

# ヴァーチャルサブキャリア割当て (VISA) を用いた OFDM 信号の空間フィルタリングに関する研究 (0212001)

## Virtual Subcarrier Assignment (VISA) for Spatial Filtering of OFDM Signals

原 晋介 大阪大学大学院工学研究科  
Shinsuke Hara Graduate School of Engineering, Osaka University

研究期間 平成 14 年度～平成 16 年度

### 概要

直交周波数分割多重 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 信号を用いた無線通信システムにおいて、受信機でアレーアンテナを用いると、異なるユーザに異なるバーチャルサブキャリア位置を割り当てることによって (VISA: VIRTUAL Subcarrier Assignment)、空間分割多重が容易に行え、周波数利用効率が向上する。本研究では、この新しい OFDM 信号の空間多重化法である VISA に関し、原理とウェイト制御アルゴリズムを提案する。そして、VISA の伝送特性を理論と計算機シミュレーションによって評価し、電波伝搬モデル、アレーアンテナの構成と VISA の伝送特性との関係を明らかにする。また、5GHz 帯の電波伝搬データを測定実験によって取得し、そのデータを用いて VISA の実環境における特性を評価する。さらに、VISA が得意とする無線通信システム例を示す。

### Abstract

In OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)-based wireless systems, when we employ an array antenna at receive side, SDMA (Space Division Multiple Access) can be easily realized by assigning different spectral positions of virtual subcarriers to different users. In this research project, we show the principle of VISA and evaluate the BER (Bit Error Rate) performance with measured 5GHz band data.

### 研究内容

図 1 に VISA の原理を示す。ここで、アレーアンテナを装備した受信機にユーザ A と B から送信された OFDM 信号が到来している。OFDM 信号は複数のサブキャリアから構成されており、ユーザ A と B に異なるバーチャルサブキャリア (データ伝送に使用しないサブキャリア) 位置を割り当てることによって、受信機がユーザ A からの信号を受信する場合は、アレー合成出力がユーザ A に割り当てられたバーチャルサブキャリア成分を持たないようにアレーウェイトを制御することによってユーザ B の信号を抑圧し、一方、ユーザ B からの信号を受信する場合は、アレー合成出力がユーザ B に割り当てられたバーチャルサブキャリア成分を持たないようにアレーウェイトを制御することによってユーザ A の信号を抑圧する。このことがもし本当ならば、この場合、VISA によって周波数利用効率が 2 倍に改善されることになる。

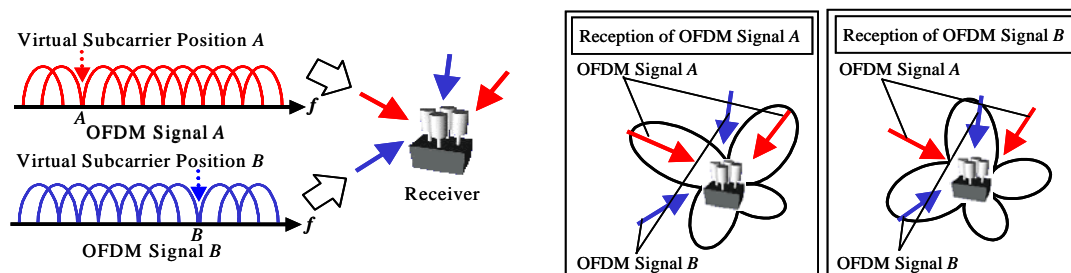


図 1 VISA の原理

本研究では、この VISA に関して、

- (1) バーチャルサブキャリア位置を適応的に割り当てる VISA の原理とアレーウェイト制御アルゴリズムを提案する
- (2) VISA の特性を一般的な電波伝搬モデルを用いて評価する
- (3) VISA の特性を実測データを用いて評価すること等を研究内容とする。

### 研究成果

#### (1) VISA の原理とアレーウェイト制御アルゴリズムの提案

データサブキャリアを 0 にすることによって、バーチャルサブキャリアを無理やり作成するのであれば、OFDM に基づいた既存のスタンダードに対しても VISA を導入でき、そのスタンダードに基づいたシステムの周波数利用効率を向上させることができる。このバーチャルサブキャリア構成法を「サブキャリアバンクチャリング」と呼び、5GHz 帯の無線 LAN スタンダードである IEEE802.11a に VISA を導入する方法を提案した。サブキャリアバンクチャリングを用いると、送信機ではバーチャルサブキャリアを無理やり作るシンボルバンクチャをシンボルマップと逆フーリエ変換器の間に挿入するだけで VISA の送信機は簡単に構成できる。一方、受信機では、当然のことであるが、アレーアンテナとアレーウェイト制御器が必要となる。また、VISA の通信路インパルス応答推定方法は既存のものとは少し異なるため、若干の変更が必要となる。しかし、バーチャルサブキャリア作成のためにバンクされたデータは「フェージングによってたまたま 0 になったデータ」とみなせばよいので、復調回路に変更点はない。

### (2) 一般的な電波伝搬モデルを用いた VISA の特性評価

無線 LAN を対象とした 5GHz 帯室内電波伝搬モデルが提案されている (C. C. Chong et al., "A new statistical wideband spatio-temporal channel model for 5-GHz WLAN systems," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.21, no.2, pp.139-150, Feb. 2003)。この電波伝搬環境を表した伝搬モデルを JSAC モデルと呼び、このモデルを用いて VISA の特性を評価した。図 2 に JSAC モデルを用いた場合の BER 特性を示す。ここで、アンテナ素子数は 8 で素子間隔は 1/2 波長である。3dB 程度の特性劣化は見られるが、VISA によって同時に 2 ユーザまで収容可能であることがわかる。従って、JSAC モデルでは VISA によって周波数利用効率を 2 倍にできることがわかる。また、JSAC モデルを用いて、アンテナ素子数を変えた場合の BER 特性も検討した。アンテナ素子数が 4 でも、素子間隔が 1 波長あれば、8 素子の場合との BER の差はあまり大きくないことを明らかにした。

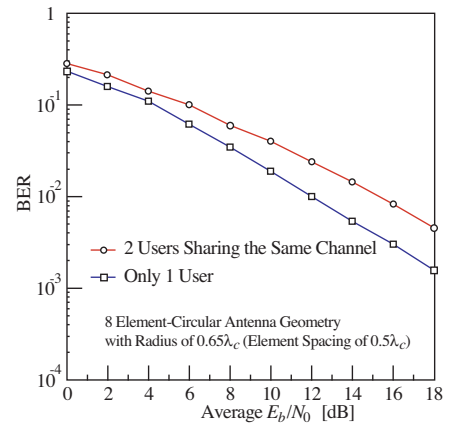


図 2 JSAC モデルを用いた BER 特性

### (3) 実測データを用いた VISA の特性評価

5GHz の無線 LAN で使用されている OFDM 信号をアレーアンテナで受信できる受信装置を開発した。その装置の無線周波数部とベースバンド信号処理部の写真を図 3 に示す。帯域幅は 20MHz であるが、ベースバンド信号処理部は 50MHz のサンプリングレートをもち、分解能は 16 ビットである。また、アレーアンテナの配置は自由に変更可能である。送信機として市販されている無線 LAN カードを使用するため、実験局の免許を取得する必要がない。従って、建物内 (5GHz の無線 LAN で許可されている) ならばどこでも電波伝搬データを取得でき、それから計算される通信路のインパルス応答を用いて VISA 等の OFDM アダプティブアレーの制御アルゴリズムの性能を評価することができる。



図 3 OFDM 受信装置

大阪大学電気系建物 E4-411 において電波伝搬データを取得した。測定環境の平面図を図 4 に示す。送信機は市販されているノート型パーソナルコンピュータと無線 LAN カードである。また、部屋の寸法は 6.8m(幅)x5.5m(奥行き)x2.6m(高さ)である。図 4 に示される A、B、C と D の 4 箇所送信機を設置して信号を送信し、アンテナ素子間隔が 1/2 波長である 4 素子円形アレーアンテナを装備した受信機で信号を受信する。受信信号データから信号パーストのプリアンプを探し出し、その中の受信ロングトレーニング系列部から通信路のインパルス応答を推定する。そして、推定したインパルス応答を計算機シミュレーションプログラムに取り込み、VISA の特性を評価する。

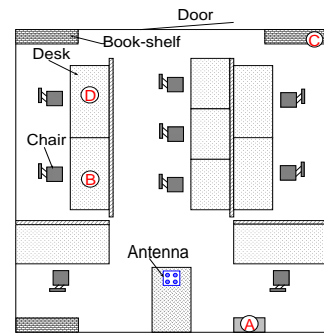


図 4 電波伝搬測定環境

図 5 に実測伝搬データを用いた BER 特性を示す。ここでは、単一ユーザの BER 特性は C 点に送信機を設置した場合を基準にしている。C 点に加え、同時に A 点に設置した送信機から信号を送信しても、BER 特性に大きな劣化は見られない。しかし、同時ユーザ数を 3 としてさらに B 点の送信機から信号を送信すると、BER 特性は著しく劣化する。この場合のアンテナの自由度は  $4-1-1=2$  であることを考慮に入れると、この部屋の支配的な信号パス数は 2 であり、2 ユーザ同時送信の場合は、支配的な信号パス数がアンテナの自由度と等しいので VISA は効果的に干渉波にヌルを向けることができるが、3 ユーザ同時送信の場合は、支配的な信号パス数がアンテナの自由度をこえるので干渉波を抑圧できなくなる。

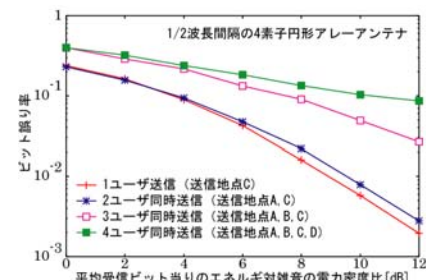


図 5 実測伝搬データを用いた BER 特性

この結果より、一例ではあるが、実 WLAN システムに VISA を導入する場合、アンテナ素子数が 4 であるアレーアンテナを用いれば、周波数利用効率を 2 倍にできることがわかる。

今後は、本 OFDM 受信装置を用いて様々な場所で電波伝搬データを取得し、VISA の BER 特性を評価していくつもりである。

### 誌上发表リスト

- [1] Shinsuke Hara, Shuich Hane and Yoshitaka Hara, "Simple Null-Steering OFDM Adaptive Array Antenna for Doppler-Shifted Signal Suppression," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 54, No. 1, pp. 91-99 (January 2005), 被引用度数: 0.
- [2] Yunjian Jia and Shinsuke Hara, "Improvement on Virtual Subcarrier Assignment (VISA) for Spatial Filtering of OFDM Signals: Multiple Subcarrier Puncturing," 電子情報通信学会論文誌 EB, 平成 17 年 6 月掲載予定, 被引用度数: 0.
- [3] Shinsuke Hara and Yunjian Jia, "Virtual Subcarrier Assignment (VISA) for Spatial Filtering of OFDM Signals," accepted with minor revision for IEEE Transactions on Vehicular Technology, 被引用度数: 0.