

# 疑似固有ビーム伝送技術の研究開発 (071501005) Development of Pseudo Eigenbeam Transmission

## 研究代表者

大鐘武雄 北海道大学

Takeo Ohgane, Hokkaido University

## 研究分担者

小川恭孝<sup>†</sup> 西村寿彦<sup>†</sup> ウエバー ジュリアン<sup>†</sup> ブイ フー フー<sup>†</sup>

Yasutaka Ogawa<sup>†</sup> Toshihiko Nishimura<sup>†</sup> Julian Webber<sup>†</sup> Bui Huu Phu<sup>†</sup>

<sup>†</sup>北海道大学

<sup>†</sup>Hokkaido University

研究期間 平成 19 年度～平成 20 年度

## 概要

送受信機がそれぞれ複数のアンテナを有する MIMO システムにおいて、最大のチャンネル容量を達成する固有ビーム伝送方式をマルチキャリア方式に適用する場合、キャリア数に比例して増加してしまう計算量の削減が急務となる。さらに、送信ビームを形成するウェイトベクトルの位相が各サブキャリアでランダムに変化する場合、受信側で観測される実効チャンネルは、より大きな周波数選択性を有するため、周波数相関を用いたチャンネル推定誤差低減手法を適用することが困難である。本研究は、非常に少ない演算量で周波数連続性を有する送信ビームを生成でき、かつ、固有ビーム本来の特性にできるだけ近い伝送容量を達成する、疑似固有ビーム生成手法の開発を行った。

## Abstract

In a MIMO system equipping multiple antennas at the both transmitter and receiver sides, eigen-mode transmission achieves the maximum capacity. However, the computational complexity increases with the number of subcarriers in OFDM systems. In addition, random phase rotation of transmit weight vectors in the frequency domain causes significant frequency-selectivity in the observed channel. Thus, windowing to suppress the channel estimation error is not applicable. In this project, we have developed the pseudo eigen-mode capable of generating the frequency-continuous weight and reducing the computational complexity.

## 1. まえがき

MIMO システムにおいて、固有ビーム分割多重方式 (E-SDM) は最大の伝送容量が得られることが知られている。E-SDM における送信ビーム制御は、MIMO チャンnel 行列の特異値分解を必要とする。OFDM などのマルチキャリア伝送時は、各サブキャリアにおいて得られるチャンネル行列それぞれに特異値分解を行う必要があり、計算量の多さが問題となってしまう。

一方、周波数選択性フェージングを考えた場合、サブキャリア間での固有ベクトルの不連続性という問題も発生する。要因の一つは、固有ベクトルの位相不確定性に基づくものであり、もう一つは固有値順の不連続性である。図 1 に後者の概念を示す。各サブキャリアで独立に特異値分解を行う場合、隣接したサブキャリアで固有値順が逆転することがある。このとき、例えば第 1 固有値のみをトレースすると、逆転時に、固有値の不連続点があることがわかる。当然、対応する固有ベクトルも不連続となることは明らかである。

このような固有ベクトルの不連続性は、送信ビームの位相がサブキャリア毎に大きく変化することに対応し、結果として、実効的な MIMO チャンネルの遅延広がりを拡大してしまう。このとき、受信側でのチャンネル推定時に後述する窓処理ができないため、推定誤差が増加する。

ここでは、計算量の低減と、固有ベクトルの不連続性を解決する手法として疑似固有ビーム伝送方式を開発し、シミュレーションと室内実験による特性評価を行うことを目的としている。

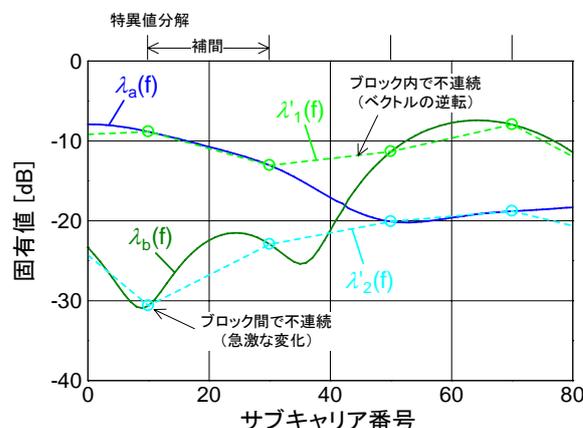


図 1 固有値/固有ベクトルの不連続性

## 2. 研究内容及び成果

今回開発した疑似固有ビームは、次のような原理に基づくものである。各サブキャリアにおけるチャンネル行列、送信ビーム行列を  $H(f)$ 、 $U(f)$  とするとき

- (1)  $H(f) H^H(f)$  を周波数平均した行列の固有値分解により平均受信ビーム行列  $V$  を求める
  - (2)  $H^H(f)V$  より、仮送信ビーム行列を生成する
  - (3) 仮送信ビーム行列を正規直交化したものを  $U(f)$  とする
- という処理により求めるものである。

これは、 $H(f) H^H(f)$  を固有値分解して得られるエルミート行列  $V(f)$  に対し、 $H^H(f)V(f)$  が真の固有ビーム行列と一

致する性質を利用したものである。 $H^H(f)$ は周波数連続性を持つ一方、 $V(f)$ は固有値分解の性質から周波数毎に位相不連続となる。そこで、 $V(f)$ をその平均値  $V$  と置き換えることで周波数連続な  $U(f)$  を求めようとしたものである。

次に、疑似固有ビームの周波数連続性について評価する。以下では、送受信アンテナ 4、64 サブキャリアの MIMO OFDM 方式において、16 パスの 1dB 減衰モデル (シナリオ A) と 3 パスの 8dB 減衰モデル (シナリオ B) を考える。表 1 は、送信ビームを疑似固有ベクトル (PEV) と真の固有ベクトル (TEV) を用いた場合の、4 つのビームの遅延広がりを示したものである。伝搬路単体では各シナリオで 3.47、0.43 サンプルという低い広がりであるのに対し、TEV では 3~20 倍ほど遅延広がりが拡大する。一方、PEV ではほぼチャンネルの遅延広がりと同様であることがわかる。

表 1 TEV/PEV での遅延広がり

		RMS delay spread [samples]	
		PEV	TEV
A	#1	2.97	10.24
	#2	3.57	14.43
	#3	4.41	17.36
	#4	4.45	17.67
	multipath	3.47	
B	#1	0.30	4.33
	#2	0.37	7.05
	#3	0.48	9.01
	#4	0.60	9.61
	multipath	0.43	

PEV のように遅延広がりが小さい場合は、チャンネル推定時に、時間領域で下図のような窓処理を行うことで、窓外の雑音成分を抑圧し、推定誤差を軽減することができる。以下では、さらに空間領域での三角窓関数も適用し、推定誤差の軽減を図った。

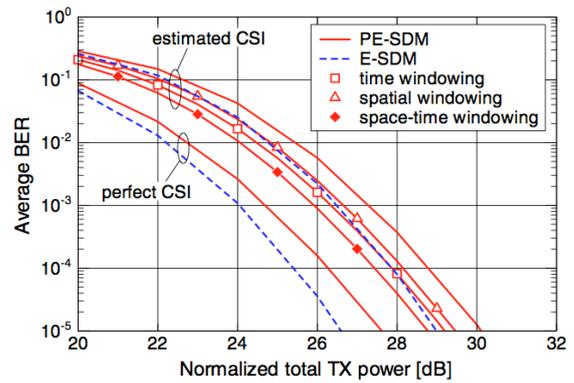


図 2 チャンネル推定時の時間領域窓関数

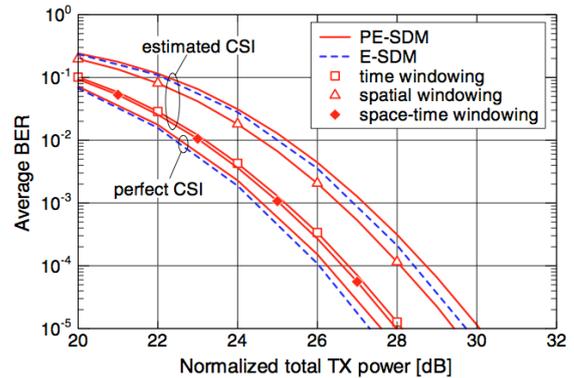
図 3 は提案手法の誤り率特性を示したものである。なお、比較対象として、通常の E-SDM を用いた。ただし、通常の場合は窓処理により特性劣化が生じるため、窓処理は行っていない。この結果から、疑似固有ビームは完全なチャンネル情報の下では特性が劣化するものの、チャンネル推定誤差軽減特性により、シナリオ A で約 1dB、シナリオ B で約 2dB の特性改善が得られることがわかった。

### 3. むすび

本提案手法により、64 サブキャリア時において計算量を補間による削減手法のさらに約 1/8 に低減し、また、誤り率特性も真の E-SDM 方式に対して約 1~2dB の利得が得られることがわかった。このように、提案手法は MIMO-OFDM において、固有ビーム伝送を実現するための非常に有効な手段であると言える。現在、図 4 のような室内実験系を、FPGA 信号処理装置を用いて開発中である。MIMO-OFDM の基本的な送受信系は完成し、受信信号処理部分を作成中である。



(a) Scenario A



(b) Scenario B

図 3 疑似固有ビームの誤り率特性



図 4 FPGA 信号処理装置による室内実験系

### 【誌上発表リスト】

- [1] H. Nishimoto, T. Nishimura, T. Ohgane, and Y. Ogawa, "Pseudo Eigenbeam Transmission Technique in Frequency Selective MIMO Channels," IEEE VTC2007-Spring, pp. 2068-2072, Dublin, Ireland, April 2007.
- [2] H. Nishimoto, T. Nishimura, T. Ohgane, and Y. Ogawa, "Channel Estimation with Space-Time Windowing in MIMO PE-SDM Transmission," IEEE VTC2007-Fall, pp. 541-545, Baltimore, MD, Sept. 2007.
- [3] H. Nishimoto, T. Nishimura, T. Ohgane, and Y. Ogawa, "Pseudo Eigenbeam-Space Division Multiplexing (PE-SDM) in Frequency-Selective MIMO Channels," IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no. 11, pp. 3197-3207, Nov. 2007.