

マンチェスタ符号化 PN 信号のための遅延ロックループ

正員 長谷川孝明[†] 准員 岡田 孝浩[†]
 正員 羽倉 幸雄[†] 正員 羽石 操[†]

Performance of a Delay-Lock Loop for Manchester Coded Pseudo Noise Signal
 Takaaki HASEGAWA[†], Member, Takahiro OKADA[†], Associate Member, Yukio HAKURA[†] and Misao HANEISHI[†], Members

[†] 埼玉大学工学部電気工学科, 浦和市
 Faculty of Engineering, Saitama University, Urawa-shi, 338 Japan

あらまし スペクトル拡散(Spread Spectrum:SS)通信の拡散信号にマンチェスタ符号化 PN 信号を用いた場合の遅延ロックループ(Delay-lock loop:DLL)の構成, 諸特性, 有利性を報告している。

1. まえがき

スペクトル拡散通信方式は広く研究, 応用されるに至っているが, 従来から, 拡散信号には方形の両極 NRZ(Non Return to Zero)化 PN 信号(以後, NRZ・PN と略記)を対象としたシステムが多かった。これに対し, 電灯線伝送において低周波数成分低減を目的として, 拡散符号にマンチェスタ符号を用いる⁽²⁾ 研究もなされている。しかし, マンチェスタ符号を拡散信号である PN 信号に用いたときの, 拡散符号同期ループの特性等の研究報告はこれまでほとんどなされていない。

拡散符号の追従ループの一つに遅延ロックループ⁽¹⁾があるが, 本論文では, 拡散信号にマンチェスタ符号化 PN 信号(以後, マンチェスタ・PN と略記)を用いた場合の遅延ロックループを提案し, その追従性能の評価を解析により行う。マンチェスタ・PN を用いた DLL は外部雑音に強く, 自己雑音の影響も軽減でき, 従来型の DLL よりも優れた追従性能を有することを示す。

2. マンチェスタ・PN

拡散符号である PN 信号にマンチェスタ符号化したマンチェスタ・PN を用いる。PN 信号は M 系列を対象とする。マンチェスタ符号は, 2 値符号の 1 chip“1”を“1, -1”, “0”を“-1, 1”に変換した符号である。これより, マンチェスタ・PN の電力スペクトル密度の低周波数成分は小さくなり直流成分は零となる。なお, 本論文では, マンチェスタ・PN と NRZ・PN の信号帯域を同じ帯域幅で比較検討する⁽³⁾。

3. マンチェスタ・PN のための遅延ロックループ

3.1 位相比較特性

マンチェスタ・PN における自己相関関数⁽³⁾のメインローブの零クロスのチップ位相は, 符号長が十分長いとき $\frac{2}{3}\Delta$ である。DLL の二つの局部参照信号である early 信号と late 信号の位相差を $\frac{2}{3}\Delta$ とするときの位相比較特性を図 1 に示す。

位相差が $\frac{2}{3}\Delta$ 以下では, 位相比較特性の線形部分の傾きは変わらないが, ロックレンジが小さくなる。逆に, 位相差 $\frac{2}{3}\Delta$ 以上では, 局部参照信号の early 信号と late 信号間で負の相関が生じ, 逆相加算によって局部参照信号電力が大きくなりループ内の雑音が増加する。従って, 拡散符号にマンチェスタ・PN を用いたときの遅延ロックループとして, 参照信号の位相差を $\frac{2}{3}\Delta$ とするマンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL を提案する。

提案する DLL の性能評価を外部雑音に対する追従性能と自己雑音について, 従来の NRZ・PN 1Δ 型 DLL, 2Δ 型 DLL と比較検討する⁽³⁾。

3.2 追従性能

外部雑音に対する追従性能の比較を行う。DLL のループ雑音帯域を一定にして外部雑音が支配的な状況で, 入力信号と参照信号の位相誤差の分散を線形解析で比較する。各パラメータは, 次のようにする。ループゲインを K , 1 chip 幅を Δ , 雑音電力スペクトル密度を N_0 , 正規化された位相誤差の分散を $(\sigma/\Delta)^2$ とする。

(a) マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL の場合

マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL の位相誤差の分散をループゲイン K と雑音の電力スペクトル密度 N_0 で表す。

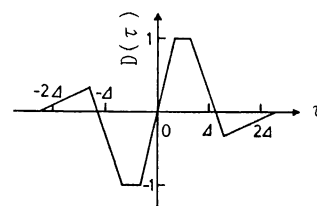


図 1 位相比較特性
 Fig. 1 Phase comparing characteristic.

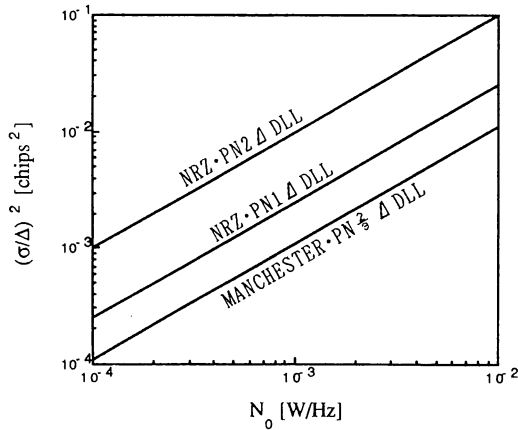


図 2 位相誤差の分散
Fig.2 Variances of phase error.

$$\left(\frac{\sigma}{\Delta}\right)^2 = \frac{KN_0}{9} \quad (1)$$

同様にして、NRZ·PN 1Δ, 2Δ 型 DLL についても位相誤差の分散を表す。

(b) NRZ·PN 1Δ 型 DLL の場合

$$\left(\frac{\sigma}{\Delta}\right)^2 = \frac{KN_0}{4} \quad (2)$$

(c) NRZ·PN2Δ 型 DLL の場合

$$\left(\frac{\sigma}{\Delta}\right)^2 = KN_0 \quad (3)$$

マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL と NRZ·PN 1Δ 型, 2Δ 型 DLL とを同じループ雑音帯域幅(同じループゲイン)にしたときの追従性能を比較する。式(1)~(3)をもとに位相誤差の分散 $(\sigma/\Delta)^2$ を図 2 に示す。この図より、マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL は、NRZ·PN 1Δ 型 DLL と比べて約 3.5 [dB], 2Δ 型 DLL と比べて約 9.5 [dB] 有利であることがわかる。

外部からの入力雑音を小さくしても自己雑音は本質的に残る。次節では自己雑音の検討を行う。

3.3 自己雑音

自己雑音とは、DLL の位相比較器出力の雑音であり、位相誤差信号から位相比較の平均信号成分(相関成分)を除去した平均からの変動成分である。

マンチェスタ・PN 用 DLL および NRZ·PN 用 DLL の自己雑音の電力スペクトル密度を導出した結果を表 1 にまとめる。ここで、 $S_M(f)$ および $S_P(f)$ はそれぞれマンチェスタ・PN, NRZ·PN の電力スペクトル密度を表している。

表 1 をもとに規格化した周波数 $f\Delta$ に対する自己雑

表 1 自己雑音の電力スペクトル密度

比較する DLL	自己雑音の電力スペクトル密度
マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型	$2S_M(f) \{1 - \cos(\frac{2\pi f\Delta}{3})\}$
NRZ·PN1Δ 型	$2S_P(f) \{1 - \cos(\pi f\Delta)\}$
NRZ·PN2Δ 型	$2S_P(f) \{1 - \cos(2\pi f\Delta)\}$

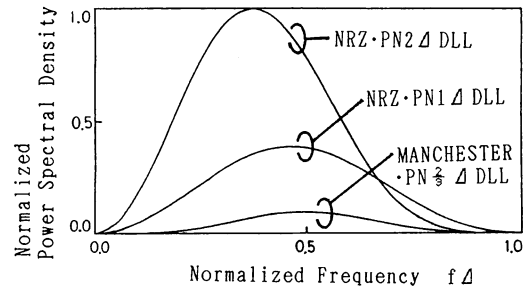


図 3 自己雑音の電力スペクトル密度の包絡線
Fig.3 Envelop of power spectral density in self noise.

音の電力スペクトル密度の包絡線の比較を図 3 に示す。図 3 の縦軸は、NRZ·PN 2Δ 型 DLL の自己雑音の電力スペクトル密度のピーク値で規格化した値である。

更に、定量的に検討するために、規格化周波数 1.0 以内に含まれる自己雑音の電力スペクトル密度の総和を比較する。その結果、マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL は NRZ·PN 1Δ 型 DLL と比べて約 7.2 [dB], 2Δ 型 DLL と比べて約 10.6 [dB] 改善できることがわかる。通常、DLL のループ雑音帯域は低域なので、この帯域では更に本提案ループが有利である。

以上より、マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL は自己雑音の影響を軽減し、従来型の DLL よりも優れた追従性能を示すことがわかる。

4. むすび

拡散信号にマンチェスタ符号化 PN 信号を用いた DLL の特性を外部雑音に対する追従性能、自己雑音について検討した。その結果、拡散信号にマンチェスタ符号化 PN 信号を用いたときの追従ループとして、マンチェスタ・PN $\frac{2}{3}\Delta$ 型 DLL の有用性が確認できた。

謝辞 日ごろより、お世話、御助言頂く慶応義塾大学理工学部中川正雄教授に感謝致します。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金・総合研究