

# 第3世代移動通信の Long-Term Evolution における無線アクセス技術

## Wireless Access for Long-Term Evolution of 3G Mobile Communication System

安達 文幸

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

移動通信システムは、無線技術の進歩やユーザの要望などの変化に伴い、第1世代から第3世代へとおよそ10年毎に世代を変えてきた。データ伝送速度で見れば、数 kbps 程度の第1世代(アナログ)から数 Mbps のピーク速度を持つ第3世代に進化した。第4世代システムは、第3世代をはるかに凌ぐ1Gbpsに近い超高速データ通信を狙っている[1]。その手前に位置づけられるのが、第3世代システムのスペクトルを使う第3世代長期発展システムと言われる Long-Term Evolution (LTE) であり、2010年頃の導入を目指して開発が進められている。

無線アクセス技術の変遷をみると、第1世代では周波数分割マルチアクセス(FDMA)、第2世代では時分割マルチアクセス(TDMA)、そして第3世代では5MHz広帯域直接拡散符号分割マルチアクセス(W-CDMA)[2]が採用された。3G-LTEでは無線帯域幅1.4~20MHzを用い、直交周波数分割多重アクセス(OFDMA)[3]を下りリンクに、シングルキャリア(SC)-FDMA[4]を上りリンクに適用して下り100Mbps/上り50Mbps伝送の実現を狙っている。上り/下りリンクの概要を表1に示す。

本稿では、3G-LTEの無線アクセスについて概説する。

表1 上り/下りリンクの概要

|               | 下りリンク                      | 上りリンク   |
|---------------|----------------------------|---------|
| 帯域幅(MHz)      | 1.4/3/5/10/15/20           |         |
| IFFT/FFTポイント数 | 128/256/512/1024/1536/2048 |         |
| アクセス          | OFDMA                      | SC-FDMA |
| スケジューリング      | マルチユーザダイバーシチ               |         |
| ハイブリッドARQ     | ターボ符号化IR-HARQ              |         |

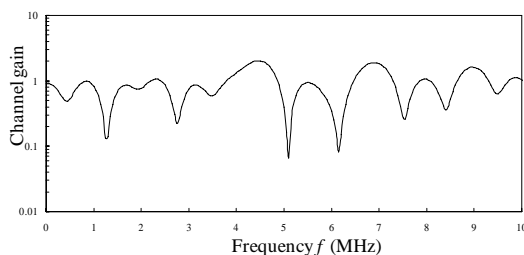


図1 無線チャネルの伝達関数

### 2. 無線チャネル

無線アクセス方式を決定する大きな要因は無線チャネルである。送受信機間には多数の障害物(建造物など)があるため、無線チャネルは遅延時間が異なる多数のパスで構成される多重伝搬路となる。数十 Mbps 以上の高速伝送では、パス間の遅延時間の広がり信号帯域幅の逆数よりかなり長くなるので、チャネルの伝達関数は信号帯域内で激しく変動する(これを周波数選択性という)。遅延時間が互いにおよそ100ns(距離差では30m)だけ異なる16個のパスが存在するとき、チャネルの伝達関数は、図1のように10MHz帯域幅内でも激しく変動する。こ

のような強い周波数選択性チャネルでは受信信号のスペクトルに歪みが生じる。これが、高品質伝送を極めて難しくしている。

### 3. 下りリンク OFDMA

第3世代システムのW-CDMAではRake合成を無線チャネル等化技術として用いている。しかしながら、3G-LTEでは無線チャネルの周波数選択性があまりにも強くなり過ぎ、Rake合成を用いるW-CDMAでは伝送特性が大幅に劣化してしまう。そこで、W-CDMAの代わりに、下り(基地局→端末)リンクではOFDMAが用いられる。OFDMAでは図2のように、多数の直交サブキャリアを分割して複数ユーザに適応的に割り当てることでマルチアクセスを可能としている。

3G-LTEでは1.4/3/5/10/15/20MHzの複数帯域を用いる。 $N_c$ ポイントIFFTを用いて次式のようにOFDMA信号を生成する。

$$s(t) = \sqrt{2S} \sum_{n=0}^{N_c-1} d(u, n) \exp(j2\pi(n/T)t), \quad 0 < t < T$$

ここで、 $1/T$ はサブキャリア間隔、 $n$ はサブキャリア番号、 $u$ はユーザ番号、 $d(u, n)$ はデータ変調シンボルである。サブキャリア間隔は $1/T=15\text{kHz}$ で、20MHz帯域幅のときのIFFTサイズは $N_c=2048$ である。3G-LTEでは、図3に示すように、各ユーザのチャネル状態に応じてリソースブロック(1msec, 12サブキャリア180kHz)を割り当てるリソース割り当て(スケジューリング)が用いられる。Proportional Fairness(PF)スケジューリング[5]を用いれば、マルチユーザダイバーシチ効果が得られ、送信機会をできるだけ公平に保ちつつシステムスループットを高くできる。

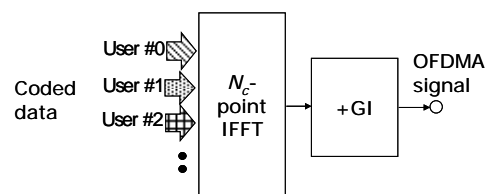


図2 OFDMA信号の生成

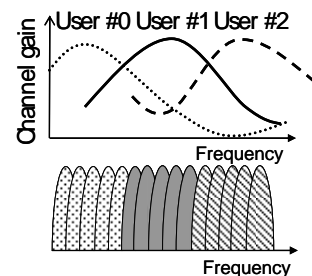


図3 周波数領域スケジューリング

## 4. 上りリンク SC-FDMA

上り(端末→基地局)リンクでは、送信電力増幅器の所要ピーク電力を下げるために、ピーク対平均信号電力比(PAPR)の小さいアクセス方式を用いることが重要であり、シングルキャリア方式が最適である。しかし、無線チャネルの周波数選択性が強い時には厳しい符号間干渉が発生してしまい、伝送品質が著しく劣化してしまう。W-CDMA の場合、拡散利得で非同期パス間の干渉を低減できるから比較的簡単な時間領域等化(Rake 合成)によりパスダイバーシチ効果(周波数ダイバーシチ効果と等価)を得ることができるため優れた伝送特性を得ることができる。しかし、3G-LTE のような 20MHz 帯域幅を用いる高速 SC 伝送の場合には、分解可能なパス数が多くなるので時間領域等化の演算量は大変大きくなってしまふ。

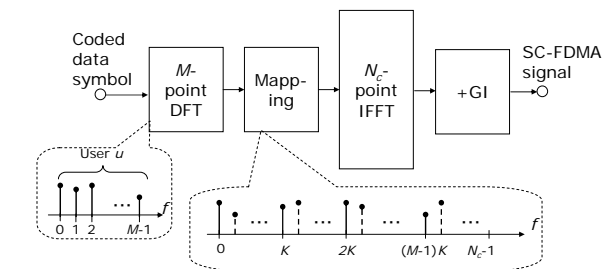


図 4 SC-FDMA 信号の生成

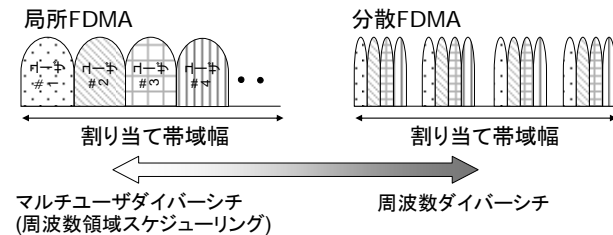


図 5 マッピング

時間領域等化の代わりに周波数領域等化を用いれば、低演算量を実現しつつ周波数ダイバーシチ効果を得ることができる[6]。周波数領域等化シングルキャリア伝送にマルチアクセス機能を付与したのが、3G-LTE の上りリンクで用いる SC-FDMA[4]である(拡散を用いる場合について同様なアクセス方式が文献[7]で提案されている)。図 4 のように、SC-FDMA では、各ユーザの送信シンボルブロックを DFT により周波数領域信号に変換し、それを他のユーザと重ならないように  $N_s$  個のサブキャリア領域にマッピングする。低 PAPR 性を保つために、同一ユーザに割り当てられるサブキャリア間隔が等間隔になるようなマッピングが用いられる。図 5 のように局所(Localized)FDMA と分散(Distributed)FDMA の 2 つのマッピング方法がある。下りリンクと同様なマルチユーザダイバーシチ効果を得ることができるのは局所 FDMA であり、各ユーザのチャネル状態に応じてリソースブロック(1msec, 12 サブキャリア 180kHz)を割り当てる。

## 5. ハイブリッド自動再送(HARQ)

これからの無線システムでは、ほとんどの通信がパケット伝送により行われるようになる。パケット伝送では何らかの誤り制御が必要である。誤り訂正符号化と自動再送要求(ARQ)を組み合わせたハイブリッド ARQ(HARQ)は有望な誤り制御である。代表的な HARQ として、Chase Combining(CC)[8]と Incremental Redundancy(IR)[9]がある。CC の欠点は、再送時のチャネル状

態が良好であるにもかかわらず、符号語の冗長ビットをいつも全て再送してしまう点にある。これを解決したのが、図 6 に示す再送毎に冗長ビットのみを少しずつ送信する IR である。IR では再送回数が増えるにつれて符号化率が低くなるため誤り訂正能力が強くなる。3G-LTE では原符号化率 1/3 のターボ符号を用いる IR-HARQ が採用される。

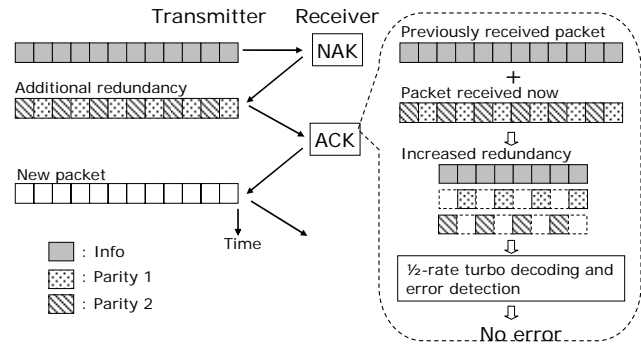


図 6 IR-HARQ

## 6. むすび

本稿では、3G-LTE の無線アクセス技術について概説した。下りリンクには OFDMA、上りリンクには SC-FDMA が用いられる。各ユーザのチャネル状態に応じてリソースブロックを適応的に割り当てる周波数・時間領域スケジューリングが用いられる。また、パケットアクセスが中心になるから、再送毎に冗長ビットのみを少しずつ送信する IR-HARQ が用いられる。さらに、帯域幅一定のままでスループット向上を実現する MIMO 多重が用いられる。これらの無線技術は、3G-LTE に続く第 4 世代方式の無線技術の基本になる。

## 参考文献

- [1] Y. Kim et. al., IEEE Commun. Mag., vol. 41, pp.120-124, Mar. 2003.
- [2] F. Adachi, M. Sawahashi and H. Suda, IEEE Commun. Mag., vol. 36, pp. 56-69, Sept. 1998.
- [3] H. Sari and G. Karam, Eur. Trans. Telecommun., vol. 9, no. 6, pp. 507-516, 1998.
- [4] R. Dinis, D. Falconer, C. T. Lam, and M. Sabbaghian, Proc. Global Telecommunications Conference (GlobeCom2004), 2004, vol.6, pp. 3808-3812, Dallas, TX, USA, 29 Nov.-3 Dec. 2004.
- [5] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, Proc. IEEE VTC 2000-Spring, vol. 3, pp. 1854 - 1858, Tokyo, 15-18May 2000.
- [6] D. Falconer, S. L. Ariyavistakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, IEEE Commun. Mag., vol. 40, pp.58-66, Apr. 2002.
- [7] K. Takeda and F. Adachi, Proc. IEEE 62nd Vehicular Technol. Conf. (VTC2005-Fall), Dallas, U.S.A., 26-28 Sept. 2005.
- [8] D. Chase, IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, pp. 385-393, May 1985.
- [9] J. Hagenauer, IEEE Trans. Commun., vol. 36, pp.389-400, April 1988.