

武田国際特許事務所 武田明弘
出願日 2003/02/03
国際特許出願予定 米国、EU、中国、韓国

出願者 株式会社数理設計研究所
発明者 玉置晴朗

2007/06/07

すでに、この文書は社外秘を解除してあります。
株式会社 数理設計研究所 玉置晴朗

親切な方から通報をいただいたので、コメントを入れて
おきます。ただ、原本はすでに無いのでコメントで修正
することにしました。

注：国際特許出願のために条約に規定された書式で書かれており、日本国内の出願様式と異なる。

社外秘

明細書

スペクトラム拡散方式の通信装置、及び、その高速同期確立法

技術分野

本発明は、スペクトラム拡散方式の通信装置、特に、超低電力の長距離通信を実現することができる通信装置、及び、その高速同期確立法に関するものである。

背景技術

現在では、無線LANや携帯電話等の無線システムが広範に普及してきている。これらの無線システムは、より大量の情報をより高速に送受信できること目指して、日々改良が進められている。

しかしながら、現在の社会では、一つの情報源からそれほど莫大な情報を必要としない分野も多々存在する。例えば、病院内全域の無線ナースコールを含む医療系、気象系、防災系、環境系（動物の生息調査、警報等）の分野においては、1分に100ビット程度の情報量で足りることが多い。尚、崖崩れの警報では、毎秒1ビットの情報量でも良い。

このような分野においては、無線LANや携帯電話等に関する技術をそのまま適用しても、消費電力や価格コストの面から実用化は困難である。ここでは、1通信あたりの電力、価格コストが小さく、そしてかなりの距離を乗り越えることができるような無線システム（超低電力の長距離通信無線システム）が求められる。より具体的に項目を挙げれば、以下のような性能が求められる。

- ・50 nW出力程度で実現できること
- ・長距離通信（例えば100m）を実現できること
- ・毎秒1 - 10ビット程度の情報を送受信できること

尚、上述の通り、送受信される情報量は少なくとも構わないので、通信速度は高速である必要はない。

ところで、長距離通信において超高感度を得るには、伝送媒体（電波、音波、又は、光波）の「識別能力」が必要であり、この「識別能力」は、受信帯域幅に支配される。受信帯域幅が大きくなると、自然雑音電力もこれに比例して大きくなり、また、他通信との混信確率も、比例的に増大する。従って、受信帯域幅を極度に小さくすれば、これに比例して到達距離は延びることになる。

また、受信帯域幅を小さくした場合には、必要電力も小さくすることができる。例えば、一般の業務用FM（周波数変調）は20kHzぐらいなので、これを1Hzまで狭めると、必要電力は2万分の1になる。10mW特別小電力の2万分の1は、0.5μWとなる。10Wのアマチュア無線で世界と交信できるが、受信帯域幅を1Hzまで狭めた場合、必要電力はその2万分の1、つまり、0.5mWで可能になる。

このように、受信帯域幅を小さくする（例えば、上記のように1Hz程度まで小さくする）ことによって、上記のようなニーズに対応した「超低電力の長距離通信無線システム」を実現できる可能性がある。

しかし、150MHz水晶発振器の周波数精度は15ppmぐらいであり、周波数偏差は3kHzにも及ぶ。この「3kHz」という周波数偏差は、上記例における「1Hz」と3

000倍の開きがある。従って、3つ毎に周波数を使ったとしても、1000ch分の幅を探し回らなければいけないし、また、単純に受信帯域幅を小さくしただけでは、既存通信の混信を排除することは困難である。

そこで、受信帯域幅を小さくした、つまり、「小さな占有帯域幅の長距離通信」に、スペクトラム拡散通信方法の適用を考えてみる。実用可能な範囲でスペクトラム拡散通信方法を適用することができれば、搬送波を探し回ったりする必要はなく、混信を好適に排除することができる。

ここで、スペクトラム拡散通信方法について簡単に説明する。この通信方法は、1960年代に軍事・宇宙通信の分野で開発が始まり、現在では携帯電話のCDMA（符号分割多重）、パーソナルコンピュータ周辺の近距離通信（ブルートゥース）、無線LAN（Local Area Network）等において広く用いられている。

もともと、スペクトラム拡散通信は二つの側面を持っていた。即ち、一つは、非常に微弱な電波で長距離通信する軍事、衛星通信の面であり、もう一つは、同じ周波数で複数の通信経路を維持する多重通信の面であった。現在、カーナビゲーションに使用されているGPS（Global Positioning System）は、前者の長距離通信に力点を置いて運用され、それ以外の全ては後者の多重通信に力点を置いて運用されている。

スペクトラム拡散通信においては、送信側において搬送波を変調（拡散）するために使用された拡散符号を、同期（伝送遅延時間分だけ拡散符号の位相をシフトして同期を取る。）させた上で受信信号に乗算することにより、受信側において元の搬送波を再現している。このようにして元の搬送波を再現することを、「逆拡散」又は「復調」と言う。

逆拡散を行う場合、乗算しようとする拡散符号を、伝送遅延時間分だけ位相シフトさせることが必要となるが、伝送遅延時間が受信側において判っていない状態で受信を成功させるためには、拡散符号を少しずつスライドさせながら逆拡散（復調）操作の試行を繰り返し（例えば、拡散符号に与えるべきシフト量を、試行ステップ毎に1チップ（拡散符号の最低時間単位）時間分ずつ増やしていき）、その後、再現された搬送波が有為レベルにあるかどうかによって、受信の成否が判定される。このような同期検出方法を「スライド法」と言う。（尚、この同期検出法は、搬送波の周波数が受信側において判明していることを前提としている。）

この同期検出法による場合、同期検出までに要する時間は、拡散符号にM系列符号を使うとすれば、およそM（最長符号）系列周期時間×M系列チップ数となる。例えば、通信速度が11Mbps、拡散符号長が11チップの高速無線LANにおいて、試行ステップ毎に加算するシフト量を1チップ時間分に設定してスライド法を実行すると、最長でも11回のトライで同期が成立する。ここで、1チップ時間が0.1μ秒であるとする、1回のトライに要する時間は、0.1μ秒×11（チップ）=1.1μ秒となる。これをスライドさせながら11回トライしたとすると、1.1μ秒×11=12μ秒となる。つまり、これだけの短時間で、通信のための同期が確立することになる。

また、拡散符号長が1023チップのGPSにおいて、拡散符号をスライドさせながら同期検出を試行すると、1回のトライで、最低でも1023チップ時間（拡散符号の1周期時間）を要し、1チップ時間の50%の単位でこれをスライドさせる操作を繰り返すと、2046回スライドさせていく間に（即ち、2046回のトライで）、同期検出が成功する。つまり、同期検出までの所要時間は、1023チップ時間×2046=200万チップ時間ということになる。GPSの1チップ時間が1μ秒であるとする、最長2秒、平均1秒とな

る。

ここで、「小さな占有帯域幅の長距離通信」に、上記のようなスペクトラム拡散通信方法を適用した場合において、スライド法によって同期検出を試みた場合に、その所要時間がどれくらいになるかという問題について考えてみる。

まず、受信帯域幅を1 Hz程度まで狭めた場合、使用する拡散符号の1チップ時間を、ある程度長く設定する(例えば、 $0.1 \text{ m秒} = 10 \text{ kHz}$)必要がある。そして、1023チップの拡散符号を使用する場合、上記GPSの例に従うと、同期検出には最長で200万チップ時間を要することになるため、拡散符号の1チップ時間を $0.1 \text{ m秒} = 10 \text{ kHz}$ とした場合には、同期検出までの所要時間は、 $0.1 \text{ m秒} \times 200 \text{ 万} (\text{チップ時間}) = 200 \text{ 秒}$ ということになる。つまり、受信開始後、最初の1ビットが検出されるまでには、平均で1分40秒、最長で3分20秒かかることになる。

このように、小さな占有帯域幅の長距離通信にスペクトラム拡散通信を適用し、スライド法によって同期検出を試みた場合、かなりの時間がかかってしまうことになる。従って、同期させるための余計な送信時間を必要とする。しかしながら、送信時間が長くなれば、それだけ必要電力が大きくなってしまふので、情報あたりの電力効率が劣化してしまうことになる。従って、小さな占有帯域幅の長距離通信にスペクトラム拡散通信方法を単に適用しただけでは、「超低電力の長距離通信」を実現することは困難である(第1の問題)。

また、搬送波の周波数が150 MHzである場合、その波長は2 mであるので、送信機が受信機に対して每秒10 mの速度で離れたたり、近づいたりする運動を始めた場合、受信機においては、それが5波少ない周波数($150 \text{ MHz} - 5 \text{ Hz}$)、或いは、5波多い周波数($150 \text{ MHz} + 5 \text{ Hz}$)の搬送波に見えることになる。拡散符号のチップ時間が 0.1 m秒 、拡散符号長が1023チップであったとすると、上記速度では、1周期時間(約 0.1 秒)の間に、 $0.5 \text{ Hz} (0.1 \text{ m秒} \times 1023)$ 、つまり180度の位相変化が発生する。

この場合、受信信号を逆拡散して搬送波を検出しようとする際、最初の位相がゼロであるとする、最後の方では位相が反転して、同期が確認できない状態になってしまう(第2の問題)。

更に、上記の例において、每秒(周期1秒)1ビットの低速通信とした場合、1023チップ長のスペクトラム拡散符号を使うとすると、同期確立までに最長で1023秒かかることになり、受信開始から20分待たなければデータ受信が始まらず、非常に長時間がかかり、いつまでも同期せず、これでは実用にならないという問題がある(第3の問題)。

尚、上記の改良として、周期時間の全部をデジタル処理して同期検出する方法がある。この方法によれば、同期検出時間を短縮することができると思われる。しかし、搬送波の周波数を高精度に確定できない場合には、次のような問題が生じる。

搬送波周波数に偏差があり、例えば、 $150 \text{ MHz} \pm 15 \text{ ppm} (\pm 2.25 \text{ kHz})$ (標準的なXtal)、拡散符号の1チップ時間を 0.1 m秒 、拡散符号長を1023チップとした場合、搬送波周波数が5 Hzずれると、同期維持が困難になり、10 Hzずれると別の伝送と言える。

即ち、スペクトラム拡散通信のように、位相変調が基本になっている伝送において、拡散

符号の周期時間 0.1 秒 ($0.1 \text{ m秒} \times 10^2$) 全体に亘って、搬送波信号の位相量が、搬送波の 0.5 周期以内で判明していなくては、搬送波のレベル検出自体が成功しない。つまり、拡散符号の同期確立のためには、搬送波の周波数を厳密に知っている必要がある。 $\pm 2.25 \text{ kHz}$ の中にある搬送波を 10 Hz 単位で検出するには、 450 回の試行を必要とする。つまり、搬送波の周波数に偏差がある場合には、実用的な範囲内で拡散符号の同期を確立させることは困難である (第4の問題)。

また、周期時間の全部をデジタル処理して同期検出する方法においては、ハードウェア相関として、表面弾性波素子 (SAW) などによる高速相関が行われているが (例えば、特開平9-64787号公報)、低い通信速度、小さな電力で長距離通信を実現するには、物理的に長時間の相関器が必要となる。しかし、そのような相関器を実現することは困難である (第5の問題)。

要するに、従来の方法では、搬送波の周波数や移動速度が判っていて、位相ずれを補正することができ、拡散符号長が短いことを利用して、適当なシフト量を持った拡散符号を用意して、逆拡散 位相検波 同期検出を繰り返しているので、同期検出のためには、拡散符号の繰り返し時間全体に亘って位相が保証されていないとはならない。換言すれば、拡散符号の同期位置を知るためには、搬送波の周波数の厳密性が必要であり、また、拡散符号が同期していなくては、搬送波の周波数を知ることはできない。つまり、両すくみの状態にある。

本発明は、上記のような問題点に鑑みてなされたものであって、超低電力の長距離通信を実現することができ、また、高速に同期を確立させることができ、更に、搬送波の周波数が厳密に確保されていない状態でも、拡散符号の同期確立を可能とするスペクトラム拡散方式の通信装置、及び、その同期確立方法を提供することを目的とする。