

# CDMA による効率的な緊急通信方式

管制システム部

金田 直樹, 塩見 格一

## 1 はじめに

昨年, 航空局において 欧州航空安全機関 (European Organization for the Safety of Air Navigation, 以下 EUROCONTROL と記す.) / 欧州宇宙機関 (European Space Agency, 以下 ESA と記す.) と日本側の実務者協議が行われた。その場において, EUROCONTROL / ESA 側は第 3 世代携帯電話の 1 規格である W-CDMA を航空分野に適用するという考えを日本側に提示した。携帯電話の技術を航空分野に転用する場合, 航空分野に特有の問題点が存在するのではないかと我々は考えた。例えば携帯電話のシステムには存在せず, 航空分野では必要な技術として, 遭難通信, 緊急通信, 安全通信及び非常通信 (以下, これらの通信を緊急通信等と呼ぶ。) を発したときにこれらを優先的に取り扱う方法が必要である。

我々は符号分割多元接続 (Code Division Multiple Access, 以下 CDMA と記す.) 方式を通信に利用したとき, 単純かつ実装が比較的簡単な方法で緊急通信等を優先的に取り扱う方法を提案したのでここに報告する。

CDMA にはいくつかの方法があるが, 以下, CDMA について言及するときは, 多くのシステムで使用されている直接拡散方式を指す。

## 2 CDMA における遠近問題

遠近問題は CDMA 方式において常に問題となる。移動局が同じ出力で送信を行うとすると, 基地局において遠くの移動局からの電波は弱く, 近くの移動局からの電波は強くなる。このことが問題を引き起こす。

従来の多重化通信方式である周波数分割多元接続 (Frequency Division Multiple Access, 以下 FDMA と記す.) や時分割多元接続 (Time Division Multiple Access, 以下 TDMA と記す.) においてはこのことは問題とならなかった。

FDMA においては, 各移動局が異なる周波数を利用している。そのため, 基地局は遠方の移動局からの電波と, 近接する移動局からの電波の強さが違っていても周波数により区別することができる。TDMA においては, 各移動局が異なるタイムスロットを利用す

る。そのため, 基地局において遠方の移動局からの電波と, 近接する移動局からの電波が同時に来ることはない。そのため, 基地局は遠方の移動局からの電波と近接する移動局からの電波の強さが違っていてもタイムスロットにより区別することができる。

一方, CDMA 方式では, 基地局は複数の移動局に対し, 同じ周波数を用い, 異なるコードを用いて同時に通信を行う。そこで, 遠方の移動局からの電波と近接する移動局からの電波が同時に同じ周波数で来ると, 遠方の移動局からの電波は近接する移動局の電波に掻き消されてしまう。これが遠近問題と呼ばれる問題の概略である。

現在, 遠近問題を回避する方法として以下の 2 つの方法が知られている。

1 つは, 人工衛星を基地局, 地球上 (上空も含む) の局を移動局とする方法である。このとき, 移動局と基地局の距離の比は全ての移動局に対してほぼ一定となる。よって, CDMA 方式を通信に利用しても遠近問題は問題とならない。この方法は GPS で用いられている。

もう 1 つは, 移動局と基地局の間でやり取りを行い, 基地局における各移動局の電界強度がほぼ一定となるようフィードバックループを構成し, 移動局側が出力を調整する方法である。これをパワーコントロールと呼ぶ。パワーコントロールにはオープンループ制御, クローズドループ制御の 2 種類の方法が存在する。この方法は携帯電話等のセルラーシステムで用いられており, 米 Qualcomm 社の特許である。(日本国特許第 2776632 号, 3014757 号, 3051176 号等)

以下, パワーコントロール方式を使用したシステムを前提に説明を行うが, 前者でも同様に今回提案する方式が適用可能である。

## 3 従来の緊急通信方式

従来, 緊急通信等は, 以下のように行っていた。

FDMA においては, 特定の周波数を非常通信周波数と定め, 非常通信周波数を常時聴取することを義務づけている (電波法第六十五条)[2]。しかしながら, この方法では緊急通信等を行っていないときに非常通

信周波数を使用してはならないので、全ての周波数を通信のために活用しているとは言えない。

同様に、TDMA においては、特定のタイムスロットを非常用と定め、非常用のタイムスロットは非常時以外に使用してはならないとすることで緊急通信等を行うことができる。しかしながら、この方法では緊急通信等を行っていないときに非常用のタイムスロットを使用してはならないので、全ての時間を通信のために活用しているとは言えない。

同様に、CDMA の場合は、特定のコードを非常用と定め、非常用のコードは非常時以外に使用してはならないとすることで緊急通信等を行うことができるようになる。しかしながら、この方法では緊急通信等を行っていないときに非常用のコードを使用してはならないので、全てのコードを通信のために活用しているとは言えない。

この3通りの方法に共通するのは、(FDMA なら) 非常通信周波数、(TDMA なら) 非常用タイムスロット、(CDMA なら) 非常用コードを緊急通信のために予約していることである。言い換えれば、有限な資源である電波として割り当てられた通信路容量を、一部ではあるが、殆ど使用されない緊急通信等のために常時予約している。以下、このような緊急通信を通信路容量予約型緊急通信と呼ぶこととする。

通信路容量予約型緊急通信では、通信路容量を部分的にはあるが、めったに行わない緊急通信等を行うためのだけに予約している。そのため、全ての通信路容量を通常の通信のために活用することはできない。これは有限な資源である電波の有効活用という点において非効率であると考えられる。

さらに FDMA の場合は、通常の通信とは別に、滅多に呼び出しのない非常通信周波数を常時聴取しなければならない。これは運用する人間にとっても大きな負担を与える。

## 4 提案する緊急通信方法

### 4.1 提案する方法

以下、CDMA 方式を利用して、遠近問題が問題とならない状況、即ちパワーコントロールが行われているか、基地局が衛星であると仮定する。基地局 0 が、移動局 1、移動局 2、 $\dots$ 、移動局  $n$  なる  $n$  ( $n$  は 2 以上の自然数) 個の移動局と通信している状況を考える。通常は、図 1 のように全ての移動局が通常の通信を行っている。このとき、移動局 1 が緊急通信等を行なう方法は以下の通りである。

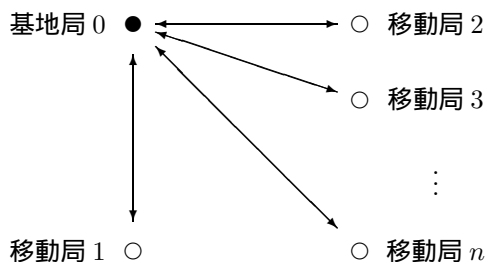


図 1: 通常通信時

移動局 1 は基地局 0 における移動局 1 の電界強度を一時的に増加させる。これは移動局 1 が一時的に出力を増加させるか、またはアレイアンテナを使用するなどして空中線の利得を変化させる、等の方法で実現可能である。このとき、基地局 0 はすべての移動局に対してこれまでの出力レベルを保つよう制御する信号を出し続けるものとする。

遠近問題として知られる CDMA 方式の特性から、ある局だけからの電界強度が強くなると、基地局は他の局からの電波を復号できなくなる。この場合では、基地局 0 において移動局 1 からの電波が他の移動局からの電波に比べて十分強い状態になったとき、基地局 0 は移動局 2、 $\dots$ 、 $n$  の電波を復号することはできなくなる。

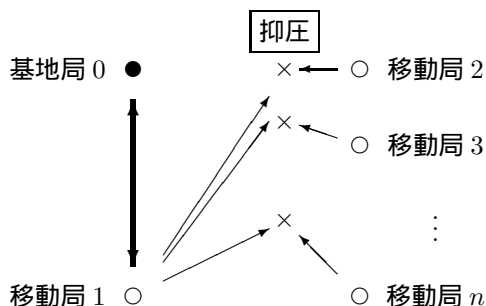


図 2: 移動局 1 が緊急通信を発信したとき

このようにして移動局 1 は基地局 0 に対する、全ての通信路容量を使用することのできる独占的な通信路を確立することができる。ここで、移動局が基地局の覆域に入っていれば、基地局から移動局に対して電波が届くので、基地局側の出力制御は不要である。

### 4.2 提案する方法の特徴

第 1 に、通信路容量予約型緊急通信のように通信路容量の一部を緊急通信等のために常時確保する必要がない。これは世界的な課題である周波数の有効利用に大きく資する。

第 2 に、この方法において独占的に確立した通信路

は、通信路の全容量を1つの局により独占することができる。より正確に言えば、コードの選択は緊急通信等を発信する局が自由に選択することができるので、通信路容量の設定は移動局が任意に設定することができる。このような通信路容量の任意性はCDMA方式に特有であり、TDMA方式やFDMA方式で同様の方式を実現するには大規模な装置を必要とする。

第3に、セル方式で作られている無線ネットワークの場合は、緊急通信等を行なっている局から遠くにあるセルに緊急通信等の影響が及ばない。これも周波数の有効利用に大きく資する。

第4に、現在使用されているシステムに対して小幅な改変により実装可能である。

第5に、基地局はFDMAにおいては必須であった、非常通信周波数の聴取義務から解放される。

しかし、この方式は他の無線局の運用を故意に妨害するため、日本国内で緊急通信等以外の用途に使用した場合、電波法第五十六条により罰せられる[2]。

## 5 システムの構成例と説明

### 5.1 システム例

この方式を航空分野に適用した場合の構成例を示す。以下、航空機と通信を行う地上局及び航空機と通信を行う衛星局を基地局と呼ぶ。

航空機局と基地局の間においてCDMA方式を使用した通信路が確立している状態を考える。これは、基地局が管制官に、航空機局がパイロットに対応し、その他は現在の構成と同等であると想定している。

航空機側のCDMAを利用した無線局を構成する送受信機には、通常のパワーコントロール装置の他に、パワーコントロールを無視して手動により出力を一時的に増大させる装置を設置する。

### 5.2 動作説明

航空機局は基地局に対し以下のように遭難通信を発信する。

(1) 出力調整を通常モードから緊急モードに切り替える。(2) 航空機局から可能な限り大きな出力で遭難通信を発信する。(3) 基地局は遭難通信を出した航空機局からの強力な電波を受信する。(4) 基地局は他の航空機局に対して出力を抑制させる信号を出し続ける。(5) 他の局は遠近効果により抑圧され、基地局では遭難通信以外を受信できなくなる。(6) 遭難通信を発信した局のみが基地局との通信路を確立する。(7)

遭難通信を発信した局は通常の通信手順に従い、通信を行う。

以上の通信手順を図にすると図3のようになる。図3の中において太線で記述されている線は通常よりも大きな出力で送信を行っていることを示す。



図3: 航空機局が遭難通信を発信する手順

このシステムは最終的には通常の通信手順に従って通信を行う。つまり、遭難通信を發した航空機局の出力は最終的に通常のパワーコントロールされた状態と同じになる。そのために、通信路を確立したら航空機局と基地局の間でネゴシエーションを行い、航空機局は必要な帯域(コード)だけを緊急通信のために確保する。その後、通常のパワーコントロールされた状態に戻る。これにより、他の局の通信に対する妨害を最小限にとどめることができる。また、この方法により他の航空機局が遭難通信を發する場合に備えることができる。

また、航空機や船舶が遭難通信を發信する場合、必ずしも空中線出力は無線局免許状に記載されたものの範囲である必要はない<sup>1</sup>ので、技術的に可能な最大の出力で送信しても電波法には反しない。十分大きな出力(使用する受信機、変調方式、必要な誤り発生率にも依存する)で送信を行うことにより、他の航空機局(無線局免許状に記載された空中線電力で送信を行っている)からの電波を抑圧することが可能となる。

次に、2局以上の航空機局より遭難通信が發呼され得る状況を考える。

最初の局が發する遭難通信は先ほどと同様に通信路を確立する。2番目の局が發信する遭難通信のため

<sup>1</sup>参考: 船舶又は航空機が遭難通信を行う場合は、無線設備の設置場所、識別符号、電波の型式、周波数、運用時間及び空中線電力は免許状に記載されたところによらなくともよい。即ち、免許された出力を超え、技術的に可能な最大出力で送信することができる。(電波法 第五十二条、第五十三条、第五十四条、第五十五条、第五十六条、第六十六条、第六十七条、第六十八条、第八十条、第一百六条)[2]

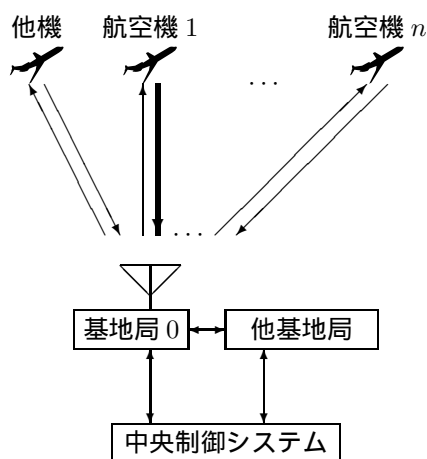


図 4: 複数の移動局をカバーする基地局

に以下の手順を追加する。

航空機局は基地局との独占的な通信路が確保できなかった場合には、ある時間間隔 (時間間隔はランダムに決定する) ごとに、基地局との独占的な通信路を確保できるまで、先の例のように基地局との独占的な通信路を確保しようと試みる。最初の局が通信路を確保してネゴシエーションを行った時点で最初の局は出力を下げるので、2 番目の局は基地局との通信路を確保することができる。このとき、通信路容量の配分 (CDMA の場合はコードの決定) は基地局が関与してよいことに注意する。

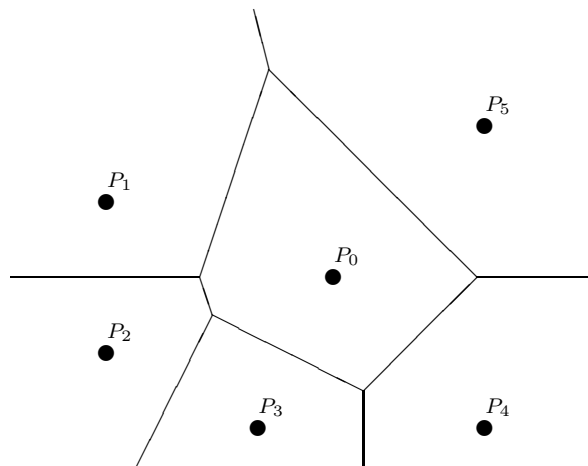


図 5:  $P_0, \dots, P_5$  を母点とするボロノイ図

また、セルラー方式では基地局の覆域が重ならないよう分割されていれば、多数の基地局が存在する場合の問題を、1 つの基地局だけの場合に還元することができる。ここで、セルの形は最適な形であるボロノイ分割でなくとも良い。ボロノイ分割とは、母点  $P_i$  ( $i$  は自然数である。この場合  $P_i$  は基地局を表す点と

なる) の集合  $\{P_i\}$  に対し、隣接する  $P_i$  と  $P_j$  の垂直二等分線の線分により構成される分割である。この分割によってできた多角形をボロノイ多角形、分割全体を表した図をボロノイ図という。  $P_0, \dots, P_5$  を母点とするボロノイ図の例を図 5 に示す。

## 6 おわりに

今回、CDMA 方式を通信に用いたときに比較的簡単なプロトコルにより優先的に緊急通信等を取り扱う方法を提案した。この方法は単純ではあるが、単純であるが故に実装が簡単であり、部品点数が少ないという意味で信頼性を高くすることもできるのではないかと考える。

この方法は「緊急通信等が他の無線局を故意に妨害してもやむを得ない」ことを前提としているので、運用には善意による管理と十分な注意が必要となる。しかし、悪意による妨害を排除できないことは現在の運用と同じであり、妨害の排除に関しては別の方法で行われるべきではないかと考える。また、この方法は緊急通信等を発信した場合、緊急通信等に関係ない局を強制的に沈黙させることができるため、緊急通信中に緊急通信と関係ない局が誤って送信するなどの偶然による妨害を排除できるという意味において、正しく運用を行えば航空安全の確保に貢献することのできる方法であると考えられる。

## 参考文献

- [1] J. W. Spiker Jr. B. W. Parkinson, editor. *Global Positioning System : Theory and Applications*, Vol. II. AIAA, 1996.
- [2] 総務省. 電波法令集. 財団法人電気通信振興会, 2002.