイバーシチ

まず、単一 RF 回路の送信局による CIOD を用いる送信ダイバーシチを説明する。

MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)と呼ばれる複数の送受信アンテナを利用する技術を単一 RF 回路で応用することで通信速度を改善する SM(spatial modulation)に CIOD を適用することで、ダイバーシチ利得が改善することが知られていた。しかし、情報ビットの一部に基づく頻繁な送信アンテナの切り換えのために帯域外に放射される不要成分が課題となる問題があった。また、受信局での復号で実施される最尤判定に必要な演算が多く、実用上の誤り率(bit error rate: BER)特性の改善が得られない欠点もあった。これに対して本方式では、符号の構造を勘案しながら CIOD を適用し、アンテナの切り替えを情報ビットの一部で行わずに、アンテナ切り替え間隔を長くする。その結果、SM による通信速度の改善は得られなくなるものの、送信局が単一 RF 回路で構成されながら帯域外放射成分を低減して、最尤判定に必要な演算量とダイバーシチ利得は CIOD と同様である性能を実現できる。評価から、帯域外放射の増大は 3dB のみであることが確認できる。また BER=10<sup>-2</sup> において、送信局の RF 回路を 2 つとする場合からの所要となる信号電力対雑音電力比 (signal to noise power ratio: SNR)に関する性能劣化は 2dB にとどまり、ダイバーシチ利得が 4dB 得られることを確認した。

次に、中継局でのキャリアリカバリーを必要としない CIOD を用いる協調ダイバーシチを説明する。本方式では、2 台の中継局を介する協調ダイバーシチを対象とする。協調ダイバーシチ技術に STBC を導入すると、従来では中継局で複素数演算を伴う STBC 符号化が必要である。その結果、中継局では計算負荷と時間遅延の増大の原因となるキャリアリカバリーが必要であった。これに対して本方式では、協調ダイバーシチに CIOD を導入するとともに、符号の構造を勘案しながら処理の一部を送信局で実施する。その結果、中継局での複素数演算ならびにキャリアリカバリーが不必要な STBC を用いる協調ダイバーシチを実現できる。BER 特性の評価から、本方式は劣悪な伝搬路であるほどダイバーシチ効果が大きくなる性質があることを確認した。すべての伝搬路がレイリーフェージング環境下である場合には、BER=10<sup>-2</sup> において、中継局がキャリアリカバリーを行う場合からの性能劣化は 2dB にとどまり、ダイバーシチ利得が 5dB 得られることを確認した。

さらに、中継局でのキャリアリカバリーを必要としない QOSTBC を用いる協調ダイバーシチを説明する。本方式では、2 台の中継局を介する協調ダイバーシチにおいて送信局が 2 本の送信アンテナを有することを前提とする。送信局では、符号の構造を勘案しながらあらかじめ STBC の符号化を行って送信を行い、その前処理のために中継局での受信信号の入れ替えによって QOSTBC の符号を生成できることを特徴とする。このため、中継局で従来必要であった複素数演算を実施することなく、キャリアリカバリーを行うずに STBC を用いる協調ダイバーシチを実現できる。また、先の CIOD を用いる場合と比べ、送信局の RF 回路が 2 つ必要となるが、ハードウェアへの高度な技術要求の原因となるピーク電力の低減と、2 本の送信アンテナを用いることによる更なるダイバーシチ利得の改善が得られる。BER 特性の評価から、本方式は劣悪な伝搬路であるほどダイバーシチ効果が大きくなることを確認した。CIOD を用いる場合との比較では、BER=10<sup>-2</sup> における性能改善とピーク電

力の低減を同時に達成できることを確認した。

最後に、中継局での信号分離を必要としない拡大 Alamouti 符号を用いるマルチホップ協調ダイバーシチを説明する。本方式は、各中継段位での中継処理を 2 台の中継局で協調して実施されるマルチホップ協調ダイバーシチを前提とする。従来の STBC を用いるマルチホップ協調ダイバーシチでは、中継処理の度に信号分離が必要であった。これに対して本方式では、各中継局で実施される Alamouti 符号化処理を、符号の構造を勘案しながら符号化の単位を変更しながら実施することで、受信局で拡大 Alamouti 符号化が施された信号を受信できる。これを復号することで通信を実現できるため、中継局で信号分離を行うことなく STBC 符号化の恩恵を享受してダイバーシチ利得が得られることが特長である。BER 特性の評価から、提案方式はホップ数が増大するほど性能改善が大きくなることを確認した。6 ホップの伝送を行う場合には、 $BER=10^{-2}$  おいて、提案方式の特徴である符号化の単位を拡大する符号化を行わない場合よりも 2dB の性能改善が得られることを確認した。

以上のように本論文では、移動体通信システムの高信頼化において重要な役割を果たす STBC を用いる送信/協調ダイバーシチにおいて装置が複雑となる課題に対して、これまで着目されてこなかった符号の構造に着目して装置を簡素化できる 4 方式を提案し、それぞれの処理を定式化しながら解説するとともに、性能評価によって効果を示す。