

異種無線多重 MIMO チャネル動的構成方式の 共有アンテナ分配における分配振動の抑制と分配探索時間の 削減

奥本 裕介¹ 滝沢 泰久²

概要：近年，スマートフォンなどにおける多様なアプリケーションの利用拡大，および IoT の社会への浸透に伴い，ネットワークトラフィックが急増している．そのために，新たな無線通信システムとして第 5 世代移動通信（5G）の普及が望まれている．5G では，容量拡大のため高周波数帯の利用と MIMO を用いる．一方，高周波数の利用は通信範囲が狭くなることから，アンテナ数が激増する．我々は，このような 5G 環境の多数の MIMO アンテナを異種無線システム間で共有し最適に分配することで更なる容量拡大とトラフィック分散を可能とする異種無線多重 MIMO チャネル動的構成方式を提案している．しかし，本方式は最適なアンテナ分配数探索において最適分配数近傍でアンテナ分配が振動し安定せず，ネットワークスループット低下の原因となっている．本稿では，異種無線多重 MIMO チャネル動的構成法制方式において最適なアンテナ分配における振動を抑制し，また探索時間を削減する方式を提案する．

Suppression of distribution vibration and reduction of distribution search time on Dynamic Configuration for Multiplex MIMO channel of Heterogeneous Wireless System

YUSUKE OKUMOTO¹ YASUHISA TAKIZAWA²

1. はじめに

移動端末として，スマートフォンと呼ばれる高性能な携帯端末やタッチパネルによる入出力操作を可能とするタブレット PC が続々と登場し，様々なアプリケーションが利用されるようになった．これに伴い無線ネットワーク内には多様なコンテンツが増え，使用するデータの量やユーザ数も年々増加している．また，IoT (Internet of Things) の社会への浸透により，ネットワークに内包するデバイス数，トラフィックは今後さらに増加すると予想される．このような無線通信の利用状況から無線通信において周波数帯域の広帯域化が求められる [1]．しかしながら，周波数帯域は既存の無線システムに割り当てられているため，周波

数不足の問題が顕在化している．

これら多様な無線システムの利用拡大と周波数不足の背景から，近年では新たな無線通信システムとして第 5 世代移動通信（以下，5G : 5th Generation）[2] が実装に向けて動き出している．5G では使用する周波数を従来の周波数帯に加えて高周波数帯も利用する．これにより，高速・大容量，多接続，低遅延化を実現する．しかしながら，従来よりも高周波数帯を利用することで，通信距離が短くなる．従って，今後，基地局が増え，アンテナ数が格段に増加することが予想できる．また，現在では，無線通信の広帯域化技術として Multiple-Input and Multiple-Output（以下，MIMO）[3] が採用されている．MIMO は送信機と受信機の双方で複数のアンテナを使い通信ストリームを増やすことで空間を多重化し，帯域拡大を図る．理論的にはアンテナ数に比例して帯域拡大が見込まれる．MIMO を利用する上で，アンテナ数が重要な要因になる．

一方，アンテナは無線システム毎に固定化されており，単

¹ 関西大学大学院理工学研究科
Graduate School of Engineering, Kansai University

² 関西大学環境都市工学部
Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

一の無線システムに多くのアンテナリソースを割り当てることでスループットを向上させるに留まる。また、MIMOにおいてアンテナ数を増やすことにより帯域拡大が図れるが、アンテナ数の増加に従い空間分割の特性効果が低下して、帯域拡大が鈍化する。以上のことから、先行研究では、5G環境の多数のアンテナリソースの有効活用により更なる容量拡大を図るため、アンテナを異種無線システム間で共有して、それぞれの無線システム状況に応じて適切にアンテナを分配し、多重のMIMOチャネルの総容量を拡大する異種無線多重MIMO動的構成方式 [4] を提案している。しかし、先行研究では容量拡大はできたが、最適な共有アンテナ分配数の探索の過程でアンテナ振動が発生し、スループット低下を引き起こし、また、探索に時間を要する問題点がある。

本稿では、上記問題点を解決するため、探索過程で生じるアンテナ振動の抑制と、探索時間の削減を図る方式を提案する。

2. 関連技術

2.1 5G

5Gとは現在規格の検討が進められている次世代通信システムだ。5Gに求められるのは主に3つだ。以下ではその説明をする [5]。

- 大容量化

近年、移動端末はその数を急激に増加させ、生活の一部に組み込まれつつある。移動端末の代表例であるスマートフォンでは、画質の向上、ダウンロード速度の向上など、さらに使い勝手を良く便利にしたいというニーズがある。そのために必要なのが大容量化だ。

- 多接続

近年の社会ではIoT (Internet of Things) [6] という言葉が浸透してきており、ネットワークに接続されている端末数が増加している。今後さらにネットワークに接続される端末の数は増加すると予想される。そのため、1度につなぐことができる端末の数を格段に増加することが求められる。

- 低遅延・高速化

前述の2つのことからAR・VR、自動運転、ドローンなどの最新技術をサービスに組み込むことが可能になり、サービスの多様化が見込まれる。用途によっては4Gでは実現できないほど通信のタイムラグを減らす必要がある。このため、ネットワークのさらなる高速化・低遅延が望まれる。

上記で挙げた大容量化、多接続、低遅延・高速化を実現するためには周波数帯域幅を広げることが有効である。表

1に4Gと5Gでの使用周波数帯を示す。これより、5Gでは従来の4Gよりも高い周波数を使うことがわかる。高い周波数の電波は、直進性が高く到達距離が短いという特性がある。したがって、従来の基地局に比べると基地局のセル半径が小さくならざるをえない(図1)。セル半径の小さいスモールセルを高密度に配置することで、通信可能な端末数と帯域を増やすことができる [8]。

表 1 4G, 5G での使用周波数帯

通信システム	使用周波数帯
4G	3.6GHz 以下
5G	6GHz 未満 28GHz 帯

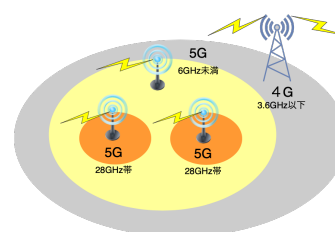


図 1 5G の通信範囲 [7]

2.2 MIMO

MIMOでは複数のアンテナを使用することで送受信の広帯域を実現する [9]。複数のアンテナで同時に異なるデータを送信、受信時に合成することで擬似的に広帯域を実現し、通信の高速化を図っている。伝送路を増加させることで、空間の多重化を行っている(図2)。理論上はアンテナが2本ならば2倍に、3本ならば3倍に帯域幅が増えたのと同じ効果が得られる。しかし、実際には、アンテナ数が過度に増加すると、空間多重化において分割された空間の空間特性の相違が減少し、容量拡大は鈍化する(図3)。

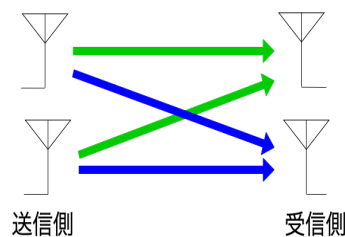


図 2 Multiple-Input and Multiple-Output(MIMO)

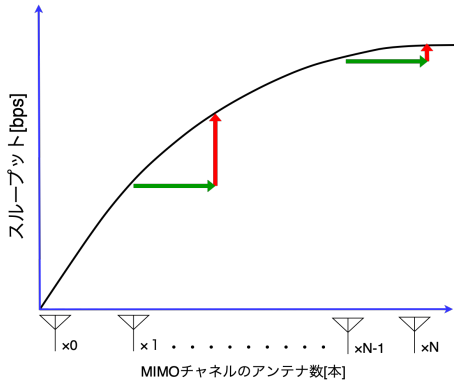


図 3 MIMO での通信容量拡大の様子

3. 先行研究

先行研究として異種無線多重 MIMO チャンネル動的構成方式がある。図 4 にその機能構成図を示す。

- 共有アンテナ
 アンテナが無線システムに固定されずに使えるようになる。
- 多重 MIMO チャンネル
 複数の無線システムで MIMO チャンネルを構成し、これらの和になる。
- 共有アンテナ分配アルゴリズム
 多重 MIMO でのチャンネル容量が最大になる共有アンテナ分配数を探る機能だ。
- 仮想単一 MIMO チャンネル構成方式
 複合無線アクセスネットワーク [10] を用いて、多重の MIMO チャンネルを仮想の単一 MIMO チャンネルに構成・集約することにより、アプリケーションのスループット向上を図る。

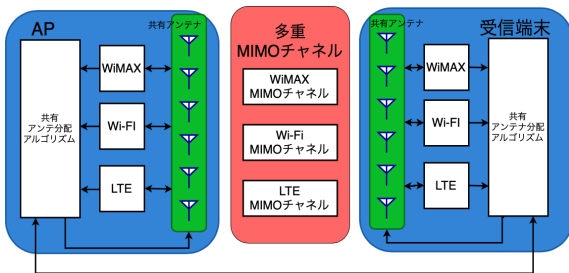


図 4 機能構成図

先行研究の機能は、図 5 の流れで行われる。アンテナによる空間分割効果によるチャンネル容量拡大のメトリックとして、無線システムからスループットを取得し、共有アンテナ分配アルゴリズムで評価し、共有アンテナ分配のスケジューリングを行い切り替えを行う。

3.1 共有アンテナ

従来の通信で、アンテナは無線システムで固定されてい

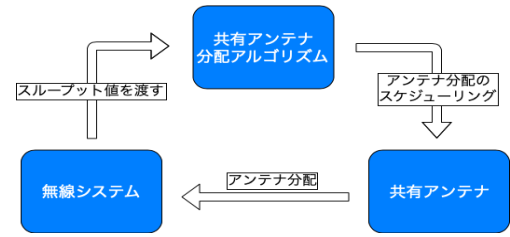


図 5 共有アンテナ分配モジュール

る。5G 環境の多数のアンテナを無線システムで適時必要に応じて分配し、異種無線システムの MIMO チャンネル総容量の拡大を図るため、無線システム間でアンテナを共有する (図 6)。

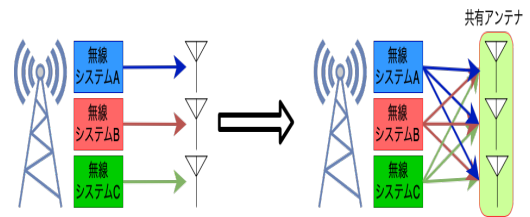


図 6 共有アンテナ

3.2 多重 MIMO チャンネル

MIMO チャンネル容量はシャノンの定理 [11] に基づいて次ように定式化できる。

$$C = x * B \log_2(1 + \frac{SNR}{x}) \quad (x > 0) \quad (1)$$

C は MIMO チャンネル容量、 x は MIMO アンテナ数、 B は帯域幅、 SNR は SN 比である。式 (2) に MIMO チャンネル容量の MIMO アンテナ数 x に関する導関数を示す。

$$\frac{dC}{dx} = B \log_2 \frac{1 + \frac{SNR}{x}}{e^{\frac{SNR}{x+SNR}}} \quad (2)$$

式 (2) は $x \geq 0$ において常に 0 以上であることから MIMO チャンネル容量は MIMO アンテナ数に対して単調増加となる (図 7)。さらに式 (1) の 2 次導関数は次のようになる。

$$\frac{d^2C}{dx^2} = -\frac{BSNR^2}{x(x+SNR)^2 \log 2} \quad (3)$$

式 (3) は $x \geq 0$ で常に 0 以下であるので MIMO チャンネル容量増加はアンテナ数に対して単調減少である (図 8)。すなわち、MIMO チャンネル容量はアンテナ数に対して上に凸の単調増加となる。アンテナ数の増加に伴いチャンネル容量の増加量が減衰する理由は、1 アンテナ数に割り当てられる出力が低下するためである。また、実環境においては、MIMO チャンネルでは、アンテナ数が過度に増加すると、空間多重化において分割された空間の空間特性の相違が減少し、容量拡大が鈍化する。式 (2)(3) および空間分割の特性

から過度なアンテナ数を無線システムへ割り当てても大きな容量拡大は期待できない。従って、異種無線多重 MIMO チャンネルでは、異種無線システム間において、アンテナ数に対して相対的に容量拡大が見込める無線システムへ共有アンテナを分配し、複数の無線システムの MIMO チャンネルの総容量において拡大を図る。

図 9 に共有アンテナ分配に基づく無線システム A および B の MIMO チャンネル容量，多重 MIMO チャンネル容量を示す。x 軸は無線システム A への共有アンテナ割り当て数，y 軸は MIMO チャンネルの容量を示す。共有アンテナ数は N 本と一定として，右に行くほど無線システム A に割り当てるアンテナ数が増え，逆に無線システム B に割り当てるアンテナ数が減少する。x 軸において右へ向かうほ

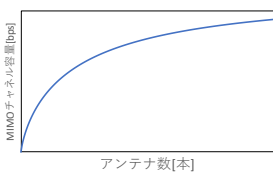


図 7 MIMO における
 アンテナ数と
 チャンネル容量

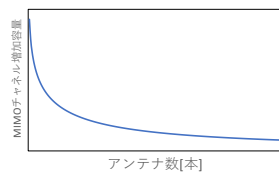


図 8 式 (2) のグラフ
 (B=20, SNR=100)

ど無線システム A への共有アンテナ分配数が増え，一方，無線システム B への共有アンテナ分配数が減少する。従って，無線システム A の MIMO チャンネル容量は x 軸に対して上に凸で単調増加し，一方，無線システム B は上に凸で単調減少する。異種無線多重 MIMO チャンネル容量はこれら個々の無線システムの MIMO チャンネルの和であり，この容量は共有アンテナ分配数に対して上に凸となる。

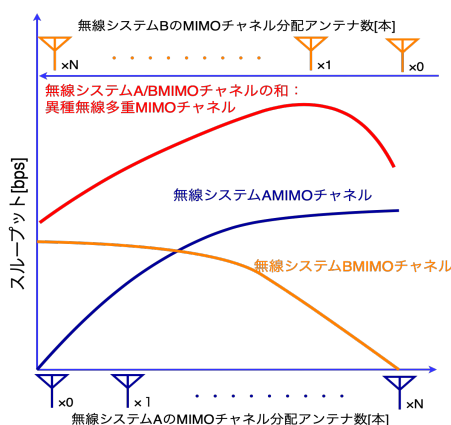


図 9 無線システム A/B の MIMO チャンネル容量および異種無線多重 MIMO チャンネル容量の共有アンテナ分配数に対する依存性

3.3 共有アンテナ分配アルゴリズム

図 9 を基に，異種無線多重 MIMO のチャンネル容量を最大化する共有アンテナ割り当てを探索する共有アンテナ分

配アルゴリズムについて説明する。図 9 より，右に行くほど無線システム A のチャンネル容量は単調増加し，B 無線システムのチャンネル容量は単調減少する。多重 MIMO チャンネルのチャンネル容量はこれらの和になるので，上に凸関数になると考えられ，最適な共有アンテナ分配数が存在する。先行研究では，最適な共有アンテナ分配数の探索に最急降下法 [12] を適用している。共有アンテナ分配においてチャンネル容量が上昇する方向を選択して最適解を探索する。共有アンテナ切り替え t 回目の無線システム A の共有アンテナ分配数を $A(t)$ ，共有アンテナ切り替え t 回目における無線システム A,B の MIMO チャンネル総容量を $C(t)$ とする。式 (4) に動的な共有アンテナ分配のアンテナ更新を定式化した。

式 (4) を繰り返すことで容量を最大化する最適な共有アンテナ分配数を探索する。図 9 のように，上に凸関数になると考えられるので，局所解に囚われることもない。

$$A(t+1) = \begin{cases} A(t) + 1 & (C(t) \geq C(t-1)) \\ A(t) - 1 & (C(t) < C(t-1)) \end{cases} \quad (4)$$

先行研究での共有アンテナ分配方式をまとめると，チャンネル容量の高い MIMO チャンネルからチャンネル容量の低い MIMO チャンネルへ共有アンテナを分配し，これを繰り返すことで最適な共有アンテナ分配を実現する。

図 10 を用いて具体的な共有アンテナ分配の動作を説明する。ここで示す図 10 の共有アンテナ数は 4 本とする。

Step0 . 初期の共有アンテナ分配を設定 (無線システム A1 本，無線システム B3 本)。

Step1 . 共有アンテナ分配を適当に (図 10 の左グラフの左端の緑矢印：無線システム B から無線システム A へ)1 アンテナ移動する。

Step2-1 . チャンネル容量が増加する場合，同じ方向へ (図 10 では左グラフの左から 2 番目，3 番目の緑矢印：無線システム B から無線システム A へ) 1 アンテナ移動する。

Step2-2 . チャンネル容量が減少する場合は，アンテナの移動方向を反転させる (図 10 では左グラフの赤矢印：無線システム A から無線システム B)。

以上のように Step2-1 または Step2-2 の動作を繰り返すことで動的にチャンネル容量が最大になる場合の共有アンテナ分配数を探索する。

3.4 仮想単一 MIMO チャンネル構成方式

仮想単一 MIMO チャンネルはアプリケーションのスループットを拡大するために，共有アンテナ分配により最適に構成された複数の MIMO チャンネルを IP レイヤと MAC レイヤ間で集約して，IP レイヤ以上において仮想的な単一 MIMO チャンネルとして構成する。複数の無線システム

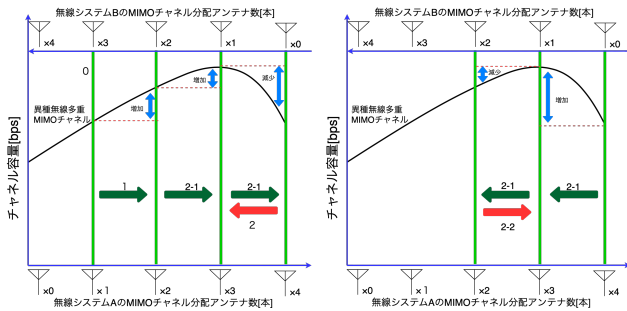


図 10 動的な共有アンテナ分配機能

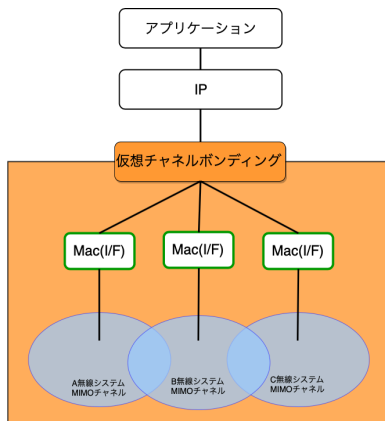


図 11 仮想チャンネルボンディングによる複合無線システムの隠蔽

の MIMO チャンネルを集約する仮想チャンネルボンディング (Virtual Channel Bonding) レイヤを IP レイヤと Mac レイヤ (I/F) の間において構成する (図 11)。

仮想チャンネルボンディングレイヤによる実装構造とパケットの流れを図 12, 13 を用いて説明する。

図 12 には送信側, 受信側があり, 送信側には複数の無線 I/F が装備されており, また仮想チャンネルボンディングレイヤもそれらの I/F を管理する仮想 I/F なので IP アドレスが割り当てられる。同様に受信側にも複数の無線 I/F が装備され, 仮想チャンネルボンディングレイヤにも IP アドレスが装備されている。ここで, 送信側から受信側にパケットが送信される。

- (1) アプリケーション層で送信先 IP アドレス 192.168.10.2 へのパケットが発生すると, 送信元 IP アドレスを仮想チャンネルボンディングレイヤの 192.168.10.1 として下位レイヤにパケットを渡す。IP 層にパケットが到達すると IP ヘッダを付与し, 送信元 IP アドレス 192.168.10.1 である仮想チャンネルボンディングレイヤにパケットを渡す。
- (2) 仮想チャンネルボンディングレイヤでは共有アンテナ分配アルゴリズムに基づき, 複数の無線 I/F の中から送信元 I/F (I/F1, I/F3) を決定する。そして, 送信元アドレスとして I/F1, I/F3 の IP アドレスを指定し, 送信先

アドレスとして, 受信側の I/F1, I/F3 の IP アドレスを指定した仮想チャンネルボンディングヘッダを生成し, パケットに付与する (図 13)。その後, 仮想チャンネルボンディングヘッダを含んだパケットを分配先 I/F にパケットを渡す。

- (3) 仮想チャンネルボンディングヘッダを含んだパケットを受け取った I/F は, 受信側に送信する。
- (4) 受信側の I/F がパケットを受信すると, 仮想チャンネルボンディングレイヤにパケットを渡す。
- (5) 仮想チャンネルボンディングレイヤでは, 仮想チャンネルボンディングヘッダを送信先 IP アドレスが, 自身の管理する I/F の IP アドレスと一致しているならば, 仮想チャンネルボンディングヘッダを取り, パケットを結合し IP レイヤにパケットを渡す。
- (6) IP レイヤは IP ヘッダの送信先 IP アドレスが仮想チャンネルボンディングレイヤに割り当てられている IP アドレスと一致しているので, 上位レイヤにパケットを渡す。最終的に受信側のアプリケーションにパケットが到着する。

以上より, アプリケーションレイヤからは複数の無線システムを隠蔽し, パケットの送受信を可能とする。

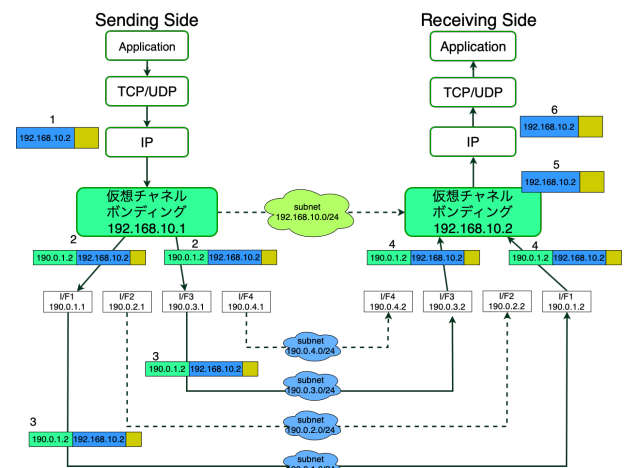


図 12 実装構造



図 13 パケット構成

4. 提案方式

先行研究の異種無線多重 MIMO チャネル動的構成方式では、最適な共有アンテナ分配数の探索までに約 100 秒費やしていた。また、探索の過程でアンテナ振動が発生し、スループットの低下を招いていた。提案方式では、探索時間の削減、探索後のアンテナ振動の抑制の 2 点を解決する方式を提案する。

先行研究では、共有アンテナの切り替えインターバルを 10sec に固定して共有アンテナ切り替えを行っていた。提案方式では、動的にインターバルを変えることで、最適な共有アンテナ分配数の探索時間を削減し、さらに探索過程での共有アンテナ分配の振動を抑制することで、スループットの拡大を実現する。

4.1 インターバルとアンテナ探索時間の関係

図 14 は先行研究でのインターバルを 1sec, 5sec, 10sec と予めわかっている最も良い共有アンテナの組み合わせのみで通信を行なったものを比較したものだ。図 14 より、インターバルを変化させてもスループットにあまり変化がないことがわかる。

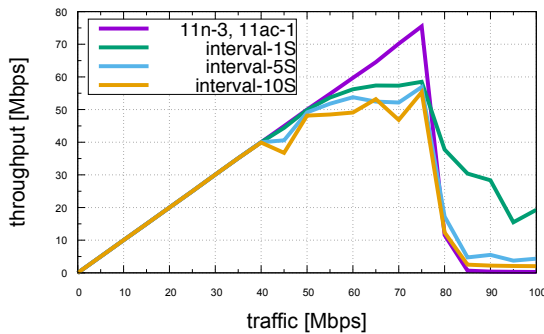


図 14 インターバルを変化させた場合でのスループット

次に、インターバルを変化させた場合での詳細な共有アンテナ分配、スループットの変動について確認する。図 10 の Step2-2 が発生した時に最適な共有アンテナ数を探索したと判断する図 15 より、インターバル 1sec の場合では、共有アンテナの切り替え回数は多いが、早く最適な共有アンテナ分配数 (11n に 3 本, 11ac に 1 本) を探索できていることがわかる。一方、インターバル 5sec および 10sec の場合では、共有アンテナの切り替え回数が少なく、最適な共有アンテナ分配数の探索に時間を要している。図 16 からは、インターバル 5sec および 10sec の場合が安定したスループット値を得ていることがわかる。インターバル 1sec の場合だと図 15 から 25sec 付近で探索できているが、短い周期で最適分配の周辺で振動し、安定して最適分配に留まらないため、図 16 で示すように高いスループットが得られない。

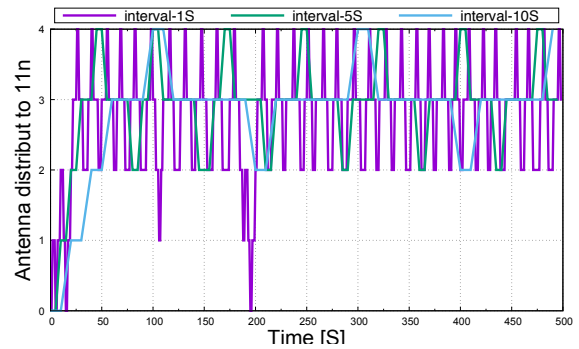


図 15 インターバル別の共有アンテナ分配数 (Traffic=75[Mbps])

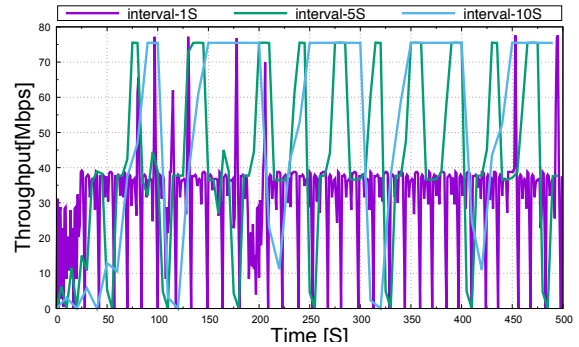


図 16 インターバル別のスループット変動 (Traffic=75[Mbps])

まとめると以下のようなことがわかる。

- インターバルが短いと最適な共有アンテナ分配数の探索は早くなり、インターバルが長いと探索が遅くなる。
- インターバルが短いと取得するスループット値は振動が発生するが、インターバルが長くなるほど振動は抑制される。

4.2 方式

4.1 節で示したように、探索時はインターバルが短い方がよく、探索完了後はインターバルが長くした方がよいことがわかる。従って、提案方式では、最適な共有アンテナ数を探索できたところでインターバルを伸ばし、再び探索を始めた時にインターバルを縮める。インターバルを長くする事象として、共有アンテナ分配の方向が変わった場合、すなわち最適分配を発見した場合 (図 10 の Step2-2) にインターバルを長くする。インターバルを短くする事象は、インターバルが長い時に共有アンテナ分配が変動した場合、すなわち、再探索が開始された場合にインターバルを短くする。

式 (5) にインターバルの更新を定式化した。MIMO チャネル総容量を $C(t)$ とし、長いインターバルを L-Interval、短いインターバルを S-Interval とする。

$$\text{Interval}[\text{sec}] = \begin{cases} \text{S-Interval}[\text{sec}] & (C(t) \geq C(t-1)) \\ \text{L-Interval}[\text{sec}] & (C(t) < C(t-1)) \end{cases} \quad (5)$$

5. 性能評価

シミュレーションを用いて評価する。シナリオは受信側を固定した場合（シナリオ1）と移動した場合（シナリオ2）とでのスループットを計測する。

5.1 評価条件

図17のようにネットワークが構成される。以下にシミュレーション条件を示す。

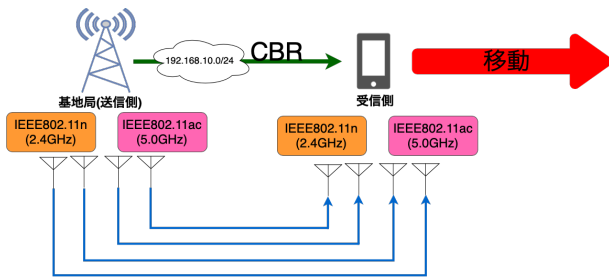


図17 シナリオ構成 (受信側固定時)

まず、シナリオ1で基地局と受信端末を距離5mに固定した場合で、提案方式が有効であるかを検証し、次にシナリオ2は表3の条件で端末を移動させた場合で最適な共有アンテナ分配がなされているか確認する。移動させることで、11acアンテナの通信範囲を出て、11nアンテナのみの通信になった場合で共有アンテナ分配できているのかを確認する。また、受信側で指定した時間周期で共有アンテナ分配機能が作動し、共有アンテナ分配の割り当てを1本動かす。共有アンテナ分配機能に入力するスループット値は、共有アンテナ分配時間周期のインターバルで受信したデータ量の平均スループットを式(6)で算出する。

表2 シミュレーション諸元

設定項目	シナリオ1	シナリオ2
共有アンテナ数 [本]	4	
無線システム	IEEE802.11n, 11ac (表3)	
送信電力 [dbm]	50	
シミュレーション時間 [sec]	500	3000
パケット送信開始時間 [sec]	0	
パケット送信終了時間	シミュレーション終了まで	
アプリケーション	CBR(固定ビットレート)	
トラフィック [Mbps]	5, 10, ..., 100	5
S-Interval[sec]	0.5	
L-Interval[sec]	5.0	
移動距離 [m]	-	0~150

$$\text{期間スループット [bps]} = \frac{\text{受信データ量 [bit]}}{\text{インターバル [sec]}} \quad (6)$$

表3 無線システムの利用周波数

通信システム	使用周波数	最大通信範囲
IEEE802.11n	2.4GHz	150m 以上
IEEE802.11ac	5.0GHz	約 50m

5.2 受信側を固定時 (シナリオ1)

受信側を送信側から5m離れた位置に固定した場合で、提案手法と共有アンテナ数を無線システムに固定分配した場合でのスループットを比較したのが図18になる。比較の指標として、事前に計測して当該トラフィックで最適なアンテナ分配とする理想分配値を求めた。この場合のスループットを最大化するアンテナ分配は11nへ3アンテナ、11acへ1アンテナとなる。図18より、提案方式では理想値に大きく近づけることができた。提案方式のS-Intervalを0.5sec、L-Intervalを5secに設定している。図19をみる。これは、トラフィックが75Mbpsの場合でのスループットとアンテナ分配数の推移を示す。図19から分かるように、共有アンテナは11nアンテナ3本を50秒以内に探索し、その後、アンテナ振動の抑制に成功している。

提案方式では、共有アンテナ分配におけるアンテナ振動を抑止し、かつアンテナ早期探索も実現した。端末を固定した場合での最適な共有アンテナ分配は行えていると考ええる。

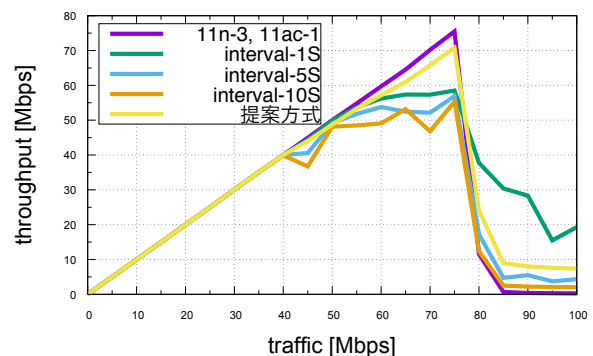


図18 先行研究と提案方式のスループット比較

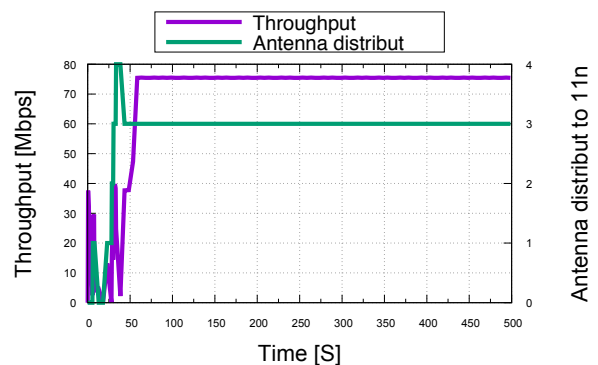


図19 トラフィック=75Mbpsにおけるスループットと共有アンテナ分配数

5.3 受信側を移動時 (シナリオ 2)

次に、受信側を移動させ、11ac の通信範囲を出た場合、11n のみの通信で最適な共有アンテナ分配が行えているかを見る。トラフィックが大きすぎるとパケットロスが起き、正確に共有アンテナの通信距離が図れないため、トラフィックは低く設定する。トラフィック 5Mbps(図 20) の場合で確認する。図 20 から、各固定アンテナ分配において 5Mbps トラフィックに対して次の地点で容量超過が発生する。

- 11n × 1 本, 11ac × 3 本において約 10m 地点以降
- 11n × 2 本, 11ac × 2 本において約 38m 地点以降
- 11n × 3 本, 11ac × 1 本において約 44m 地点以降
- 11ac × 4 本において 54m 地点以降 (通信不可)

54m 地点以前は最適な共有アンテナ分配は多数存在していたが、それ以降の最適な共有アンテナ分配数は「11n × 4 本」唯一になる。図 20 での提案手法では、54m 地点以前では 5Mbps を維持している。その後、54m 地点で一時的にスループットが低下するが、直ちに 5Mbps のスループットを回復する。

図 21 に提案手法でのインターバルの変化と共有アンテナ分配数について示す。インターバルが低下した地点が探索しているタイミングになる。44m 地点付近で探索しているのがわかる。この地点では「11n × 3 本, 11ac × 1 本」での容量超過が発生しており、最適な共有アンテナ分配数を再び探索しているのがわかる。54m 地点でも再び探索を始めており、唯一の最適な共有アンテナ分配数である「11n × 4 本」を探索している。

以上より、提案方式は、受信側を移動させた場合における MIMO チャネルの容量変動に対して適切に共有アンテナ分配しつつ、アンテナ振動を抑制することができていると考えられる。

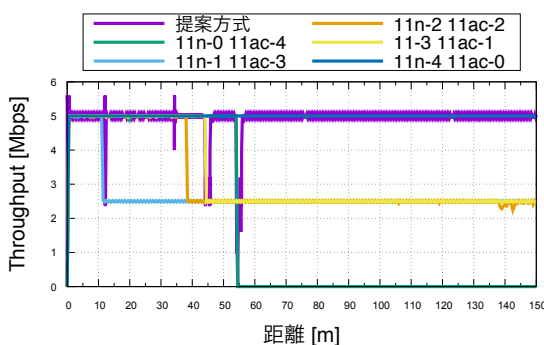


図 20 提案方式と各アンテナ分配のスループット比較

6. まとめ

先行研究では、最適な共有アンテナ分配の探索における探索時間と、探索後のアンテナ振動によりスループットの低下が問題になった。本稿では、インターバル毎の特性を示し、共通アンテナ分配をの切り替えを行うインターバルを固定するのではなく、探索時と探索後のインターバルを

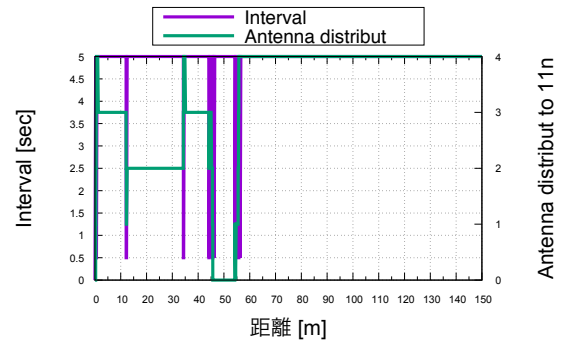


図 21 提案方式でのインターバルと共有アンテナ分配数

使い分けることを提案した。さらに、提案方式の基本性能評価として、シナリオ 1 では提案方式が最適分配探索時間の短縮と振動抑制が可能であることを示し、シナリオ 2 では提案方式が移動に伴う MIMO チャネルの容量変動に対して、最適な共有アンテナ分配数を探索してかつ振動抑制を可能としていることを確認できた。

今後は、複数の移動ノードとの通信における有用性を検証する予定である。

参考文献

- [1] 総務省:平成 29 年版情報通信白書 データ流通量の爆発的拡大, 入手先 <<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc121210.html/>> (2017).
- [2] National Instruments:第 5 世代移动通信 (5G) の動向, 入手先 <ftp://ftp.ni.com/pub/branches/japan/ekit/5g_ekit.pdf/> (2015).
- [3] 今川隆司, 池下貴大, 筒井弘, :MIMO-OFDM 無線通信における信号分離のためのパイプライン型逆行行列演算回路のアーキテクチャ検討, 情報処理学会, Volume 2017-EMB-46, Issue 20, pp.1-4 (2017).
- [4] 奥本裕介, 滝沢泰久:共有アンテナを用いた異種無線多重 MIMO 動的構成方式の基本評価, DICO, 2019.
- [5] TIME&SPACE:次世代通信システム「5G」で、私たちの生活は、う変わるの?, 入手先 <<https://time-space.kddi.com/digicul-column/digicul-joho/20160222/>>.
- [6] 境野哲, “IoT への期待と課題 ~IoT システム開発者・利用者の心得~, ” 情報科学技術協会, 情報の科学と技術, Vol.67 No.11 pp560-565 (2017).
- [7] au:支える技術:au 5G, 入手先 <<https://www.au.com/mobile/area/5g/gijyutsu/>>.
- [8] Wireless Wire News:5G・ネットワーク, 入手先 <<https://wirelesswire.jp/category/5g/>>.
- [9] CableFree:MIMO Radio Technology: 入手先 <<https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/mimo-radio-technology/>>.
- [10] 野田健太郎, 安達直世, 滝沢泰久:移動通信環境における複合無線アクセスネットワーク制御方式, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.2,pp.448-459, (2015).
- [11] C.E.Shannon:A mathematical theory of communication, Bell Syst.Tech.J., vol.27, pp.379-423, 623-656, July-Oct(1948).
- [12] 尾関孝史:非線形関数における最急降下法の振る舞い, 福山大学工学部紀要, Issue 26, pp.113-123, 2002.