

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月19日現在

機関番号：31303  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22560388  
 研究課題名（和文） 並列伝送OFDMAマルチホップ仮想セルラネットワークにおけるリソース割当法の研究  
 研究課題名（英文） Study of resource allocation scheme for a parallel relay multi-hop OFDMA virtual cellular network  
 研究代表者  
 工藤 栄亮 (KUDOH EISUKE)  
 東北工業大学・工学部・教授  
 研究者番号：80344696

## 研究成果の概要（和文）：

ルートダイバーシチと周波数ダイバーシチの相乗効果が得られる並列伝送マルチホップ仮想セルラネットワーク（VCN）を我々は提案している。本研究では、マルチセル環境にも適応しうる逐次的リソース割当法を提案し、従来のシングルホップセルラに比べ、並列伝送2ホップVCNの方が大きなチャンネル容量が得られることを明らかにした。さらに、パケット伝送を可視化するため、2ホップ無線伝送シミュレータ等を製作した。

## 研究成果の概要（英文）：

We have proposed a parallel relay multi-hop virtual cellular network (VCN) which can obtain route and frequency diversity to enhance the channel capacity. In this study, we proposed sequential resource allocation scheme that can be applied for multi-cell and multi-user environment. We evaluated the ergodic channel capacity of the parallel relay 2 hop and showed that the VCN can provide greater ergodic channel capacity than a conventional single hop network. We also produced a two-hop wireless transmission simulator to visualize a packet transmission.

## 交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2010年度 | 1,500,000 | 450,000   | 1,950,000 |
| 2011年度 | 1,000,000 | 300,000   | 1,300,000 |
| 2012年度 | 1,000,000 | 300,000   | 1,300,000 |
| 総計     | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 通信・ネットワーク工学

キーワード：移動通信，セルラ，マルチホップ，リソース割当，仮想セルラネットワーク，OFDMA，並列伝送

## 1. 研究開始当初の背景

伝送速度の高速化を目指した移動通信ネットワークに対する研究が盛んに行われており、①周波数選択性フェージングを克服するための超高速信号処理技術と、②移動端末の送信電力を抑制するための、超高速無線ネットワーク構成技術が重要な研究課題とな

っている。

これまでに我々は送信電力の増加を抑えつつ超高速伝送可能な無線ネットワークを構築するためにマルチホップVCNを提案した。図1にマルチホップVCNの構成を示す。仮想セル(VC)は多数の分散配置された無線ポート(WP)から構成される仮想的なセルで

あり、複数の WP が協調してあたかも 1 つのセルのように動作する。各 WP で受信された信号は、ゲートウェイとなる中央無線ポート (CP) へとマルチホップ通信により転送される。移動端末 (MT) に最近接の WP がマルチホップ経路入口として選択されるのでサイトダイバーシチ効果が得られ、移動端末の送信電力および WP の送信電力を従来のセルラネットワークより大幅に低減できる。

最近、超高速伝送で問題となる周波数選択性フェージングによる劣化を軽減するアクセス方式として直交周波数分割多重アクセス (OFDMA) が注目されている。OFDMA ではチャンネル状態の良いサブキャリアを適応的に割り当てれば周波数ダイバーシチ効果が得られ、大きなチャンネル容量が得られる。我々はこれまでに、経路とサブキャリアの同時割り当てを行うことにより、ルートダイバーシチと周波数ダイバーシチの相乗効果が得られる、並列伝送 OFDMA マルチホップ VCN を提案し (図 2)、複数の中継局が協調しながら伝送する協調ダイバーシチよりも大きなチャンネル容量が期待できることを示してきた

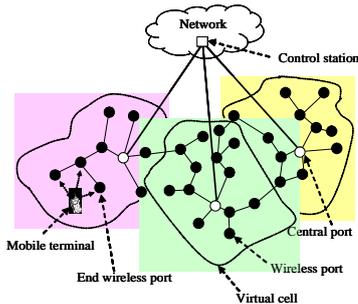


図1 マルチホップ仮想セルラネットワーク(マルチホップVCN)

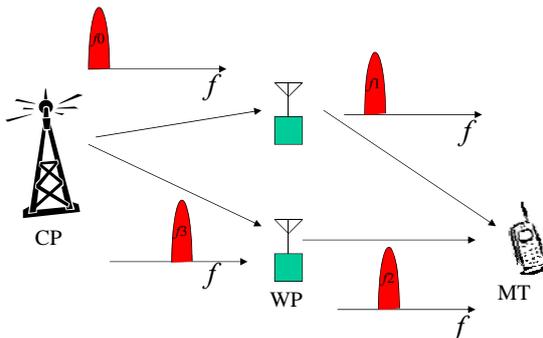


図2 並列伝送OFDMAマルチホップVCN

## 2. 研究の目的

本研究では並列伝送マルチホップ VCN におけるリソース割当法を確立することを目的としている。

## 3. 研究の方法

並列伝送では、ルートダイバーシチと周波数ダイバーシチの相乗効果が見込まれ、非常に効率的な伝送が期待できるものの、とりう

る経路とサブキャリアの全ての候補を探索すると膨大な計算量となってしまう。そこで、現実的な計算量で、大きなチャンネル容量が見込まれるリソース割当法を提案し、そのチャンネル容量を計算機シミュレーションにより求め有効性を検証する。また、実際の packets 伝送のイメージを可視化できれば、物理的理解が深まり、研究の効率化が期待できる。そこで、H8 マイコンボードを用いて、マルチホップ無線伝送シミュレータを製作し、packets 伝送の可視化を行う。

## 4. 研究成果

### 1. 並列伝送 2 ホップ VCN におけるリソース割当法の研究

現在のセルラネットワークからマルチホップ VCN へ移行するための第 1 段階は、ホップ数を 2 に限定した 2 ホップ VCN であると考えられる。そこで、ホップ数を 2 に限定して研究を進める。図 3 に 2 ホップ VCN の構成を示す。下り回線について考える。CP から MT へ複数の論理的経路 (LR) を用いてデータは伝送される。ここで LR は物理的経路と割り当てられたサブキャリアから構成される。LR に最適なリソースを割り当てるためには、全ての LR に対して同時に全てのサブキャリア及び経路を候補として探索を行わなければならない。しなしながら、MT 数が増えれば、探索数が膨大となる。そこで、逐次的なリソース割り当て法を提案し、計算機シミュレーションによって、チャンネル容量を求めた。図 4 にシングルセル環境におけるチャンネル容量を示す。図 4 より、大きな送信電力が許容されない環境では、従来のシングルホップセルラに比べ、並列伝送 2 ホップ VCN の方が大きなチャンネル容量が得られることがわかる。さらにマルチセル環境に適応できる逐次的リソース割り当て法を提案し、そのチャンネル容量特性を明らかにした (図 5)。その結果、十分大きな送信電力が許容された環境でも、従来のシングルホップセルラに比べ、並列伝送 2 ホップ VCN の方が大きなチャンネル容量が得られることを明らかにした。

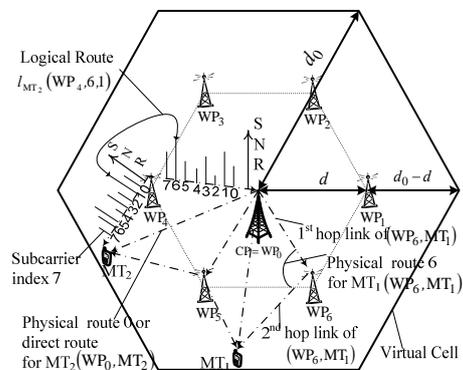


図3 VCN の構成

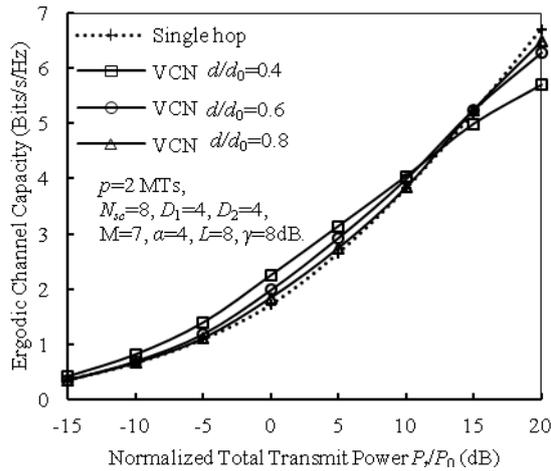


図4 シングルセル環境におけるチャンネル容量

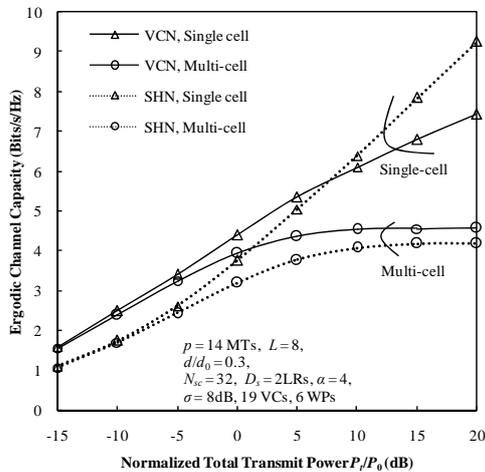


図5 シングルセル環境とマルチセル環境におけるチャンネル容量

ところで、逐次的リソース割り当て法では、先に割り当てられた LR では、後に割り当てられた LR からの干渉を考慮していない。したがって、全ての LR のリソース割り当てを行った後に、再度繰り返して、逐次的に LR のリソース割り当てを行えば、他の LR からの干渉の影響も考慮され、より大きなチャンネル容量が得られることが期待できる。そこで、逐次的なりリソース割り当てを繰り返し行う、繰り返し逐次リソース割り当て法を提案し、シングルセル環境下でのチャンネル容量特性を求めた (図 6)。その結果、繰り返し回数を増やすことにより、チャンネル容量が増大し、従来のシングルホップセルラに比べ、並列伝送 2 ホップ VCN の方が大きな容量が得られる送信電力の範囲が拡大することを明らかにした。

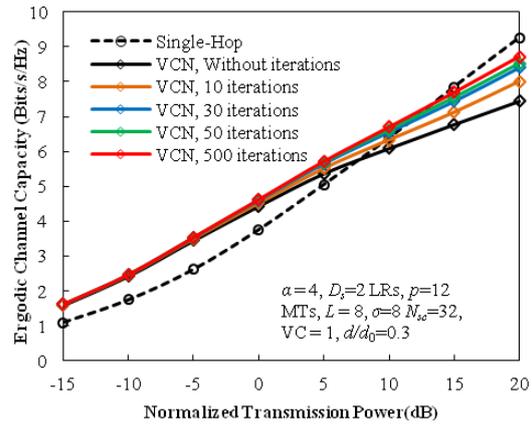


図6 繰り返しリソース割当法を適用したチャンネル容量

## 2. パケット伝送可視化法の研究

実際のパケット伝送のイメージを可視化できれば、物理的理解が深まり、研究の効率化が期待できる。そこで、協調ダイバーシチを適用した 2 ホップ無線伝送シミュレータを製作し、オシロスコープによって送受信信号を可視化する。無線周波数帯へ周波数変換することなく等価低域信号を用いて送信信号を模擬し、移動端末、中継局、基地局、フェージングシミュレータ、雑音発生器を一枚のトリニティ社製 H8 マイコンボード [1] で製作する。表 1 にマイコンボードの諸元を、図 7 に概観を示す。H8 マイコンボードに MES (Micro Embedded System) という OS をインストールして PC 上で C 言語を用いて無線送受信機等のプログラムを作製・コンパイルし、LAN 接続で H8 マイコンボードに転送し実行する。図 8 に 2 ホップ無線伝送シミュレータの構成図を示す。

表 1 H8/3069F マイコンボードの諸元

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| CPU | ルネサス製 HD 64F3069Rf25V(20MHz) |
| メモリ | ROM 512KB フラッシュメモリ RAM 16K   |
| I/O | 入出力 70本,出力9本                 |
| D/A | 8bit,2ch                     |



図7 H8/3069F マイコンボードの概観

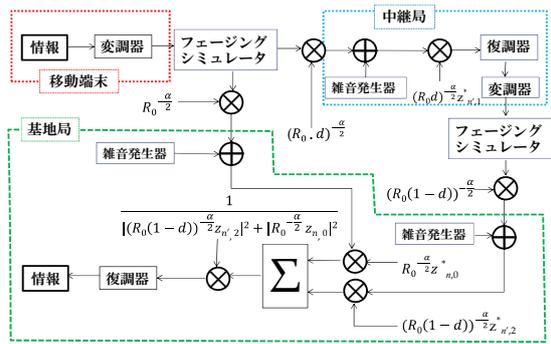


図8 2ホップ無線伝送シミュレータの構成

図9に受信信号の信号空間配置の例を示す。BPSKを仮定する。ここで $P_i/P_0$ はフェージングがない場合に、基地局における受信信号電力対雑音電力比が0dBとなる移動端末の送信電力 $P_0$ で正規化された送信電力である。 $P_i/P_0$ が大きくなると信号点のばらつきは小さくなる。



(a)  $P_i/P_0=0\text{dB}$   $d=0.25$



(b)  $P_i/P_0=15\text{dB}$   $d=0.25$

図5 受信信号の信号空間配置の例

図10にビット誤り率(BER)特性を示す。参考のため、理論値も示す。図10から理論値とほぼ一致した特性が得られていることがわかる。このことより、本シミュレータが良好に動作していることが推定される。

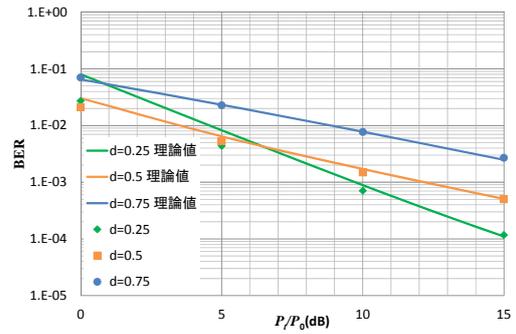


図10 無線端末、中継局、基地局間の距離をパラメータとしたBER特性

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①Gerard Jimmy PARAISSON, Eisuke KUDOH, “Study of a Multiuser Resource Allocation Scheme for a 2-hop OFDMA Virtual Cellular Network”, IEICE Trans. Communications, vol.E96-B, no.8, 査読有, August 2013.

[学会発表] (計31件)

(1) Eisuke KUDOH, “On the channel capacity of multi-hop virtual cellular network”, Proc. International Conference on ICT Convergence 2010 (ICTC 2010), Jeju Island, Korea, 1F-1, pp.113-114, 17-19 査読有, November 2010. (invited)

(2) Gerard Jimmy PARAISSON, Eisuke KUDOH, “Resource Allocation with Interference for a Parallel Relay 2-hop OFDMA Virtual Cellular Network”, Proc. 8th IEEE Asia Pacific Wireless Communication Symposium (APWCS 2011), Singapore, MP1-7, 査読有, 22-23 August 2011.

(3) Gerard Jimmy PARAISSON, Eisuke KUDOH, “Study of Multi-cell Interference in a 2-hop OFDMA Virtual Cellular Network”, Proc. 9th IEEE Asia Pacific Wireless Communication Symposium (APWCS 2012), Kyoto, Japan, A2-2, 査読有, 23-24 August 2012.

(4) Gerard Jimmy PARAISSON, Eisuke KUDOH, “Study of the Degree of Fairness for a Parallel Relay 2-hop OFDMA Virtual Cellular Network”, Proc. 2012 IEEE 76th Vehicular Technology Conference: (VTC2012-Fall), Québec City, Canada, 8P-22, 査読有, 3-6 September 2012.

(5) Gerard J. PARAISSON and Eisuke KUDOH, “Study of the Distance Ratio for the Location of the Wireless Ports in a

2-hop Virtual Cellular Network”, Proceedings of the IEICE Society Conference, B-5-88, p.467, 査読有, September 2011.

(6) Gerard J. PARAISSON and Eisuke KUDOH, “Multi-User Throughput Analysis of a 2-hop OFDMA Virtual Cellular Network”, Proceedings of the IEICE General Conference, B-5-53, p.452, 査読有, March 2012.

(7) 佐々木翔, 工藤栄亮, “最大比合成ダイバーシチを適用したH8マイコンによるOFDM無線伝送シミュレータの製作,” 情報処理学会第75回全国大会, 6K-10, pp.1-917~918, 2013年3月.

(8) Gerard J. PARAISSON and Eisuke KUDOH, “Iterative Resource Allocation Scheme for a 2-hop OFDMA Virtual Cellular Network”, Proceedings of the IEICE General Conference, B-5-39, p. 449, 査読有, March 2013.

(9) 橋本明宏, 工藤栄亮, “1次元配置モデルを用いたマルチホップVCNのチャンネル容量に与えるシャドウイングの影響,” 平成22年度電気関係学会東北支部連合大会, 1B12, p.56, 2010年8月.

(10) 菅田知宏, 工藤栄亮, “H8マイコンを用いた16QAM無線送受信機シミュレータの製作,” 平成22年度電気関係学会東北支部連合大会, 1B13, p.57, 2010年8月.

(11) 熊谷拓弥, 那須野洋平, 工藤栄亮, “H8マイコンを用いた仲上ライスフェージングシミュレータの製作,” 平成22年度電気関係学会東北支部連合大会, 1B14, p.58, 2010年8月.

(12) 那須野洋平, 工藤栄亮, “H8マイコンを用いたナイキストフィルタの製作,” 平成23年東北地区若手研究者研究発表会, YS-9-A9, pp.17-18, 2011年3月.

(13) 浅野哲史, 工藤栄亮, “H8マイコンボードを用いた遅延検波器シミュレータの製作,” 平成23年東北地区若手研究者研究発表会, YS-9-A10, pp.19-20, 2011年3月.

(14) 佐々木翔, 工藤栄亮, “H8マイコンを用いた無線伝送シミュレータの製作,” 平成23年東北地区若手研究者研究発表会, YS-9-A11, pp.21-22, 2011年3月.

(15) 橋本明宏, 工藤栄亮, “1次元配置モデルを用いたマルチホップVCNのチャンネル容量に与えるフェージングの影響,” 平成23年東北地区若手研究者研究発表会, YS-9-A12, pp.23-24, 2011年3月.

(16) 大内雅之, 工藤栄亮, “ダイバーシチ受信を適用したH8マイコンによる無線伝送シミュレータの製作,” 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会, 1I01, p.280, 2011年8月.

(17) 川嶋茂樹, 工藤栄亮, “H8マイコンを用いた16QAM無線伝送シミュレータの製作,” 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会, 1I02, p.281, 2011年8月.

(18) 佐々木翔, 工藤栄亮, “H8マイコンを用いたOFDM無線送受信機シミュレータの製作,” 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会, 1I03, p.282, 2011年8月.

(19) 佐藤貴一, 工藤栄亮, “ハミング符号を適用したH8マイコンによる無線送受信機シミュレータの製作,” 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会, 1I04, p.283, 2011年8月.

(20) 伊藤裕紀, 工藤栄亮, “H8マイコンによるスペクトラム拡散無線送受信機シミュレータの製作,” 平成24年東北地区若手研究者研究発表会, YS-10-C9, pp.93-94, 2012年3月.

(21) 木幡祥平, 工藤栄亮, “H8マイコンによる64QAM無線送受信機シミュレータの製作,” 平成24年東北地区若手研究者研究発表会, YS-10-C10, pp.95-96, 2012年3月.

(22) 今野優, 工藤栄亮, “H8マイコンによる畳み込み符号・ビタビ復号を適用した無線送受信機シミュレータの製作,” 平成24年東北地区若手研究者研究発表会, YS-10-C11, pp.97-98, 2012年3月.

(23) 佐藤光一, 工藤栄亮, “H8マイコンによるハミング符号・インターリーブを適用した無線伝送シミュレータの製作,” 平成24年東北地区若手研究者研究発表会, YS-10-C12, pp.99-100, 2012年3月.

(24) 小川大輔, 工藤栄亮, “H8マイコンによる遅延検波器を適用した無線伝送シミュレータの製作,” 平成24年東北地区若手研究者研究発表会, YS-10-C13, pp.101-102, 2012年3月.

(25) 佐々木翔, 工藤栄亮, “H8マイコンによるOFDMを適用した無線伝送シミュレータの製作,” 平成24年東北地区若手研究者研究発表会, YS-10-C14, pp.103-104, 2012年3月.

(26) 結城直人, 工藤栄亮, “H8マイコンによる64QAM無線伝送シミュレータの製作,” 平成24年度電気関係学会東北支部連合大会, 2F20, 2012年8月.

(27) 齋藤一樹, 工藤栄亮, “最大比合成ダイバーシチを適用したH8マイコンによる無線伝送シミュレータの製作,” 平成24年度電気関係学会東北支部連合大会, 2F23, 2012年8月.

(28) 佐々木翔, 工藤栄亮, “周波数選択性フェージングシミュレータを搭載したH8マイコンによるOFDM無線伝送シミュレータの製作,” 平成24年度電気関係学会東北支部連合大会, 2F24, 2012年8月.

(29) 堀俊介, 工藤栄亮, “H8マイコンによ

るスペクトラム拡散無線伝送シミュレータの製作,”平成24年度電気関係学会東北支部連合大会, 2F25, 2012年8月.

(30) 大滝貴之, 工藤栄亮, “H8 マイコンによる最大比合成ダイバーシチを適用した16QAM 無線伝送シミュレータの製作,”平成25年東北地区若手研究者研究発表会, YS-11-E18, pp.183-184, 2013年3月.

(31) 八重樫篤, 工藤栄亮, “H8 マイコンによる2ホップ無線伝送シミュレータの製作,”平成25年東北地区若手研究者研究発表会, YS-11-E19, pp.185-186, 2013年3月.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
東北工業大学教職員データベース  
<https://www.fdcommit-tohtech.jp/kyoindb/List/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

工藤 栄亮 (KUDOH EISUKE)  
東北工業大学・工学部・教授  
研究者番号：80344696

### (2) 研究分担者

( )  
研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )  
研究者番号：