

第9章 多元接続

9.1 Duplexing

通常の通信システムでは、データのやりとりは、1組のユーザ間で双方向に行われる。このような双方向の通信を実現するために、それぞれのユーザの上り下り（行き帰り）回線の分離（多重）を行うことを、Duplexing と呼ぶ。無線回線で、この双方向の通信を区別する手法としては、大きく分けて FDD（Frequency Division Duplexing）と TDD（Time Division Duplexing）がある。これらの手法の特徴は以下のとおり。

9.1.1 FDD

- 送信と受信を周波数の違いで区別。
- 送信と受信を同時に行う。
- 自分の送信信号が干渉（電力差: 約 100 dB）となる。
- 送受信周波数差大ならアンテナやRF回路が複雑

9.1.2 TDD

- 短い時間間隔で送信と受信を高速に切り替えることで「擬似的に」同時双方向通信を実現。
- 通信に時間遅延が発生。

9.2 FDMA, TDMA, CDMA

上に述べた Duplexing 技術は、それぞれのユーザにおいて、双方向の通信を分離多重する技術である。これに対して多元接続 (Multiple Access) 技術は、共通の通信路を、複数のユーザの各々のための通信回線（チャンネル）に分割するものである。無線スペクトルは有限の資源である。これをなるべく多数のユーザで効率良く分け合うことは極めて重要である。具体的な分割の方法としては、Duplexing の場合と同様に周波数あるいは時間による方法があり、各々、

- 周波数分割多元接続方式
(Frequency-Division Multiple-Access ;FDMA)
- 時分割多元接続方式
(Time-Division Multiple-Access ;TDMA)

とよばれる。また各ユーザに固有の符号をわりあて、それにより区別を行う方法である

- 符号分割多元接続方式
(Code-Division Multiple-Access ;CDMA)

という手法も存在する。

図 9.1 は、それぞれの方式について周波数および時間の占有状態を示す概念図である。各方式の概要について以下に述べる。

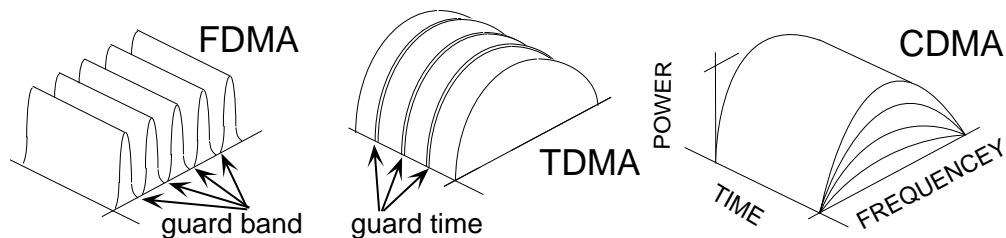


図 9.1: 多元接続の概念図

9.2.1 FDMA

各ユーザに搬送波周波数の異なる狭帯域チャンネルを割り当てて周波数で信号を区別する方式。最も素直なチャンネル分割方法といえる。テレビジョン放送のチャンネルの区別や、アナログ変調 (FM) を使用する第 1 世代の自動車電話システムなどで採用されている。

- アナログ変調にもデジタル変調にも適合。
- チャンネルの伝送レートはデータレート程度。
- シンボル間干渉は小。チャンネル等価器不要。
- 同時に複数の信号が伝送される。
 - 相互変調を防ぐため、基地局送信機の増幅器には高い線形性が要求される。
- 各ユーザは異なった周波数を使用する。
 - 他チャンネル干渉を防ぐため、良い特性の狭帯域フィルタと線形増幅が必要。
- 信号が連続的に送信される
 - 同期などのオーバーヘッドが小さい。
 - TDD は困難，送受信が同時故 FDD も困難。
- 割り当てられたチャンネルは，解放されるまで，使用されていなくても占有され続ける。

9.2.2 TDMA

各ユーザが同じ搬送波周波数を持つチャンネルを時間的に分割して使用する方式である。TDMAでは時間をフレームという単位で区切り各フレームの中をさらに小さな区間 (スロット) に分割する (図 9.2)。それぞれのスロット時間内に送信することを許されるのは 1 局だけである。したがって送信側ではフレーム時間内に発生した音声データ等を圧縮しフレーム時間毎に周期的に現れる自分に割り当てられたスロット内で送信する。このような間欠的な送信の 1 かたまりをバーストと呼ぶ。第 2 世代とよばれる現在のデジタル携帯電話 (GSM, PDC, PHS など) はこの方式を採用している。主要な性質は下記のとおりである。

- デジタル変調に適している。
- データレートよりチャンネル伝送レートが大。(多重数倍)
 - 高速のシステムクロックが必要
 - シンボル間干渉が大。
 - 適応チャンネル等価器が必要
- システム全体で同時に 1 つの信号が伝送される。
 - 基地局送信機の増幅器の線形性の要求は緩い
- 各ユーザは同一の周波数帯を使用
 - スペクトル形状への要求は比較的緩い。
- 送信はバースト的。
 - 電力節約可能。
 - 同期などのオーバーヘッドが大きい。

- ハンドオフが容易 .
 - バーストの間で各基地局の信号強度測定
- TDD が容易 .
 - FDD でも送信と受信が同時ではない (TDD 的)
- 割り当てられたスロットは、解放されるまで、使用されていないなくても占有され続ける .

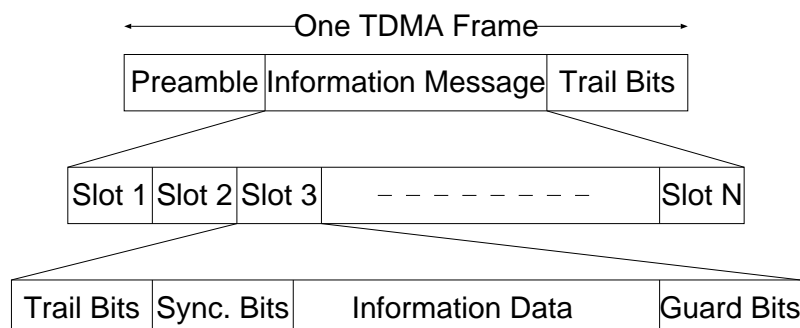


図 9.2: TDMA 方式におけるフレーム構成

9.2.3 CDMA

スペクトル拡散技術を用い多元接続を実現する方式 . 各ユーザは拡散信号を乗積した信号を同じ搬送波周波数を持つチャネルで同時に送信する . 受信側では所望ユーザの拡散信号をもとに受信信号を逆拡散しデータの再生を行う . 第 3 世代の携帯電話システムでは、CDMA 方式が採用されている .

- デジタル変調に適している .
- 情報レート < 伝送チップレート (拡散率倍)
 - 高速のシステムクロックが必要
 - シンボル間干渉は小
- システム全体で同時に複数の信号の伝送 .
 - 相互変調を防ぐため、基地局送信機の増幅器には高い線形性が要求される .
- 各ユーザは同一の周波数帯を使用
 - スペクトル形状への要求は比較的緩い .
- 送信は連続・バーストのいずれでも可 .
- 実際に送信していないユーザはシステム容量に影響しない
 - 音声の断続に応じて送信信号を断続することで、チャネル容量増加可能 .

9.3 多元接続方式の比較

これまで FDMA, TDMA および CDMA の三つの多元接続方式について述べたが、それぞれ一長一短がある . 本節では、これら 3 方式の定性的比較を行うこととする .

9.3.1 通信品質

雑音の影響 熱雑音のような白色雑音の影響は、どの多元接続方式でも基本的に同じである。ただし TDMA においては、信号を断続的に送信するため、送信電力のピーク値を他の方式よりも高くする必要がある。また CDMA においては、通常他チャンネルからの干渉があるため、その影響を見込んで信号対熱雑音比を高く設定する必要がある。このことは、衛星通信のように信号対熱雑音比が低くなりがちな回線にとって問題となる。以上の点を考えると熱雑音に対しては、FDMA が最も有利といえる。

一方、狭帯域雑音に対しては、CDMA が最も強い。これは、受信における逆拡散の過程で狭帯域雑音を白色化（スペクトル密度が低下）した後、希望信号を取り出す積分操作に相当する狭帯域フィルタリングによって雑音成分を取り除く効果があるからである。また、強い狭帯域雑音がある場合には、逆拡散する前に狭帯域阻止フィルタでこれを積極的に抑圧してその影響を減らすことも考えられている [10]。FDMA の場合は、たまたま狭帯域雑音と周波数が合致したチャンネルが大きな影響を受ける。TDMA では、等化操作によって狭帯域雑音の影響を軽減できる。

干渉の影響 干渉について、それを与える立場と受ける立場がある。与える立場について、スペクトルが薄く広く拡散されている CDMA が良いとされている。このため、他システムとの周波数帯の共用も可能で、新しくシステムを構築する場合に既存システムとの共存がやりやすい。ただ、アクセス数が多くなると、やはり他システムへ与える干渉を無視することはできなくなる。特に、隣接周波数帯にあるシステムへの干渉は、アクセス数によって変わるので、各アクセス信号の帯域外不要放射の許容量をどの程度にすれば妥当なのか検討を要する。TDMA は、送信電力が高くなりがちであるので、干渉を与える程度も大きく、スクランプリングを施してスペクトルの集中を防ぐ必要がある。干渉を受ける立場について考えると、FDMA や TDMA では、大きな干渉を受けると、品質の劣化が著しい。スペクトル拡散を施している CDMA が最も有利である。先の狭帯域雑音の場合と同じく逆拡散の過程で干渉波のスペクトルが白色化されるからである。隣接チャンネルからの干渉についても、CDMA が強く、FDMA と併用する場合に隣合った周波数チャンネル間にガードタイムを設ける必要がなく、両チャンネルの信号のスペクトルの一部が重なってもそれによる劣化は概して小さい。

9.4 チャンネル割り当てとランダムアクセス

いままで周波数スペクトルを複数のチャンネルに分割する方法について述べてきた。次に問題になるのは、これらのチャンネルを、いかにして各ユーザに割り当てるかということである。最も単純なのは、それぞれのユーザにあらかじめチャンネルを指定する方法である。このようにすれば、各ユーザは、自分専用のチャンネルを用いて、いつでも通信を行うことができる。このような方法を固定割り当て方式という。ところが実際の通信システムでは、システムが提供できるチャンネル数よりはるかに多くのユーザが存在し、しかもユーザ個々の通信量は小さい場合が多い。このようなシステムでは、固定割り当ては実現不可能である。そこで用いられるチャンネルの割り当て方式が、要求割り当て（デマンドアサインメント）方式である。

この方式では、情報を伝送するチャンネル以外にユーザと中央制御局間に双方向の制御チャンネルを準備する。そして通信を開始したいユーザは、制御チャンネルで通信チャンネルの割り当て要求を中央制御局に行い、また制御チャンネルで通信チャンネルの指定を受ける。

制御チャンネルとしては、FDMA の場合、情報チャンネルとは別の周波数を専用に割り当てるのが通常である。TDMA の場合は、TDMA フレーム中に制御チャンネル用のタイムスロットを設けることによって目的を達成することができる。しかし、通常の TDMA システムでは、FDMA とのハイブリッドシステムである場合が多く、このときには制御チャンネルも専用の周波数が割り当てられることが多い。CDMA の場合、制御チャンネルに専用の符号系列が割り当てられる。

ところで上の要求割り当て方式では、通信を開始したいユーザは、それぞれが、共通の制御チャンネルを用いて通信チャンネルの割り当て要求を送出する。つまり要求割り当ては、自局に割り当てられた専用チャンネルではなく共通チャンネルを用いて伝送されている。これを発展させると、各ユーザが一度に送信したいデータ量が小さい場合、単にチャンネル割り当て要求だけでなく実際の通信そのものも同様の手法で共通チャンネルで伝送する方式を考えることができる。このような方式をランダムアクセス方式という。ランダムアクセス方式では、別のユーザからの信号が自分の信号と同時に送出されるとデータは正しく伝送できない。つまり送信タイミングを上手に制御する必要があり、そのために各種の方式が提案されている。