

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04372

研究課題名（和文）地上波8K放送実現のための偏波MIMOギャップフィルターの研究

研究課題名（英文）Research on polarized MIMO gap filler for realization of terrestrial 8K broadcasting

研究代表者

藤元 美俊 (Fujimoto, Mitoshi)

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：30362031

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：地上波による4K・8K放送を実現することを目的とし、伝搬特性の解析結果に基づき、偏波MIMOに適した中継器およびアンテナの構成について検討した結果を報告する。まず、電波伝搬解析モデルを用いて市街地における電波伝搬解析を行った。解析の結果、偏波MIMO中継を行うことによりチャンネル容量が増加することを確認した。次に、中継器の設置位置、多段構成による受信特性の違いについて検討した。特に、市街地構造（都市、郊外）による偏波MIMO中継の効果の違い、および親局と中継局との距離の影響について解析し、地上波放送において伝送速度（チャンネル容量）を改善するための効果的な偏波MIMO中継器構成を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、偏波MIMOギャップフィルターを使用する際の中継所構成の最低条件が明らかになった。また、通信環境から地上波4K・8K放送を受信するために中継所の設置が必要であるかが大まかに予測できるようになった。これらを活用することで、地上波4K・8K放送大幅な受信可能エリアの拡大が期待できる。

研究成果の概要（英文）：For realizing 4K / 8K broadcasting by terrestrial broadcasting, we examined the configuration of repeaters and antennas suitable for polarization MIMO based on the analysis results of propagation characteristics. First, radio wave propagation analysis was performed in urban areas using a radio wave propagation analysis model. As a result, it was confirmed that the channel capacity increases by using the polarization MIMO relay. Next, we examined the difference in reception characteristics depending on the installation position of the repeater and the multi-stage configuration. In particular, we analyzed the difference in the effect of polarization MIMO relay depending on the urban structure (city, suburbs). We also analyzed the effect of the distance between the broadcasting station and the relay station. We have clarified the effective polarization MIMO repeater configuration for improving the transmission speed (channel capacitance) in terrestrial broadcasting.

研究分野：無線通信

キーワード：偏波 MIMO ギャップフィルター 中継 放送

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は 2020 年の東京オリンピックを間近に控え、「4K・8K 放送を多くの視聴者が楽しむ」ことを目標とした研究開発が進められていた。既に、2018 年 12 月には衛星を用いた放送が開始された。衛星による放送は広域にわたる同一コンテンツの放送には適しているが、地域に密着した地域限定の放送には地上波による放送が欠かせない。

一方、地上波放送については、2003 年 12 月より地上デジタル放送が開始され、それまでの地上アナログ放送に比べ格段に画質が向上した。ただ、地上デジタル放送は 2K 放送であり、4K・8K 画質の放送はできない。このような背景から、衛星による 4K・8K 放送が普及すると、地上波を用いた地域密着型の 4K・8K 放送に対する要望・需要が高くなることは必至と考えられた。

2. 研究の目的

本研究は、地上波を用いた高精細映像放送の可能性を先行的に調査するものである。ギャップファイラーとは放送等における弱電界地域の受信強度改善のために、送信所からの電波を受信し弱電界地域にむけて再放射する中継装置である。遮蔽の原因となる構造物、たとえば高層ビルの屋上などに設置される。

本研究の目的は、偏波 MIMO ギャップファイラーによるチャンネル容量（伝送速度）の改善効果を明確にすることである。下記 3 つを検討課題としてあげ、偏波 MIMO ギャップファイラーの研究開発を行った。

- 1) 中継局設置によるチャンネル容量の改善
- 2) 多段 MIMO 中継によるチャンネル容量の改善
- 3) 長距離伝送時の受信特性の把握

3. 研究の方法

- (1) 偏波 MIMO 伝送を明らかにするために、市街地や住宅地を模擬したシミュレーションモデルを作成し、レイトレーシング手法に基づく電波伝搬解析を実施した。
- (2) 電波伝搬解析結果に基づきチャンネル容量（伝送可能な伝送速度）を推定し、偏波 MIMO ギャップファイラーの効果を確認した。
- (3) 多段 MIMO 伝送によるチャンネル容量改善効果、および長距離伝送時の受信特性を推定した。

4. 研究成果

(1) 電波伝搬解析に用いた解析モデル

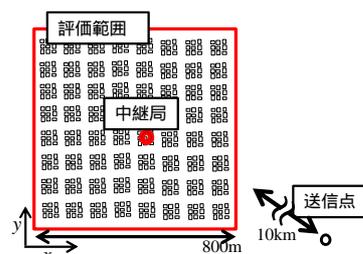
図 1 に解析モデルを、送信点のパラメータを表 1 に、それぞれ示す。送信点として東京スカイツリーを想定している。高さ 634m、送信電力 10W、実効輻射電力 69kW とし、水平偏波と垂直偏波を用いた偏波 MIMO 伝送を想定する。

また、受信エリアとして新宿を想定したモデルを作成した。送信点から 10km 離れた 800x800m のエリアを評価範囲とした。建物 9 個を 1 ブロックとして合計 64 ブロックからなる、市街地を想定した伝搬環境モデルを評価範囲内に作成した。建物の幅を 20m、ブロック間の道路幅を 30m、ブロック内の道路幅を 10m とした。建物の高さは、平均 = 10 のポアソン分布に、30 階や 40 階建の建物も加えた分布をもとに建物の高さを決定した。

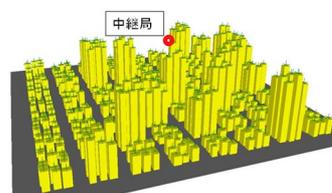
中継局を評価範囲内の最も高い建物の上部 1.5m に設置し、送信点から受信した信号を 1W まで増幅し、再放射する。中継局を設置した建物を除く評価範囲内の全ての建物の上部 1.5m に受信点を設置し、チャンネル容量を求める。周波数を 620MHz とし水平偏波と垂直偏波を用いた 2x2 偏波 MIMO 伝送を行う。伝送方式は固有モード伝送とした。

(2) 中継局設置によるチャンネル容量の分布

図 2 にチャンネル容量の分布を示す。横軸及び縦軸の距離 [m] は図 1 (a) に対応しており、色は各建物上で得られるチャンネル容量 [bit/s/Hz] を表し



(a) 上面図



(b) 俯瞰図

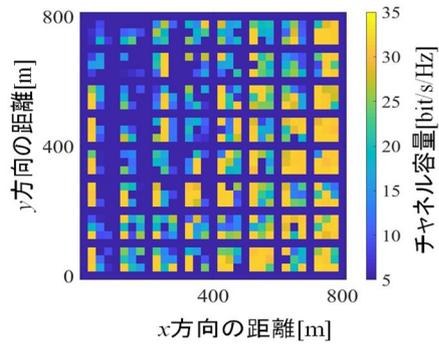
図 1 解析モデル

表 1 送信点のパラメータ

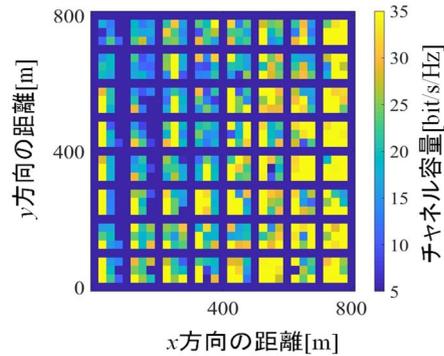
周波数	620MHz
送信電力	10kW
実効輻射電力	69kW
アンテナ高	634m
評価範囲との距離	10km

ている。

図2(a)は中継を行わない場合である。送信点から離れた左上のエリアでは、得られるチャンネル容量が小さくなっている。これは建物の影となるためである。図2(b)は中継局を設置した場合のチャンネル容量の分布を示す。中継を行うことにより全体的にチャンネル容量が改善されている。特に、中継局の設置により左上のエリアでもある程度チャンネル容量が改善されていることが分かる。



(a) 中継無し



(b) 中継あり

図2 チャンネル容量分布

(3) 中継局設置によるチャンネル容量の改善効果

図3に中継局設置によるチャンネル容量の改善効果を示す。横軸はチャンネル容量[bit/s/Hz]、縦軸は累積確率[%]であり、横軸の値以下しかチャンネル容量を得られないエリアの割合を示している。図3より、中継を行うことで、チャンネル容量が改善されることが確認できるが、その改善量はあまり大きくない。これは、図3は中継器では単純な増幅を想定し、信号分離を施していないためである。実際には、中継の前後で偏波が交さするため、それぞれにおいて信号を分離する必要がある。

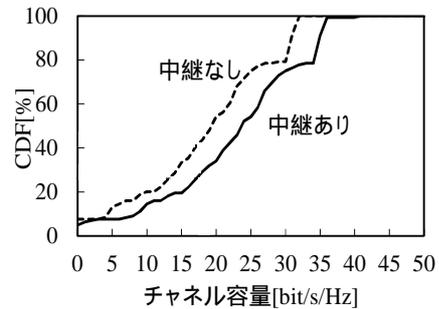


図3 中継局設置によるチャンネル容量改善効果

(4) 多段 MIMO 中継の効果

多段 MIMO 中継による中継局での偏波校正

図4に今回用いた多段 MIMO 中継のシステムモデルを示す。MIMO 伝送では、受信点での信号処理により信号分離を行うが、単純に中継局を設置する場合、中継局で分離を行わず増幅のみ行う。しかしこの方法をそのまま偏波 MIMO に用いると、交差偏波による MIMO の性能低下が生じる。そこで中継局でも MIMO による信号分離を行う方法として多段 MIMO 中継を考える。

図5に多段 MIMO の概略図を示す。U は送信ウェイト、V は受信ウェイトである。送信点-中継局間(Tx-R)と中継局-受信点間(R-Rx)でそれぞれ送受信ウェイトを求める。図4に示す各経路の伝搬チャンネル行列 H^{Tx-R} , H^{R-Rx} , H^{Tx-Rx} に送受信ウェイトを乗積した行列を D^{Tx-R} , D^{R-Rx} , D^{Tx-Rx} とすると、多段 MIMO 中継システム全体の伝搬チャンネル行列 D は

$$D = D^{R-Rx} D^{Tx-R} + D^{Tx-Rx} \quad (1)$$

と表せる。

多段 MIMO 中継によるチャンネル容量の改善

図6に多段 MIMO によるチャンネル容量の改善効果を示す。横軸はチャンネル容量[bit/s/Hz]、縦軸は横軸の値が得られる建物の割合[%]である。実線は Tx-Rx 間のみ NLOS、破線は Tx-R が NLOS、一点鎖線は R-Rx が NLOS となる場合である。各経路の伝搬経路の状況を表2に示す。図6より、多段 MIMO では、受信点のみ信号分離する方法に対し高いチャンネル容量が得られる。実際に最も想定される Tx-Rx 間のみ NLOS となる環境において、多段 MIMO 伝送を行うことによりチャンネル容量が大きく改善されることから、中継伝送において多段 MIMO 中継が有効であることが分かる。

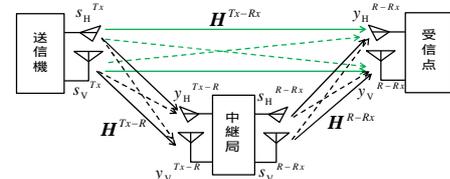


図4 偏波 MIMO 中継システムのモデル

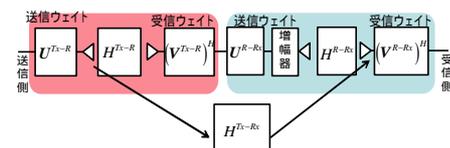


図5 多段 MIMO による送受信ウェイト

(5) 長距離伝送時の受信特性

長距離伝送時の受信特性を評価するために、送信所から 100km 離れた建物群における受信特性を解析した。ここでは住宅地と市街地の 2 通りを検討した。建物高は住宅地で $\lambda = 10$, 市街地で $\lambda = 30$

のポワソン分布に従うものとしている。また、市街地に関しては、30階と40階の建物を加えることで高層ビルが多い環境を模擬している。それ以外のパラメータは前節までと同じである。

建物屋上でのチャンネル容量の累積分布を図7に示す。結果より、中継所を設置することによる受信特性の改善効果は、市街地より住宅地の方が高いことが分かる。これは、住宅地では建物高の差が小さく、中継後の電波が遮蔽される確率が低いことが要因であると考えられる。また、4K放送に必要なチャンネル容量は16Mbpsとされている。今回の条件では中継所を設置することにより市街地で75%程度、住宅地では90%程度のエリアで受信できることがわかる。一方、市街地で約25%、住宅地で約10%のエリアで受信できない。このことから、広域放送を実現するには、さらなる受信特性の改善が必要である。

(6)むすび

偏波MIMOを用いた中継伝送の評価を行い、チャンネル容量が改善可能であることを明らかにした。また中継局での偏波校正によってさらにチャンネル容量を改善できること、および、中継器でも信号分離を行う多段MIMO中継が有効であることが分かった。また、住宅地環境は市街地環境と比べて、受信特性が良く、中継所による改善効果が高いことが分かった。ただし、受信特性を改善しても受信できない地域があることからさらなる改善が必要である。

<引用文献>

- 土田健一, "地上波放送高度化に向けた研究開発", NHK 技研 R&D, No.172, pp.4-10(2018).
- 長敬三, 井上祐樹, "MIMO用偏波共用基地局アンテナの端末偏波特性に対する伝送特性解析", 信学技報, A・P2010-97, Nov.2010.
- 齋藤 健太郎, 北尾 光司郎, 今井 哲郎, 奥村 幸彦, "市街地スモールセル環境における空間MIMOと偏波MIMOの特性比較", 信学技報, A・P20213-39, Jun.2013.
- 部 拓也 "マルチパス環境における偏波MIMO-超多値OFDMの伝送特性", NHK 技研 R&D/No.136/2012.11.
- 唐沢好男, デジタル移動通信の基礎, コロナ社, 2016.
- 河東 晴子 "移動体通信波の多様な地形での伝搬に関する考察" IPSJ SIG Technical Report, Vol2011-MBL-59, No.7, pp.1-7, 2011.9.5

表2 各経路の伝搬環境

	Tx-Rx	Tx-R	R-Rx	状況
(1) Tx-RxのみNLOS	NLOS	LOS	LOS	理想的な中継
(2) R-RxがNLOS	NLOS	LOS	NLOS	状況としてはあり得る
(3) Tx-RがNLOS	NLOS	NLOS	LOS	

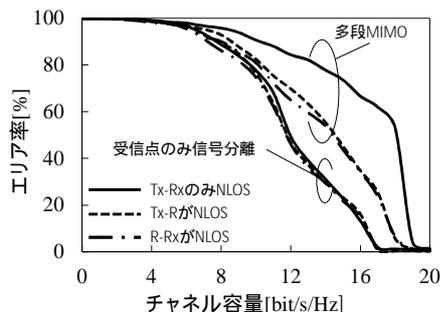


図6 多段MIMOによるチャンネル容量改善

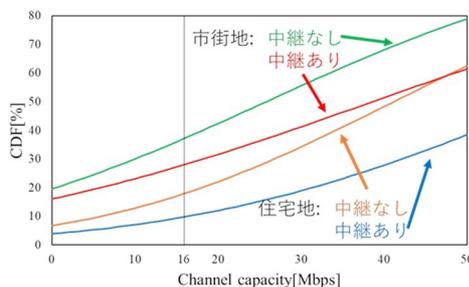


図7 長距離伝送時の伝送容量

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kentaro Tanaka and Mitoshi Fujimoto
2. 発表標題 Service Area Expansion by Polarization MIMO Gap-filler in Terrestrial TV Broadcasting
3. 学会等名 Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中健太郎, 藤元美俊
2. 発表標題 地上波放送における偏波MIMOギャップフィラーによる受信エリア拡大
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中健太郎, 藤元美俊
2. 発表標題 地上波TV放送の長距離伝送における偏波MIMOギャップフィラーによる受信特性改善
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Morimoto, M. Fujimoto
2. 発表標題 Improvement of Channel Capacity using Relay for Polarized MIMO Transmission
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本和明, 藤元美俊
2. 発表標題 中継伝送を用いた偏波MIMO伝送のチャネル容量改善効果
3. 学会等名 2019 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関