数理解析研究所講究録
第 140 巻 1972 年 353-378

時間領域に制限をもつ多値伝送符号

平山　博　　　富永英義
早稲田大学　理工学部

1. まえがき

情報化社会の発展にともないデジタル情報の伝送量が増大し，伝送路の有効な利用方法について多く論じられている。(1) 特に既存の伝送路により多くの伝送容量をもたせるには符号方式が問題となる。ある符号方式をシステムに導入するために考慮しなければならないことがらの内，主なものは次のようなものがある。(2)

(a) ビット同期情報の抽出が容易であること。

(b) 直流遮断特性の影響を受けにくいこと。

(c) フレーム同期情報の抽出が容易なこと。

(d) 所要伝送帯域幅の小なること。

(e) 情報源との整合のとれた符号形式であること。等等

これ等の条件考慮した代表的なものは擬3進符号がある。擬3進符号には，複流RZ符号，差動2進3値符号，PST符号，Bipolar，Dicode，擬3進平衡符号，3進準平衡符号等

がある。これらは伝送レベルに+1, 0, −1, の3つのレベルを用い，その実3進符号のようでありながら，実は単一符号素子を伝送する時間Tで1ビットの情報しか伝送しないものである。3進符号であれば時間NTで表現できる符号の数は3^N通りあるが，伝送符号として好ましい条件（上記a～e）をもつ波形だけしか利用しないようにし，使用する符号パターンを表現するのに適当な規則をあてはめたものと考えられる。

しかし，同軸PCMなどのように，線路間の漏話や回線自体の雑音が比較的少ない場合には多レベルを選択伝送することが容易となりm進nレベル符号が用いられる。（$m \geqq 2,\ n \geqq 2$）一般に情報処理装置におけるレジスタは2進数表現であるため，情報処理装置間を伝送する符号が多進の場合，相互の変換しやすい符号を用いる場合が多い。すなわち，3進や5進の符号の伝送が可能であっても，2進との変換の容易さをとり，これを2進や4進の符号として使用し，冗長分を伝送系で考慮されなければならないファクターに割りあてることが多い。これ等の符号はいずれも単位時間Tにおかれる波形素子とm進数との対応関係が定義される。

本論文ではm通りのレベルをとりうる波形素子一個は時間Tを専有するが隣接する波形素子との時間距離は$(1 \pm n/\nu)T$ $(n = 0, 1, 2, \cdots;\ \nu \geqq 1)$となるような符号において表現し

うる情報量と，2進数との対応関係について論ずる。このような符号は時間領域に多値の性質をもちこんだものと考えられる。

2. 符号間隔とビット評価

振幅1，幅 $T/2$ の矩形波を，総合伝達関数 $W(S)$ が

$$W(S)=\frac{k}{\left(1+\frac{2\pi f_L}{S}\right)^{m'}\left(1+\frac{S}{2\pi f_H}\right)^{n'}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

なる伝送系に加えたときの応答波形を識別点における等化パルスとすれば図1，および図2，のように一例が示される。 図1 図2

ここで k は定数で等化パルス振幅1になるように選ぶ，また，f_L，f_H はそれぞれ低域および高域の遮断周波数，m'，n' はそれぞれの次数であり，等化パルスの占有率を定める。

さて，等化パルスが尖頭値をとる時点 t_m を識別時点とし，時刻 t に対する振幅を $r(t)$ とすれば，図1に示すごとく時刻 t_m より $(1+n/\nu)T$ 経過した時刻におけるタイムスロットの振幅は $r\{t_m+(1+n/\nu)T\}$（注，図1では $\nu=2$）と表現できる。

符号列 $\{X_k\}$ $(-\infty<k<\infty)$ において，符号 X_0 から k 個手前のパルスと $k-1$ 個手前のパルスとの時間間隔を

$$(1+n_k/\nu)T \qquad (\nu\geq 1,\ n_k=0,1,2,\cdots,\ k=1,2,\cdots)$$

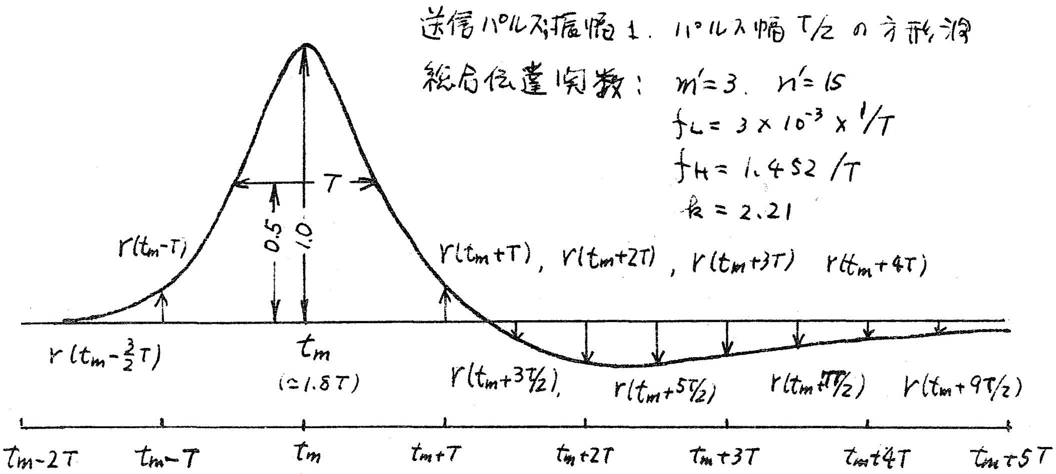


図1. 等化パルスの例（文献3より）

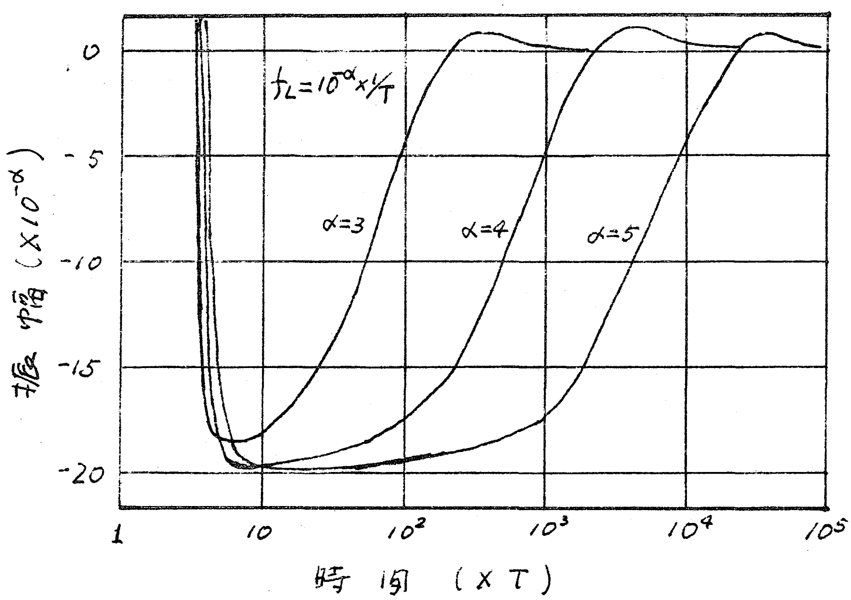


図2. 等化パルスの残留応答（文献3より）

とする。すなわち符号の時間間隔の列を書くと

$$\cdots, (1+n_{k+1}/\nu)T,\quad (1+n_k/\nu)T,\ \cdots\cdots (1+n_1/\nu)T,\ (1+n_{-1}/\nu)T,\ (1+n_{-2}/\nu)T, \cdots$$

となる。X_0からk個手前のパルスによってX_0の所に現われる符号間干渉を$X_{-k}C_k$とおけば

$$X_{-k}C_k = X_{-k}\ r\left\{t_m + \sum_{k'=1}^{k}(1+n_{k'}/\nu)T\right\}$$

となる。

また，X_0からk個後の等化パルスの立ち上り部分でX_0の所に現われる符号間干渉を$X_k C_{-k}$とおけば，

$$X_k C_{-k} = X_k\ r\left\{t_m - \sum_{k'=1}^{k}(1+n_{-k'}/\nu)T\right\}$$

となる。

図1．および図2の例では$t_m = 1.8T$であるから．X_0の直後の符号X_1が時間Tだけ後にある場合を考えればよい。

$m' \leq 3$，$f_L = 10^{-3}/T$が成立する場合には図1および図2から　$|C_{-1}|, |C_1|, \gg |C_2| > |C_3| \cdots\cdots > |C_k| >$

が成立し，また図2から残留応答がほとんど零に収束するのに少くとも10^{-2}のT以上の時間を要する。

このことは符号間隔がTの整数倍の等長符号において問題となる符号間干渉と，本論文で述べる符号間隔が$(1+m/\nu)T$である符号における符号間干渉とは同様の条件で検討できる。すなわち同一の伝送帯域において等長符号に比し多くの情報

量を伝送できることを示す。

3. 2レベル符号における時間領域の多値化

2レベル符号の代表的なものはNRZとNRZIの符号である。その波形をもとにして論理演算して誘導した波形や信号の微分操作して誘導した波形は他の伝送符号系に対応させることができる。(2) 今図3に示すように同一の波形をNRZの定義に従い解読した情報列を{An}とし、NRZIの定義に従って解読した情報列を{An'}とすれば 図3

$$A_n' = A_n \cdot \overline{A_{n-1}} + \overline{A_n} \cdot A_{n-1}$$

または
$$A_n = \overline{A_n'} \cdot A_{n-1} + \overline{A_n} \cdot A_{n-1}'$$

なる関係がある。このような関係がある時、情報列{An'}は情報列{An}の微分情報と言う。また情報列{An'}が与えられた時情報列{An}を求める操作を積分操作とよび

$$A_n = \sum_{i=0}^{n} A_i' + C_0 \quad (\mathrm{mod}\ 2)$$

で求まる。C_0は初期値である。

すなわち符号において波形と情報との対応関係を論ずる時NRZタイプとNRZIタイプがあるが、それ等を個別に考える必要はない。そこで図4に示すように信号のレベル変化（またはパルス）の存在する時刻からTの区間を文字Pとおき、他の区間をT/2間隔に文字Qを割りあてるような符号を考えよ 図4

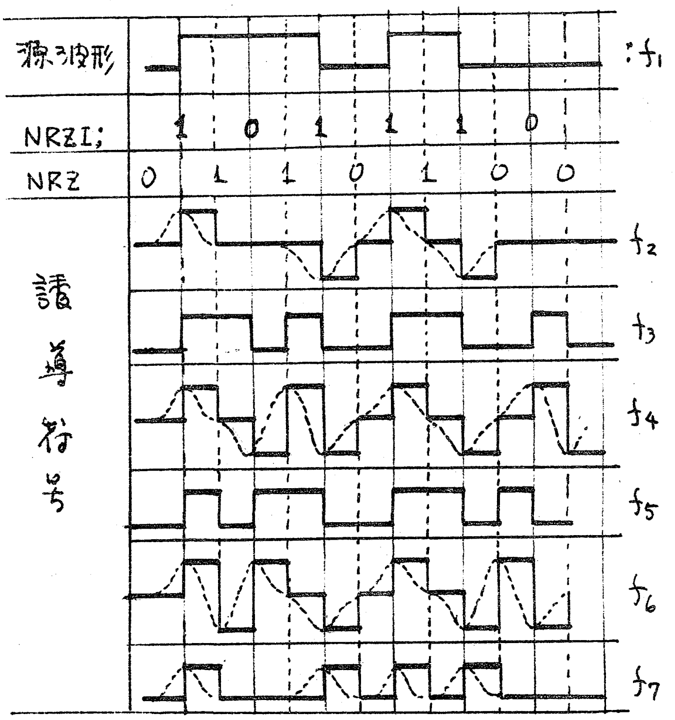


図3. 2レベル符号とその誘導符号

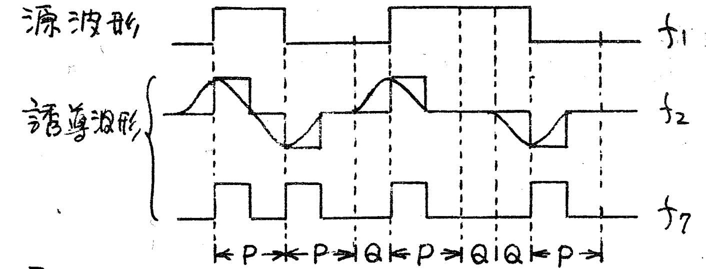


図4. レベル反転(パルス)間隔を$(1+n/\nu)T$
にとった時のシンボルP.Qとの対応例 ($\nu=2$の時)

う。符号の波形を略記するときは図4に示す記法にしたがい文字-P1だけを記入することにする。

3.1 波形と重み関数

1ブロックの伝送符号に対し時間T/ν ($\nu>1$) 間隔にタイムスロットがあり末尾から順にタイムスロットの時刻に番号 $0, 1, 2, \cdots k, \cdots \nu N$, をつける。番号$k$の位置にパルス(またはレベル反転)があれば自然数 u_k を対応づける。その時1ブロックで表現できる情報Bは

$$B=\sum_{k=0}^{\nu N} \pi_k u_k$$

と表わせる。ここでπ_kはk番目の位置にパルス(またはレベル反転)があれば1, なければ0である。このようなu_kを符号における重み関数と言う。そこで重み関数u_kは次のように定める。すなわち,タイムスロット番号$k-1$と,0に対応する時間長で表現できるすべての符号を数えた時,その数をu_kにとする。つまり当該区間で表わせる符号にそれぞれ0, 1, 2 ‥と番号をつけるとその番号の最大値はu_k-1となる。

$\nu=1$の時,この手法でu_kを求めれば $u_k=2^k$ となる。

3.2. 重み関数のフローグラフと符号の定義

$\nu=2$の時$\{u_k\}$はフィボナッチ級数となり,情報の順に配列した符号の例を示すと図5となる。フィボナッチ級数の性質はこの符号の性質と密接な関係がある。(詳細は文献1) 図5

同様にして $\nu = 3, 4, 5 \cdots$, のそれぞれについて新しい符号が考えられる。重み関数 u_k は一般に次の関係がある。

$$\begin{cases} u_k = u_{k-1} + u_{k-\nu} & : k \geqq \nu \quad \cdots\cdots\cdots \\ u_k = 1 & : 0 \leqq k < \nu \quad \cdots\cdots\cdots \end{cases}$$

u_k の一般項は代数方程式

$$x^\nu = x + 1$$

の根（複素数を含む）を $t_1, t_2, \cdots t_\nu$, とすれば、

$$u_k = \sum_{l=1}^{\nu} S_l \times t_l^{\,k}$$

となる。ここで $S_1, S_2, \cdots S_\nu$ は初期値 $u_k = 1$ $(0 \leq k \leq \nu)$ および $u_\nu = 2$, を満足するように定めた定数である。

$\nu = 2$ の時は

$$u_k = (\alpha^k - \beta^k)/\sqrt{5}.$$

となる。ここで α, β は

$$\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}, \quad \beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2} \quad (x^2 = x + 1 \text{ の根})$$

である。

このことより図6に示すように u_k を節とするフローグラフを図6.
描くことができる。

次に、ν が整数でない時にも同じように符号が誘導できる。
すなわち

$$\nu = \nu_1/\nu_2 \quad (\geqq 1, \text{既約分数})$$

とおけば、

$$\begin{cases} u_k = u_{k-\nu_2} + u_{k-\nu_1} & : k \geqq \nu_1 \\ u_k = 1 & : 0 \leqq k < \nu_1 \end{cases}$$

9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	重み関数	情報
											0
									P	u_1	1
								P		u_2	2
							P			u_3	3
							P		P	u_3+u_1	4
						P				u_4	5
						P			P	u_4+u_1	6
						P		P		u_4+u_2	7
					P					u_5	8
					P				P	u_5+u_1	9
					P			P		u_5+u_2	10
					P		P			u_5+u_3	11
					P		P		P	$u_5+u_3+u_1$	12
				P						u_6	13
				∫						∫	∫
				P		P		P		$u_6+u_4+u_2$	20
			P							u_7	21
			∫							∫	∫
			P		P		P		P	$u_7+u_5+u_3+u_1$	33
		P								u_8	34
		∫								∫	∫
		P		P		P		P		$u_8+u_6+u_4+u_2$	54
	P									u_9	55
	∫									∫	∫
	P		P		P		P		P	$u_9+u_7+u_5+u_3+u_1$	88

図5 フィボナッチ符号の配列順と情報との対応

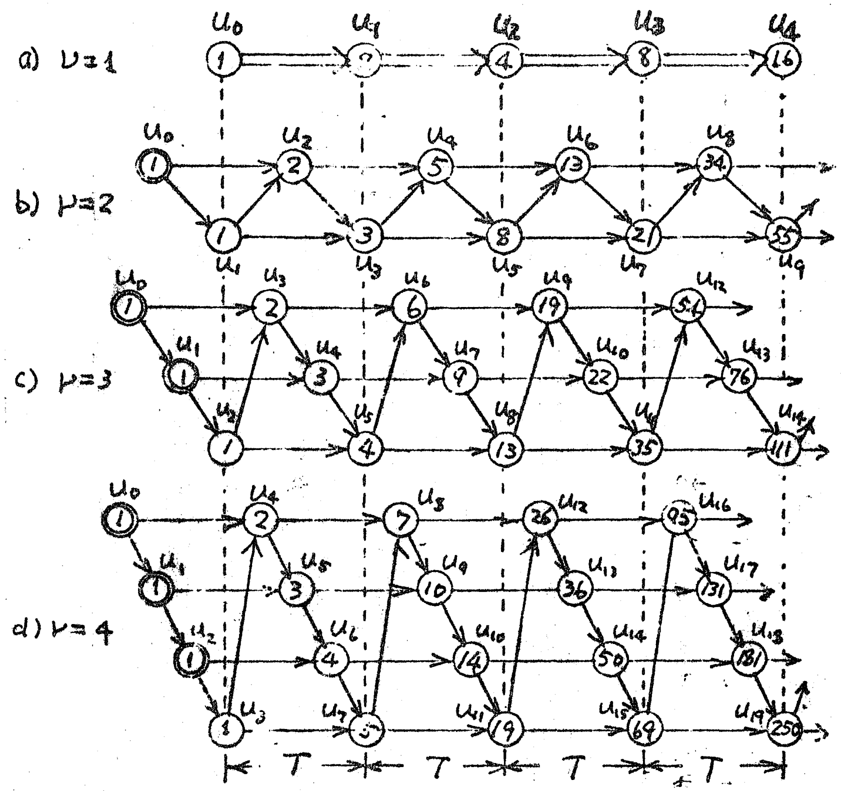


図 6 $u_n = u_{n-1} + u_{n-\nu}$ なる関係をもつ重み関数 u_n のフロー・グラフ.

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3	重み関数	重み値	情報(10進)
├─┼─┼─┼─┼─┼─┼─P─┤	u_0	0	0
├─┼─┼─┼─┼─┼─P─┼─┤	u_2	1	1
├─┼─┼─┼─┼─P─┼─┼─┤	u_4	2	2
├─┼─┼─┼─P─┼─┼─┼─┤	u_6	3	3
├─┼─┼─┼─P─┼─P─┼─P─┤	$u_6+u_3+u_0$	3+1+0	4
├─┼─┼─P─┼─┼─┼─┼─┤	u_8	5	5
├─┼─┼─P─┼─┼─P─┼─P─┤	$u_8+u_3+u_0$	5+1+0	6
├─┼─┼─P─┼─P─┼─┼─P─┤	$u_8+u_5+u_0$	5+2+0	7
├─┼─┼─P─┼─P─┼─P─┼─┤	$u_8+u_5+u_2$	5+2+1	8
├─┼─P─┼─┼─┼─┼─┼─┤	u_{10}	9	9
├─┼─P─┼─┼─┼─P─┼─P─┤	$u_{10}+u_3+u_0$	9+1+0	10
├─┼─P─┼─┼─P─┼─┼─P─┤	$u_{10}+u_5+u_0$	9+2+0	11
├─┼─P─┼─┼─P─┼─P─┼─┤	$u_{10}+u_5+u_2$	9+2+1	12
├─┼─P─┼─P─┼─┼─┼─P─┤	$u_{10}+u_7+u_0$	9+4+0	13
├─┼─P─┼─P─┼─┼─P─┼─┤	$u_{10}+u_7+u_2$	9+4+1	14
├─┼─P─┼─P─┼─P─┼─┼─┤	$u_{10}+u_7+u_4$	9+4+2	15
├─P─┼─┼─┼─┼─┼─┼─┤	u_{12}	16	(0) 16
├─P─┼─┼─┼─┼─P─┼─P─┤	$u_{12}+u_3+u_0$	16+1+0	(1) 17
├─P─┼─┼─┼─P─┼─┼─P─┤	$u_{12}+u_5+u_0$	16+2+0	(2) 18
├─P─┼─┼─┼─P─┼─P─┼─┤	$u_{12}+u_5+u_2$	16+2+1	(3) 19
├─P─┼─┼─P─┼─┼─┼─P─┤	$u_{12}+u_7+u_0$	16+4+0	(4) 20
├─P─┼─┼─P─┼─┼─P─┼─┤	$u_{12}+u_7+u_2$	16+4+1	(5) 21
├─P─┼─┼─P─┼─P─┼─┼─┤	$u_{12}+u_7+u_4$	16+4+2	(6) 22
├─P─┼─P─┼─┼─┼─┼─P─┤	$u_{12}+u_9+u_0$	16+7+0	(7) 23
├─P─┼─P─┼─┼─┼─P─┼─┤	$u_{12}+u_9+u_2$	16+7+1	(8) 24
├─P─┼─P─┼─┼─P─┼─┼─┤	$u_{12}+u_9+u_4$	16+7+2	(9) 25
├─P─┼─P─┼─P─┼─┼─┼─┤	$u_{12}+u_9+u_6$	16+7+3	(10) 26
├─P─┼─P─┼─P─┼─P─┼─P─┤	$u_{12}+u_9+u_6+u_3$	$\boxed{16+7+3+1+0}$	27

図7 $\nu=3/2$ の符号のパターンの配列順序と情報との対応

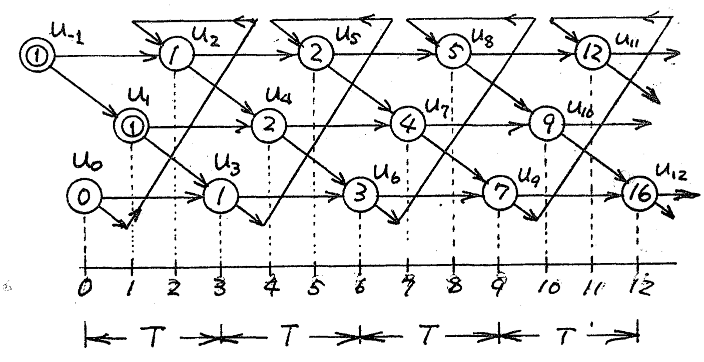


図8 $\nu=3/2$ のときの重み関数 u_n のフローグラフ

$u_n = u_{n-2} + u_{n-3}$

となる。ここで注意を要するのはタイムスロットの時間間隔を T/ν_1 間隔にとることである。$\nu = 3/2$ の時の符号の例を 図7
図7にまた重み関数 u_n のフローグラフを図8に示す。 図8

3.3 多種類の時間間隔の組合せによって得られる符号

DMやTMによって得られる符号は、パルス(レベル反転)の間隔が T, $3T/2$, $2T$ の3種類によって表現される二進符号である。今、このパルス(レベル反転)間隔に対し各々 P_2, P_3, P_4 の文字を対応させて考える。区間 NT をDMやTMの定義にこだわらずに、P_2, P_3 および P_4 によってすきまなく配列することによって誘導される符号を考えよう。当然DMやTMの定義にあてはまらない符号の波形を含むから情報量は多くなる。さて得られるすべての符号をつぎの法則で順番をつけ、その順位につけた番号を情報に対応させる。

(1) P_2 は P_3 に、P_3 は P_4 にそれぞれ優先して、上位のけたから順におく。

(2) P_2 だけで表わせる符号を最初の符号とし情報0に対応させる。

(3) 文字の配列のおきかえは下位から順におこなわれ、あるけたに新しい文字をおく場合は、それより下位の区間で得られるすべての配列方法が完了した後である。

この法則に従って区間 $6T$ の場合の符号の例を図9に示 図9

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 -1 -2	重み関数	重み値	情報
P_2 P_2 P_2 P_2 P_2 P_2			0
P_2 P_2 P_2 P_2 P_4	u_2	1	1
P_3 P_3	v_4+v_1	2+0	2
P_4	u_4	3	3
P_3 P_3	v_6+v_1	4+0	4
P_3 P_3	v_6+v_3	4+1	5
P_4	u_6	6	6
P_4 P_4	u_6+u_2	6+1	7
P_3 P_3	v_8+v_1	8+0	8
P_3 P_3	v_8+v_3	8+1	9
P_3 P_3	v_8+v_5	8+2	10
P_3 P_3 P_4	$v_8+v_5+u_2$	8+2+1	11
P_3 P_4 P_3	$v_8+u_5+v_1$	8+4+0	12
P_4	u_8	13	13
P_4 P_4	u_8+u_2	13+1	14
P_4 P_3 P_3	$u_8+v_4+v_1$	13+2+0	15
P_4 P_4	u_8+u_4	13+3	16
P_3 P_3	$v_{10}+v_1$	17+0	17
~	~	~	
P_3 P_4 P_3	$v_{10}+u_5+v_1$	17+4+0	21
P_3 P_3	$v_{10}+v_7$	17+5	22
~	~	~	
P_3 P_4 P_3	$v_{10}+u_7+v_3$	17+9+1	27
P_4	u_{10}	28	28
~			
P_4 P_4 P_4	$u_{10}+u_6+u_2$	28+6+1	35

図9 $P_2=T$, $P_3=3T/2$, $P_4=2T$ の組合せでできる符号の配列順と情報との対応

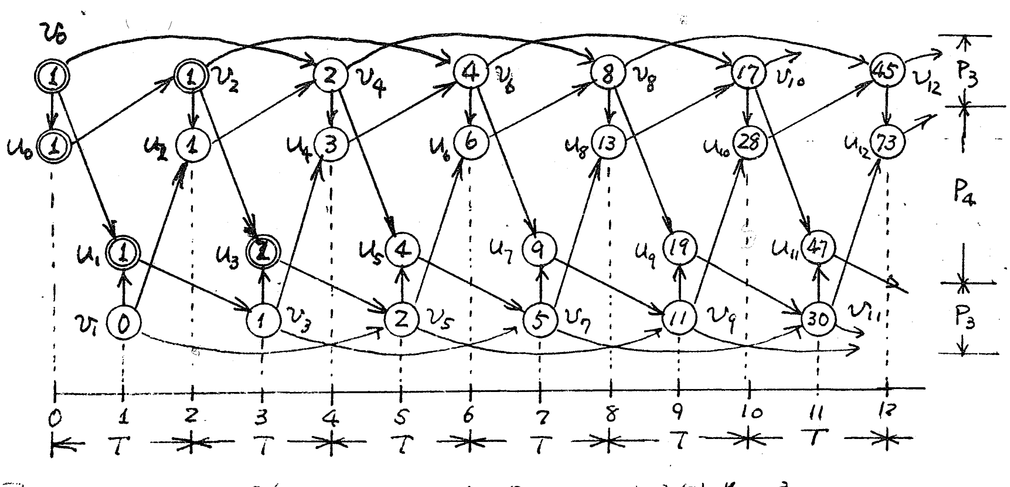


図10 $P_2=T$, $P_3=3T/2$, $P_4=2T$ の組合せでできる符号の重み関数のフローグラフ.

す。次にタイムスロット番号 k に文字 P_3 があるときの重み関数を v_n, 文字 P_4 をおいた時の重み関数を u_n とすれば次の関係がある。(詳細は文献　)

$$\begin{cases} u_k = v_k + v_{k-1} \\ v_k = u_{k-2} + v_{k-4} \end{cases}$$

初期値を決定してこの関係をフローグラフに書くと図 10　図10

となる。

4. 3レベル符号における時間領域の多値化.

多レベル符号においても RZ, NRZ, および NRZI の各型にあてはまる波形が考えられる。図11 に3レベルにおける符号 図11

の波形例を示す。ここで NRZI 型は文字Qに対してはレベル変化がないが文字 P_1, P_2 に対してはレベルがそれぞれの位置まで変化する。ただしすでに文字に対応する該当レベルにある時はレベル0に変化させる。NRZ 型は図から明かに理解されるであろう。さて同一の波形を NRZ の定義に従って解読した時の情報列を $\{A_n\}$, NRZI の定義に従って解読した時の情報列を $\{A_n'\}$ とすれば

$$A_n' = \delta(A_n, A_{n-1}) \quad (\text{表1の定義による})$$

または $$A_n = \sum_{i=0}^{n} A_i' + C_0 \quad (\text{表2の定義による加法})$$

となる。C_0 は初期値である。ただ図11 において $P_1 = L$,

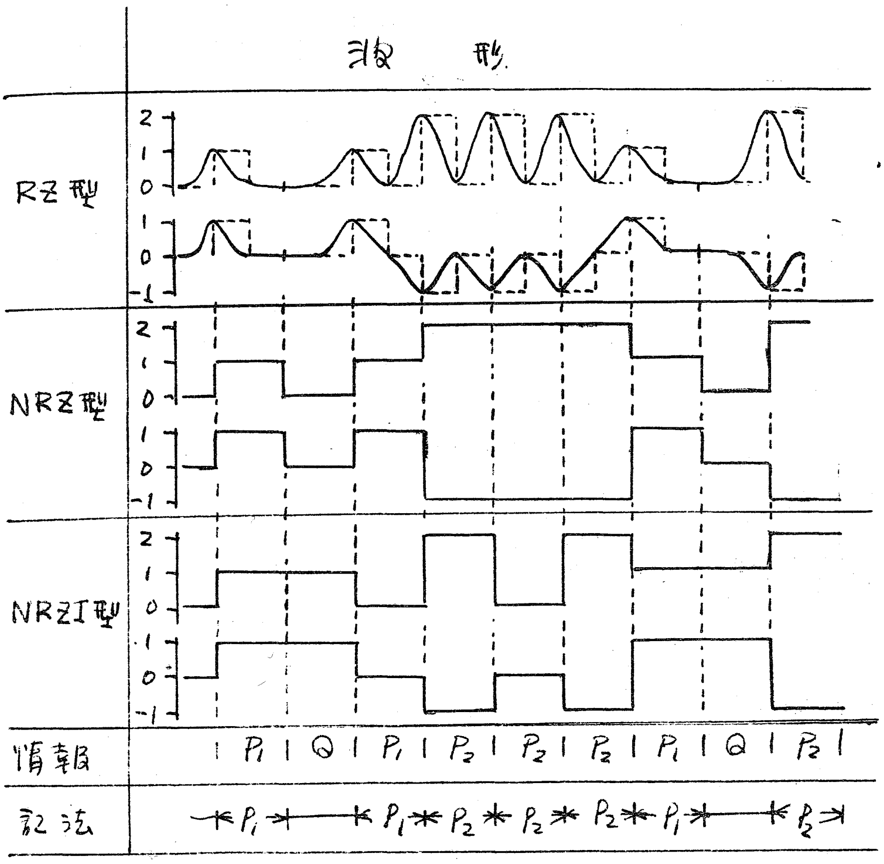


図11 多レベル符号におけるNRZ型とNRZI型の波形例
($P_1=1$, $P_2=2$, $Q=0$)

表1. $\delta(A_n, A_{n-1})$の定義

A_{n-1}	A_n	$\delta(A_n, A_{n-1})$
0	0	0
0	1	1
0	2	2
1	0	1
1	1	0
1	2	2
2	0	2
2	1	1
2	2	0

表2. (　)式における加法の定義

X + Y	= Z
0 + 0	= 0
0 + 1	= 1
0 + 2	= 2
1 + 0	= 1
1 + 1	= 0
1 + 2	= 2
2 + 0	= 2
2 + 1	= 1
2 + 2	= 0

$P_2=2$, $Q=0$ の情報に対応する。

4.1. 波形と重み関数.

番号 k のタイムスロットの位に文字 P_1 がある時これに重み関数 a_k, 文字 P_2 がある時は重み関数 b_k をそれぞれ対応づける。さてこの重み関数は次の法則に従ってすべての符号に順序づけた時に一意に決めることができる。

(1) 文字 Q だけしかない符号を最初の符号とし情報 0 に対応させる。

(2) 文字の配列のおきかえは下位から順におこなわれ、文字 P_1 が P_2 より先におく。

(3) あるけたに新しい文字をおく場合は、それより下位の区間で得られるすべての配列の方法が完了する後である。

これより、a_k は $0 \sim k-1$ の区間で得ることのできる符号の総数に一致する。また k の位置に文字 P_x がある(その上位は文字 Q のみ)ような符号の総数は $a_{k-\nu+1}$ に一致する。従って $0 \sim k$ の区間で得ることのできる符号の総数は k の位置に文字 P_1 および P_2 のある符号の数と $0 \sim k-1$ の区間に得ることできる符号の総数を加えたものである。すなわち

$$a_{k+1} = a_k + 2a_{k-\nu+1}$$

を得る。同様の考察により

$b_k = a_k + a_{k-\nu+1}$ をうる。

これを整理すると

$$\begin{cases} a_k = b_{k-1} + a_{k-\nu} \\ b_k = a_k + a_{k+1-\nu} \end{cases}$$

となる。

4.2 重み関数のフローグラフと符号の定義

ν=1の時はいわゆる3値等長符号であり(　　　)ひは

$$\begin{cases} b_k = 2a_k, \\ a_k = b_{k-1} + a_{k-1} = 3a_{k-1} \end{cases}$$

となる。当然 a_k、b_k の一般項は

$$a_k = 3^k, \qquad b_k = 2 \cdot 3^k$$ となる。

ν=2時、フィボナッチ符号の3レベル符号化と考えられ、

$$\begin{cases} b_k = a_k + a_{k-1} \\ a_k = b_{k-1} + a_{k-2} = a_{k-1} + 2a_{k-2} \end{cases}$$

となる。この一般項を求めると

$$\begin{cases} a_k = \frac{1}{3}\{2^{k+1} + (-1)^k\} \\ b_k = 2^k \end{cases}$$

となる。

一般に a_k、b_k の一般項を求めるには方程式

$$x^\nu = x + 2$$

の ν 個の根を $\alpha_1, \alpha_2, \cdots \alpha_\nu$ とし、

$$a_k = \sum_{i=1}^{\nu} c_i \alpha_i^k$$

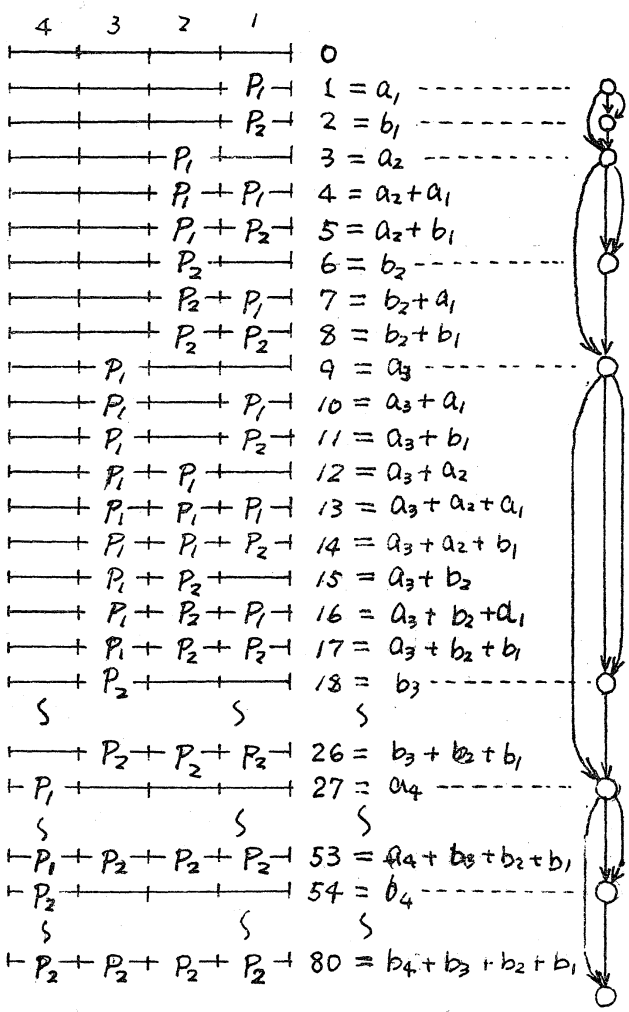


図12. 3レベル等長符号 ($\nu=1$. $m=3$)
の符号と情報との対応

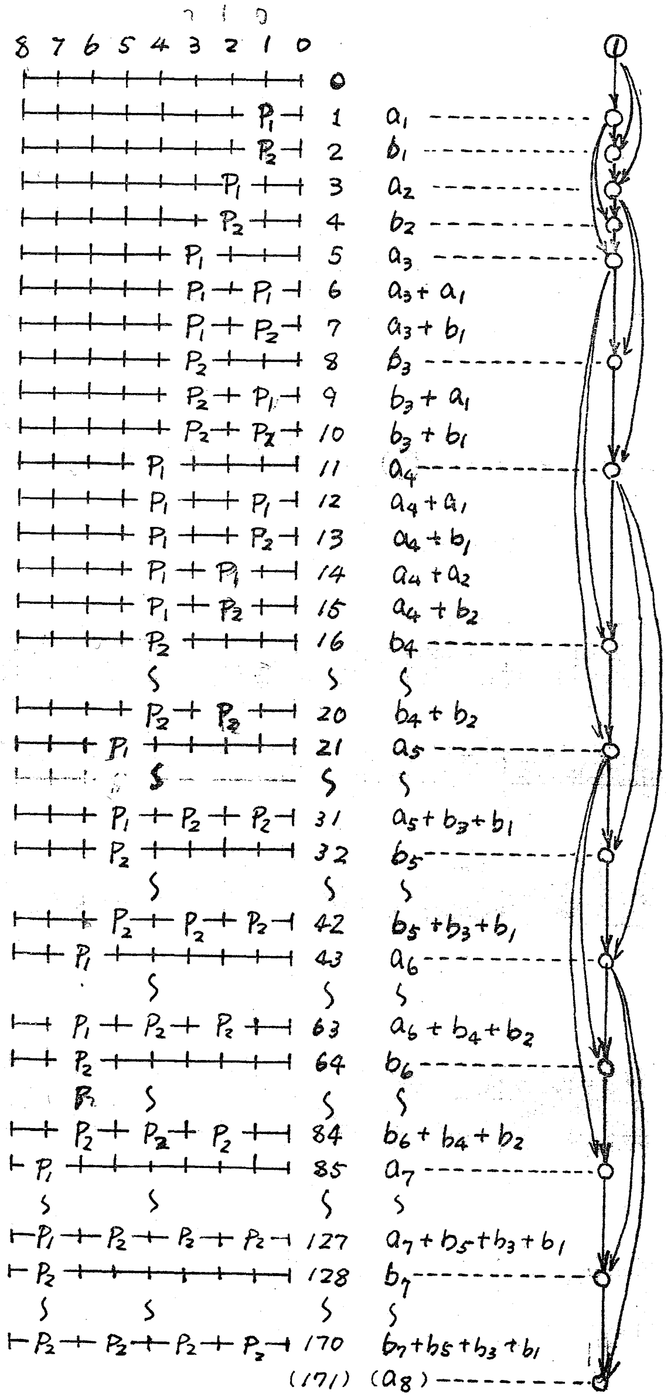


図13. ν=2, m=3 の時の符号と情報との対応

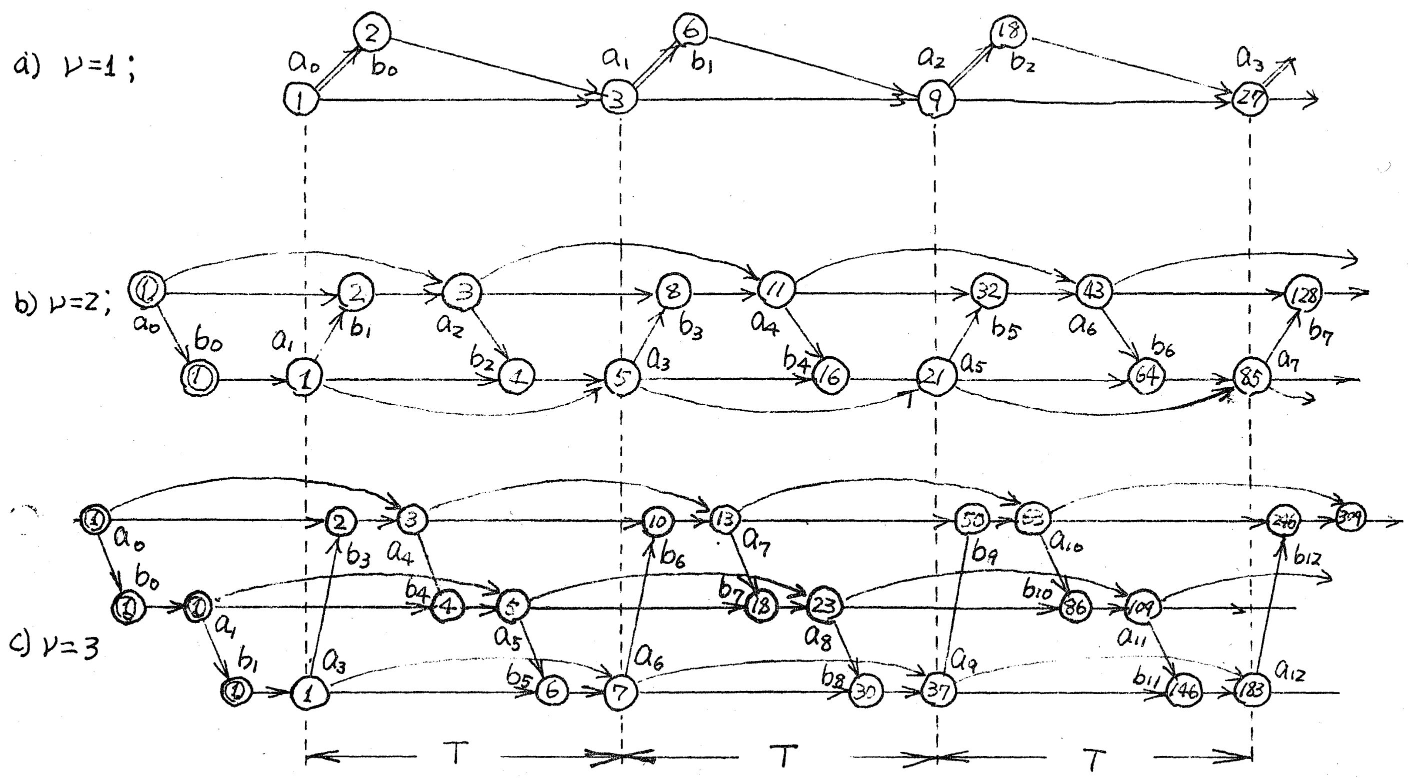


図14. 3レベル符号における時間領域の多値化符号のフローグラフ（ν=2の時）

と与えられる。ここで $C_1, C_2 \cdots C_\nu$ は初期値

$$a_k = 1 \quad (\nu > k \geq 0)$$

を満すようにした定数である。

図12に $\nu=1$ の時の符号と情報との対応を示す。また 図12
図13に $\nu=2$ の時の符号と情報との対応を示す。図14は 図13
$\nu=1$、$\nu=2$、$\nu=3$ の時の重み関数のフログラフである。 図14

4.3 フローグラフにおける桁上げの意味

図6と図14とを比較した時に次のことが引きだせる。

(1) 節における入力の枝の数は2である。

(2) 節における出力の枝の数はたかだかレベル数である。

そこで次のように枝の性質を定義づける。

(定義1). 節 x_i から出る枝の内最も短い枝で結ばれる節 x_{i+k} に対する枝を、フローグラフにおける「桁上げの枝」と言う。

(定義2). 節 x_i の次にある節(必ずしも直接に結ばれていない)にうつることを符号における桁上げと言う。ここで節はすべての符号を情報の順に配列した時にタイムスロットの位置に対応して発生する重み関数に対応して順番をつけたものである。

(定義3) 節 x_i に入る枝の内「桁上げの枝」でない方の枝を「桁上げ量の枝」と言う。

当然、桁上げ量の枝の始点 x_{i-l} は桁上げの枝の始点

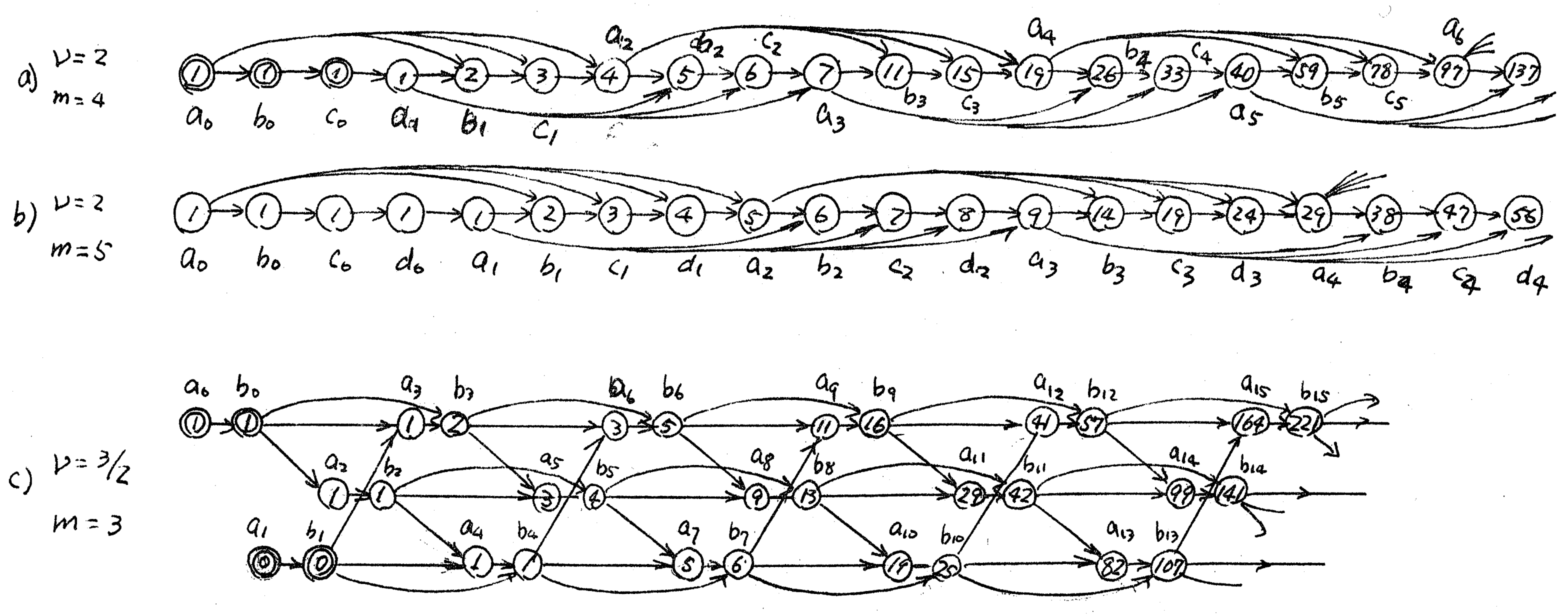


図16　種々の多値レベル符号における時間領域の多値化

x_{i-k} より前にある。(前にあるとは節の配列位置が若番にあることを言う), すなわち $i-l \leq i-k$,

算術符号においては桁上げの枝と、桁上げ量の枝とが共通の始点をもつ。

5. 時間領域を多値化した多レベル符号の誘導。

符号を定義することは重み関数のフローグラフを決めることと等価である。2レベル符号から3レベル符号に変化した時フローグラフは次のように変形したと考えられる。

(1). 節が2つに分離し、分離した節は一本の桁上げの枝で結ぶ

(2) 入力の枝は分離した節の内、前の節に保存され、出力の枝は分離した節の内後の節に保存される。

(3) 出力の枝をレベルの数の増加分だけ増加する.

(4) 分離した節の内、後の節の入力に、桁上量の枝を追加する。

以上の様子を図15(a),(b)に示す。このことより多レベル符号におけるフローグラフの誘導法則は図15-(c)に示すように一般化できる。なお同一タイムスロットに位置する節をレベルの順位に節を対応させ、$a_i, b_i, c_i \cdots k_i$, とおくと、この時、分離した節の最後の節は次のタイムスロット位置におかれる。 図15

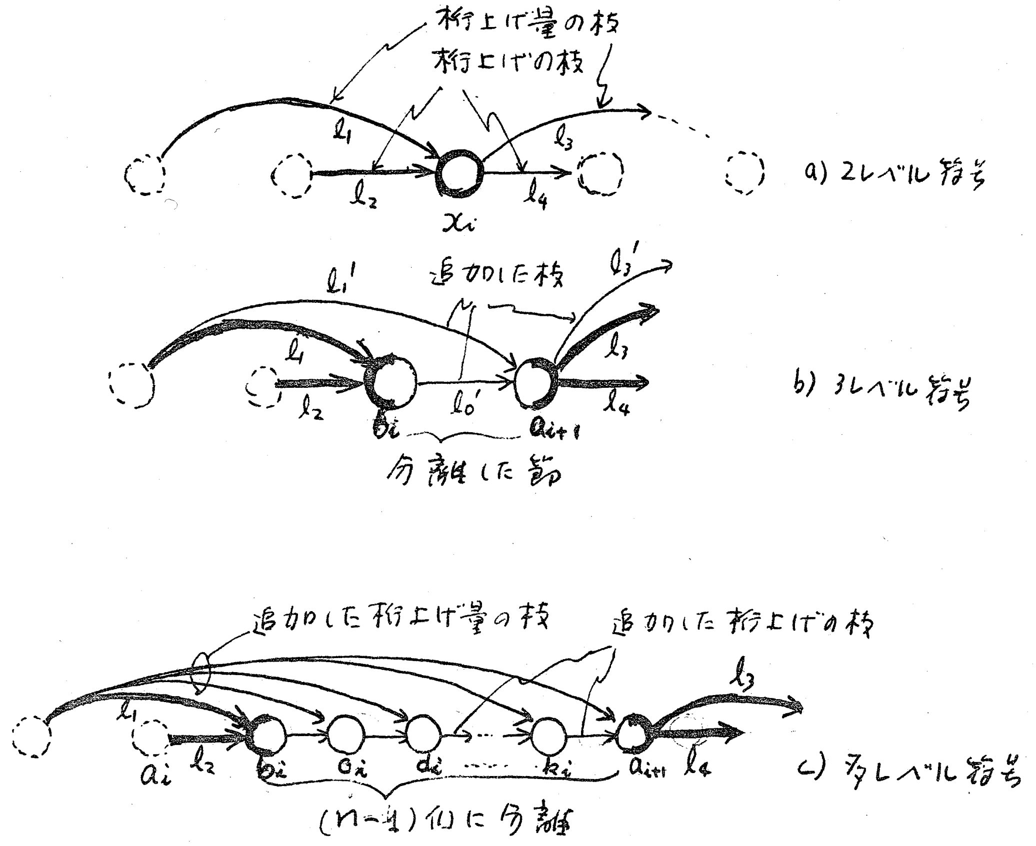
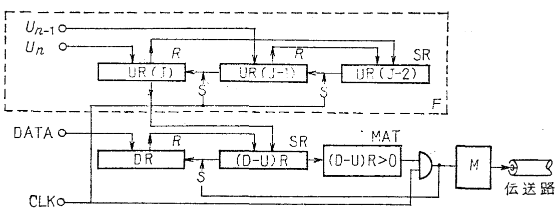
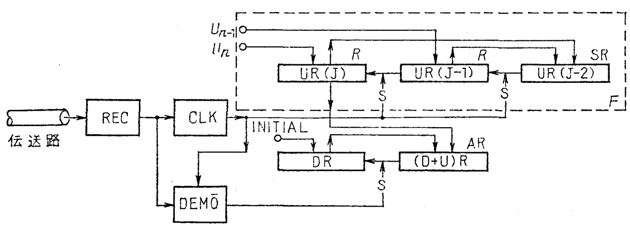


図15. 多レベル化におけるフローグラフの変形操作



S：シフト指示，M：変調器，R：レジスタ，SR：減算器，MAT：判定器
u_N, u_{N-1}：フィボナッチ数のデータ，DATA：送出情報

図 17 フィボナッチ符号発生回路（二進数をフィボナッチ符号に変換する回路）



RFC：受信器，CLK：クロック発生器，DEMŌ：P 検出器，R：レジスタ，
SR：減算器，AR：加算器，S：シスト指示，INITIAL：初期設定，u_N, u_{N-1}
フィボナッチ数のデータ

図18 フィボナッチ符号から二進情報に変換する回路（復調回路）

これより $\nu=2$ の時の4レベル符号およびSレベル符号，また $\nu=3/2$ の3レベル符号のフローグラフを求めると図16となる。

6．変・復調回路

情報処理装置を構成する回路は2値論理回路が一般的である。したがって，二進数で表現される情報を伝送符号に変換し，また逆に伝送符号から二進情報をうる操作が必要である。ここでは前者を変調，後者を復調という。ここで重み関数のフローグラフが重要な役目をする。わかりやすい例として，$\nu=2$ の時フィボナッチ符号を例にとるが，一般の多値符号について同じ考え方による方法がとれる。

図17にフィボナッチ符号の変調回路の一例を示す。UR(J)，UR(J-1)はフィボナッチ数を示す情報をおくレジスタで，初期値は u_n，u_{n-1} で示す情報が与えられる。UR(J-2)はUR(J)とUR(J-1)の内容の差の情報をおく減算器で，これらの各値はCLK端子より与えられる紀時パルスによって，その左のレジスタに移される。その機能をシフト指示Sで示す。またレジスタDRはまずDATAから与えられる伝送すべき情報をおき，DRとDR(J)との差の値を(D-U)Rにおく。MATは(D-U)Rの内容が非負であることを判定する回路で

その出力と刻時パルスとの一致においてMに入力を与えると同時に(D−U)Kの内容をDRに移す。(D−U)Kの内容が負のときはDRの内容は保存される。すなわち破線でかこむ回路の機能はフィボナッチ数をフローグラフの流れと逆向きに発生する。

図18はフィボナッチ符号の復調回路であり動作は図の機能の逆を行なっている。

むすび

伝送符号における波形素子と重み関数の対応をつけ、重み関数のフローグラフを求めることによって符号の定義ができることを示した。波形素子が存在する時は時間Tの専有時帯をとき、それ以外はT/Lごとに符号時刻をきざむことによって時間領域における多値化符号を考えた。

文献

(1) "時間領域に制限をもつ符号とその再帰指数による表現":宮永., 信学論A. 54-A. 4. p201, '71/4

(2) "磁気記録における変調方式と伝送符号との関係":宮永. 信学論A. 53-A. 8. p434 (WB 45-08)

(3) "通常多進符号の基底帯域伝送":岩橋, 辻井, 藤崎, 小宮, 信学論A. 52-A-4. p173 ('69/4)