

CDMA-QAM 伝送方式の誤り訂正機能の向上に関する一検討

A Study on Improvement of Error Correction Function for CDMA-QAM Transmission Method

○長門響¹, 望月寛²

Kyo Nagato¹, Hiroshi Mochizuki²

Abstract: In previous researches, CDMA-QAM transmission scheme and an error correction for this scheme have been proposed. Especially we have proposed a novel method to realize noise reduction using the correlation characteristics of the orthogonal codes. In this paper, we evaluated the effectiveness of this proposal using computer simulations. In addition, since we also studied an error correction function using amplitude of multiplexed CDMA signal, we report.

1. はじめに

現在, CDMA-QAM 伝送方式において, その相関特性を考慮して誤り訂正符号等のビットを付加することなく誤り訂正機能を実現できる手法が提案されている^[1]. 本研究では, その提案手法について計算機シミュレーションを実施することで誤り訂正能力を評価する. さらに, 送信データと CDMA 多重化信号の振幅値との関係を利用した誤り訂正機能の向上手法の検討を行ったのであわせて報告する.

2. CDMA-QAM 伝送方式の概要と誤り訂正機能

CDMA-QAM 伝送方式では, 送信データを CDMA によって多重化した信号を図 1 に示すシンボル配置に基づき QAM 変調し伝送する. これによって, 仮に受信部での QAM 復調時にシンボルを誤ったとしても, CDMA 復調によって吸収できる範囲内であれば, 送信データは誤りなく受信できる特長を有する.

次に CDMA の相関特性を用いた雑音算出とそれを誤り訂正機能に応用する手法を明らかにする. 今回, 直交符号長 64 の 64 チャンル多重を考える. 直交符号の i チャンル目を h_i とし, ある時刻で得られる j 番目の相関値出力を考える. 受信器には CDMA 多重化信号が入力され, 相関値出力 c_{ij} が得られるが, 信号には雑音 n_j が含まれているため, 送信時の CDMA 多重化信号を真値とし, これを s_j とすると式(1)のように表せる.

$$c_{ij} = h_{i,1}(s_{j-63} + n_{j-63}) + \dots + h_{i,k}(s_{j+k-64} + n_{j+k-64}) + \dots + h_{i,64}(s_j + n_j) \quad (1)$$

この式(1)を信号成分, 雑音成分に分けて整理し, また, 信号成分から得られる相関値は直交符号の同期がとれていた場合, 64 または-64 のいずれかをとる. さらに, データは相関値の正負判定によって得られるので, それを d_{ij} として整理すると式(2)のように表せる.

$$\sum_{k=1}^{64} h_{i,k} n_{j+k-64} = c_{ij} - 64d_{ij} \quad (2)$$

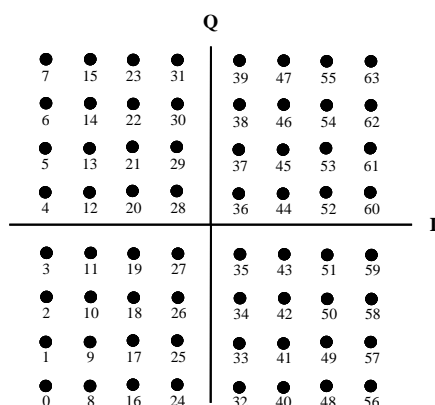


Figure 1. Symbol allocation of CDMA-QAM.

そして, 式(2)を全てのチャンネルに対して拡張すると, 下記に示すような行列を生成することができ, 式(3)によって雑音 $n_{j-63} \sim n_j$ を算出することが可能となる^[1].

$$\begin{pmatrix} h_{1,1} & \dots & h_{1,64} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{64,1} & \dots & h_{64,64} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_{j-63} \\ \vdots \\ n_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{1,j} - 64d_{1,j} \\ \vdots \\ c_{64,j} - 64d_{64,j} \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここで, 式(3)における雑音算出はデータ d_{ij} に基づいて行っているため, そのデータ判定に誤りがない場合は正しく算出できるのに対して, 誤りがあった場合は正しく算出できなくなる. 他方, CDMA-QAM 方式における QAM のシンボル誤りは, 送信時のシンボル周辺に誤る可能性が高いと考えられる. 以上を踏まえて, 誤り訂正符号等のビットを付加せずに誤り訂正機能を実現する手法を示す. まず, 式(3)によって雑音 $n_{j-63} \sim n_j$ を算出し, 送信時のシンボル及び I 相方向または Q 相方向に 1 シンボル誤っていることを考慮したノルムをそれぞれ計算した後, それらの平方和の中で最小のものを採用する. これを式(3)中のデータ $d_{1,j} \sim d_{64,j}$ のいずれかが誤っていると仮定し, これらを 1 ビットずつ反転させた 64 パターンについても同様に計算する. そして, ビット誤りなしを含めた 65 パターンの中で, もっともノルムの平方和が小さいものを最終的なデータとして採用する.

1 : 日大理工・学部・情報 2 : 日大理工・教員・情報

3. 計算機シミュレーションによる評価

前章で示した提案手法に基づいて、本章では計算機シミュレーションによる評価を実施した。まず、CDMA-QAM 方式の 1 回の伝送で送信される 64 ビットの中で、1 ビット誤りが発生した時、受信データ $d_{1,j} \sim d_{64,j}$ を 1 ビットずつ反転させた 64 パターンで計算したノルム特性を図 2 に示す。なお、図 2 の横軸は、実際に誤りが発生したチャンネルを 0 とした相対チャンネルで表している。この図より、誤りが発生したチャンネルのデータを反転した時のノルムが他のチャンネルに比べて十分に小さい値となり、この結果を用いることで 1 ビットの誤り訂正が可能であることを明らかにした。

次に複数ビットの誤り訂正手法について検討した。

具体的には、前述の手法で 1 ビットずつ訂正しノルム値がしきい値以下になるまで繰り返す手法を採用した。表 1 には QAM における I 相方向、Q 相方向の SER をそれぞれ 0.03 とした時の誤り訂正機能の評価を行った結果を示す。ここで表中の誤り訂正成功率とは、提案手法によって誤った全てのビットを訂正できた割合、また、誤り検出成功率とは、誤りを訂正できなかったもののノルム特性によって誤りがあることを検出し、間違った誤り訂正を行わなかった割合をそれぞれ示している。この表より、1 伝送あたりの誤りビット数が 3 ビット以内であれば、確実に誤り訂正可能であることを明らかにした。

4. CDMA 多重化信号の振幅特性と誤り訂正機能への応用

前章までで CDMA-QAM 伝送方式の相関特性を用いた誤り訂正機能の提案と評価を行った。他方、本方式において、送信時に生成する CDMA 多重化信号の振幅特性は、各チャンネルで送信するデータの 1 の数に依存することが明らかとなっている。具体的には、送信するデータの 1 の数が偶数の時、その伝送に必要な 64 シンボルの CDMA 多重化信号の振幅値は必ず偶数に、また、奇数の時は振幅値も必ず奇数となる^[2]。図 1 より、受信側における I 相方向の誤りは ± 8 となり、誤りの有無に関わらず、振幅値の偶奇に影響を与えない。従って、振幅値の偶奇に影響を与えるのは Q 相方向の誤りのみである。しかし、Q 相方向の誤り率は多くても 0.1 程度であることから、受信側で得られる CDMA 多重化信号は、仮に誤りを含んでいたとしても、64 シンボルの振幅値の偶数・奇数を多数決判定した結果は、送信時と変わらないと考えることができる。これらの関係を利用して、受信側で復調したデータと多重化信号の振幅値の偶奇関係に一致・不一致によって、データの

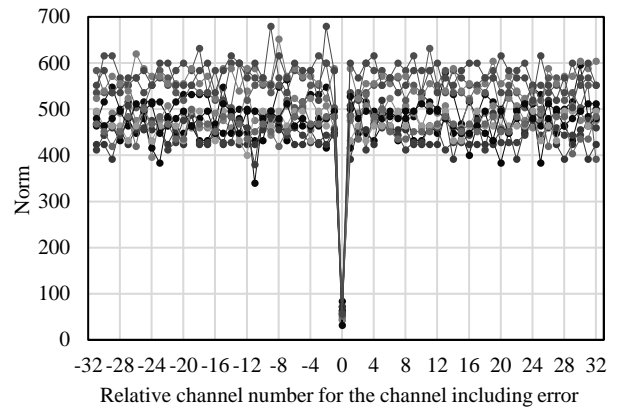


Figure 2. Norm characteristics for one-bit error.

Table 1. Error correction and detection characteristics versus the number of error bits.

The number of error bits per one data transmission	Frequency	Success rate of error correction [%]	Success rate of error detection [%]
0	88630	-	-
1	2776	100.00	100.00
2	3893	100.00	100.00
3	2775	100.00	100.00
4	1182	55.25	99.75
5 or more	744	23.79	88.71
Total	100000	90.36	99.23

誤りビット数の偶奇が推定可能となる。この手法は、先に示した CDMA-QAM 伝送方式の相関特性とは独立しているため、これらの手法を組み合わせることによって、更なる誤り訂正機能の向上を図ることが可能である。

5. まとめ

本研究では、CDMA-QAM 伝送方式の誤り訂正機能に関する提案、及び計算機シミュレーションによる性能評価を行った。まず、CDMA-QAM 伝送の相関特性を利用した誤り訂正機能については、誤り訂正符号を付加せずに、64 ビットの 1 伝送で 3 ビット誤りまで訂正可能であることを示した。また、送信データと CDMA 多重化信号の振幅値との関係を利用した偶奇判定による誤り訂正機能向上のための検討もあわせて示した。今後は、現在検討を進めている鉄道信号システムへの応用を含めて、更なる研究の深度化を図りたいと考えている。

6. 参考文献

- [1] 板橋他, “同期式 CDMA の相関特性を用いた伝送特性向上の評価”, 平成 27 年電気学会電子・情報・システム部門大会, PS3-2 (2015)
- [2] 菊地他, “シンボル配置を変更した CDMA-QAM 伝送方式の評価”, 第 59 回日本大学理工学部学術講演会, G-6, pp.411-412 (2015)