

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	次世代地上放送に向けた偏波MIMO伝送に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	朝倉 慎悟
Author(English)	Shingo Asakura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11437号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:府川 和彦,植松 友彦,山田 功,中山 実,笠井 健太
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11437号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	情報通信	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	朝倉 慎悟		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 府川 和彦
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

8K スーパーハイビジョンは、NHK が研究・開発した次世代の高臨場感映像・音響システムである。2018 年 12 月 1 日より、衛星による 8K 放送サービスが開始されたが、地上波でも 8K 映像を配信するため、次世代の地上放送方式の研究開発が進められている。8K を伝送するためには、1 チャンネル当たりの伝送容量を増やす必要があり、水平偏波と垂直偏波の同時使用が有望と考えられる。各偏波で個別のデータを伝送する偏波 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 伝送は、片偏波を用いた従来の SISO (Single-Input Single Output) 伝送と比べ、伝送容量を最大 2 倍にできる。また、水平偏波と垂直偏波は直交しているため、1 つの交差偏波式アンテナを用いることで両偏波を送受信可能である。本論文では、偏波 MIMO を用いた地上波による 8K の放送配信を目指し、偏波 MIMO 伝送の課題や、現行の地上デジタル放送でも生じうる課題を解決する技術を検討した。

まず、偏波間に受信電力差が生じる環境下で、伝送特性の改善手法を提案した。水平偏波と垂直偏波の同送信であっても、電波伝搬特性の違い等により偏波間で受信電力差が生じる。偏波 MIMO 伝送では偏波毎に個別のデータを送信するため、受信電力が低い方の偏波で伝送されるデータは、受信電力が高い方の偏波で伝送されるデータに比べ誤り易くなる。したがって、受信電力差が大きいほどビット誤りが一方の偏波に偏在し、誤り訂正符号によるビット誤りの訂正が困難となっていた。この問題に対して従来は、水平偏波と垂直偏波を合成することで右旋・左旋偏波、あるいは 45 度・-45 度斜め偏波に変換し、送受信を行うシステムを検討した。これに対して本論文では、偏波間でデータを交換しあうインタリーブ手法を提案した。計算機シミュレーションにより、短い処理遅延で理想的なインタリーブと同等の伝送特性を実現できることを明らかにし、さらに提案手法を実装した変復調装置を用いて室内実験、野外実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

次に、SFN (Single Frequency Network) 環境における伝送特性の改善手法を検討し、野外実験にてその有効性を確認した。SFN は複数の送信局から同一の周波数帯、同一の信号を送信することでサービスエリアを広げる技術であるが、各送信局から送信される信号同士は到来時間差があるため干渉し合い、周波数スペクトル上で歪み (受信電力差) が生じる。各送信局から到来する信号の受信電力差が小さい場所では、特定の OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) サブキャリアで受信電力が大きく落ち込み、映像にブロックエラーが生じて受信不可となるケースがある。このような難視対策のため、小規模送信局を追加設置するなどの対策が個別に取られているが、全ての難視地域を解消することは非常に困難である。そこで、 Alamouti 符号等の STC (Space-Time Coding) を複数の送信ブランチに適用する符号化 SFN 技術が検討されている。これまで、符号化 SFN 技術と偏波 MIMO 伝送を組み合わせた 4×2 MIMO を変復調装置に実装し、熊本県人吉市、及び同球磨郡水上村に設置した 2 局の実験試験局を使い、人吉市周辺での野外実験により手法の有効性を検証した。本論文では、この野外実験によって得られた 4×2 MIMO の実測データを用いて、従来 SFN に対する符号化 SFN の優位性を理論的に示した。具体的には、チャネルと SNR (Signal to Noise Ratio) から通信路容量を求め、従来の SFN の通信路容量より符号化 SFN の通信路容量が増加することを明らかにした。

さらに、偏波 MIMO の信号検出の低演算量化を検討した。MIMO 信号検出としては、線形受信である ZF (Zero Forcing), MMSE (Minimum Mean Square Error) や、最適信号検出である MLD (Maximum Likelihood Detection) などが有るが、一般に演算量が多いほど BER (Bit Error Rate) 特性は良くなる。見通し伝搬環境では、主偏波成分の電力に比べ交差偏波成分の電力は十分小さく、最も演算量の少ない ZF でも特性劣化なく受信可能であるが、ビル影などの見通し外環境やマルチパス伝搬環境では、複雑な電波伝搬等により低演算量の ZF や MMSE では BER 特性が大きく劣化する。現行の地上デジタル放送ではこうした劣悪な伝搬環境でも受信実態があることから、劣化の少ない信号検出を検討する必要がある。しかしながら、最適信号検出である MLD は演算量が膨大となることから、ハードウェアへの実装が大変困難となる。そこで本論文では、BER 特性の劣化を抑えつつ、演算量を大幅に削減する信号検出法を提案した。具体的には、チャネル行列の QR 分解に基づき、送信信号の候補数をチャネル行列の条件数に応じて削減する。さらに Complex SD (Sphere Decoding) を適用し、送信信号の候補数を効率よく削減する。この提案手法について、野外実験で取得した MIMO チャネルデータを用いて計算機シミュレーションを行い、その有効性を確認した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	情報通信	系
Department of, Graduate major in		コース
学生氏名：	朝倉 慎悟	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	府川 和彦	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：		
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

NHK has developed 8K Super Hi-Vision as the next generation of video and audio systems. Since December 1st 2018, the 8K broadcasting service via satellite has been launched. On the other hand, the next generation terrestrial broadcasting system has been investigated so that it can realize 8K fixed reception and 2K mobile reception, which should increase the transmission capacity. For this purpose, the dual-polarized MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) scheme that exploits both horizontal and vertical polarizations is one of the most promising techniques. The transmission capacity of SDM (Space Division Multiplexing)-MIMO scheme can be twice as much as that of SISO (Single-Input Single-Output) conventional one at most. In this thesis, we propose and evaluate new methods to improve the transmission performance when the dual-polarized MIMO scheme is adopted into the next generation terrestrial broadcasting system.

Firstly, we propose an inter-polarization interleaver to improve the performance. When there is a considerable difference of received power between horizontal and vertical polarizations, the stream corresponding to lower received power suffers from performance degradation more severely. To cope with such a problem, an interleaver between both polarizations is introduced into the dual-polarized MIMO scheme, and the performance is evaluated by computer simulation, laboratory experiment, and field experiment.

Secondly, we evaluate a coded single-frequency-network (SFN) system in large-scale field experiments in Hitoyoshi, Kumamoto prefecture. In our previous study, the Alamouti space-time block coding (STBC) scheme was introduced into the SFN system, which is called 4x2 MIMO-SFN. In this thesis, the MIMO channel capacity of the coded SFN is compared with that of the conventional SFN by using MIMO channel data measured in the field experiment.

Finally, we propose a low-complexity MIMO detection scheme. Under a non-line of sight (NLOS) channel condition, the performance is degraded due to cross-correlation between both the polarizations. Although the maximum likelihood detection (MLD) is the optimum signal detection, it requires a large amount of computational complexity when a high-order modulation scheme is employed. To cope with such a problem, the proposed scheme applies the QR decomposition into the channel matrix and employs M-algorithm based on the condition number of the channel matrix. Computer simulations demonstrate effectiveness of the proposed scheme by using channel data measured under a NLOS channel condition.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).