

携帯に使われているネットワーク技術の基礎

加來 史也, 王 路易
Fumiya KAKU, Luyi WANG

1 はじめに

近年、携帯電話の普及率は 85% を越え、国民の大多数が携帯電話を持つ時代となった。このように携帯電話のユーザが増加しているにも関わらず、混信などなく通信が可能となっているのは、基地局における技術や通信技術などの様々な技術によるものである。

本稿では、携帯通信を支えるネットワーク関連技術について述べる。

2 携帯電話ネットワークの構成

携帯電話ネットワークは、Fig. 1 のように無線アクセスネットワーク、コアネットワークから構成される。

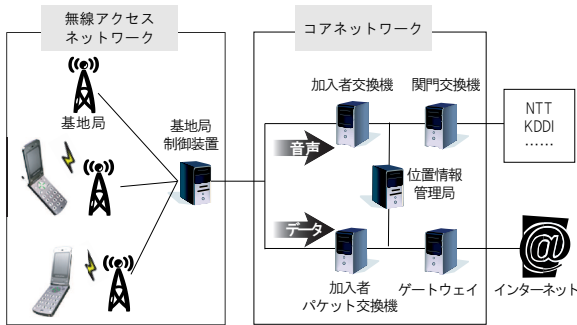


Fig.1 携帯電話ネットワークの構成 (出典:自作)

無線アクセスネットワークは、基地局制御装置によりユーザ端末と基地局間の通信を行う。コアネットワークは、各種の交換機によって固定電話網や別事業者の携帯電話網、インターネットとの円滑な接続を行い、位置情報管理局によってユーザ端末を管理する。¹⁾

3 移動体通信

携帯通信は移動体通信であり、その実現にはユーザ端末の位置把握と基地局の切り替え、移動によって生じるフェージングへの対策が必要となる。

本章では、ユーザ端末の位置把握や基地局切り替えの方法とフェージング対策について述べる。

3.1 無線通信方式

初期のアナログ式携帯電話の基地局の配置は、大ゾーン方式に基づいていた。大ゾーン方式は、Fig. 2(a) のように 1 つの基地局が半径数十 km もの広いサービスエリアをカバーする。しかし、サービスエリア内では同一周波数を利用できないため、この方式では増加し続けるユーザに対処できなかった。

そこで、周波数帯域を有効活用する手段としてセルラ方式が開発された。セルラ方式は、Fig. 2(b) に示すよう

にエリアを無線セルに分割し、それぞれに基地局を設置する方式であり、デジタル式携帯電話に利用されている。

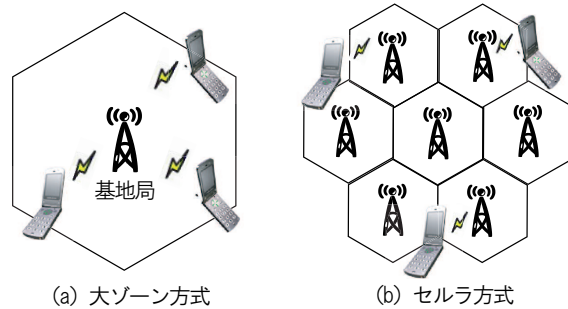


Fig.2 大ゾーン方式とセルラ方式 (出典:自作)

この方式は、異なるセルでの同一周波数帯が利用できるため、ユーザ数の増加に対応できる。また、ユーザ端末と基地局間の距離が短くなるために送信出力を削減でき、ユーザ端末の電力消費を軽減できる。¹⁾

3.1.1 追跡接続 (ハンドオーバー)

携帯通信は移動体通信であるため、セルラ方式では基地局の切り替えが生じやすい。第2世代携帯電話では、1つの基地局と通信を行いながら別の基地局の電波を受信し、基地局の電波の強さが逆転すれば伝送路を切り替えて最も電波が強い基地局と通信を行っていた (ハードハンドオーバー)。しかし、切り替え処理中は通信が行えないため、通信が途切れてしまう問題があった。

第3世代携帯電話ではソフトハンドオーバーを用いて問題を解消している。ソフトハンドオーバーでは、1つの基地局と通信を行うのではなく、Fig. 3 のように電波が受信できる複数の基地局と同時に通信を行う。それぞれの基地局からの電波は、複数の受信機から個別に受信し合成、復調する。通信途中で基地局 A からの電波が受信不可能となれば、基地局 A との通信を終了する。この方式では常にいずれかの基地局と通信を行っているため、基地局切り替えの際のタイムラグが生じない。¹⁾

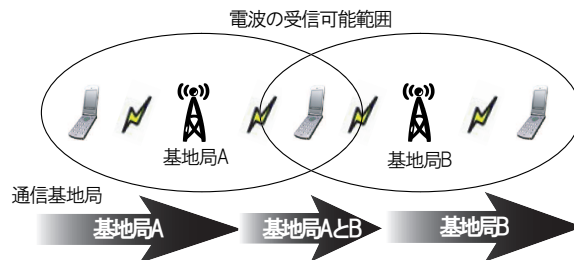


Fig.3 ソフトハンドオーバー (出典:自作)

3.1.2 位置登録処理

携帯通信では、ユーザ端末の位置を常に把握する必要がある。セルラ方式では、複数のセルから成る位置登録エリアごとにユーザ端末の位置情報を管理している。

位置登録処理は、ユーザが位置登録エリアを越える度に行われる。各基地局は、所属する位置登録エリアの情報（報知情報）をユーザ端末へ絶えず送信している。報知情報によりエリアの変更を確認すれば、ユーザ端末は位置情報管理局へ現在エリアを伝える。この処理が常時行われているため、常にユーザ端末の位置を把握できる。

ただ、この処理ではユーザ端末と最も近い基地局を判別できない。そのため、ユーザ端末の呼び出しにはそのエリアに所属する全ての基地局から一斉呼び出しを行っている。¹⁾

3.2 フェージング対策

基地局からの電波は、障害物によって反射、回折し、異なる位相の電波となる。それらの電波が携帯端末に届くと干渉し、本来の受信信号と位相や振幅が大きく変動する。これにより復調性能が大幅に劣化し、通信に悪影響を及ぼす（フェージング）。ユーザ端末が移動するだけでもフェージングが発生するため、移動体通信ではフェージング対策が不可欠となる。対策として、以下で述べるダイバーシティ受信とレイク受信がある。

3.2.1 ダイバーシティ受信

ダイバーシティ受信は、携帯端末に複数のアンテナを半波長以上離して設置し、それぞれの受信信号を処理することによりフェージングを軽減する技術である。

ダイバーシティ受信には様々な方式があるが、携帯電話は、アンテナをスイッチで切り替え、受信電力が高い方を用いる方式（アンテナ選択方式）を採用している。W-CDMA方式^{*1}の場合は、約10cm離してアンテナを設置すれば、フェージングを軽減できる。¹⁾

3.2.2 レイク受信

레이크受信は、複数の受信機を用いてフェージングの原因となる反射波や回折波を個別に受信し、位相や振幅のずれを修正した後に合成する技術である。フェージング対策としては、上記のアンテナ選択方式とほぼ同等の効果がある。また、레이크受信により合成された信号は、雑音に強くなる利点がある。¹⁾

4 多元接続

多数のユーザが通信すれば、基地局は複数の情報を同時に送信しなければならない。それを実現する技術が、本章で述べる多元接続である。

4.1 従来の多元接続方式

初期のアナログ式携帯電話では、FDMA^{*2}が利用された。FDMAは、周波数帯域を分割することで、複数ユーザの同時通信を可能とする方式である。しかし、過度の

周波数帯域の分割は音質の劣化を引き起こすため、デジタル式携帯電話の登場に伴い、TDMA^{*3}が利用されるようになった。TDMAは、ある周波数帯域を短時間ずつ複数のユーザが交代で利用する方式である。FDMAよりも周波数利用効率がよく、フェージング耐性がある。

現在では、これらの方式より優れた性能をもつCDMA^{*4}が広く利用されている。^{1, 2)}

4.2 符号分割多元接続方式：CDMA

CDMAは、送信信号にある符号列を乗算し、複数のユーザの信号をまとめて1つの周波数帯域を利用して送信する方式である。この方式はスペクトル拡散を利用しており、TDMAの約2倍の多重化が可能である。^{2, 3)}

4.2.1 スペクトル拡散

スペクトル拡散は、送信信号の伝達に必要な周波数帯域の数十倍から数千倍広い帯域に周波数帯域を広げる技術である。

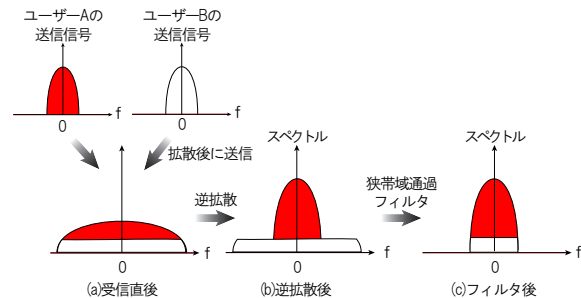


Fig.4 拡散におけるスペクトル変移（出典:自作）

この技術を用いた通信の流れについて述べる。まず、送信信号の他にユーザごとに異なる擬似乱数列（拡散列）を用意し、2つの信号の排他的論理和を取り、それを新たな送信信号とする。受信側では、受信信号と拡散列との排他的論理和を取り、相手の送信信号のみを狭帯域化する (Fig. 4(b))。そして、狭帯域通過フィルタを適用して雑音の大部分を取り除き (Fig. 4(c))、相手の送信信号のみを取り出す。

周波数帯域を広げるためには、拡散列には送信信号より高速な擬似乱数列を用いる必要がある。これは、周波数スペクトルにおける周期がパルスが有意になっている時間（時間幅） T に反比例しており、 T が短い、つまり高速信号であるほど周波数帯域が広がるためである。周波数スペクトルは、送信信号の時間波形をフーリエ変換した結果である。送信信号を $g(t)$ とすると、その周波数スペクトルは式 (1) で表せる。

$$H_g(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-i2\pi ft} \cdot dt = T \text{sinc}(\pi fT) \quad (1)$$

このように、周波数スペクトルにおける周期は時間幅 T に反比例している。このため、拡散後の信号は Fig. 4(a) のように元の送信信号よりも広い周波数帯域を持つ。

*1 Wideband Code Division Multiple Access 方式

*2 Frequency Division Multiple Access

*3 Time Division Multiple Access

*4 Code Division Multiple Access

4.2.2 CDMA の特徴

CDMA には以下の利点がある。

- 秘匿性の高い通信が可能
拡散に用いた拡散列を用いなければ受信信号から送信信号を取り出せない。また、拡散により送信信号の電力密度が大幅に低くなり (Fig. 4(a)) 雑音に埋もれやすくなるためである。
- 雑音に強い
逆拡散により雑音のスペクトルが広がるため、スペクトルが狭い信号のみを通過させる狭帯域通過フィルタを通せば、雑音信号をほとんど取り除ける (Fig. 4(c))。ただし、白色ガウス雑音などの超広帯域の雑音の場合は、その限りではない。

しかし、基地局から遠いユーザからの送信信号は近いユーザからのそれよりも大きな減衰を受けてしまう問題がある。これは従来の多元接続にはない問題で、基地局から近いユーザは送信電力を下げ、遠いユーザは上げるような送信電力制御が不可欠となる。^{2, 3)}

5 音声通信とデータ通信

携帯通信は、通話の音声通信とメールなどのデータ通信に分けられる。音声通信とデータ通信は、リアルタイム性が信頼性のどちらを優先するかが異なる。¹⁾

5.1 音声通信

音声はアナログ信号であるため、デジタル化する必要がある。この処理が音声コーデックである。W-CDMA 方式では AMR 方式^{*5}を用いる。この方式は、その他のコーデック方式と比べると圧縮率は高いが、音質は劣る。

AMR 方式による音声符号化の流れについて述べる。まず送信側は、音声信号をいくつかのブロックに分割する。そのブロックごとに特徴を抽出し、音量や波形を分類する。そして、波形は予め登録させているいくつかの波形パターンと照合し、最も類似している波形パターンに対応する信号を送信信号とする。さらにその信号に音量などの情報を追加した信号を送信する。受信側では、送信信号からそれに対応する波形パターンを取り出し、音声として出力する。¹⁾

5.2 データ通信

データ通信は、パケット通信方式を利用している。この方式は、情報をいくつかのブロックに分割し、それぞれに宛先 IP アドレスなどの情報を付加したものを単位 (パケット) として通信を行う方式である。

パケットの宛先となる IP アドレスは、ユーザ端末自体には振り分けられていない。コアネットワークの交換機にプライベートアドレスが振り分けられている。このため、パケットは宛先 IP アドレスに基づいて、コアネットワーク内を加入者パケット交換機まで転送する。そして加入者パケット交換機からユーザ端末までは、3.3 節の位

置登録処理の際に割り当てられる一時的な端末機番号を宛先アドレスとして転送している。¹⁾

5.2.1 カプセリング

3.2 節でも述べたように、携帯電話通信では移動により位置登録エリアを変更することがある。エリアの変更は加入者パケット交換機の切り替えを伴うため、送信先の IP アドレスの変更が必要である。しかし、カプセリングを用いることにより、IP アドレスを変えずに送信できる。

カプセリングは、別の宛先をつけたパケットに送信パケットを内包する技術である。別のアドレスには、ユーザ端末の位置登録エリアを統括する加入者パケット交換機を指定する。位置登録エリアは位置情報管理局から取得する。このことにより、宛先 IP アドレスを変更することなく、位置登録エリアの変更に対応できる。¹⁾

5.3 誤り制御

携帯通信の誤り制御は通信内容に合わせて以下の 2 つの方式を使い分けている。

5.3.1 前方誤り訂正:FEC

FEC^{*6}は、送信時に誤り訂正・検出用の冗長ビットを追加する誤り制御方式である。携帯通信で用いられる FEC では、2 ビットの情報に冗長 3 ビットを追加して送信する。この冗長ビットにより、1 ビットの誤りを訂正し 2 ビットの誤りを検出できる。¹⁾

5.3.2 自動リピート要求:ARQ

ARQ^{*7}は、データを小さなブロックに分割し、誤り検出用の冗長ビットを追加したものを送信し、誤りを検出した場合に受信側が自動的に再送要求を行う誤り制御方式である。¹⁾

6 今後の展望

再来年には商用サービスが開始される第 4 世代携帯電話では、FDMA を改良した OFDMA^{*8}という多元接続方式が用いられる予定である。この方式は、周波数利用効率が極めて高い上、最大で 1Gbps もの超高速の伝送速度が実現できると言われており、PC に匹敵するほどのアクセス能力を携帯電話が持つことになる。

しかしその一方で、極めて高速な伝送速度のため、電力消費が増大が予想されている。また、利用する周波数帯域が高いため、サービスエリアの狭小化なども懸念されており、今後もさらなる技術革新が待たれる。

参考文献

- 1) 中嶋信生, 有田武美. 携帯電話はなぜつながるのか. 日経 BP 社, 2007.
- 2) 山内雪路. スペクトラム拡散通信. 東京電機大学出版局, 2001.
- 3) 丸林元, 中川正雄, 河野隆二. スペクトル拡散通信とその応用. 編集室なるにあ, 1998.

^{*6} Forward Error Correction

^{*7} Automatic Repeat and reQuest

^{*8} Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

^{*5} Adaptive Multiple Rate 方式