

2 ホップバーチャルセルラネットワークにおける OFDMA と DS-CDMA のチャンネル容量比較

Channel Capacity Comparison of 2-hop Virtual Cellular Networks Using OFDMA and DS-CDMA

石田 仁志 工藤 栄亮 安達 文幸
 Hitoshi ISHIDA Eisuke KUDOH Fumiyuki ADACHI
 東北大学大学院工学研究科 電気・通信工学専攻

1. まえがき

次世代移動無線ネットワークの実現に向けて、図 1 に示すバーチャルセルラネットワーク(VCN)が提案されている[1]。筆者らは、VCN におけるマルチホップチャンネル割当てについて検討してきた[1-3]。本論文では、複数の直交サブキャリアを割当てる OFDMA 及び帯域分割した周波数チャンネルを割当てる DS-CDMA における下りリンク 2 ホップ VCN のチャンネル容量を比較・検討している。

2. チャンネル割当て法

OFDMA では、総サブキャリア数を N_c 、1 リンク当りのサブキャリア数を J とし、利用可能なサブキャリアの中で受信 SINR の大きい順に J 個のサブキャリアを割当てる[2]。DS-CDMA では、利用可能な周波数帯域を CH 個の周波数チャンネル(以後、チャンネルと呼ぶ)に分割し、1 チャンネル当り SF 個のコードチャンネルを考える。そして、利用可能なチャンネルの中で受信 SINR が最大となるチャンネルを割当てる[3]。ただし、同じ無線ポート(WP)の送受信に同一のサブキャリア(又はチャンネル)は割当てないものとする。

3. SINR の数式表現

OFDMA では、第 i WP から送信され、第 j MT で受信された信号の第 k サブキャリアにおける受信 SINR $\gamma(k)$ は次式で表せる。

$$\gamma(k) = \frac{P_i r_{i-j}^{-\alpha} 10^{-\eta_{i-j}/10} |H_{i-j}(k)|^2}{N + \sum_{m \neq i} P_m r_{m-j}^{-\alpha} 10^{-\eta_{m-j}/10} |H_{m-j}(k)|^2} \quad (1)$$

ここで、 P_i は送信電力、 α は伝搬損失指数、 r_{i-j} 、 η_{i-j} 、 $H_{i-j}(k)$ はそれぞれ第 i WP と第 j MT 間の距離、シャドウイング損失及び第 k サブキャリアにおけるチャンネル利得、 N は雑音電力である。なお、分母第二項は第 k サブキャリアで送信している第 m WP からの干渉電力を表す。

同様に DS-CDMA では第 j MT における第 c チャンネルの受信 SINR $\gamma(c)$ は、理想 Rake 合成を仮定すると次式のように表せる。

$$\gamma(c) = \frac{P_i r_{i-j}^{-\alpha} 10^{-\eta_{i-j}/10} |h_{i-j,c}(l)|^2}{N + \frac{U_i}{SF} P_i r_{i-j}^{-\alpha} 10^{-\eta_{i-j}/10} \left(\sum_{l=0}^{L_{ch}-1} |h_{i-j,c}(l')|^2 - |h_{i-j,c}(l)|^2 \right) + \frac{1}{SF} \sum_{m \neq i} U_m P_m r_{m-j}^{-\alpha} 10^{-\eta_{m-j}/10} \sum_{l=0}^{L_{ch}-1} |h_{m-j,c}(l')|^2} \quad (2)$$

ただし、 L_{ch} はチャンネル当りのパス数であり、 $CH=1$ のときのパス数を L とすると $L_{ch}=L/CH$ である。 SF はチャンネル当りの拡散率、 U_i は第 i WP の送信コードチャンネル数、 $h_{i-j,c}(l)$ は第 c チャンネルにおける第 i WP と第 j MT 間の第 l パスの複素パス利得である。分母第二項はパス間干渉(IPI)、第三項は第 c チャンネルで送信している第 m WP からの干渉である。

4. 数値計算

2 章にて述べたチャンネル割当て法を用いたときのチャンネルのチャンネル容量を数値計算手法により求めた。チャンネル容量 C は OFDMA 及び DS-CDMA において次式で与えられる。

$$C = \begin{cases} \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{J-1} \log_2(1 + \gamma(n_u)) & \text{OFDMA} \\ \frac{1}{SF \cdot CH} \log_2(1 + \gamma(c_u)) & \text{DS-CDMA} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 n_u 、 c_u はそれぞれ第 u ユーザに割当てられた第 n 番目のサブキャリア及びチャンネルを表す。また、2 ホップ VCN のチャンネル容量は中央無線ポート(CP)-WP 間と WP-MT 間の 2 つのリンクの内、最小のチャンネル容量で決定される[4]。ただし、利用可能なサブキャリア(又はチャンネル)がない場合、当該ユーザのチャンネル容量は 0 とする。

図 2 に N_c/J 及び $SF \cdot CH$ で正規化した VC 当りのユーザ数対ユーザ当りの平均チャンネル容量を、図 3 にチャンネル容量の累積分布が 0.1 となるチャンネル容量を示す。ただし、第二隣接 VC までの干渉(19 個の VC)を考慮し、VC 当りの WP 数 $K=20$ 、 $\alpha=3.5$ 、シャドウイング損失標準偏差 $\sigma=6$ dB、 $L=16$ とした。また、送信電力を、セル端における平均受信 SNR が $SNR=10$ dB となる値とした。ただし、2 ホップ通信時は総送信電力(CP と WP の送信電力の和)が 1 ホップ時と等しくなるようにしている。OFDMA では $N_c=64$ 、 $J=4$ であるとし、DS-CDMA では $SF=16/CH$ 、式(2)における IPI は完全にキャンセルできるものと仮定した。また、平均総送信電力最小化に基づくルーティング[2]を用いている。図 2 及び 3 より、DS-CDMA ではチャンネル数 CH が大きいほどチャンネル容量が大きくなるのがわかる。これは、 CH が大きいほど干渉を避けてチャンネルを割当てることができる確率が大きくなるからである。また、OFDMA のチャンネル容量は DS-CDMA より大きい。これは、OFDMA ではサブキャリアごとの割当てを行うことで、利用可能な周波数帯域をよりきめ細かくチャンネル状態に応じて割当てることができるからである。

5. むすび

本論文では、下りリンク 2 ホップ VCN における OFDMA と DS-CDMA のチャンネル容量を比較し、OFDMA が DS-CDMA より大きなチャンネル容量を与えることを示した。

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] E. Kudoh and F. Adachi, IEICE Trans. Commun., Vol.E88-B, No.6, pp.2525-2531, June 2005.
- [2] 石田, 工藤, 安達, 信学技報, RCS2007-119, pp.43-48, 2007 年 12 月.
- [3] 石田, スンドゥス, 工藤, 安達, 信学技報, RCS2006-266, pp.127-130, 2007 年 3 月.
- [4] J.N. Laneman, et al., IEEE Trans. Info. Theory, Vol.50, pp.3062-3080, Dec. 2004.

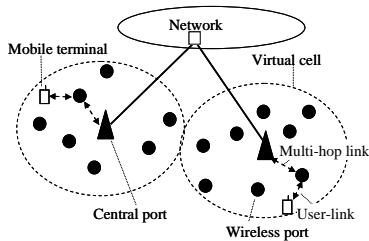


図 1 2 ホップ VCN の構成

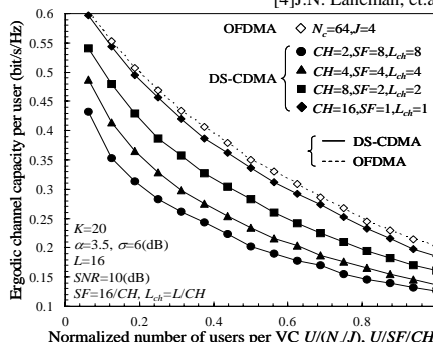


図 2 平均チャンネル容量

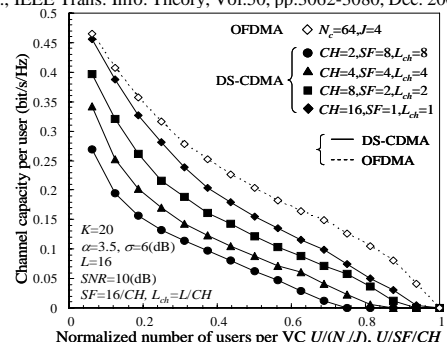


図 3 累積分布 0.1 となるチャンネル容量