

1ビットコンパレタによる多値復調を行う受信機の同期捕捉

1230301 岩崎遥郁 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

通信速度の高速化が可能な多値信号は通信システムで広く使用されている。多値信号の代表例としてパルス振幅変調 (pulse amplitude modulation: PAM) 信号が挙げられ、高速に動作させられる1ビットコンパレタによる多値 PAM 信号の復調が検討されている [1]。本研究では、1ビットコンパレタによる多値 PAM 信号の復調を行う受信機の同期捕捉について検討する。

2 多値 PAM 信号と同期捕捉

2.1 受信信号

本研究では4-PAM 信号に着目する。送受信のブロック図を図1に示す。 i 番目の送信シンボルを $d_i \in S = \{-3A, -A, +A, +3A\}$ とすると、受信信号 $r(t)$ は $r(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} d_i g(t - iT_s) + n(t)$ となる。ここで、 $g(t) = \{1(0 < t < T_s), 0(\text{otherwise})\}$, $n(t)$ は両側電力スペクトル密度が $N_0/2$ の加法的白色ガウス雑音である。受信機内でのサンプリングレート $1/T_w$ は $1/T_w = N/T_s$ とする。そのため、時刻 $t = iT_s + jT_w$ において i 番目の送信シンボルに対する j 番目のサンプル値 x_{ij} は $x_{ij} = d_i + n_{ij}$ として得られる ($1 \leq j \leq N$)。送信シンボルの平均エネルギーは $E_s = E[d_i^2]T_s$ である。

2.2 同期捕捉

同期捕捉とは、受信機で送信シンボル d_i を正確に復調するために、受信信号 $r(t)$ から各シンボルの開始時刻 $t = iT_s$ を推定することである。同期捕捉の動作を図2に示す。本研究における同期捕捉は、受信開始タイミングから始まって、 T_s あたり N 個のサンプル値 x_{ij} を取得する。取得した x_{ij} から1ビットコンパレタにより $y_{ij} \in \{+V, -V\}$ を出力し、それらの総和 $y_i = \sum_{j=1}^N y_{ij}$ を得る。 y_i は雑音がなければ完全な同期タイミングにおいて $|y_i| = NV$ となる。少しのタイミングずれであれば実際には d_i の復調は可能である。そこで本研究では $\pm e$ サンプル時間以内のタイミングずれは許容することとし、 $|y_i| \geq (N - e)V$ のとき同期捕捉が完了したとする。しかし、実際には正負の極性が同一の d_i が k 回連続して送信されることが確率 2^{-k} で存在し、その際に誤ったタイミングで同期捕捉が完了したと判断してしまい、同期捕捉失敗となる。これが発生する確率を下げるために、そのタイミングで連続して L 回同期捕捉が完了したと判断できたときに真の完了と判断する。

3 性能評価

1シンボルあたりのサンプル数を $N = 64$, 同期捕捉成功とする最大のタイミングずれを2とした場合の同期捕捉について評価する。試行回数を10000として

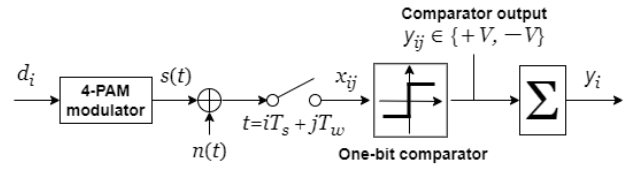


図1 送受信のブロック図

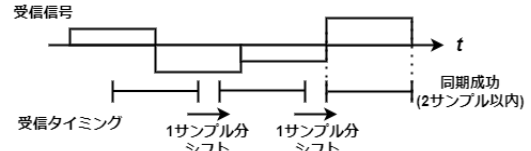


図2 同期捕捉動作

$L = \{4, 6, 8\}$ とした同期成功確率を図3に、同期捕捉時間を図4に示す。図3より、同期成功確率は E_s/N_0 が約23dBのときに高くなっていることが分かる。これは、23dBの環境では雑音の影響により d_i が $\pm A$ のときに高い確率で $|y_i| \geq (N - e)V$ にはならず、ほとんどの場合に d_i が $\pm 3A$ のときに $|y_i| \geq (N - e)V$ となる。これが実質的に $S = \{-3A, +3A\}$ の2-PAM 信号に対する同期捕捉のように機能して、同期成功確率が高くなったと考えられる。しかし、 d_i が $\pm 3A$ のときにしか成功判定を出せないため、図4より、 $E_s/N_0 > 30\text{dB}$ のような雑音の影響が少ない場合と比べると、23dBの方が同期捕捉時間が長くなってしまふことが分かる。

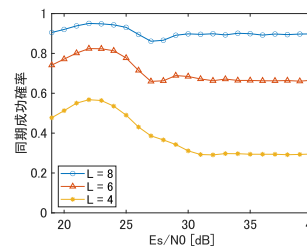


図3 同期成功確率

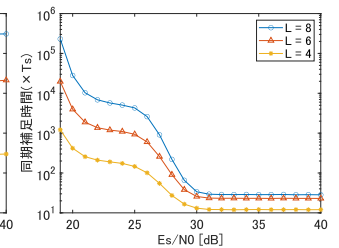


図4 同期捕捉時間

4 まとめ

本研究では、1ビットコンパレタによる多値 PAM 信号の復調を行う受信機の同期捕捉について検討した。 E_s/N_0 が23dBのときに同期成功確率が高くなることを示した。同期捕捉完了の回数 L が多いほど同期成功確率は高くなり、同期捕捉時間は長くなることを示した。

参考文献

[1] Y. Nakashima *et al.*, "Noise-aided demodulation with one-bit comparator for multilevel pulse-amplitude-modulated signals," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol.7, no.5, pp.848-851, Oct. 2018.