

石器時代の携帯電話開発 その7

はじめに

これまでは、端末側のテクノロジーについて説明してきましたが、今回はシステム全体に関わるテクノロジーについて(間欠待受け, マイクロセル化, 誤り訂正)説明します。¹

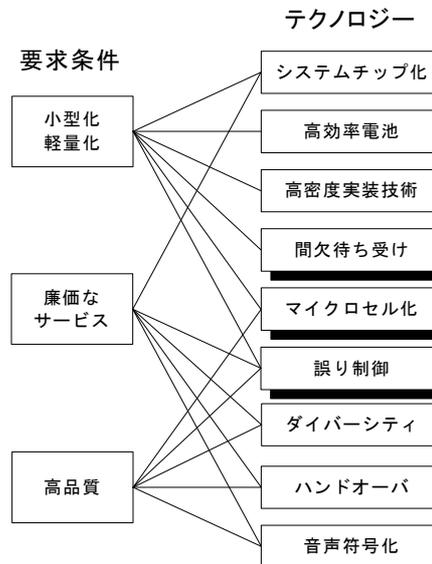


図 1 今回説明する部分

間欠待受け制御

最近のデジタル携帯電話(以下、端末とします)の待受け時間は200~500時間と非常に長くなっています。数年前までの待受け時間は数十時間が標準で、1世代前のアナログ携帯電話となると待受け時間が1日ももたないというような状況でした。²この待受け時間の進歩を支えているテクノロジーの1つに間欠待受け制御があります。



図 2 アナログ携帯電話

¹ 石器時代(1990年代中期)最新テクノロジーなので、今(2007年)からみれば既に古臭い技術もありますが、ご理解をお願いします。

² 日本移動通信株式会社 MT204 型 TACS 方式自動車電話移動機... 当時は正式には携帯電話ではなく、自動車電話移動機と呼ばれていました。

間欠待受けで待受け時間を長くする

待受け時間とは端末の電池を満充電とした状態で、着呼(電話がかかってくること)を待ち続けることができる時間を言います。端末は基地局のデータを受信することにより着呼の待受けを行います。この時の受信方法が待受け時間に大きく影響を与えます。

1世代前のアナログ携帯電話では、端末が基地局のデータを全て受信することにより着呼の待受けを行っていました。この受信方法を連続受信と言います。これでは端末の電池を多く消費してしまうため、待受け時間は非常に短くなってしまいます。アナログ携帯電話の待受け時間が短かったのは、連続受信による待受けが大きな原因と言えます。

PDC(Personal Digital Celluler, 日本の第1世代デジタル携帯電話システム)から間欠待受け制御ができるようになりました。間欠待受け制御では間欠受信といわれる受信方法で着呼の待受けを行います。

間欠受信とは、ある決められた受信タイミングでのみデータの受信を行い、受信タイミング以外には受信回路の電源をOFFにする受信方法です。

間欠受信を行うことにより、端末は待受け中の時間の多くを低消費電力状態にすることができ、連続受信と比較して待受け時間を長くすることができます。

間欠待受け制御の特徴

間欠待受け制御について図 3を使って説明します。間欠待受けは以下のように行われます。

1. 待ち受け状態の端末をグループ(グループA～C)に分ける
2. 基地局はグループ別の着呼情報を時間を分けて送信する
3. 1つのグループに対する着呼情報は一定の時間間隔(T)をとって送信する
4. 端末は自分が属するグループの受信タイミングでのみ受信を行う

間欠待受け制御の大きな特徴は、グループ分けと端末の受信タイミングにあります。グループ分けは端末の受信タイミングを決めるために行います。基地局が一定の間隔(T)で着呼情報を送信するため端末は間欠受信が可能になります。

では、このグループ分けと間欠受信について説明します。

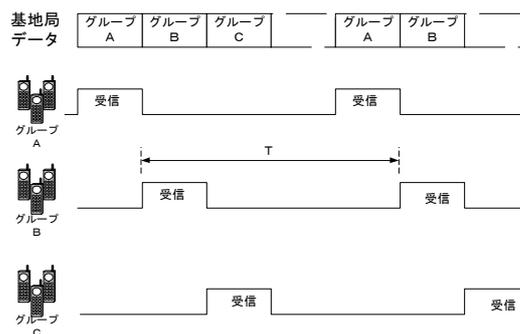


図 3 間欠待受け

グループ分け

グループ分けの目的は、端末が受信タイミングを知ることにあります。

基地局はグループ別に決められたタイミングでデータを送信するため、端末は自分がどのグループに属しているかを知ることによって、受信タイミングが分かります。

このグループ分けは、端末が待受け状態に入った時点で基地局からのメッセージに

より行われます。

間欠受信

基地局はグループ別に着呼情報を一定の時間間隔（図1のT）で送信しますので、端末は自分のグループ向けのデータが送られてくるタイミングでのみ受信を行います。他の時間では他のグループ向けのデータが送信されているため、端末の受信回路の電源をOFFにすることができます。

間欠受信は連続受信と比較して受信回路の電源がONとなる時間が短いため、連続受信の場合よりも待ち受け時間が長くなります。

PDCの間欠待受け制御では、 $T = 720\text{msec}$ で間欠受信が行われます。あるグループの端末は $T = 720\text{msec}$ の中で 6.6msec の時間だけ受信すればよい仕様になっています。

受信回路の電源のON : OFFの時間比は $6.6 : 720$ で約 $1 : 100$ の割合となります。このことは理論的には間欠受信によって、待ち受け時間を100倍に延ばすことができることを意味します。

電源ONのタイミング

間欠受信では、その待受け時間は、実際には連続受信の100倍にはなりません。その理由は受信回路の電源をONにするタイミングにあります。

データを受信する際に受信回路の電源をONにする区間は、データの部分だけでなく、データの前でONにしておく必要があります。

これは、受信RF回路、水晶発信器や変復調回路等、着呼のデータを受信するのに必要な回路を予め安定動作させるための時間です。（図4の斜線の部分）すなわち、これらの回路が安定動作するための時間が多くかかれば、その分待受け時間が短くなるわけです。

各メーカーの端末では、待受け時間に差が見られますが、その理由の1つに、この受信回路の安定時間の差が挙げられます。

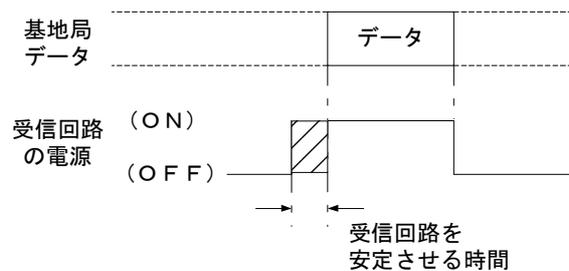


図4 間欠待受け時の電源制御

マイクロセル化

1つの基地局と、その電波が届く範囲(以下エリアと呼びます)をまとめてセルと言います。マイクロセル化とはこのセルの半径を数百m～数十m程度に小さくすること、すなわち基地局のエリアを小さくすることを言います。³

今日のデジタル携帯電話システムは、多数のセルを組み合わせてサービスエリアを形成しており、セルラー方式と呼ばれています。

セルを小さくするとどうなるか？

セルを小さくすることでどのようなメリットがあるのでしょうか？

メリットを考える前に、まずセルを小さくすることにより生じる状況を考えてみます。セルを小さくすると、以下のような状況が生じることが考えられます。

- ・エリア内のユーザ数の減少
- ・基地局と端末の距離の接近
- ・エリア内の不感地帯の減少
- ・基地局数の増加
- ・基地局を切り替える回数の増加

これらの状況について、以下に説明します。

エリア内のユーザ数の減少

セルが小さくなると、そのエリア内のユーザ数が少なくなることが考えられます。このユーザ数の減少は基地局にとって、必要なチャネル数の減少につながります。ここでいうチャネルとは通話に必要なリソースのことをいいます。

リソースとはFDMA（周波数分割多重接続）の場合は周波数のことを、TDMA（時分割多重接続）の場合は時間スロットのことを指します。（FDMA, TDMAについては石器時代の携帯電話開発 その1をご覧ください。）携帯電話はこのように何らかのリソースを使用する事で通話を行います。

エリア内のユーザ数と基地局に必要なチャネル数は、上記のように正比例の関係にあります。基地局で必要なチャネル数の減少は、基地局の構成の簡素化に役立ちます。

基地局と端末の距離の接近

セルが小さくなれば、基地局と端末の距離が短くなります。基地局との距離が短ければ、端末の送信電力を下げることが可能です。送信電力が小さければ電池も小型ですみます。従ってこの状況は端末の小型化につながります。

エリア内の不感地帯の減少

セルが大きい場合との比較して不感地帯⁴が減少することを示しています。セルが小さくなることで、ビルの影などで電波が届かなくなる地域が少なくなることが考

³ 現在はマイクロセルをさらに小さくしてナノセル（ビル、事業所内程度）、ピコセル（オフィス内程度）フェムトセル（家庭内）という言葉まで出てきています。フェムトセルとは、一般家庭内にブロードバンド網に接続可能な携帯電話の基地局を置いて家ではブロードバンド経由、屋外では携帯電話サービスエリアという形のFMC（Fixed Mobile Convergence）を実現しようとするものです。日本では2008年ごろに出るといわれています。

⁴携帯電話で圏外になる場所のことを不感地帯と呼びます。

えられます。

基地局数の増加、基地局を切り替える回数が多くなる

この2つに関してはマイクロセル化を行うことによるデメリットと言えます。

1つのセルが小さくなりますので、同じ大きさのサービスエリアを作るためには多くの基地局が必要となります。

また、セルが小さいので移動する端末は、1つの基地局のエリアを通過する時間が短くなり、基地局の切り替え（ハンドオーバーといいます）の回数が増えることになります。

セルを小さくする事により上述のような派生効果が生じます。

これらをマイクロセル化の特徴としてまとめると、表1のようになります。

表1 マイクロセル化によるメリットとデメリット

メリット	デメリット
基地局の簡素化	基地局数の増加
端末の小型化	ハンドオーバーが多くなる
エリア内の不感地帯の減少	

このように、マイクロセル化にはいくつかのメリットとデメリットが生じます。

しかし今日のデジタル携帯電話システムでマイクロセル化が利用されている最も大きな理由は、周波数の有効利用にあります。

次に、この周波数の有効利用について説明をします。⁵

周波数の有効利用

携帯電話サービスでは使うことができる周波数が決まっており、その量は有限です。

4多くの周波数があれば、それだけ多くのユーザに対してサービスが可能になります。また、同一周波数あたりの使用可能ユーザ数を多くすれば、限られた周波数で多くのユーザに対してサービスを提供することができます。

多くのユーザを収容することができれば、スケールメリットにより廉価なサービスが可能になり、基地局数増加のデメリットも克服することができます。

限られた周波数で多くのユーザに対してサービスするためには、周波数の有効利用は非常に重要な課題となります。

マイクロセル化における周波数の有効利用とは、同一周波数の再利用を行うことを言います。これは一度使用した周波数を離れた場所で再び利用するというものです。

図3に周波数の再利用を行ったサービスエリアの例を示します。ここでは説明の簡略化のため、1基地局が使用するチャンネル数を1としています。

図中の基地局1が使用するチャンネル(周波数)F1はこの基地局のエリア外には届かないため、この周波数(F1)は基地局1以外でも利用が可能です。しかし、基地局1に隣接する基地局2～7でこの周波数を再利用することはできません。

隣接する基地局で同じ周波数を使用すると、エリアの境界で干渉が生じるため端末は受信不可能となり、通話ができなくなります。

図3の例では基地局1～7のパターン(太線の部分)を繰り返すことで隣接しない基地局間での周波数の再利用を行っています。

⁵ 周波数の有効利用の目的と意味については石器時代の携帯電話開発 その3をご覧ください。

このように周波数利用効率は、セルの面積に反比例して向上することが知られています。すなわちセルが小さいほど周波数利用効率は向上することになり、マイクロセル化が周波数の有効利用に対して非常に有効なテクノロジーと言えます。

図 5にPDCにおけるセルの構成を示します。

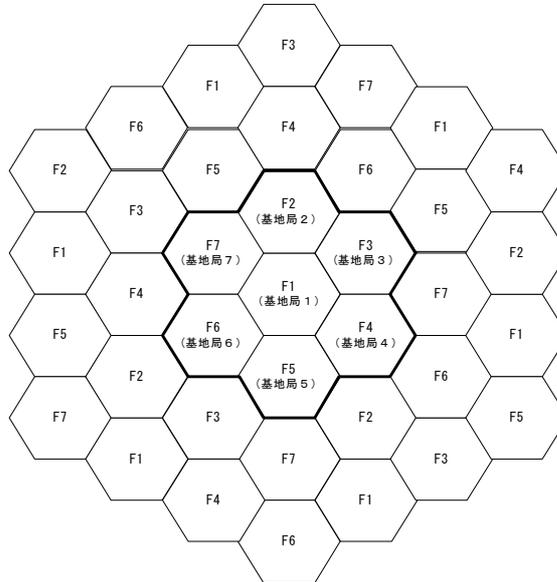


図 5 周波数の再利用例（無指向性アンテナ）

図 5は無指向性アンテナを用いた例ですが、実際の基地局の構成は、指向性アンテナを用いて1つの基地局を3～6セクタに分割したセクタセル構成をとります。図 6は3セクタ7サイト構成（1つの基地局のアンテナ指向性により電波を出す方向を3分割（120° ずつ）した例です。

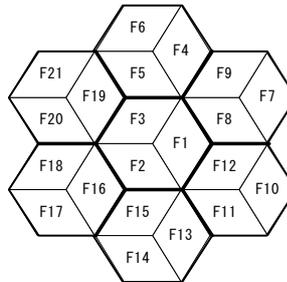


図 6 3セクタ7サイト構成

誤り制御

移動体通信システムでは電波の伝播路におけるフェージングや雑音などの影響を受け、受信データに誤りが生じます。

送信側から受信側に対して通信を行うと、雑音等の通信路の状況により誤りが生じる場合があります。これは、図 7のように通信路に雑音を加算される形でモデル化できます。

デジタル通信では1または0の信号を送りますが、図 7のように誤りが発生すると送った信号1が通信路で誤って0になる、または、0が通信路で1になります。

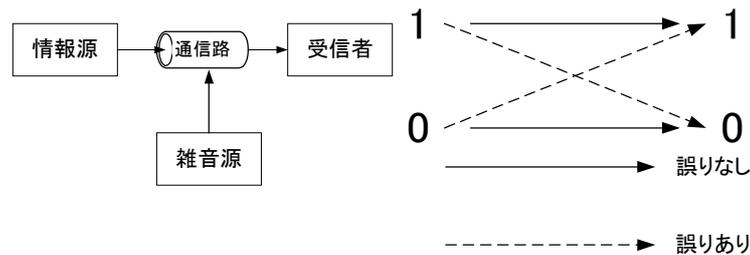


図 7 誤りのアルゴリズム

このデータの誤りに対して受信側で誤りの検出または訂正を行い、正しいデータを再現するテクノロジーが誤り制御です。

誤り制御の効果

誤り制御は受信したデータの誤りを正しく再現するため、誤り制御を行うことで情報の品質が向上します。同じ電波を受信して、端末で誤り制御を行った場合と行わなかった場合では図 8に示すような違いがでます。

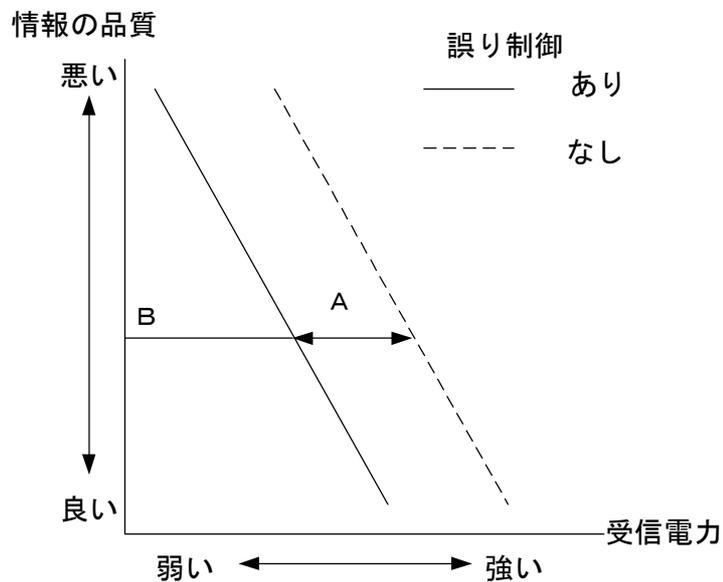


図 8 誤り制御の効果

この図では誤り制御によって以下のことを行った場合と同じ効果が得られることを意味します。

- ① Aだけ効率の良いアンテナを採用
- ② Aだけ感度の良い受信回路を採用

③ Aだけ基地局の送信パワーを上げる

①または②は端末の小型軽量化を妨げ、③は基地局のコストを押し上げること、および先程説明したマイクロセル化の妨げとなります。

このように誤り制御は、端末の小型化、基地局の低コスト化、およびマイクロセル化に貢献することが分かります。

ランダム誤りとバースト誤り

移動通信における受信データの誤りは、伝播路におけるフェージングと受信回路のアンプで発生する熱雑音⁶の2つが主原因となります。

フェージングとは、図 9のようにパスA、パスBという経路の異なる複数の電波を同時に受信した場合に起こる現象です。⁷

受信信号には複数の電波が強め合うポイント(図 9の同位相)と、弱め合うポイント(図 9の反転位相)ができるため受信レベルには大きく変動が生じます。

この時受信レベルが低いポイントでは雑音の影響が大きくなり、受信データには連続した誤りが生じ易くなります。この連続的に発生する誤りをバースト誤りと言います。

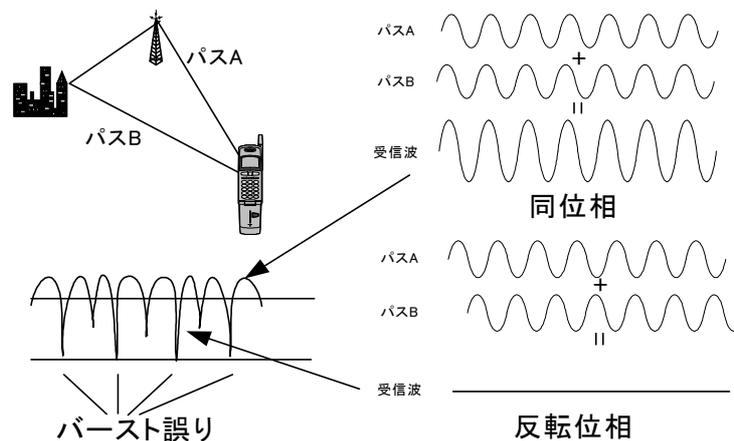


図 9 マルチパスフェージング

一方、受信回路のアンプで発生する雑音は受信信号の振幅をランダムに変化させます。受信信号のレベルが雑音のレベルより低い場合、受信信号の振幅の極性が変化して受信データに誤りが生じます。この時の誤りはランダムに発生するため、ランダム誤りと呼ばれます。

誤り制御の種類

誤り制御には制御方法によってARQ(Automatic Repeat reQuest)とFEC(Forward Error Correction)の2種類があります。

ARQは、受信側でデータの誤りを検出した際に、送信側に対して同一情報の再送を要求する方式です。ARQは図 10のように再送により時間の遅れが生じるので、音声や動画の伝送のように伝送中に情報が途切れることが許されない場合や、誤りが多い状況ではこの方式は使

⁶ 受信感度はこの熱雑音によって大きな影響を受けます。熱雑音とはその名のとおりに、回路の温度が高ければ多くの雑音を発生します。受信感度を非常に高くしたい、人工衛星に使われる受信回路は冷却器等で冷却をして熱雑音を減らす場合もあります。

⁷ 複数(マルチ)の伝播路(パス)により生じるフェージングなので、マルチパスフェージングと呼ばれています。

用できません。

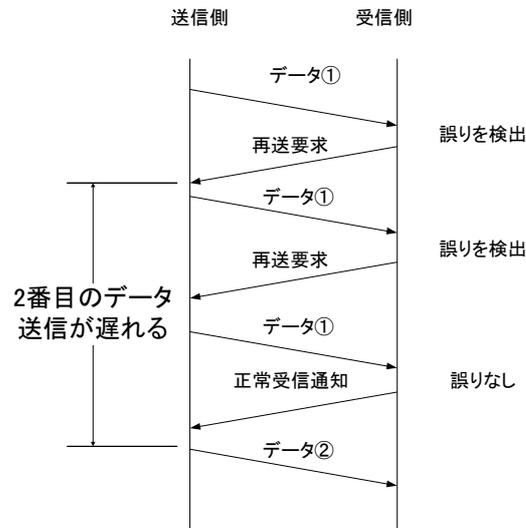
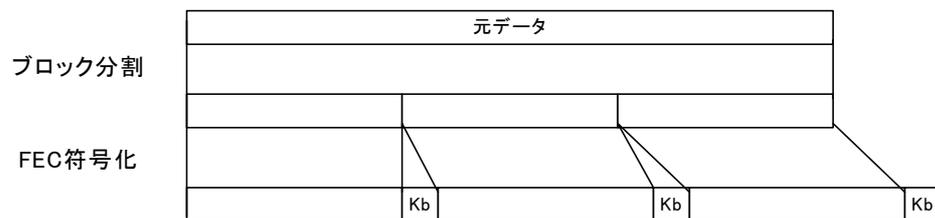


図 10 ARQ

また、誤りを検出するためにパリティ符号やCRC符号と呼ばれる誤り検出符号が使われます。

FECは、図 11のように予めデータに誤り訂正用の情報(図 11のKb)を付加して送信し、受信側で誤りを検出した場合はこの情報にしたがってデータ誤りの訂正を行う方式です。



Kb: FEC符号ビット

図 11 FEC 符号

ランダム誤りに対して誤り訂正は可能ですが、バースト誤りの訂正はできません。また誤り訂正できるビット数は有限です。誤りの訂正にはBCH符号やビタビ符号などの誤り訂正符号⁸が使われます。

移動通信における誤り制御は、ランダム誤りとバースト誤りに対応しなければいけません。ARQ, FEC単体の誤り制御では、これらの誤りに対して十分に対応できないため、移動体通信ではARQとFECを併用して誤り制御を行います。

次にPDC(日本の第一世代デジタル携帯電話システム)を例に、ARQとFECを併用した誤り制御について説明します。

PDCにおける誤り制御

PDCでは、誤り訂正符号としてBCH符号を使用します。

⁸ 誤り制御に使われる符号には“誤り訂正符号”と“誤り検出符号”があります。また、ひとつの符号で両方の機能を持った符号もあります。誤り訂正符号や誤り検出符号、ARQを用いてより正確な情報を伝達する手段を誤り制御と呼びます。

このBCH符号は先程FECの特徴で説明したように、連続しない複数ビット誤り(ランダム誤り)を訂正する能力がありますが、バースト誤りを訂正する能力はありません。

従って伝送路のマルチパスフェージング等で生じたバースト誤りをランダム誤りに変換する必要があります。

この変換にはインターリーブと呼ばれるデータの並び替えが使われます。

インターリーブ処理は送信と受信で同じ規則でデータの並び替えを行います。

図 12にインターリーブを行った例を示します。インターリーブを行うことで、隣り合う連続した誤り(図 12の下の方ではEB)が受信側では離れて存在することになります。

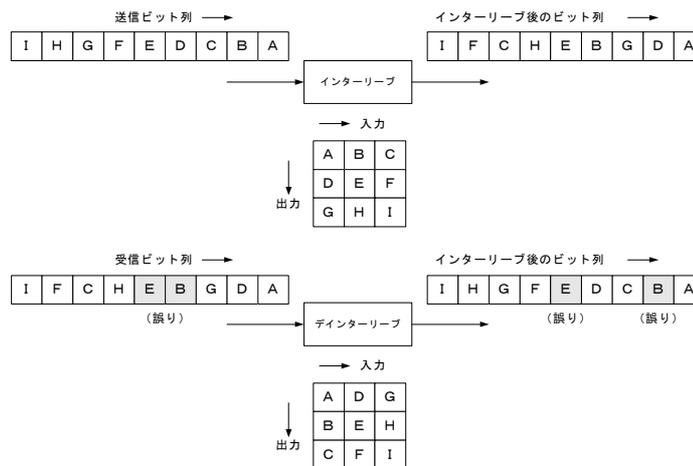


図 12 インターリーブ

バースト誤りをインターリーブによりランダム誤りに変換できるので、その後にBCH符号でランダム誤り訂正を行います。

また、BCH符号による誤り訂正能力には限界があります。限界以上の誤りが伝送路で生じた場合には、BCH誤り訂正の出力には誤りが含まれてしまいます。

この誤り訂正限界を超えたことを受信側で認識するために、誤り検出符号である、CRC符号が使われます。CRCにより誤りが検出されたデータに関してはデータを廃棄して、このデータの再送要求処理を行います。

CRC,BCH,インターリーブの流れを図 13に示します。

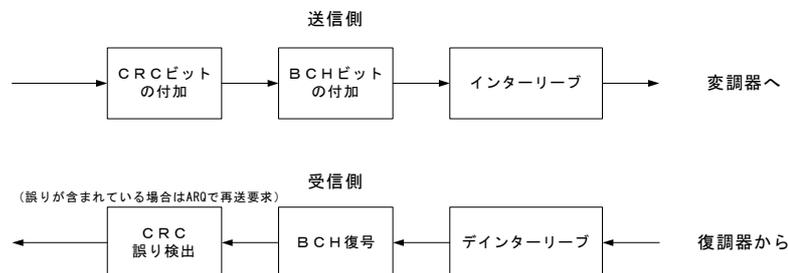


図 13 PDCにおける誤り制御