

■4群（モバイル・無線）- 1編（無線通信基礎）

9章 無線回線の設計・基準

（執筆者：石川義裕）[2009年4月 受領]

■概要■

本章では、無線回線設計の基本的な考え方について説明し、その後、無線回線（リンク）の評価基準と、方式（システム）の評価基準について説明する。

■4群 - 1編 - 9章

9-1 無線回線設計の基本

(執筆著：石川義裕) [2009年4月 受領]

送信側で送信機からアンテナを通して空間に送出された電波は、拡散（減衰）しながら伝搬する。受信側アンテナを通して受信機に到達したときに、所望の受信品質を満たすように、各種パラメータを決定するのが無線回線設計である。通常、送信出力、受信性能、送受信に用いるアンテナの特性、使用する周波数帯における電波伝搬特性などに基づいて、伝送可能な距離、伝送可能な情報速度などを求める設計、あるいは逆に、所望の伝送距離や伝送速度などを得るために必要な、送受信特性やアンテナ特性あるいは周波数帯などを決定するための設計が行われる。伝搬損失は、使用する電波の周波数やアンテナ高などをパラメータとした伝搬推定式で表したものをを用いることが多いが、設計対象となるシステムごとに適切な伝搬推定式を用いることが必要である。また、無線回線の状況は様々に変動するため、これらの変動に対するマージンを適切に設定することが必要となる。図9・1は無線回線設計の流れと各種パラメータの関係を概念的に示す図である。

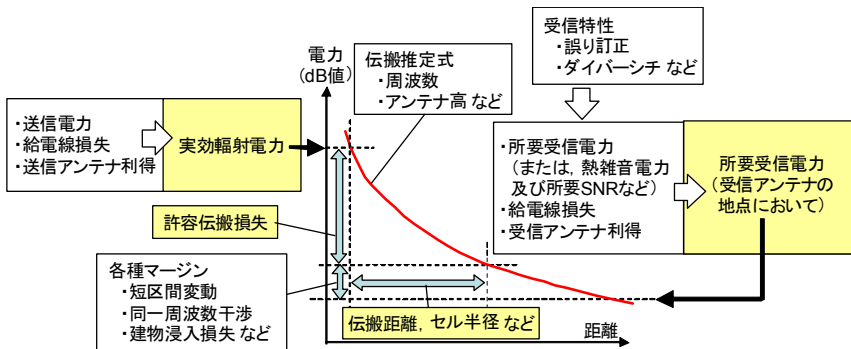


図9・1 無線回線設計の流れと各種パラメータの関係を概念的に示す図

移動局と基地局が通信を行う移動通信システムにおいては、見通し外伝搬となることが多いため、いわゆる距離減衰（あるいは長区間変動）の伝搬推定式は、奥村一泰式などが用いられる。実際には移動局がビル陰にいる場合など伝搬損失は場所によって大きく変動する（短区間変動あるいはシャドウイングと呼ばれる）ため、この変動に対するマージンを設定する必要がある。また、移動局が屋内に位置する場合も想定されるため、建物浸入損失も考慮する必要がある。一方、短区間変動よりも高速の、いわゆるレイリーフェージングに対するマージンや、誤り訂正によるゲインなどは、受信機の所要受信レベルにこれらを含めたいうで評価することが多い。移動通信では、FDMA/TDMA システムのように距離的に離れた基地局で同一の周波数を繰り返す場合や、CDMA システムのようにすべての基地局で同一の周波数を使用する場合などがあり、同一周波数干渉がある程度存在する。これらの干渉に対するマージンも考慮する必要がある。

衛星通信では、衛星と基地地球局（base earth station）、移動地球局（mobile earth station）の間の無線回線設計を行う。設計は、フォワードリンク（基地地球局→衛星→移動地球局）とリターンリンク（移動地球局→衛星→基地地球局）について回線全体で評価しながら行う。それぞれのリンクはアップリンク（地球局→衛星）とダウンリンク（衛星→地球局）に更に分類される。また、移動地球局と衛星の間の回線をサービスリンク、基地地球局と衛星の間の回線をフィードリンクと呼ぶ。図9・2は移動衛星通信における回線の説明図である。フィードリンク（衛星-基地地球局間）は固定通信であるため、見通し伝搬であるが、サービスリンク（衛星-移動地球局間）においては受信側で受信される波は直接波（と主な反射波）及び海面や大地からの多数の反射波の合成となるため、自由空間伝搬損失式で求められる伝搬損失に、仰上-ライスフェージングを考慮して設計が行われる。更に、サービスリンクの設計では、移動通信システムと同様に、ビル陰などによるシャドローイングの影響や、建物浸入損失についても考慮する必要がある。一般に、衛星の送信電力には制約があり、また、移動地球局では大きなアンテナを使用することは困難であるため、サービスリンクの品質を確保することが重要となる。一方、フィードリンクについては十分な品質が確保できるように設計を行う。電離層による減衰ゆらぎあるいは、用いる周波数帯によっては降雨減衰なども考慮する必要がある。また、移動衛星通信に使用される周波数帯は、ほかの無線業務と共用で分配されているため、隣接チャネルやバックアップ局からのシステム内干渉、ほかの衛星システムや地上系通信システムからの干渉を考慮する必要がある。

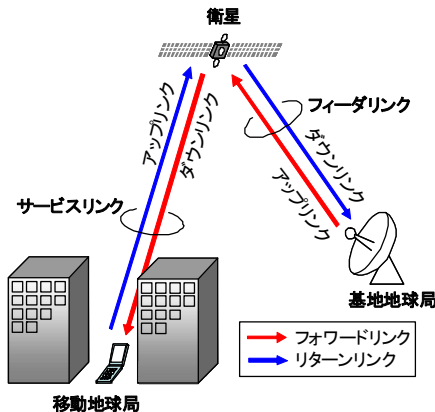


図9・2 移動衛星通信における回線の説明図

固定無線伝送システムにおいては、おおむね 10 GHz 以上の周波数帯を使用する場合には、降雨、降雪、霧などによる減衰を考慮する必要がある。また、通常大気中の電波屈折率は地表面からの高さとともに減少するが、この減少の割合は時間とともに変動するため、伝搬路に強い反射波が存在する場合にはフェージングが生ずる。更に、いわゆるダクト伝搬により反射波がない場合でもフェージングが生ずる。固定無線伝送システムでは、通常伝送情報速度が高く、更に、周波数利用効率向上の観点で変調方式の多値化や偏波共用を行っているため、フェージング時の伝搬ひずみ、あるいは交差偏波識別度の劣化が回線設計上の大きな要因となる。

■4群 - 1編 - 9章

9-2 無線回線（リンク）の評価基準

（執筆者：石川義裕）[2009年4月受領]

無線回線設計は設計対象の無線回線（リンク）がある一定の品質を満たすように、各種設計を行うが、ここでは、無線回線設計でよく用いられる評価基準について説明する。

9-2-1 Bit Error Rate (BER), Frame Error Rate (FER), Block Error Rate (BLER)

近年のデジタル伝送においては、ビット誤り率（BER）が品質の評価基準の基本となることが多い。所望の BER を満たすための CINR や SINR（次項 9-2-2 参照）を求めてこれら無線回線設計に用いる。一方、ある程度の情報のまとまりに対して付加された CRC (Cyclic Redundancy Check) ビットを用いるなどして、誤りが含まれているかどうかを受信側にて確認することが一般的に行われるため、FER や BLER が有効である。BER を測定するためには送信したビット列と受信されたビット列を照合（あるいは既知のビット列を送出する）など特別な準備が必要であるが、FER や BLER の測定では必ずしもその必要がないため、FER や BLER が評価基準として用いられる場合も多い。

9-2-2 Carrier to Interference plus Noise power Ratio (CINR), Signal to Interference plus Noise power Ratio (SINR)

所望の品質を満たすために必要な、希望波電力の、干渉及び雑音の合計電力に対する比である。無線回線設計では、CINR や SINR を希望波に必要な電力の絶対値に換算して用いる。所望の品質は、アナログ音声伝送にあつては、単音明瞭度などが用いられていたが、近年のデジタル伝送においては、上述の BER, FER, BLER などであることが多い。なお、BER などの評価においては、1 ビット当たりのエネルギーに着目して、 E_b/N_0 や E_b/I_0 などが用いられることが多いため、これらを CINR や SINR に、更に希望波電力の絶対値に換算する。

9-2-3 スループット

近年の packets 伝送においては、必ずしも一定の伝送速度を保証するのではなく、むしろ、平均的にどの程度の伝送速度が得られているのかという評価基準が重要視されるようになってきた。無線回線設計の観点からは、限界の距離においてどの程度のスループットが得られるかという観点が重要であるが、伝搬条件が良いときにどの程度高いスループットが得られるのかという観点で用いられる場合も多い。これらはいずれも一人のユーザから見たスループットであるため、ユーザスループットなどと呼ばれる。

9-2-4 遅延時間

パケット伝送は、ある程度の遅延を許容して情報伝送を行うシステムであるが、提供するサービスによってはある程度リアルタイム性が求められ遅延時間が重要視される場合がある。遅延時間の絶対値そのものに加えて遅延時間のゆらぎ（変動）が問題視される場合がある。遅延時間と前項のスループットとは相互に関係することが多いこと、また無線パケット伝送における遅延時間は、無線フレームの長さや自動再送制御（ARQ: Automatic Repeat reQuest）

方式などと密接に関係していること、などから、方式全体にわたる総合的な評価、設計が必要である。

9-2-5 時間率、場所率の考え方

無線回線設計ではあるエリア内においては一定の品質を満たすように各種マージンを見込むが、常に品質を満たすようにするためには無限大のマージンが必要となり現実的でない。そこで、エリア内においてある一定の割合（例えば、数%程度）で所望の品質を満たせない場所が存在することを許容する考え方が一般的である。この割合は、場所的劣化率などと呼ばれる。伝搬条件や、同一周波数干渉などの条件が時間的に変動する場合には、同様にある一定の時間的な割合（例えば、数%程度）で所望の品質を満たせないことを許容することも考えられる。エリア内の品質を表す指標としては、基地局から一定電力で送信されるチャンネル（例えば、共通パイロットチャンネルや共通制御チャンネルなど）の受信電力や SINR、CINRなどが用いられることが多い。隣接する基地局で同一周波数を用いる CDMA ベースのセルラシステムでは、ジオメトリあるいは I_{or}/I_{oc} などと呼ばれる指標（注目する基地局から受信される全電力と、そのほかの電力及び熱雑音の総和との比）が用いられることもある。

■4群 - 1編 - 9章

9-3 方式（システム）の評価基準

（執筆者：石川義裕）[2009年4月 受領]

一般に、無線通信では限られた周波数帯域を使って、極力多くのトラフィックを運ぶ、あるいは、与えられたトラフィックを運ぶために必要な周波数帯域を極力小さくすることで、周波数利用効率を大きくできる。例えば、音声伝送が中心であった初期の移動通信システムにおいては、無線チャネル狭帯域化、小ゾーン化、同一チャネルの繰り返し距離の短縮、などにより、周波数利用効率の向上を図ってきた。近年、同一の無線周波数を隣接するセルで使う CDMA ベースのシステムが増えてきたこと、提供されるサービスも音声に限らず多岐にわたること、無線の状況に応じて伝送速度などが変わる適応変調方式が採用されることが多くなってきたこと、などからセル（あるいはセクタ）当たりの最大収容容量によりシステムが評価されることも多い。セル（セクタ）が単位時間当たりに運んだ情報量の総和に相当するのがセル（セクタ）スループットである。周波数利用効率の観点からは、セル（セクタ）スループットを大きくする必要があるが、サービス性の観点からは前述のユーザスループットも重要である。混雑の状況あるいは無線環境の状態によっては、ユーザスループットがある程度低下することを許容する必要があり、このようなサービスはベストエフォート型のサービスと呼ばれる。ベストエフォート型のサービスであっても、システム設計に当たっては前述の場所率や時間率と同じように、ある一定のスループットを下回る確率が一定の低い値（例えば、数%程度）になるよう設計されるのが通常である。