

2 ホップバーチャルセルラネットワークにおける呼損率特性

石田 仁志[†] エル アラミ ラッラ スンドゥス[†] 工藤 栄亮[‡] 安達 文幸[‡]

東北大学工学部通信工学科 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: [†] {ishida, soundous}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, [‡] {kudoh, adachi}@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 次世代移動通信システムの実現に向けてバーチャルセルラネットワーク(VCN)が提案されている。送信電力の制限された環境下において伝送速度が高速化した場合、従来のセルラネットワーク(CN)では通信可能なエリアが狭まり、セル端付近の移動局は通信できず、呼損となってしまう。VCN ではマルチホップ通信の適用により送信電力を増大させることなく、通信エリアを拡大できる。そのため、送信電力が制限された環境下において従来のシングルホップ CN に比べ、呼損率を改善することが可能である。本論文では、2 ホップ VCN について計算機シミュレーションにより呼損率を求め、その導入効果を明らかにしている。また、VCN に maxSINR チャンネル割当て法を適用したときの呼損率を求め、チャンネル棲み分けと比較している。

キーワード バーチャルセルラネットワーク, 2 ホップ, チャンネル棲み分け, maxSINR, 呼損

Blocking probability of a 2 hop Virtual Cellular Network

Hitoshi Ishida[†] Lalla Soundous El Alami[†] Eisuke Kudoh[‡] and Fumiyuki Adachi[‡]

Department of Electrical and Communication Engineering, School of Engineering, Tohoku University

05-6-6 Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

E-mail: [†] {ishida, soundous}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, [‡] {kudoh, adachi}@ecei.tohoku.ac.jp

Abstract In future mobile communication systems, there will be a big need to increase the transmit power. However, as the transmit power is limited, keeping the same transmit power will lead to decrease in the coverage area of the present cellular system. In order to overcome this problem, a multi-hop virtual cellular network (VCN) was proposed. In VCN, the coverage area can be extended using multi-hop communication technique, and the blocking probability can be reduced compared to the single hop conventional cellular network. In this paper, we focus on the 2 hop VCN and evaluate its blocking probability using computer simulation. We propose channel assignment using maxSINR algorithm and make comparison with when using channel segregation algorithm.

Keyword virtual cellular network, 2 hop, channel segregation, maxSINR, blocking

1. まえがき

次世代移動体通信では、100Mbps を超える高速な伝送速度が要求されている。通信が高速化すると、所要の伝送品質を達成するためには伝送速度に比例して送信電力を増大させる必要がある。しかしながら、実際の送信電力には制限がある。伝搬損失のみを考慮した場合、セル端にいる移動局(MT)からの基地局における受信シンボルエネルギー対雑音電力スペクトル密度比 E_s/N_0 は次のように表される。

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{(P_t/B)}{N_0} R^{-\alpha} \quad (1)$$

ここで、 B はシンボルレート、 R はセル半径、 P_t は送信電力、 α は伝搬損失指数である。今、セル端にいる MT が最大送信電力で送信したときに、所要 E_s/N_0 を達成できたとすると、送信電力の最大値 $P_{t,max}$ は、

$$P_{t,max} = \left(\frac{E_s}{N_0} \right)_{req} \frac{N_0 B}{R^{-\alpha}} = P_{req} R^\alpha \quad (2)$$

と表すことができる。ただし、 P_{req} は所要受信電力である。ここで、伝送レートが X 倍、すなわちシンボルレートが XB の通信を行うことを考える。送信電力を増大させることなく、伝送レートが X 倍の通信を行った場合、基地局における受信 E_s/N_0 が $1/X$ に低下してしまう。このとき、所要 E_s/N_0 を達成可能な距離を R' とすると、(1)(2)式より

$$R' = X^{-1/\alpha} R \quad (3)$$

と表せる。したがって、伝送レートが X 倍になると図 1 に示すように通信可能なエリアが狭まってしまう。この問題を解決する効果的な方法の一つとしてマルチホップ通信がある[1]。筆者らはセル内に多数の無線ポートを配置するバーチャルセルラネットワーク(VCN)を提案している[2]。VCN では、MT-基地局間に中継無線ポートを配置しマルチホップ通信を行うことで、送信電力を増加させることなく、通信可能なエリアを拡大することができる。現在用いられているシングルホ

ップセルラネットワーク(CN)からの拡張が容易に行えるのは2ホップ通信である。そこで、本論文では最大2ホップ通信を行う2ホップVCNについて考える。

マルチホップ通信では送受信に同一の周波数を用いると大きな干渉が生じてしまうことから、分割された周波数帯域(以下チャンネルと呼ぶ)を各リンクに割当ててチャンネル割当てが重要な技術課題となる。文献[3][4]では、チャンネル棲み分けアルゴリズム(CSDCA)[5]に基づくマルチホップリンクチャンネル割当てが提案されている。文献[4]では発呼時におけるチャンネル割当て失敗率が明らかにされているが、割当てに成功したとしてもチャンネル割当て後に発呼した他のユーザからの干渉が発生した場合、所要の通信品質を満たさなくなってしまう可能性がある。そこで、本論文ではチャンネル割当てに失敗するか、割当てに成功後に品質劣化を生じる場合を呼損と定義し、呼損率を計算機シミュレーションにて明らかにする。チャンネル割当ての失敗率(Failure rate)を P 、割り当て後の品質劣化率(Interruption probability)を Q とすると呼損率(Blocking probability)は

$$BP = P + (1 - P)Q \quad (4)$$

と表せる。CSDCAでは優先度の順にチャンネルを選択し、最初に所要伝送品質を満たしたチャンネルを割当ててため、割当て後の品質劣化に対する耐性が弱い可能性がある。そこで、本論文ではチャンネル割当て後の品質劣化を低減するチャンネル割当て法として、maxSINRチャンネル割当て法[6]を適用する。

本論文の構成は以下のようにになっている。2章では、2ホップVCNの構成とチャンネル割当て法について述べる。そして、3章で呼損率を計算機シミュレーションにて明らかにする。まず、CSDCAとmaxSINRの呼損率特性の比較を行う。次いで2ホップVCNと1ホップCNとの呼損率特性を比較し、高速通信における2ホップVCNの導入効果について示す。

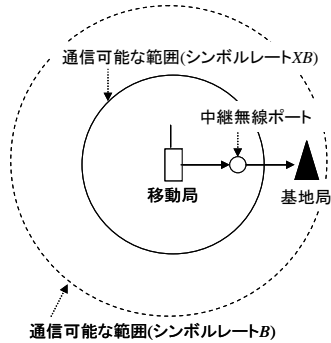


図1 2ホップ通信の導入

2. 2ホップVCN

2ホップVCNの構成を図2に示す。VCNは分散配

置された多数の無線ポート(WP)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(CP)からなる[2]。本論文では最大2ホップの通信を行う2ホップVCNを仮定しているため、MTから送信された信号はWPで受信され、CPへと転送される。

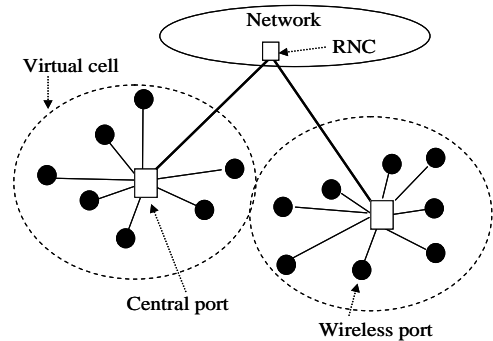


図2 2ホップVCNの構成

2.1. 中継無線ポート選択アルゴリズム

利用可能な全周波数帯域を通信帯域(通信チャンネル)と制御帯域(制御チャンネル)に分割する。VCNにおいて送信電力を低減するためには、中継WPの選択方法が重要である。本論文では、MTの周囲 k 個のWPの中から、MTからCPまでの通信に要する平均総送信電力、すなわちMTとWPの送信電力の総和を最小とするWPを選択する[7]。

MT周囲の k 個のWPはMTからパイロット信号を受信し、MTが各WPと通信するための平均送信電力を測定する。そして、その情報を各WPが接続しているCPへと転送する。CPでは各WPがCPと通信するための送信電力の情報を保持しておき、移動局の平均送信電力とWPの送信電力の和から平均総送信電力を計算する。MTがVCの境界付近に位置する場合、周囲のWPはそれぞれ異なるCPと接続している可能性がある。そのため、各VCのCPは無線ネットワーク制御局(RNC)へ平均総送信電力の情報を転送し、RNCにおいて平均総送信電力の最小となるWPを決定する必要がある。そして、RNCは選択したWPをCP,WPを経由してMTへと伝える。ただし、中継WPの選択は制御チャンネルを用いて行うものと仮定し、CPでは制御チャンネルにおけるWPの電力情報を保持しているものとする。

移動無線伝搬路は、距離に依存する伝搬損失、対数正規分布に従うシャドウイング損失及びマルチパスフェージングで特徴付けられる。本論文では、マルチパスフェージングは遅延時間のことなる L 個のパスから構成される周波数選択性フェージングであるものとする。中継WPとして選択されたWPを $WP\#n$ で表すものとする n は以下のように表せる。

$$n = \arg \min_{i \in \{1, \dots, k\}} \left[\frac{P_{req}}{r_{MT-i}^{-\alpha} 10^{\frac{\eta_{MT-i}}{10}}} + \frac{P_{req}}{r_{i-CP}^{-\alpha} 10^{\frac{\eta_{CP}}{10}} \sum_{l=0}^{L-1} |h_{i-CP}(l)|^2} \right] \quad (5)$$

ここで、 $[\cdot]$ 内第一項は MT と WP# i との通信に要する平均送信電力であり、第二項は WP# i と CP との通信に要する送信電力である。ただし、 r_{MT-i} 、 η_{MT-i} は MT と WP# i 間の距離及びシャドウイング損失 (dB)、 $h_{i-CP}(l)$ は無線ポート# i と CP との制御チャンネルにおける第 l 番目の複素パス利得である。

2.2. チャンネル割り当て法

中継 WP の選択が行われた後にチャンネル割り当てを行う。通信用帯域を C 個のチャンネルに分割し、MT-WP(ユーザリンク)、WP-CP(中継リンク)の各リンクに異なるチャンネルを割り当てる。ただし、本論文では中継リンク用チャンネルとユーザリンク用チャンネルは区別しないものとする。いずれか一方のリンクでも所要 SINR を満たすチャンネルがない場合はチャンネル割り当て失敗となる。

文献 [3],[4] ではチャンネル棲み分けアルゴリズム (CSDCA) [5] に基づくチャンネル割り当てを提案している。本論文では、CSDCA の他に割り当て後の品質劣化率を低減する割り当て法として maxSINR 割り当て法 [6] を用いる。maxSINR では、受信側の WP はすべてのチャンネルの信号電力対干渉+雑音電力比 (SINR) を測定し、最大の SINR を有するチャンネルを割り当てる。割り当てられたチャンネルは所要 SINR からのマージンが最大のチャンネルであるため、割り当て後に干渉が増加したとしても、CSDCA に比べて所要 SINR を満たさなくなる品質劣化は生じにくい。

2.3. SINR の数式表現

本論文では、直接拡散符号分割マルチアクセス (DS-CDMA) 上りリンク伝送を想定し、瞬時受信信号対雑音電力比 (SNR) を一定とする理想高速送信電力制御 (TPC) を仮定している。ただし、送信電力の最大値が制限されているため、送信 WP (又は MT) を # i 、受信 WP を # j とすると # i の送信電力 $P_{t,i}$ は以下ようになる。

$$P_{t,i} = \min \left\{ \frac{XP_{req}}{r_{i-j}^{-\alpha} 10^{\frac{\eta_{i-j}}{10}} \sum_{l=0}^{L-1} |h_{i-j}(l)|^2}, P_{t,max} \right\} \quad (6)$$

ここで、 $P_{t,max}$ は (1) 式で定義した許容最大送信電力であり、 XP_{req} はシンボルレート XB の通信における所要受信電力である。理想 Rake 合成を仮定すると、WP# j

における受信 SINR γ_j は以下のように表せる。

$$\gamma_j = \sum_{l=0}^{L-1} \frac{P_{t,i} r_{i-j}^{-\alpha} 10^{\frac{\eta_{i-j}}{10}} |h_{i-j}(l)|^2}{\left[XN + \frac{1}{SF} P_{t,i} r_{i-j}^{-\alpha} 10^{\frac{\eta_{i-j}}{10}} \left[\sum_{l'=0}^{L-1} |h_{i-j}(l')|^2 - |h_{i-j}(l)|^2 \right] + \frac{1}{SF} \sum_k P_{t,k} r_{k-j}^{-\alpha} 10^{\frac{\eta_{k-j}}{10}} \sum_{l'=0}^{L-1} |h_{k-j}(l')|^2 \right]} \quad (7)$$

ここで、分母第二項はパス間干渉成分、第三項は同一チャンネル干渉成分である。 XN は雑音電力、 SF は拡散率である。

QPSK 変調を仮定すると所要のビット誤り率 10^{-2} を満たす所要 SINR γ_{req} は 7.3dB となる。また、TPC の目標 SNR Λ_{target} を

$$\Lambda_{target} = \gamma_{req} \cdot \chi \quad (8)$$

とする。ただし、 Λ_{target} は次式で与えられる。

$$\Lambda_{target} = \frac{XP_{req}}{XN} = \frac{P_{req}}{N} \quad (9)$$

3. 計算機シミュレーション

正六角形の 19 個の VC からなるサービスエリアを考え、中央の VC を測定の対象とする。各 VC に $K=20$ 個の WP をランダムに配置する。MT は周囲の $k=40$ の WP から中継無線ポートを選択するものとする。伝搬損失指数 $\alpha=3.5$ 、シャドウイング損失標準偏差 $\sigma=6$ (dB)、拡散率 $SF=16$ 、チャンネル数 $C=8$ 、 $\chi=10$ (dB) ($\Lambda_{target}=17.3$ (dB)) としている。また、 L パス等電力遅延プロファイルのレイリーフェージングを仮定している。ただし、シンボルレート (XB) が大きくなるにつれて広帯域となり、分解可能なパス数が多くなるため、 $X=1$ の場合を $L=2$ 、 $X \geq 10$ の場合を $L=16$ とした。また、1 ホップ CN では平均送信電力を最小とする基地局を選択するものと仮定する。

3.1. CSDCA と maxSINR の比較

図 3 にチャンネル割り当て法として CSDCA または maxSINR を適用した場合の呼損率特性を示す。横軸は SF 及び C で正規化した 1 セル当りのユーザ数である。チャンネル割り当て失敗率及び割り当て後の品質劣化率も共に示す。ここでは、 $X=10$ としている。図 3 より CSDCA に比べて maxSINR の方が呼損率を低減できることがわかる。CSDCA では、優先度の高い順にチャンネルを選択し、最初に所要 SINR を満たすチャンネルを割り当てる。一方、maxSINR では全チャンネルの SINR を測定し、最大の SINR を有するチャンネルを割り当てるため CSDCA

に比べて所要 SINR からのマージンが大きい。したがって、割当て後に加わる干渉に対する耐性が強く、品質劣化が生じにくくなるため、呼損率を低減できる。

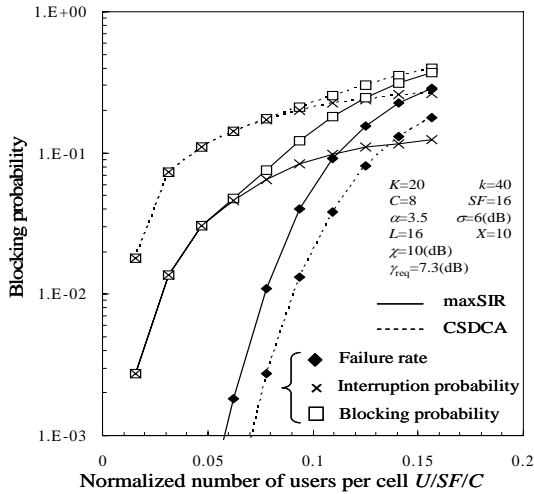
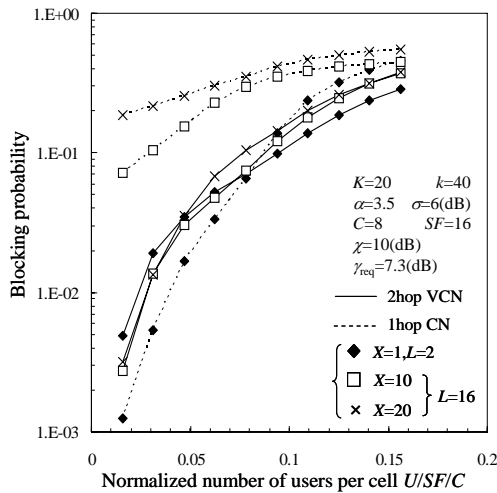


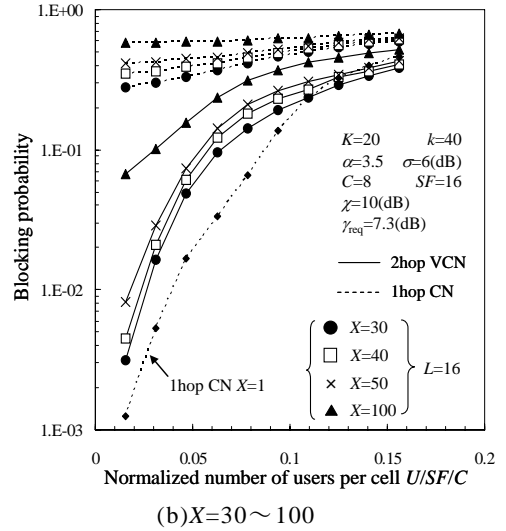
図3 CSDCA と maxSINR による呼損率特性の比較

3.2. 伝送レート比 X の影響

図 4(a),(b)に伝送レート比 X をパラメータとした時の VCN 及び 1 ホップ CN の呼損率特性を示す。なお、ここでは maxSINR チャンネル割当てを用いている。 $X \geq 10$ の高速通信では、VCN が 1 ホップ CN と比較して呼損率を大幅に低減できることがわかる。 X が大きくなると所要受信電力も大きくなるため、送信電力をそれに比例して増大させる必要がある。しかし、送信電力が制限されているため 1 ホップ CN では、CP から距離の遠い MT ほど受信 SNR が低下し、呼損率が大幅に劣化してしまう。一方、2 ホップ VCN の導入によって低送信電力での通信が可能となるため、1 ホップ CN に比べて SNR の劣化を低減できる。2 ホップ通信を導入しても $X=100$ 程度まで通信が高速化すると呼損率が劣化してしまうが、これはホップ数や WP 数を増加させることで改善できる可能性がある。



(a) $X=1 \sim 20$



(b) $X=30 \sim 100$

図4 呼損率に及ぼす伝送レート比 X の影響

4. まとめ

本論文では、バーチャルセルラネットワーク (VCN) にチャンネル棲み分け (CSDCA) または maxSINR チャンネル割当てを適用したときの呼損率特性を計算機シミュレーションにより求め、maxSINR が CSDCA に比べて呼損率を低減できることを示した。また、送信電力が制限された環境下において、2 ホップ VCN の導入によって 1 ホップセルラネットワークに比べ、高速通信時における呼損率を改善できることを示した。

5. 参考文献

- [1] 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.
- [2] E. Kudoh and F. Adachi, "Power and frequency efficient wireless multi-hop virtual cellular concept", IEICE Trans. Commun., Vol.E88-B, No4, pp.1613-1621, April 2005.
- [3] E. Kudoh and F. Adachi, "Distributed dynamic channel assignment for multi-hop DS-CDMA virtual cellular network", IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.6, pp.2525-2531, June 2005.
- [4] L.S. El Alami, E.kudoh and F. Adachi, "Blocking probability of a DS-CDMA multi-hop virtual cellular network", IEICE Trans. Commun., Vol.E89-A, No.7, pp1878-1883, July 2006.
- [5] Y. Furuya and Y. Akaiwa, "Channel segregation, a distributed adaptive channel allocation scheme for mobile communication systems", IEICE Trans. Comm., vol. E74, no6, pp.1531-1537, June 1991.
- [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] 藤原, 竹田, 吉野, 大津, 山尾, "ブロードバンド CDMA セルラ方式におけるマルチホップアクセス法のシステム容量増大効果", 信学論, vol.J85-B, no.12, pp.2073-2079, Dec.2002.