

知っておきたいキーワード

MIMO

大槻 知明[†][†] 慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

"MIMO" by Tomoaki Ohtsuki (Department of Information and Computer Science, Keio University, Yokohama)

キーワード：MIMO, CSI, 固有モード伝送, 時空間符号

1. MIMOとは

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, あるいは, Multi-Input Multi-Output) は, 多入力・多出力システムの総称です。通信の分野では, 「まいも」, または, 「みも」と呼び, 送受信双方に複数アンテナを用いて, 高速・大容量な情報伝送を行う技術のことを指します。MIMOを使うと, 複数のデータを同じ時間に同じ周波数を用いて伝送することができます。そのため, MIMOを用いると高い伝送速度を実現することができます。例えば, 送受信機で各4本のアンテナを用いるMIMOシステム(図1)は, 各1本のアンテナ

しか用いないシステム(SISO: Single-Input Single-Output)に比べ, 最大で4倍の伝送速度を達成することができます。そのため, 高速無線LAN規格であるIEEE802.11nや次世代携帯電話規

格での採用が確実視されています。また無線LANでは, すでにIEEE802.11gにMIMOを用いて, 通常の2倍である最大108Mbpsの伝送速度を得られる製品が発売されています。

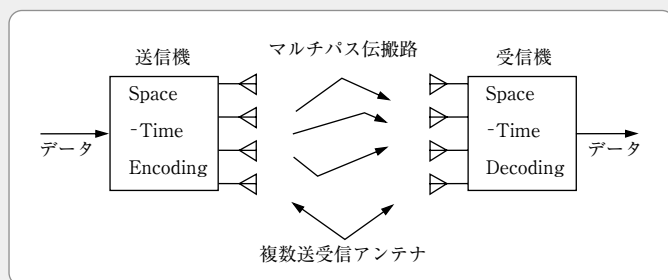


図1 MIMO伝送方式の基本構成

2. MIMOの原理

MIMOでは、同じ時間に同じ周波数を用いて異なる情報を伝送することができます。これは、送受信機間のマルチパス伝搬路を利用していると解釈することができます。受信機で受信した信号は、それぞれの信号が重なり合った、お互いの干渉を受けた信号となっています。MIMOでは、この干渉を受けた信号を、伝搬路情報を用いて解きほぐすことにより、それぞれの情報を分離・検出します(図2)。そのため、伝搬路状態(CSI)の把握が重要となります。MIMOの信号検出法の一つに、受信信号に受信ウェイトを乗算して、情報系列を複数の伝送系列に分離・検出する方法があります。受信ウェイトの規範にはさまざまなものがあります。ゼロフォーシング(ZF)規範は、干渉信号をゼロとする規範、すなわち、所望波対干渉波電力比(SIR)を最大化

する規範です。しかし、雑音強調現象が見られるため、所望波対干渉波の雑音電力比(SINR)は劣化してしまいます。MMSE(平均二乗誤差最小化)規範は、雑音を考慮したウェイトで、ZFに比べ高いSINRを得られます。

これらに対し、最尤検出(MLD)は、

複数伝送系列の同時推定であり、優れた特性を得られる検出法です。しかし、複雑度はZFやMMSE規範を用いた検出に比べ高くなってしまいます。現在、MMSE規範程度の複雑度でMLD並みの特性を得られる検出法の実現に向けた研究が進んでいます。

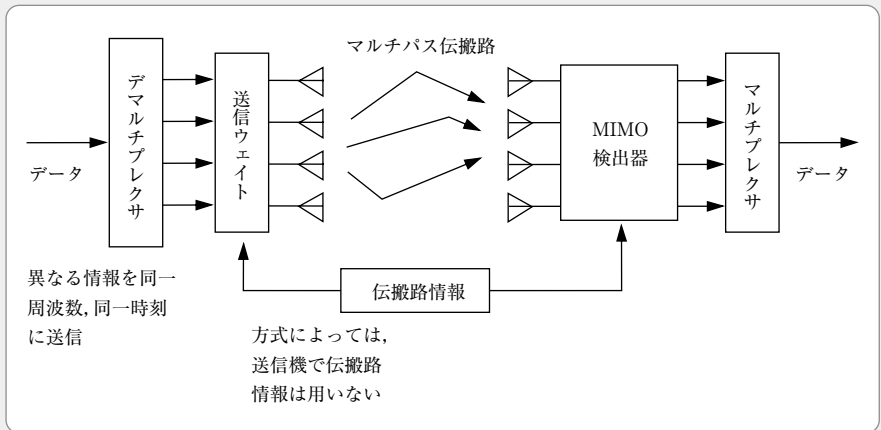


図2 伝搬路情報を用いるMIMO伝送方式の基本構成

3. MIMO伝送方式

3.1 固有モード伝送

これまでに述べたMIMO伝送では、送信機で伝搬路情報を必要としません。しかし、もし送信機で伝搬路情報が分かれば、送信側のリソース(送信電力, 伝送レート, 送信ビーム)を適切に制御して、より優れた特性を得ることができます。送受信機で伝送路情報を有する場合、伝送路を特異値分解(SVD)し、送受信ウェイトを各固有モードを実現する固有ベクトルとすると、固有値数分の並列伝送が可能になります。このような伝送方法を固有モード伝送と呼びます(図3)。

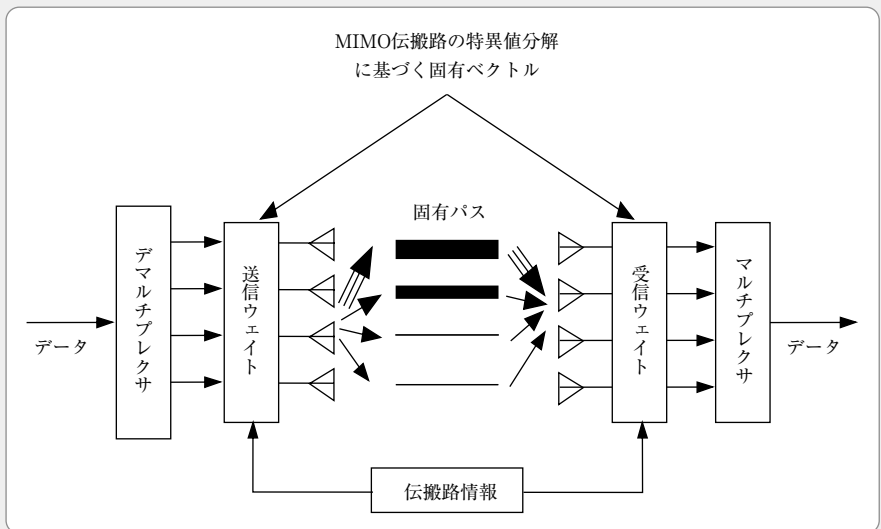


図3 固有モード伝送

3.2 時空間符号 (STC: Space-Time Codes)

これまでに述べた複数信号を並列伝送する方式は、SNRが比較的高い環境で、高いスループットを得るのに適しています。一方、高い信頼性を得る技術として、時空間符号 (STC) が知られています。STCは、時空間領域で信号を適切に事前処理 (正負の反転, 並び替え, 複素共役等) して送信することにより、受信機において簡単な演算で空間あるいは時空間ダイバーシチを得る技術です。STCには、ダイバ

ーシチ利得を目的とする時空間ブロック符号 (STBC: Space-Time Block Code) と、ダイバーシチ利得と符号化利得の両方を目的とする時空間トレリス符号 (STTC: Space-Time Trellis Code) の2種類があります。代表的なSTBCに、送信アンテナが2本のシステムに対するAlamoutiのSTBCがあります (図4)。AlamoutiのSTBCでは、二つの情報シンボルを、受信機で簡単な線形演算でシンボル分離ができ、かつダイバーシチ利得が得られるように符号化 (変調) し、2本のアンテナから、

2シンボル時間にわたって送信します。一方、STTCでは、ダイバーシチ利得と符号化利得の両方が得られるように、複数の送信アンテナから送信される信号間に時間的・空間的な相関を付加します (図5)。

STBC,STTC共にMIMOの特性を改善することができますが、STBCと誤り訂正符号を同時に用いた方が、STTCよりも、同程度の複雑さで優れた特性を得られる場合が多いため、近年では、STBCに関する研究の方が盛んになっています。

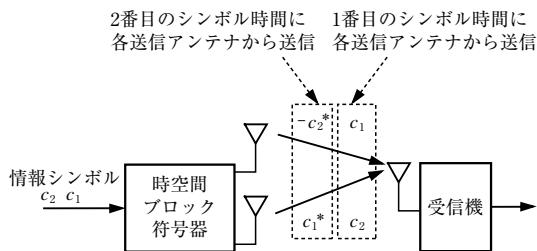


図4 Alamouti STBC符号化システム

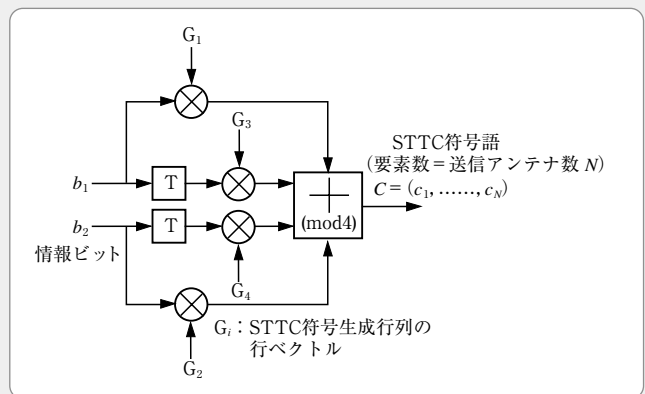


図5 時空間トレリス符号器 (QPSK, 符号器の状態数: 4)

参考文献

- 1) 中嶋信生編: “新世代ワイヤレス技術”, 丸善 (2004)
- 2) 大槻知明: “時空間符号”, Journal of Signal Processing 「信号処理」, 8, 3, pp.161-174 (2004)



大槻 知明 おおつき ともあき 1990年、慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1994年、同大学院理工学研究科博士課程修了。1993年～1995年、日本学術振興会特別研究員 (DC, PD)。1994年～1995年、慶應義塾大学理工学部電気工学科訪問研究員。1995年～2000年、東京理科大学理工学部電気工学科助手。1998年～1999年、カリフォルニア大学バークレー校訪問研究員。2000年～2003年、東京理科大学理工学部電気工学科講師。2003年～2005年、同大学助教授。2005年より、慶應義塾大学理工学部情報工学科助教授。専門は、無線・有線通信、光通信、信号処理、符号理論、情報理論。

キーワード募集中

この企画で解説して欲しいキーワードを会員の皆様から募集します。ホームページ (<http://www.ite.or.jp>) の会員の声より入力可能です。また電子メール (ite@ite.or.jp), FAX (03-3432-4675) 等でも受け付けますので、是非、編集部までお寄せください。(編集委員会)