

# 原二値系列の零交差点情報を保存する多値符号変換の一方式とその電力スペクトラム

A Multi-level Coding Preserving Zero-crossing Information of the Original Binary Sequence and its Power Spectrum

安 田 靖 彦\*・山 下 孚\*

Yasuhiko YASUDA and Makoto YAMASHITA

高能率デジタル伝送において、種々の方向から周波数帯域当たりの伝送速度の向上が図られているが、それらは大別して多値化の方向とパルス間隔圧縮の方向に分けられる。筆者らは先に原信号零交差点を保存しつつ3値化する高速度伝送方式を提案し、群帯域ファクシミリにおいて実用化した<sup>1)</sup>、これをさらに多値化することを考え、その時の帯域圧縮度の概ねの目安を与えるものとしてこの多値系列の電力スペクトラムを計算した。

## 1. 二値系列→多値系列の変換

原二値情報系列を  $\{a_i\}$  として、まず中間系列  $\{b_i\}$  を次のように作る。

$b_{i+1} = a_i \oplus a_{i+1}$  ただし  $\oplus$ ; exclusively or  
次に  $\{b_i\}$  を多値系列  $\{C_i\}$  に変換するわけであるがここで  $C_i$  は零レベルを中心に  $+N$  から  $(-N)$  レベルまで、すなわち  $(2N+1)$  レベルをとることができる。この時  $\{C_i\}$  は  $b_i = "1"$  となる度に1レベル上昇(または下降)させることによって得られる。ただし  $+N$  レベルまたは  $-N$  レベルに達した後は上昇と下降が入れ替るものとする。この符号変換の様子を示したのが図1である。

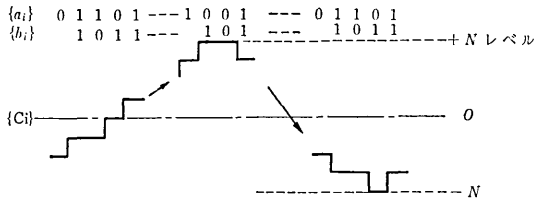


図1 原系列  $\{a_i\}$  から多値系列  $\{c_i\}$  への変換の様子

今、原二値系列において、そのマーク率を  $p_i$ 、スペース率を  $q_i$  とすると、中間系列  $\{b_i\}$  では、

マーク率

$$\begin{aligned} P_{rob}(b_i = "1") &= P_{rob}(a_i = "1" \text{ and } a_{i+1} = "0") \\ &\quad + P_{rob}(a_i = "0" \text{ and } a_{i+1} = "1") \\ &= 2p_i q_i \equiv 1 - p \equiv q \end{aligned}$$

スペース率

$$\begin{aligned} P_{rob}(b_i = "0") &= P_{rob}(a_i = "0" \text{ and } a_{i+1} = "0") \\ &\quad + P_{rob}(a_i = "1" \text{ and } a_{i+1} = "1") \\ &= p_i^2 + q_i^2 \equiv p \end{aligned}$$

となる。(一般にはマーク率を  $p$  で表わすが、ここでは

後の計算の都合上スペース率を  $p$  とおいたことに注意されたい) ここで、

$$p_i + q_i = 1 \quad \text{であることから、}$$

$$p = p_i^2 + q_i^2 = 2\left(p_i - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}$$

となり、 $\{b_i\}$  のマーク率、スペース率は  $p_i \approx \frac{1}{2}$  の付近では  $p_i$  の変動に大きな影響を受けないことが分る。

## 2. 復号法

復号は3値の場合の復号法を拡張することによって可能である。すなわち、まず最初に多値系列  $\{C_i\}$  の負の部分に零レベルを境にして正方向に反転する。次に  $N-2$  レベルで  $N-2$  レベルに関して正の部分を負方向に反転する。そして逐次  $N-2$  レベルから1レベルまで同様に反転操作を施すことによって原二値系列  $\{a_i\}$  を得るこ

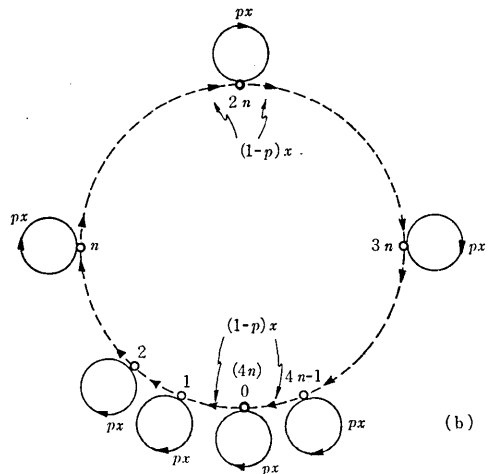
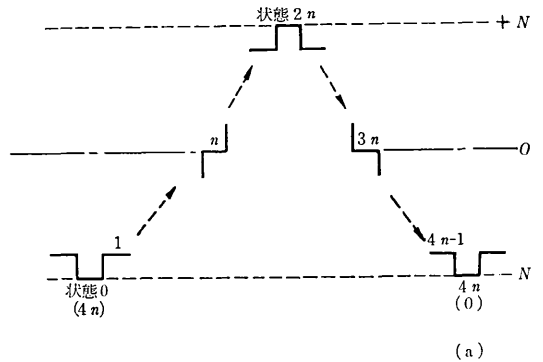


図2 本多値系列のシグナル・フロー・グラフ

\* 東京大学生産技術研究所 第3部

とができる。ただしこの場合  $C_i$  の初期値を 0 にとっておかなければならない。

### 3. 電力スペクトラムの計算

今、各レベルに図 2 (a) に示すように番号をつけた時、中間系列のスペース率を  $p$  として、前述の多値コーディングより図 2 (b) のようなシグナル・フロー・グラフが書ける。ただし、ここで、

$$x = \exp(-sT) \quad T: \text{単位タイムスロット}$$

であり、時間  $T$  (1 タイムスロット) の遅れを意味している。このシグナル・フロー・グラフよりハギンスの電力スペクトラム計算法<sup>2)</sup>を用いて、スペクトラムが次のように求められる。

$$\omega(f) = \frac{|G(f)|^2}{NT} \left[ \frac{N(p-p^2)}{2(1-\cos \omega T)} + \frac{(1-p)^2}{2(1-\cos \omega T)^2} \right. \\ \times \left. \left[ \frac{(1-p \cos \omega T) \{ (1+p^2-2p \cos \omega T)^{2N} - (1-p)^{4N} \}}{(1+p^2-2p \cos \omega T)^{2N} + (1-p)^{4N} + 2(1-p)^{2N}} \right] \right. \\ \left. * \frac{-2p(1-p)^{2N} \sin \omega T \sum_{k=0}^{2N} 2N C_k (-p)^{2N-k} \sin k \omega T}{\sum_{k=0}^{2N} 2N C_k (-p)^{2N-k} \cos k \omega T} \right]$$

ここで  $G(f)$ : 単位パルス波形をフーリエ変換したもの

$(2N+1)$ : レベル数

$p$ : 中間系列スペース率

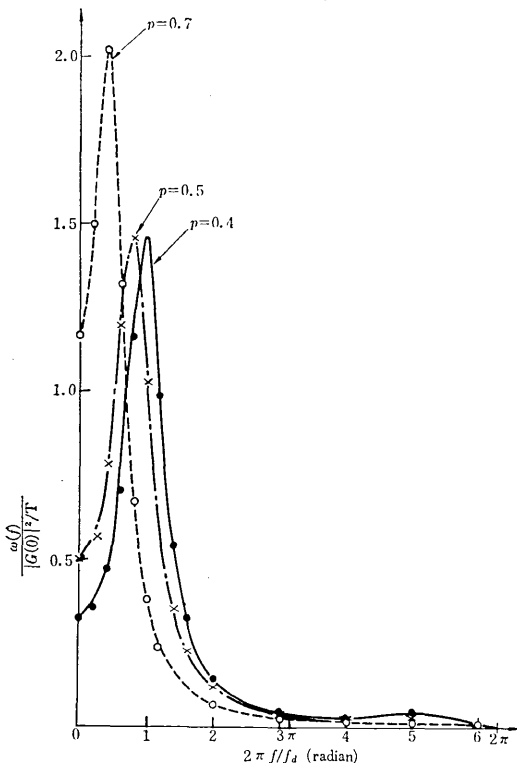


図 3 3 値で  $P\{b_i\}$  のスペース率 変えた時

$$\omega = 2\pi f$$

これを実際に計算したのが次の図である。図 3 では 3 値で  $p$  の値を変化させた時の電力スペクトル、図 4 では  $N$  を増大させた時の様子を示した。

### 4. 検 討

本多値系列においてはレベルの変化は 1 以内であり、かつその偶数レベル、奇数レベルは原 2 値系列のマーク、スペースと対応しており、レベルのモジュロ 2 をとることによって原 2 値情報を得ることができる。これと同様の性質を持つ多値系列としてすでにポリバイナリー符号が知られているが、これと比較した場合、本系列のエネルギー圧縮度ははるかに良いことが図 4 からわかる。図 4 では参考までに 3 値および 5 値のポリバイナリー符号のスペクトラムを示してある。

本系列の特長は原情報の零交差点を保存していることであり、非同期的アナログ情報を伝送する場合に適用することができる。この場合は固定タイムスロットでなくなるので、電力スペクトラムの形も若干異なってくる。また、電力スペクトラムは帯域圧縮度の一つの目安であって、実際には、実用上技術的に実現可能な 5 値程度の場合について実験をする必要があると思われる。

(1969 年 12 月 18 日受理)

### 参 考 文 献

- 1) 野村・安田他: 生産研究 21 巻 4 号, p. 109~
- 2) W. H. Huggins; "Signal-flow graphs & random signals" Proc. IRE. 45. 1. pp. 74~86 (Jan '57)

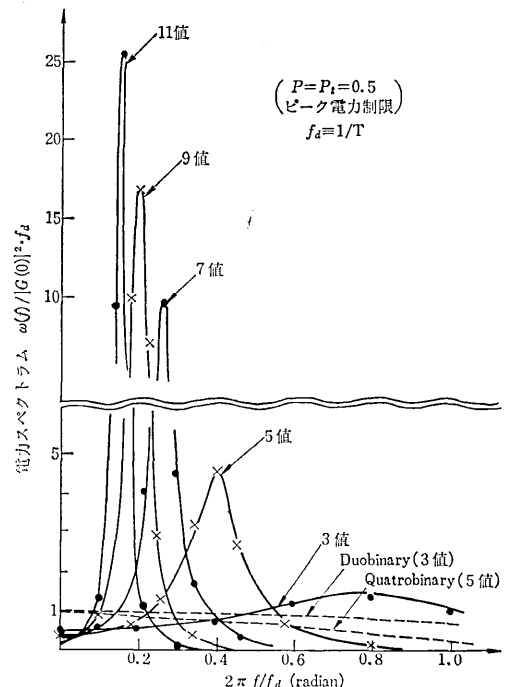


図 4 電力スペクトラム