

# マルチホップバーチャルセルラネットワークにおける チャンネル棲み分けを適用した動的チャンネル割当ての効果

工藤 栄亮 安達 文幸

東北大学大学院 工学研究科 電気・通信工学専攻  
〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 05

E-mail: kudoh@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, adachi@ecei.tohoku.ac.jp

**あらまし** 筆者らは超高速無線ネットワークを構築するためにバーチャルセルラネットワークを提案してきた。バーチャルセルは分散配置された多数の無線ポートから構成され、移動端末から送信された信号はマルチホップ通信により無線ポート間を中継され中央無線ポートへと転送される。筆者らは、マルチホップバーチャルセルラネットワークにチャンネル棲み分けを適用した自律分散型チャンネル割当て法 (CS-DCA) の失敗率を明らかにしてきた。本論文では、従来の固定チャンネル割当て法 (FCA) と CS-DCA との比較を行っている。

**キーワード** バーチャルセルラネットワーク, マルチホップ, ダイナミックチャンネル割当て, チャンネル棲み分け

Channel segregation dynamic channel allocation

for multi-hop virtual cellular network

Eisuke KUDOH and Fumiyuki ADACHI

Dept. of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University  
05 Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

E-mail: kudoh@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, adachi@ecei.tohoku.ac.jp

**Abstract** There have been strong demands for higher speed data transmissions in mobile communications. To reduce the peak transmit power while increasing the data transmission rates, authors proposed a wireless multi-hop virtual cellular network (VCN). In the wireless multi-hop VCN, the transmitted signal from a mobile terminal is received by multiple wireless ports distributed in a virtual cell and relayed via other wireless ports using a wireless multi-hop communication technique to a central port which is connected to the core network. We proposed a channel allocation algorithm for multi-hop communication, based on the dynamic channel allocation using the channel segregation algorithm (CS-DCA). In this paper, we compare the channel allocation failure rate performance of CS-DCA with the conventional fixed channel allocation (FCA) failure rate.

**Keyword** Virtual cellular network, Multi-hop, Dynamic channel allocation, Channel segregation

## 1. まえがき

第3世代の移動通信システム IMT-2000 は十数 Mbit/s の伝送能力を有している。しかしながら、インターネットの普及が進み、リッチなコンテンツが広く流通するようになれば、やがて IMT-2000 の伝送速度でさえ不十分となり、100Mbit/s ~ 1Gbit/s 程度のピーク伝送速度が要求されると見られている。2010年ころに登場すると期待されている第4世代移動通信システムでは、このような超高速無線サービスの提供が求められている。超高速無線サービスを実現するにはピーク送信電力の増大という課題を克服しなければならない。これを解決する効果的な方法のひとつはセル半径を小さくすることであり、極小セルラネットワークをいかに実現するかが第4世代移動通信シ

テムの重要な技術課題である[1],[2]。筆者らは、極小セルラネットワークを構築するためのバーチャルセルラネットワーク (VCN) を提案している[3]。

VCN の構成を図1に示す。VCN は従来のセルをバーチャルセルとするもので、1つのバーチャルセルは分散配置された多数の無線ポートとコアネットワークへのゲートウェイとなる中央無線ポートからなる。上りリンクでは、多数の無線ポートで受信された移動端末の信号を中央無線ポートへ転送しなければならない。また下りリンクでは、各無線ポートは移動端末へ転送すべき信号を中央無線ポートから受信しなければならない。もしも全ての無線ポートが中央無線ポートと直接通信すれば、パスロス、シャドウイングロス、

マルチパスフェージングの影響により非常に大きな送信電力を必要とする無線ポートが存在する可能性がある。この結果、他のパーティクルセルに与える干渉が増大し、周波数利用効率が低下してしまう。このような送信電力の増大を避けるためにマルチホップ無線通信の適用が考えられる。筆者らは総送信電力を最小とする経路構築法を示し、伝送遅延を制限しつつ送信電力を著しく低減できることを示してきた[4], [5]。

マルチホップ無線通信を実現するためには、効率的なチャンネル割当法[6], [7]が必要である。筆者らは、周波数チャンネルの割り当てにチャンネル棲み分けアルゴリズム[7]を適用すること(CS-DCA)を提案し、チャンネル割当て失敗率を明らかにしてきた[8]。ところで、従来のセルラネットワークでは、各基地局が使用できるチャンネルをあらかじめ制限しておく固定チャンネル割り当て法(FCA)が採用されている[9]。本論文では、計算機シミュレーションによりCS-DCAとFCAの失敗率を求め、比較する。

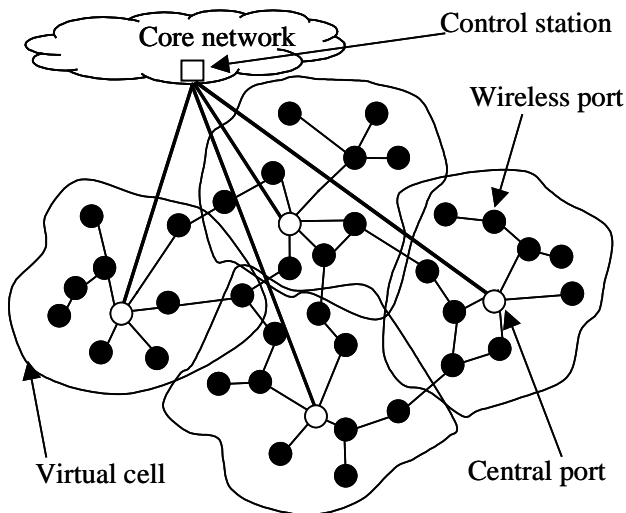


図1 パーチャルセルラネットワーク (VCN)

## 2. チャンネル割当

無線ポート間マルチホップ通信の無線アクセス方式としてDS-CDMAを考える。複数の周波数チャンネルを用意する。システム全体で利用可能な周波数チャンネル数を  $C$  とする。DS-CDMA を用いているので、同一の周波数チャンネルを複数無線ポートで再利用することができる。

### 2.1. CS-DCA

経路上の無線ポートの総送信電力を最小にするようにマルチホップ通信経路を決定[3]した後、各経路上の周波数チャンネル割当を行う。送信無線ポートが主導して、チャンネル棲み分け法[7]に基づ

く周波数チャンネル割当を行う[8]。各送信無線ポートは各周波数チャンネルの優先度関数を記載したチャンネルテーブルを具備している。優先度関数は(当該周波数チャンネルを割り当てた回数)/(当該周波数チャンネルを割り当てるのが可能かどうか受信無線ポートへ確認した回数)で表され、検索が行われる度に更新される。各送信無線ポートでは、まず下りリンクの周波数チャンネル割当を行い、次に上りリンクの周波数チャンネル割当を行う。下りリンクでは同一の情報を複数の無線ポートへ転送するので、できるだけ同一の周波数チャンネルで送信する方が効率的である。また、DS-CDMAでは同一の周波数チャンネルであっても異なる拡散符号を用いて複数のデータを送信できるので、下りリンクで送信している周波数チャンネルを上りリンクでも送信に利用する方が効率的である。これらの点を考慮し、以下に示す手順により、周波数チャンネル割当を行う。

*step1:* まず、下りリンクの周波数チャンネル割当を行う。注目する無線ポート#A(図2参照)において、受信に利用されておらず、かつまだ割当可能か確認していない周波数チャンネルのうち優先度関数が最も大きい周波数チャンネルを選択する。制御チャンネルを用いて、選択されたチャンネル番号を受信無線ポート#C, #D に通知する。

*step2:* 受信無線ポート#Cと#Dでは通知された周波数チャンネルが所要の信号電力対(雑音+干渉)電力比(SINR)を満たすかどうかを確認する(計算機シミュレーションのための受信SINRの表示式を2.3節で求める)。無線ポート#C, #Dともに所要値を満たしていればその周波数チャンネルを割当て、そうでなければ *step1* へ戻る。

*step3:* 次に上りリンクの周波数チャンネル割当てを行う。注目している無線ポート#Aにおいて下りリンクで使用した周波数チャンネルと同じ周波数チャンネルを上りリンクで利用することを考える。制御チャンネルを用いて、このチャンネル番号を上りリンクの受信無線ポート#Bへ通知する。

*step4:* 上りリンクの受信無線ポート#Bでは通知された周波数チャンネルのSINRを測定する。もしSINRが所要値を満たしていればその周波数チャンネルを割当て、*step7*へ移行する。所要値を満たしていなければ *step5*へ移行する。

*step5:* 注目している無線ポート#Aでは、受信に利用しておらず、かつ受信無線ポート#Bにおいて割当可能かまだ確認していない周波数チャンネルのうち、優先度関数が最も大きい周波数チャンネルを選択する。制御チャンネルを用いて、選択されたチャンネル番号を受信無線ポート#B

に通知する。

- step6: 受信無線ポート#B では通知された周波数チャンネルが所要 SINR を満たすかどうか確認する。もし所要値を満たしていればその周波数チャンネルを割当て、そうでなければ step5 へ戻る。
- step7: 以上で注目する無線ポート#A の上下リンクの周波数チャンネル割当てを完了する。

上記の手順は各無線ポートが順次行う。さらに、トラフィックや伝搬環境の変動に適応させるため、定期的に周波数チャンネルの再割り当てを行なう。

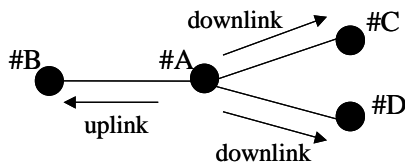


図2 マルチホップ通信の例

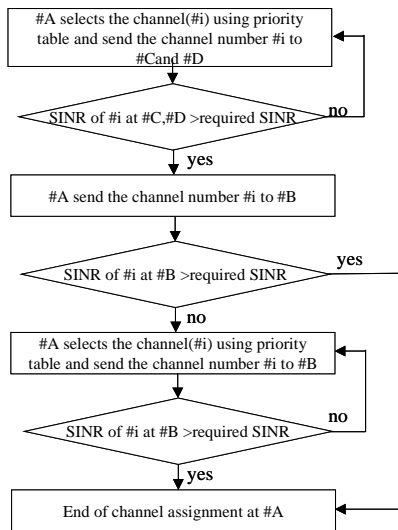


図3 無線ポート#A におけるチャンネル割当てのフローチャート

## 2.2. FCA

図4に示すように  $C$  個のチャンネルをクラスサイズ  $F$  のグループに分割する。各無線ポートは  $C/F$  個のチャンネルを使用することができる。FCAでは各無線ポートが使用できるチャンネルグループをあらかじめ決めておく。CS-DCAの場合と同様に、送信する無線ポートが主導してチャンネル割当てを行う。各無線ポートは利用可能な  $C/F$  個の周波数チャンネルのうち、まず、使用していない周波数チャンネルをランダムに割当てる。アクセス方式としてDS-CDMAを採用しているため、同一の周波数チャンネルでも複数の通信を行うことが可能である。そこで、全ての周波数チャンネルが使われ

た場合、送信電力が最も小さい周波数チャンネルを割当てることにする。受信する無線ポートにおいて、割当てられた周波数チャンネルの受信 SINR が所要 SINR を満たさないときにはチャンネル割当ては失敗となる。

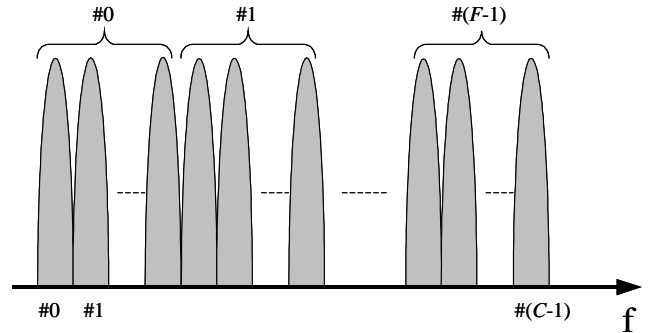


図4 周波数チャンネル配置

## 2.3. 受信 SINR

CS-DCAでは受信 SINR を測定して、再チャンネル検索を行うかどうか決定する。また、2,3章で述べたとおり、チャンネル割当てが成功できるか否かは受信 SINR が所要 SINR を上回るか否かによって判定される。本節では受信 SINR の数式表現を求める。

DS-CDMAでは周波数選択性フェージング環境ではRake受信により受信 SINR を改善できる。各周波数チャンネルの伝搬路は  $L$  個のパスからなる周波数選択性チャンネルを仮定する。無線ポート  $\#i$  における、無線ポート  $\#j$  からの受信電力  $P_{j-i}^r$  は次式のように表すことができる。

$$P_{j-i}^r = P_j^t \cdot r_{j-i}^{-\alpha} \cdot 10^{-\eta_{j-i}/10} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\xi_{j-i}(l)|^2 \quad (1)$$

ここで、 $P_j^t$  は無線ポート  $\#j$  の送信電力であり、 $r_{j-i}$ 、 $\alpha$ 、 $\eta_{j-i}$  および  $\xi_{j-i}(l)$  はそれぞれ無線ポート  $\#i$  と無線ポート  $\#j$  との間の距離、パスロス指数、シャドウイングロス (dB) およびフェージング利得である。無線ポートは移動しないので、フェージング利得  $\xi_{j-i}(l)$  は時間変動しないが、異なるマルチホップリンク間では平均がゼロで分散が  $E[|\xi_{j-i}(l)|^2] = \frac{1}{L}$  (  $E[\cdot]$  は集合平均操作 ) の複素ガウス分布に従って変動するランダム変数であるものとする。

信号電力対雑音電力比 (SNR) を一定とする理想的な送信電力制御により  $P_j^t$  を決定するものとする。

$$P_j^t = \frac{P_{\text{target}}}{r_{j-i}^{-\alpha} \cdot 10^{-\eta_{j-i}/10} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\xi_{j-i}(l)|^2} \quad (2)$$

直交符号を適用し、同一無線ポートから同時に複数の無線ポートへ送信する複数の信号の拡散には直交符号を用いることができるので、同一パスからの干渉は生じないものと仮定できる。無線ポート*#i*における無線ポート*#j*から送信された信号の受信 SINR  $\gamma$  は次式で表される。

$$\gamma = \frac{\frac{P_j^t}{N} \cdot r_{j-i}^{-\alpha} \cdot 10^{-\eta_{j-i}/10} \cdot |\xi_{j-i}(l)|^2}{1 + \frac{1}{SF} \frac{P_j^t}{N} \cdot r_{j-i}^{-\alpha} \cdot 10^{-\eta_{j-i}/10} \cdot \sum_{\substack{l'=0 \\ l' \neq l}}^{L-1} |\xi_{j-i}(l')|^2 + \frac{1}{SF} \sum_{k \neq j} \frac{P_k^t}{N} \cdot r_{k-i}^{-\alpha} \cdot 10^{-\eta_{k-i}/10} \cdot \sum_{l'=0}^{L-1} |\xi_{k-i}(l')|^2} \quad (3)$$

ここで、分母第2項は無線ポート*#j*からのパス間干渉、分母第3項は、他の無線ポートからの干渉である。

### 3. 計算機シミュレーション

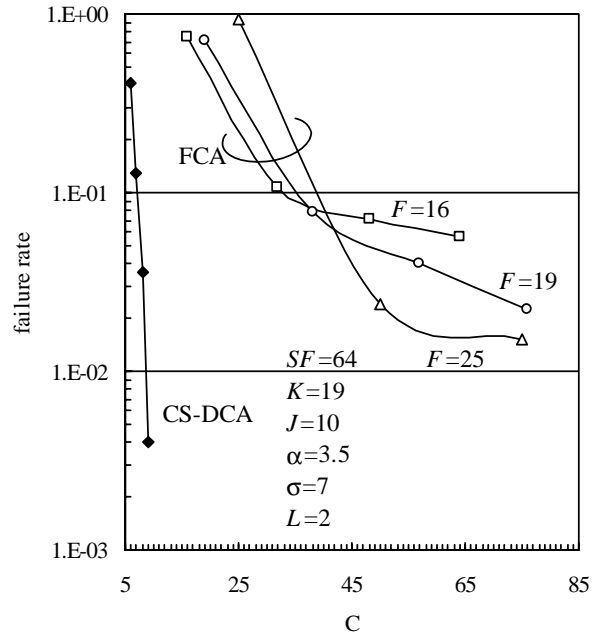
簡単のため、正六角形のバーチャルセルを仮定し、第2隣接のバーチャルセルからの干渉を考慮する。すなわち、全部で19個のバーチャルセルを考える。無線ポートを各バーチャルセル内に規則的に配置する。各無線ポートの送受信アンテナは無指向性であると仮定する。チャンネル割当てを行う無線ポートの順番はランダムとする。干渉制限型のチャンネルを考える。DS-CDMAにおけるデータ変調をQPSK、拡散変調をBPSKとする。

誤り率は  $\frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\gamma/2})$  と表される [10] ので、誤り訂正を考慮しないときの所要ビット誤り率 (BER) を  $\text{BER}=10^{-3}$  とすると、チャンネル割り当て時の所要 SINR  $\gamma_{\text{req}}$  は 9.8 (dB) となる。

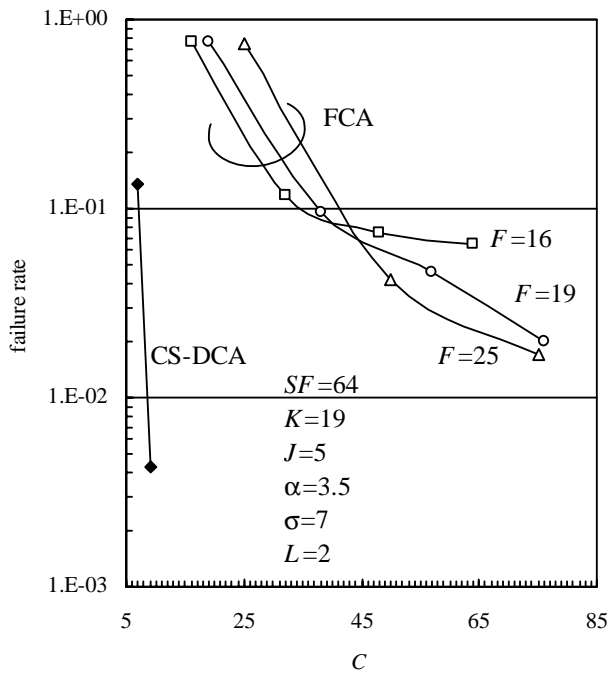
CS-DCAの場合、受信 SINR  $\gamma$  が所要 SINR  $\gamma_{\text{req}}$  を満たしたときには当該周波数チャンネルを割当て、そうでない場合は再検索する。もしも全ての周波数チャンネルを検索してもチャンネルを割当てることが出来なかったとき、チャンネル割当てが失敗する。FCAの場合、送信無線ポートは利用可能な  $C/F$  個の周波数チャンネルの中から2章で述べた手順で周波数チャンネルを割当てる。割当てた周波数チャンネルの受信 SINR  $\gamma$  が所要 SINR  $\gamma_{\text{req}}$  を満たさないときにチャンネル割当て失敗となる。本論文では、注目するバーチャルセル内の全ての無線ポートに対するチャンネル割当てが成功した場合を「チャンネル割当て成功」と定義する。

「チャンネル割当て失敗」と定義する。

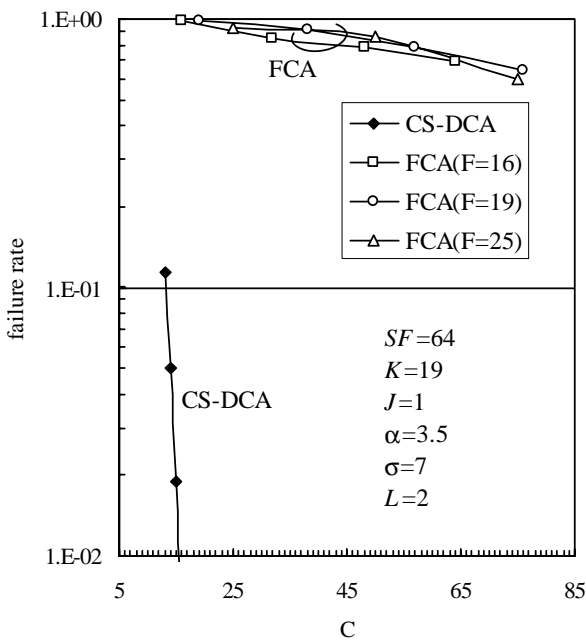
図5にクラスタサイズ  $F$  をパラメータとした周波数チャンネル数とチャンネル割当て失敗率の関係を示す。(a),(b)および(c)は、それぞれ、許容最大ホップ数  $J=10, 5$  および1の場合を示す。1バーチャルセル当りの無線ポート数(中央無線ポートを含む)を  $K=19$  とした。パスロス指数  $\alpha=3.5$ 、シャドウウィングの標準偏差  $\sigma=7$  (dB)、パス数  $L=2$ 、拡散率  $SF=64$  とした。CS-DCAの方がFCAに較べはるかに失敗率が小さくなっている。 $C$  が大きい領域ではクラスタサイズが小さいほど失敗率は大きくなっている。これはクラスタサイズが小さいほど、同一周波数チャンネルの繰返し距離が短く、大きな干渉を受ける確率が高くなり、割当てられた周波数チャンネルの受信 SINR が所要 SINR を満たさない確率も高くなるためである。また、 $J=1$  (シングルホップ) の場合に較べ、 $J=5$  および10の場合の方が失敗率が小さくなっている。これは、シングルホップの場合に較べマルチホップの場合の方が送信電力を低減でき、干渉電力を低減できるからである。また、 $J=5$  と  $J=10$  ではほぼ同程度の失敗率となっており、最大許容ホップ数を制限可能であることを示唆している。



(a)  $J=10$



(b)  $J=5$



(c)  $J=1$

図5 周波数チャンネル数とチャンネル割当失敗率の関係

#### 4. むすび

バーチャルセルラシステムにおけるマルチホップ無線通信に、チャンネル棲み分けを用いる自律分散型チャンネル割当て法 (CS-DCA) および固定チャンネル割当て法 (FCA) を適用したときのチャンネル割当て失敗率を計算機シミュレーションによ

て求めた。その結果、CS-DCAの方がFCAよりも著しく失敗率が小さくなることを明らかにした。また、最大ホップ数が5回以上でほぼ同程度の失敗率になるから、最大許容ホップ数を制限可能であることが分かった。

#### 謝辞

本研究の一部は(財)電気通信普及財団研究助成によって行われた。

#### 参考文献

- [1] F. Adachi, "Wireless Past and Future-Evolving Mobile Communication Systems", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E84-A, no.1, pp.55-60, Jan. 2001.
- [2] T. Otsu, Y. Aburakawa and Y. Yamao, "Multi-Hop Wireless Link System for New Generation Mobile Radio Access Networks", IEICE Trans. Commun., vol. E85-B, no.8, pp.1542-1551, Aug. 2002.
- [3] E. Kudoh and F. Adachi, "Power and frequency efficient virtual cellular network", IEEE proc. VTC'2003 Spring, April 2003.
- [4] E. Kudoh and F. Adachi, "Transmit power efficiency of a multi-hop virtual cellular system", IEEE proc. VTC'2003 Fall, Oct. 2003.
- [5] E. Kudoh and F. Adachi, "Study of a multi-hop communication in a virtual cellular system", Proc. WPMC'2003, Yokosuka, Japan, Oct. 2003.
- [6] I. Katzela and M. Naghshineh, "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: a comprehensive survey", IEEE Personal Communications, vol.3, no.3, pp.10-31, June 1996.
- [7] Y. Furuya and Y. Akaiwa, "Channel segregation, a distributed adaptive channel allocation scheme for mobile communication systems", IEICE Trans., vol.E74, no.6, pp.1531-1537, June 1991.
- [8] 工藤, 安達, "マルチホップバーチャルセルラ通信における自律分散型チャンネル割当て法", 信学技報, RCS2003-232, pp.103-107, Nov. 2003.
- [9] 進士編, 移動通信の基礎, 信学会, 1986
- [10] J. G. Proakis, *Digital communications*, 3rd ed., McGraw-Hill, 1995.