

タグシステムに用いる拡散符号を共有しない 擬似CDMA通信の提案

光藤雄一^{1,a)}

概要：CDMA 通信方式では、拡散符号と呼ばれる数列によって、多数の送受信局が接続する。送受信器のペアは拡散符号の共有によって定められるので、同じ周波数帯を使用することができる。実世界でタグシステムを実装する際に、同じ周波数帯を利用できる特徴は有用であるが、拡散符号を共有することが難しい。そこで本稿では、拡散符号によって信号を拡散するが、受信時に拡散符号を必要としない手法を提案し、その通信品質を評価する。

A Research of CDMA-like Modulation Method without Spectrum Spread Code Sharing

MITSUDO YUICHI^{1,a)}

Abstract: In this paper, we introduce a CDMA-like modulation method for tag and tag-reader data translation. In CDMA environment, a transmitter and a receiver are paired by a spread spectrum code (SSC). This feature of code division is suitable for tag system, because transmitters can use a frequency band. However, it is difficult to share SSCs in the pair of transmitter and receiver, in tag environment. In this paper, we present a code division communication method without SSC sharing, and evaluate its communication quality.

1. はじめに

ユビキタスコンピューティング環境において、無線通信によるデータ転送は重要な位置を占める。こうした無線通信に求められる特徴は、1) 同じ周波数帯を用いる 2) 多数の送受信局が同時に通信を行う の2点である。1) は主に法規上の制限であり、2) はユビキタスコンピューティング環境の特性である。こうした環境での無線通信でしばしば用いられる手法に、CDMA (Code Division Multiple Access) がある。この手法は拡散符号によって送信信号を拡散し、受信側では同じ拡散符号を用いて逆拡散を行うことで、多数の信号の中から信器の信号をだけを抽出することが特徴で、同じ周波数帯を用いて多元接続を行うことができる。

CDMA の技術上の制限は、送信側と受信側が同じ拡散符号を持っていない点である。受信側は送信側

の知識を事前に持つ必要があり、そうでなければ信号を復調することができない。ところが、実世界環境では必ずしも送信局の情報を事前に得られるとは限らない。例えば、タグシステムは、多元接続が求められる環境であるが、タグリーダがタグの情報を事前に得る事は難しい。このため、実装されているタグシステムでは CDMA 通信は採用されていない。そこで本稿では、拡散符号を用いて変調を行うが、復調時に拡散符号を用いない通信手法を提案し、その通信品質について議論する。

2. 通信機材と通信手法

2.1 もとめられる性能

本稿では、筆者の提案した同期反転信号システムをハードウェアとして使用し、その変調手法を提案する。同期反転信号は、2つの発光器から同期した上で反転した信号を送信する手法である [1]。2つの発光器から発せられた信号が同じ受光面に入射した場合、2つの信号の山と谷が反転しているために信号成分が消失する。受光面を分割し、受光面の前

¹ 北九州市立大学 基盤教育センター
The University of Kitakyusyu Center for Fundamental Research

^{a)} mitsudo@kitakyu-u.ac.jp

面に結像光学系を配置すると、信号が消失しないのは、受信器が発光器の間を向いているときだけである(図1)。

受信器をリーダ、発光器の間の空間をタグと見立てると、リーダ(受信器)がタグ(送信器)を指したときだけ、そのタグからの情報を読み出すことができるタグシステムということになる。タグが多数あった場合でも、ポイントされていないタグからの信号は相殺され、ハイパスフィルタ(HPF)で阻止されるため、受信器から出力される信号はポイントされた送信器からの信号だけとなる。

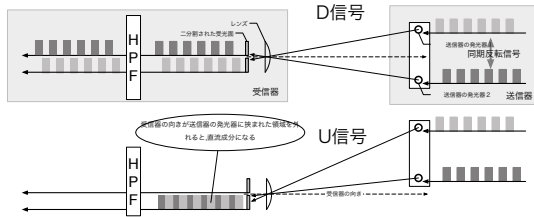


図1 同期反転信号システムの概要

このとき、受光器の各象限から出力される信号(D信号)は、同期反転している。また、ポイントされていない他の送信器からの信号は、互いに打ち消しあっているものの、完全に相殺されることはなく、ある程度の大きさの振幅をもった信号として出力される(U信号)。復調したいのはD信号だけなので、U信号の干渉は可能な限り低くしたい。U信号を完全に排除できることが理想的だが、U信号はD信号と同じ性質を持つため、排除することが難しい。

D信号とU信号の受信電力比が大きければU信号の影響を受けずに復調することができるが、受信電力は光信号の受信状況に依存する。この受信状況は送信器と受信器の位置関係に依るので[1]、この状態を常に成立させることは難しい。そこで、D/Uの比率が1に近い状況であっても復調/復号が可能な変復調、符号、復号化方式が必要になる。

D信号とU信号を識別するために、両者の違いを考える。両者の違いは、ポイントされた送信器から発せられているか、そうでないか、という点だけである。その他は、同じ周波数帯、同じ変調方法を用いて変調された信号である。D信号とU信号が混じり合って受信された場合、受信器から出力された信号を観察して両者を分離することはできない。

D信号だけが持つ特徴は、D信号が2つの象限に同時に入射し、両者が反転しているということである。このことを手がかりにD信号だけを抽出する。

2.2 CDMAの構造とその応用

同一の周波数帯で多数の送受信局同士が通信を行う環境を多元接続という。多元接続の環境下の受信局には、接続を希望する送信局からのD信号と、それ以外の送信局からのU信号が混じり合って入力される。この環境下で、特定の送信局からの信号を抽出するための通信方法として、CDMA

がある。

CDMA方式では、D信号だけを抽出する為に、送信器と受信器で拡散符号という数列を共有している。ある拡散符号で拡散された信号は、同じ拡散符号でしか逆拡散できない。送信器で送信信号を拡散して送信すると、同じ拡散符号を共有する送受信器のみが逆拡散を行い、情報を受信することができる(図2上)。拡散と逆拡散の手続きは、具体的には乗算である。拡散符号は、他の拡散符号との相互相関が低く、自己相関も高いスパイク性を持つ数列が選ばれる。この拡散符号を受信信号に乗ずる手続きは、拡散符号と受信信号の相互相関を取っていることになる。相互相関が高くなるのは、あらかじめ同じ拡散符号で拡散されている信号だけである。このため、逆拡散の手続きでは、多数の信号の重ね合わせの中から、同じ拡散符号で拡散された相互相関の高い信号だけが生き残り、それ以外の信号は相互相関が低いため減衰する。

このプロセスでは、同じ周波数帯を使用して多数の送受信器が通信することができる利点があるが、通信をしたい送受信器ペアが拡散符号を共有しなければならない制限もある。タグシステムの運用上、前者は歓迎すべき利点であるが、後者を受け入れることが難しい。

2.3 提案する変調/復調手法

CDMAの変復調方法の特徴は、相互相関の高低によって信号を選別することである。同期反転信号システムの構造を観察すると、送信側は同期した上で反転した信号を2つ出力し、受信側がこの2つを受信している。つまり、相互相関(の絶対値)が高い2つの信号を使用していることができる。

次に、他の信号と混信する場合を考え、他の信号との相互相関がどうであるかを考える。送信器が送信するデータ列は基本的に互いに独立である筈である。しかし、常に相互相関が低いことまでは保証されない。そこで、このデータ列に、互いの相互相関が低いことが保証された拡散符号を乗算し、同期反転信号を作る。受信時には、2つの信号を乗算する(図2下)。

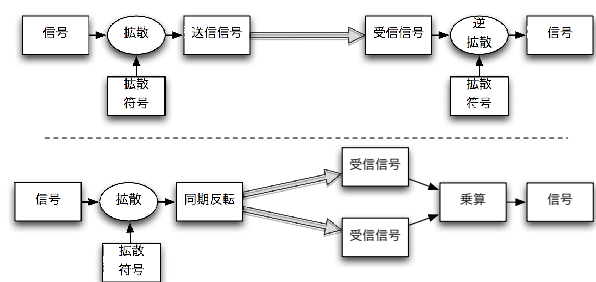


図2 変復調プロセス(上、CDMAの変復調プロセス、下、拡散符号を共有しない変復調プロセス)

2.4 具体的な通信システム構成

具体的なシステム構成を図3に示す。送信側では、搬送波をランダムなタイミングで π づつ反転させる。このタイミングは信号の転送レートよりも高く、搬送波周波数よりも低い。この信号が拡散符号の役割を果たす。この搬送波に信号を乗じて送信信号とする。つまり、この送信方式はAM変調の一種である。搬送波と信号、信号の反転タイミングは、同じタイミングでスタートできるものとする。D信号は同期反転し、これが各象限に入射する。従ってD信号、D信号の出力を -1 倍したものを受信器の各象限に入力する。

受信側では、搬送波の周波数以下(LPF)、転送レート以上(HPF)の信号だけを抽出する。抽出には位相情報に干渉しないベッセルフィルタを用いる。各象限からの出力を乗算して反転増幅し、転送レートの倍の周波数以下の信号だけをベッセルフィルタで抽出する。この信号を2値化して信号列に戻す。これが本論文で提案する変復調方法の、基本的な構成である。

2.5 誤り訂正符号の追加

一般的に、通信時には誤り訂正符号を用いることが普通である。地上デジタル放送では、一旦リードソロモン符号化(外符号)した後に畳み込み符号化(内符号)して通信を行っている。本システムでは、内符号までをシミュレートし、符号化率 $1/2$ 、符号(171,133)で畳み込み符号化を行う。受信側ではビタビ復号を行う。ビタビ復号の詳細は、トレースバック34ステップ、硬判定である。

2.6 D信号とU信号の分離

この受信器側に、複数のU信号を入力する。U信号はD信号と同じ変調方法であるが、片方の象限にしか入射しない。そこで2つ信号源を作って、 n 倍($-1 \leq n \leq 1$)に増幅し、それぞれ各象限に入力する。各U信号の増幅係数を $gainA, gainB$ とする(図3)。

D信号とU信号の各信号源は、別々のタグからの発信となるので、同期することができない。各々の送信器の信号のずれを表現する為に、シミュレーションごとにランダムに遅れを設定する。これらの信号がU信号となる。

U信号は受光器およびHPFを通過して信号処理系に進入し、D信号の復調に影響を与え、正しい復調を妨げる。その影響は、受信器からの出力にあらわれる。つまり、D信号の信号源からの信号列と、受信器から出力された信号が同じにならないはずである。

本稿で提案した方式は、U信号の影響を可能な限り低くすることである。つまり、信号源で生成された信号列と、受信器の出力の信号列の違いが小さければ小さいほど、提案した方式が効果を発揮していることになる。

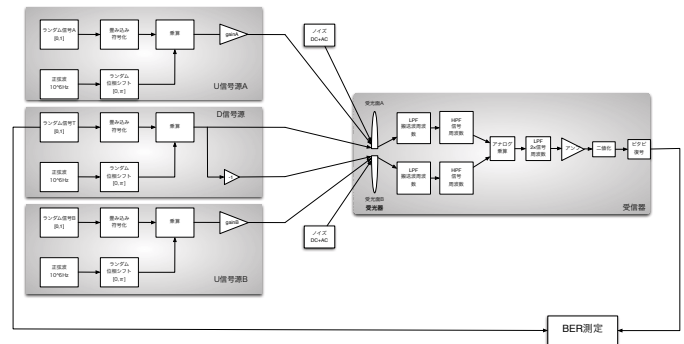


図3 シミュレーションの信号処理プロセス

3. シミュレーションとその結果

以上の通信システムをMATLAB/Simulink上で構成し、ビットエラーレートを測定した。搬送波周波数が100MHz、データの転送レートは10Mbps、搬送波の位相切り替え周波数は50MHzとした。また、受信信号のフィルタはそれぞれ2次のベッセルフィルタとした。この状態で、 10^6 ビットを送信し、BERを測定した。

D信号の振幅を1と固定し、ノイズとして2つの象限にU信号を加えた。U信号は、D信号とそれぞれ異なるタイミングでスイッチが入れられることを表現して、搬送波の位相にランダムなずれが設定されている。また、通信路内のノイズ等を再現して、ランダムノイズおよびDC成分が加えられる。この状態で、U信号の振幅を、D信号に対して $-1.0 \sim 1.0$ 倍の間で0.1きざみに動かした。これを2つのU信号に対して行ったので、全体の試行回数は $11 \times 11 = 121$ 回となる。各試行点でBER(エラービットの数/送信ビットの数)を測定する。この121回の試行を1セットとし、計2セットの試行を行った。その結果を図4、図5に示す。

D信号に対してU信号の振幅が大きくなるのは、 $gainA, B$ の絶対値が1に近づくときである。つまり図4,5における辺に近い位置が当てはまる。特に四隅に近い位置は、両方の象限に大きな振幅のU信号が受信されている状況で、特に条件の悪い位置である。それに対して、中央部分は振幅が小さくなるため、復調の負担は小さくなる。

これらの図はz軸にBERをとり、対数軸としている。 10^6 ビットの試行の間に一度もエラーが起きなかった場合、BERは0となるが、対数軸であるため表示されず、白抜きになる。白抜きの部分はエラーが起きない領域ではなく、エラーの起きる確率が 10^{-6} 以下と推定される領域である。これらの点をふまえて図4および図5を観察すると、中央部分でBERが著しく低く、縁にちかづくにつれてBERが高くなる傾向があることが分かる。中央部のBERは 10^{-6} 以下である。例えば地上デジタル放送では内符号の復号時のBERが 2×10^{-4} 以下が適当と定めており、白抜きの部分はそのBERを十分に満たしている。したがって、本通信方式は、両

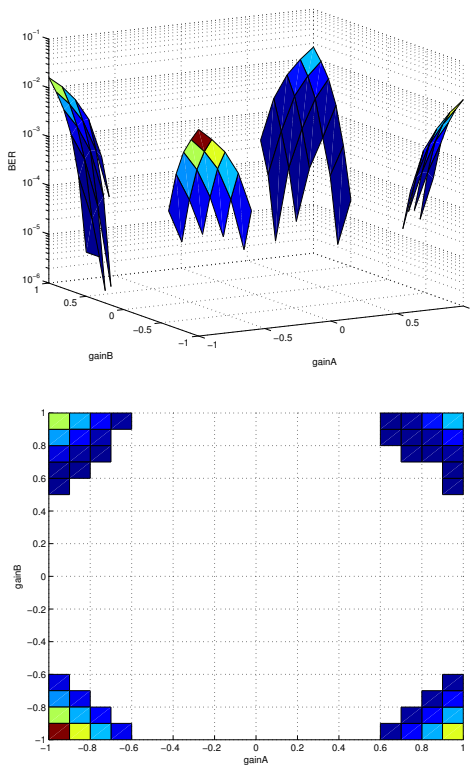


図 4 10⁶ ビット試行時の BER(A)

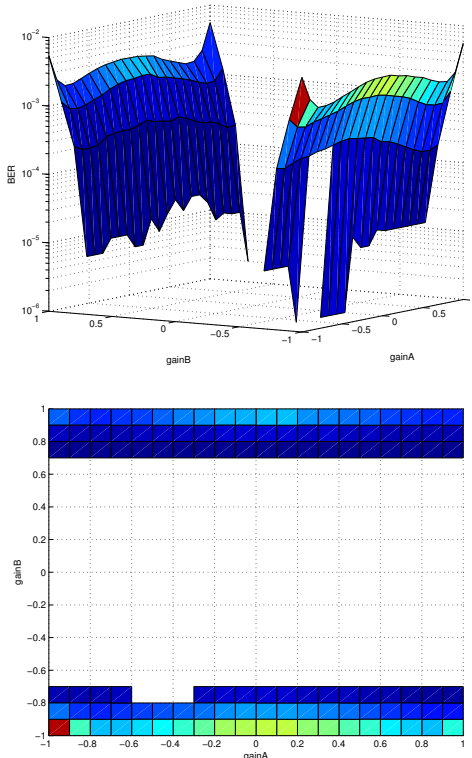


図 5 10⁶ ビット試行時の BER(B)

側に D 信号の約 6 割程度の振幅の U 信号が同時に混入したとしても、動画等を送信するに足る品質で通信を行うことが可能であることが言える。

また、受信側には送信器と同じ拡散符号を用いて逆拡散をするというプロセスがない。逆拡散にあたるプロセスは、2つの受光面からの信号をアナログ乗算する部分である。このことは、本稿で提案した方式は拡散符号の共有が必要ないことを示している。さらに、共有が不要なので、拡散符号として使用する数列の自由度も高めている。CDMA 方式では、一定の長さの拡散符号しか使用できないので、疑似乱数しか使用できない。送受信器で拡散符号を共有する必要がない本稿の方式では、無限の長さの拡散符号を使用することができる。

緑の部分の BER の盛り上がり方は幾つかパターンがあるようで、四隅が盛り上がるパターン (図 4) や、それよりは BER が低いものの、緑の部分全体が盛り上がるパターン (図 5) が観察された。いずれの例によっても中央部分の BER が低い事は共通している。

送信ビット列と搬送波の入れ替えパターンはいずれも高速でランダムに切り替えられているが、送信タグ同士の信号のずれだけはシミュレーションの開始時に決定されたままである。BER の分布パターンは、この信号のずれによって決定されていると推定される。このずれが BER を特に悪化させる領域は、緑の部分に限られているように考えられる。緑の部分の具体的な状況とは、同期反転信号の片方が受信器に届かないようなケースである。これは受信器の視野に収まらないような巨大なタグが、D 信号を発する普通のタグの隣に密着しているような状態であり、もともとタグシステムの運用になじまないケースと考えられる。

4. まとめ

本稿では、同期反転信号の変復調方法を提案し、シミュレーションによって通信品質の評価を試みた。提案する手法は、信号を拡散符号で拡散した上で、正常、反転したペアを作り、出力する方法である。この 2つの信号は、同期した上で反転されているため、その相互相関が常に負の方向に高くなる。このような信号を発信する送信器が多数ある環境で、受光面が分割された受信器がこの送信器をポイントすると、ポイントした送信器からの信号だけが、両象限に別れて受光され、それ以外の信号は一つの象限で受光される。両方の象限からの出力を乗ずると、多少のノイズの乗った環境下であっても、相互相関の高さから、ポイントされた信号だけが生き残り、それ以外の信号は減衰する。この方法は CDMA のような符号分割方式であるが、拡散符号を送受信器で共有する必要がない。本稿はこのような仮説に基づいて、通信システムを MATLAB 上に実装し、通信品質の評価を試みたところ、特にノイズの大きな環境以外では 10^{-6} 以下の BER でデータ転送が可能であるという結果を得た。

参考文献

- [1] 光藤雄一：矩形の読み出し領域を生成する光空間信号の変調方法の研究，情報処理学会論文誌，Vol. 53, No. 4, pp. 1425–1432 (2012-4-15)。