

■4群（モバイル・無線）- 1編（無線通信基礎）

3章 デジタル無線方式の基礎

（執筆著者：諏訪敬祐）[2008年10月受領]

■概要■

デジタル無線方式では、システムに対応して信号のやりとりを行う論理的なチャネルを確立するアクセス方式が重要となる。このため電話音声中心のシステム、パケットデータ中心のコンピュータネットワークシステム、放送システムなどの各システムでは、ネットワークの構造、トラフィック状況から最適なマルチプルアクセス技術及びデュープレックス技術を採用する必要がある。具体的な無線方式としては、携帯電話では、インターネットに接続するためには無線区間特有の伝搬環境を考慮した無線プロトコルの研究が行われ、無線区間においても効率よくデータ伝送を行うことのできる無線パケット通信技術が実用化されている。更に、携帯電話のパケットデータの一層の効率的な伝送のための無線通信の適用制御技術が研究され、セル内スループット向上により収容加入者数増大に寄与している。また、無線LANでは、映像などのストリーム配信のための無線マルチキャスト技術におけるQoS制御によりリアルタイムなデータ伝送が可能になっている。

【本章の構成】

本章ではマルチプルアクセス（3-1節）、デュープレックス（3-2節）、無線パケット通信（3-3節）、無線通信の適用制御（3-4節）、無線マルチキャスト（3-5節）に関して原理、仕組みについて述べる。

■4群-1編-3章

3-1 マルチプルアクセス

(執筆著：諏訪敬祐) [2008年10月 受領]

無線通信方式では、あるシステムに適した無線伝送方式を使用して信号のやりとりを行うアクセス技術が用いられる。アクセス技術方式には、一つの送信局（基地局）から複数の受信局（端末）にデータを送信する多重化技術と複数の送信局（端末）から一つの受信局（基地局）に対してデータを送信する多元接続技術がある。本節では複数の地点に存在する各端末から送信されるデータを空間上で重畳して基地局と通信を行う多元接続（マルチプルアクセス）について述べる。マルチプルアクセスには、図3・1に示すように以下の方式がある。

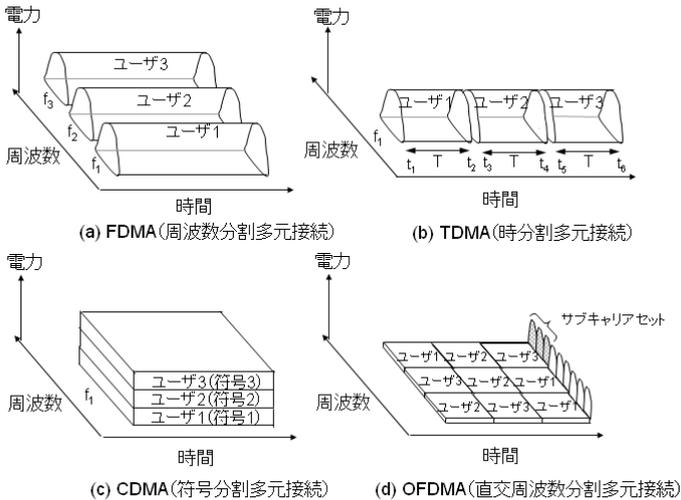


図3・1 マルチプルアクセス方式

3-1-1 FDMA (Frequency Division Multiple Access : 周波数分割多元接続)

FDMA は使用可能な周波数帯域を分割し、各端末に周波数を割り当てて通信を行う方式である。一つの端末は割り当てられた周波数を1チャンネルとして使用する。各端末は異なる周波数で通信を行うため周波数切替えのための周波数シンセサイザや特定の周波数の信号のみを通わせるチャンネル選択用フィルタが必要であり、システム構成は簡単であるが、基地局に端末の数だけの送受信機が必要である。また、伝送速度を柔軟に変化させることが困難である。この方式はアナログセルラ方式、アナログコードレス電話方式で用いられる。

3-1-2 TDMA (Time Division Multiple Access : 時分割多元接続)

TDMA はある一つの周波数に対して時間を複数に分割し、分割した時間（タイムスロット）を各端末に割り当てて通信を行う方式である。一つの端末は割り当てられたタイムスロットを1チャンネルとして使用する。チャンネルを増設するには、別の周波数を用い、時間を複数に

分割したタイムスロットを新たなチャンネルとして割り当てる。タイムスロットが重ならないように時間同期の制御が必要であるが、時間軸上での多重化なので FDMA に比較して送受信機の数はいくつか少なく済む。タイムスロットを複数束ねる（マルチスロット化）ことによりデータ伝送速度の高速化が可能となる。この方式はデジタルセルラ方式（第 2 世代デジタル携帯電話方式）、デジタルコードレス電話方式に用いられている。

3-1-3 CDMA (Code Division Multiple Access : 符号分割多元接続)

CDMA は一つの周波数を用いて端末ごとに異なるスペクトル拡散符号 (PN (Pseudo Noise) 擬似雑音符号のような高速な繰返し符号) を割り当てて通信を行う方式である。送信信号は拡散符号を用いて変調信号の周波数帯域幅よりも広帯域に拡散される。同一周波数、同一時間で複数端末が通信を行っても、拡散符号が異なるので端末ごとのチャンネルを識別することができる。この方式は周波数利用効率が FDMA, TDMA よりも高く、デジタルセルラ方式（第 3 世代デジタル携帯電話方式）で用いられている。

3-1-4 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access : 直交周波数分割多元接続)

OFDMA は周波数幅を細かく分割したサブキャリアを複数の端末が共有し、サブキャリアをいくつかまとめた周波数軸上のセットと時間軸上のタイムスロットを組み合わせ、できるだけ電波状態の良いタイミングでサブキャリアのセットを選んで端末にチャンネルを割り当てる方式である。端末にとって最も効率の良いサブキャリアを利用できるので、周波数利用効率が非常に高い。IEEE802.11a/g などの無線 LAN、デジタルセルラ方式（第 3 世代デジタル携帯電話方式の Evolved UTRA など）、IEEE802.16e の Mobile WiMAX で用いられている。

■4群 - 1編 - 3章

3-2 デュープレックス

(執筆: 諏訪敬祐) [2008年10月受領]

双方向型の通信では、一般的には二つの回線（チャネル）が必要であり、無線基地局と端末の間のチャネルは基地局から端末へは下りチャネル、端末から基地局へは上りチャネルと呼ぶ。この上下回線を実現する方法が複信技術あるいは、デュープレックス（Duplex）技術である。デュープレックス（複信）には、使用する周波数で上りチャネルと下りチャネルを分離する FDD（Frequency Division Duplex：周波数分割デュープレックス）と同一周波数において時間で上下回線を分離する TDD（Time Division Duplex：時分割デュープレックス）がある。移動通信では、FDMA、TDMA、CDMA の各マルチプルアクセスに対して FDD 及び TDD を適用することができる。

FDD は上りチャネルと下りチャネルを異なる周波数で上り、下り同時に伝送する方式である。TDD は上りチャネルと下りチャネルは同一周波数であり、時間軸上で上り、下りのタイムスロットを分けて送信、受信を高速で交互に繰り返して伝送する方式である。例えば、CDMA/FDD、CDMA/TDD のときの原理を図 3・2 に示す。また、FDD と TDD の比較を表 3・1 に示す。

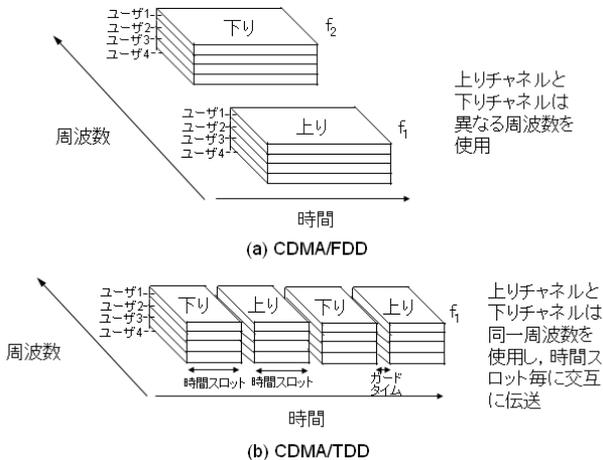


図 3・2 CDMA/FDD と CDMA/TDD

TDD では、同一周波数を使用するので、上りチャネル、下りチャネルを交互に高速に切り替えることにより無線伝搬路の可逆性を利用した送信ダイバーシチが適用できる。例えば、CDMA/TDD の場合の下りチャネルの送信ダイバーシチの原理は以下ようになる。図 3・3 のように無線伝搬路の可逆性を利用して無線基地局で受信した直前の位相、振幅情報をもとに無線基地局の二つのアンテナからの信号が受信側の端末で最適に合成されるように、送信する方法である。

表 3・1 FDD と TDD の比較

複信方式	長 所	短 所
FDD (Frequency Division Duplex)	<ul style="list-style-type: none"> ・上りチャンネルと下りチャンネルの干渉無し ・基地局間同期が不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・上りチャンネルと下りチャンネルのペアの周波数帯が必要 ・高周波回路の小型化が困難 ・上りチャンネル, 下りチャンネルでの非対称トラヒックへの対応が困難 ・送信ダイバーシチ, 送信適応アンテナ制御技術が実現困難
TDD (Time Division Duplex)	<ul style="list-style-type: none"> ・上りチャンネルと下りチャンネルのペアの周波数帯が不要 ・高周波回路の小型化が可能 ・上りチャンネル, 下りチャンネルでの非対称トラヒックに対応可能 ・送信ダイバーシチ, 送信適応アンテナ制御技術が実現可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・上りチャンネルと下りチャンネル間で干渉が発生 ・基地局間同期が必要

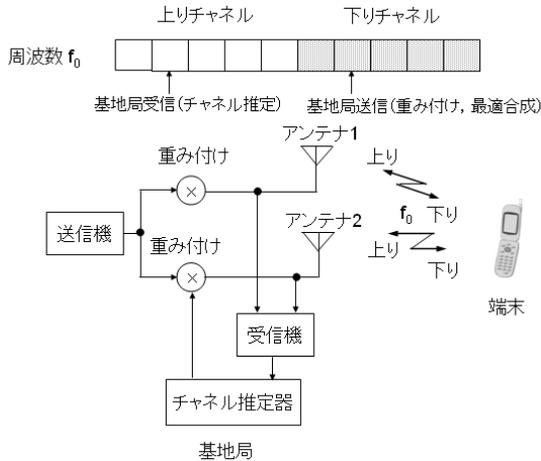


図 3・3 送信ダイバーシチの原理

■4群 - 1編 - 3章

3-3 無線パケット通信

(執筆著: 諏訪敬祐) [2008年10月 受領]

携帯電話などの無線端末を使用してブラウザ上でインターネットの情報を迅速に検索し、効率良く表示するなどの技術が無線パケット通信技術である。携帯電話では、無線により通信を行うことから電波状況や雑音・干渉により、通常のTCP/IPプロトコルを使用すると伝送効率が低下する。この課題を克服するために、携帯電話では、インターネット標準のTCPの代わりに無線区間でパケット通信を最適な状況で効率的に伝送できるWP-TCP (Wireless Profiled-TCP) 技術が用いられている。インターネットとサーバ(送信側)との間はTCPを利用し、WP-TCPと通常のTCPのプロトコル変換は携帯電話ネットワーク内のゲートウェイで行う。WP-TCPでは、図3・4に示すように(1)初期ウィンドウサイズの拡大、(2)TCPウィンドウサイズの拡大、(3)再送するデータ量を低減するSACK (Selective ACK) の利用が行われている。(1)の初期ウィンドウサイズの拡大は通信開始時に送信できるパケット数を増やすことであり、(2)のTCPウィンドウサイズの拡大とは、送受信バッファサイズを拡大し、クライアント(受信側)からのACK (Acknowledgement) を待つ前に送信できるパケット数を増やすことである。これにより、ACKの待ち時間が少なくなり、単位時間当たりに送信できるデータ量を増やすことが可能となるためデータ伝送効率の向上(2~3倍程度)が図られる。(3)のSACKの利用は通常のTCPではACKは連続したセグメントだけを送信側に通知するため誤りのあるセグメント(パケットのグループ)以降をすべて再送するのに対し、SACKでは、受信したセグメントを送信側に通知するため誤りがあったセグメントだけを再送する。SACKにより再送するデータ量を最小にすることができる。

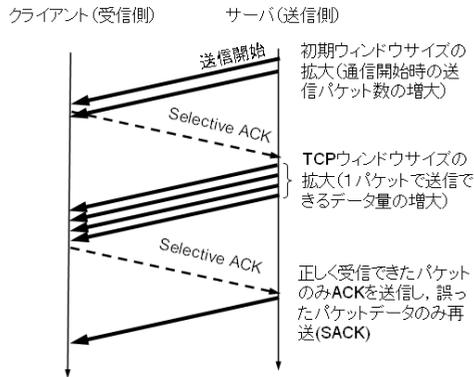


図3・4 WP-TCPの原理

携帯電話で使用されるWP-TCPは国際標準規格としてWAP (Wireless Application Protocol) 2.0と呼ばれている。図3・5はWAP2.0のプロトコル構成である。図のゲートウェイでプロトコル変換し、携帯電話ネットワークとインターネットとの間でデータを効率良くやりとりで

きるようにしている。WAP2.0では、携帯電話通信プロトコルとして上記のWP-TCPとWP-HTTPが採用されている。WP-HTTPはインターネット標準の通信プロトコルHTTPを、携帯電話サービスなど無線環境での利用に最適化したプロトコルである。

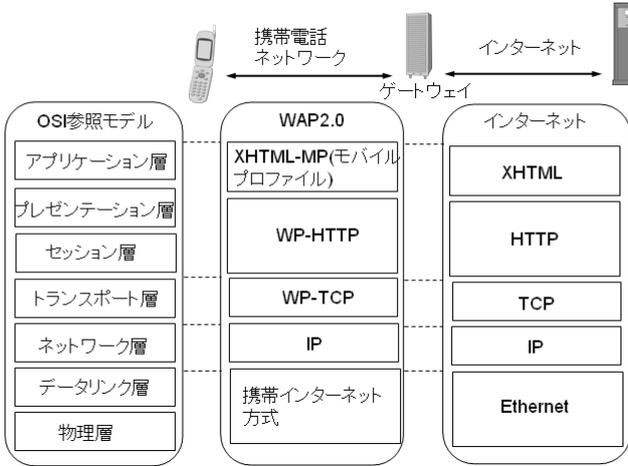


図 3・5 WAP2.0 のプロトコル

■4群 - 1編 - 3章

3-4 無線通信の適用制御

(執筆者：諏訪敬祐) [2008年10月 受領]

無線区間のデータのペケット化に伴い無線ペケットを効率的に伝送し、システム容量を増大することが重要となる。本節では携帯電話のW-CDMAの高速化を実現したHSDPA (High Speed Downlink Packet Access) で採用されている無線適用技術について述べる。

HSDPAでは、伝送速度の高速化、無線区間の遅延を最小化するために、(1) 適応変調符号化 (AMC: Adaptive Modulation Coding), (2) 基地局スケジューリング, (3) ハイブリッド自動再送要求 (H-ARQ: Hybrid Automatic Repeat request) などの技術が採用されている。

(1) の適応変調符号化方式では、W-CDMAが無線環境の変動に対して送信電力制御を行うことにより、伝送速度を一定に保ちながら品質を均一化しているのに対し、HSDPAでは、送信電力を一定とし、無線環境の変動に対応して送信データの変調方式、誤り訂正符号化方式などを適応的に変化させてデータを送信している。すなわち、HSDPAにおいて複数ユーザは高速下り共有チャンネル (フレームサイズ 2 ms, 送信電力制御なし) を共有し、**図 3・6** のように、無線区間の品質が良い場合は、16QAM 変調により、より多くの情報ビットを送信する。無線区間の品質が悪い場合は、QPSK 変調で送信することにより伝送速度は低下するものの信号の信頼性を高め、データの再送を減らすことができ、システム全体としてはスループットが向上する。伝送速度の変更は最短 2 ms で行うことができる。

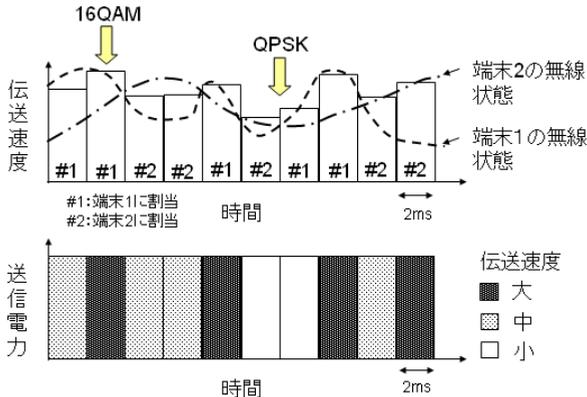


図 3・6 適応変調符号化方式と基地局スケジューリング

(2) の基地局スケジューリングでは、基地局において各端末の瞬時的な無線区間の品質 (例えば、受信 SINR) 変動を監視し、品質が良好な端末をスロット時間最短 2 ms で選択することにより、セル内のスループットを向上することができる。図 3・6 に示すように端末 1 の品質が良好な場合は端末 1 のデータを端末 2 のデータが良好な場合は端末 2 のデータを送信するチャンネルを割り当て、ランダムにチャンネルを割り当てる場合に比較し、スループットを向上させることができる。

(3)のハイブリッド自動再送要求は図3・7のように誤った情報の含まれる packets を保持しておき，誤りを含むデータも誤り訂正符号を用いて再送データと合成して復号する．従来の ARQ では，受信データに誤りがあれば誤りがあるごとに受信 packets を廃棄して再送を行っていたのに対し，ハイブリッド自動再送要求では，誤りのある受信 packets を保持しておくため ARQ より再送回数が少なく，高効率な伝送を実現できる．

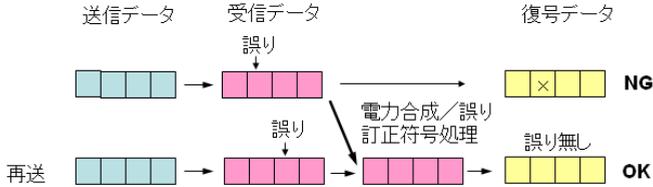


図3・7 ハイブリッド自動再送要求の原理

■4群-1編-3章

3-5 無線マルチキャスト

(執筆著: 諏訪敬祐) [2008年10月 受領]

通信の形式には1対1の通信であるユニキャスト (Unicast), 1対不特定多数の通信であるブロードキャスト (Broadcast), 1対特定多数の通信であるマルチキャスト (Multicast) がある。ここで、マルチキャストは同報配信が可能であるためコンテンツ映像などを多数の端末が同時に視聴する放送型サービスに適している。すなわち、広域のエリアにおいて多数の端末に対して無線により同時に、リアルタイムに映像を配信することができる。以下では、無線 LAN を用いたマルチキャスト伝送におけるアクセス制御技術について述べる。

無線 LAN を利用して音声や映像などのストリーミングを視聴するには、高い通信品質が要求され、標準規格である IEEE802.11e (Wi-Fi Multimedia) の QoS (Quality of Service) 制御機能が利用される。IEEE802.11e では、無線 LAN 基地局と端末間のアクセス方式として自律分散制御を基本とする EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) と呼ばれる優先制御技術が用いられている。無線 LAN の標準のアクセス方式である CSMA/CA を拡張した EDCA はやり取りするデータ (音声、映像ストリーミングなど) を4種類のアクセスカテゴリ (AC) に分類し、分類ごとに送信機会に差を設けて優先制御を実現する。CSMA/CA では、端末は DIFS (Distributed Inter Frame Space) と呼ぶキャリア検出によりほかの端末が未送信状態であると判定される一定時間とランダムな送信待機時間を併せた時間待機した後、送信を行う。DIFS やランダムな時間はすべての端末で同一であり、送信の機会均等である。これに対し、EDCA はデータ送信前の待機時間を優先度に応じて変更することで音声などの優先度の高いデータにより多くの送信機会を与える。具体的には、図 3・8 のように EDCA では、優先度の高いデータほど待機するランダムな時間を短くする。DIFS の代わりに AIFS (Arbitration IFS) と呼ぶ時間を利用して、優先度の高い音声や映像ストリーミングなどのデータほど時間を短く設定する。待機時間を短くすることによりほかの端末より送信できる機会を増やすことが可能となる。

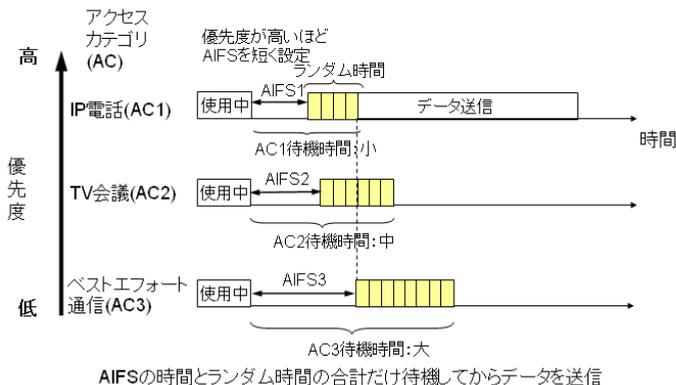


図 3・8 無線 LAN の優先制御技術

■参考文献

- 1) 後藤敏, 阪田史郎 監修, “モバイルコンピューティング教科書,” アスキー出版局, pp.79-86, 1999.
- 2) 服部武, 藤岡雅宣 編著, “ワイヤレスブロードバンド教科書 3.5G/次世代モバイル編,” インプレス R&D, pp.53 -55, 114 -116, 2007.
- 3) 日経コミュニケーション編, “通信ネットワーク早わかり講座,” 日経 BP 社, pp.214-215, 2003.
- 4) 保田佳之, 松谷英之, 後藤善和, “HSDPA の概要,” NTT 技術ジャーナル, vol.19, no.2, pp.32-36, 2007.
- 5) 正村達郎 編, “無線技術とその応用 2 移動体通信,” 丸善, pp.327-334, 2006.
- 6) 平栗健史, 梅内誠, 小笠原守, “無線 LAN におけるマルチキャスト優先制御技術,” NTT 技術ジャーナル, vol.19, no.8, pp.57 -60, 2007.