

多値論理による非同期論理構成について

古賀 義亮

1 はしがき.

情報伝送の分野では、伝送路の状況によって伝送速度が変化するような場合に、非同期情報伝送¹⁾²⁾を行う方法がある。

電子計算機などの論理回路においても一般には、情報伝送速度、および情報処理速度が変化すると考えた方が都合がよい場合がある。たとえば並列加算回路の桁上げ情報、条件によって変化する制御回路などがその例としてあげられる。

また最近では CDC (Control Data Corp., Minneapolis) が開発を行っている STAR 電子計算機は、パイプライン方式をとっているといわれている。このパイプライン方式とは、たとえば演算回路のうち加算回路をいくつか、たて方向にたがいで入力側からつぎつぎに異なった数値を連続的に入れ、この加算回路の中を数値が流れていく途中で、数回の計算を行わさせるように構成したものである。Illiac IV のように、演算部の

みを並列に配置した方式よりむしろ、このように方式によって構成を行った方が、計算の種別によっては、より速く計算処理が行われるといわれている。このようなパイプライン方式に非同期論理回路を用いることが考えられる。

一方、最近の集積化回路技術の進歩によって、集積化記憶装置が実用化の段階 (Illiacc IV では 64 ビット 128 KW, 188 nsec サイクルタイムの半導体化記憶装置が成功している) にけり、ますます記憶装置が高速化されている。基本論理回路の高速化が進み、ECL (Emitter Coupled Logic) 論理回路では、ゲートあたりの遅延時間は 1 nsec 以下となつてある。しかしながらプリント基板上の配線、基板間の配線と信号線上の遅延は、画一的に長さを定めるのは、きわめて困難であり、したがって同期信号の同期時刻は、かなり大きな時間幅をとって設定しなければならない。同期信号の分配も正確に定めなければならない。必ずしも十分に論理回路の持つ速さを生かして設計できるとは限らず、基本論理素子の限界速度で動作させるためには、非同期方式によるシステム構成の方がすぐれているといえる。

こゝでは、組み合わせ論理回路を対象として、非同期論理処理方式に必要な条件について調べ、非同期情報処理には、多値を必要とすることを明らかにし、多値を用いた非同期論

理方式のいくつかの方法を提案し、これについて検討を加えることにする。

2. 非同期情報伝送

非同期情報伝送において、伝送するにできる離散的な信号値の集合 I は $\{i_0, i_1, \dots, i_{n-1}\}$ と n 個の信号から成るものとする。時間的な信号 (タイミング) は少なくとも2値を必要とするが、これを $T = \{t_0, t_1\}$ と表わすことにする。非同期情報伝送方式として、つぎの3つに分類することにできる。

a. 情報ビット切方式.

伝送すべき情報ビットは常に t_1 に割りあてゐる。すなわち t_1 時刻に始まるタイムスロット*に、 $n-1$ 個の情報ビット $\{i_1, \dots, i_{n-1}\}$ の中から伝送し、 t_0 時刻に始まるタイムスロットでは、情報のビット表現のため、常に信号 i_0 を伝送する。この方式では $2m$ タイムスロットの中で $(n-1)^m$ 個の情報伝送が可能である。

* タイムスロットとは、 $\Delta t = |t_1 - t_0|$ 、すなわちある信号値を保持してゐる時間間隔と定義する。

b. 情報臭切換方式

タイムスロット t_1 (時刻 t_1 で始まるタイムスロット) では、タイムスロット t_0 に伝送されている信号値 i_{t_0} とは異った信号値 $i_{t_1} \in I - i_{t_0}$ を伝送する。タイムスロット t_1 のあとに続くタイムスロット t_0 では、伝送すべき信号値は $I - i_{t_1}$ の中から選定する。この方式では 2^m タイムスロットの中で $(n-1)^{2^m}$ 個の情報伝送を行って得る。

c. 情報臭分離方式

タイムスロット t_0 では $P (< n)$ 個の信号値 $\{i_0, \dots, i_{p-1}\}$ の中から選定した値を伝送し、別のタイムスロット t_1 には、 $n - P$ 個の信号値 $\{i_p, \dots, i_{n-1}\}$ の中から選定した値を伝送する。この方式では 2^m タイムスロットの中で $P^m (n-P)^m$ 個の情報を伝送するといえる。 $P = 1$ のときは、情報臭切換方式と一致する。

以上3つの方式について、 $n \geq 3$, $n > P > 1$ のとき

$$(n-1)^{2^m} > P^m (n-P)^m > (n-1)^m \quad (1)$$

であるから、情報臭切換方式が、単位時間内に送り得る情報臭の数が最大であるといえる。もっとも能率のよい伝送方式であるといえる。この情報臭切換方式の符号化法については文献(1)に述べてある。

3. 非同期論理構成方式

非同期論理回路構成については、Illiac II で用いられた speed independent 回路構成があるが、これは前節の情報臭切除方式に相当するものと考えられる。情報処理における情報臭切除方式および情報臭分離方式については、いまは明確な議論は行なわれていないようである。本節では、これ等の方式に相当する組み合わせ論理回路構成上要求される条件などについて検討を行う。

一般に組み合わせ論理回路は、 q 個の入力変数 $x_0, x_1, \dots, x_{q-1}$ の結合として、つぎのように表わすことができる。

$$f(x_0, x_1, \dots, x_{q-1}) \quad (2)$$

この q 変数関数は、万能^{*}の 2 変数関数

$$g(x_0, x_1) \quad (3)$$

によって展開することができる。ここでは、一般的の 2 変数論理関数の非同期化論理構成方式について述べる。この手法は q 変数関数の構成にも拡張することができる。

* 万能な関数とは sheffer function のこと。

α. 情報異正切論理方式

変数 x は、タイムスロット t_0 では、タイムスロット t_1 に送られる情報（信号値）との正切りのため、必ず特定の値 $\phi (\in I)$ をとるものとする。このとき関数 $g(x_0, x_1)$ の値は、

$$g(x_0, \phi) = g(\phi, x_1) = \phi \quad (4)$$

と仮定するように論理関数 g を構成する。つぎにその例をあげる。

例 1. 二重二値論理³⁾を用いて、三値非同期論理回路の構成を行う方法について述べる。ここでは三値論理のST式半加算器⁴⁾のうち同値桁の値を与える関数を扱う。すなわちこの関数は、

		x_1		
		$\bar{1}$	0	1
x_0	$\bar{1}$	1	$\bar{1}$	0
	0	$\bar{1}$	0	1
	1	0	1	$\bar{1}$

なる真理表で与えられる。この関数を二重二値（4値）を用い、 ϕ を $(0, 0)$ に割りあてて、つぎのような真理値表を構成する。

		x_1				
		ϕ	$\bar{1}$	0	1	
		x_1'	x_1''	01	10	11
		00	01	10	11	
x_0	$x_0' x_0''$					
	ϕ 00	00	00	00	00	
	$\bar{1}$ 01	00	11	01	10	$g(x_0', x_0'', x_1', x_1'')$
	0 10	00	01	10	11	
	1 11	00	10	11	01	

$$g' = x_0' x_1' (\bar{x}_0'' + \bar{x}_1'') + x_0'' x_1'' (\bar{x}_0' + \bar{x}_1') \quad (5)$$

$$g'' = x_0'' x_1' \bar{x}_1'' + x_0' \bar{x}_0'' x_1'' + x_0'' x_1'' (\bar{x}_0' \bar{x}_1' + x_0' x_1') \quad (6)$$

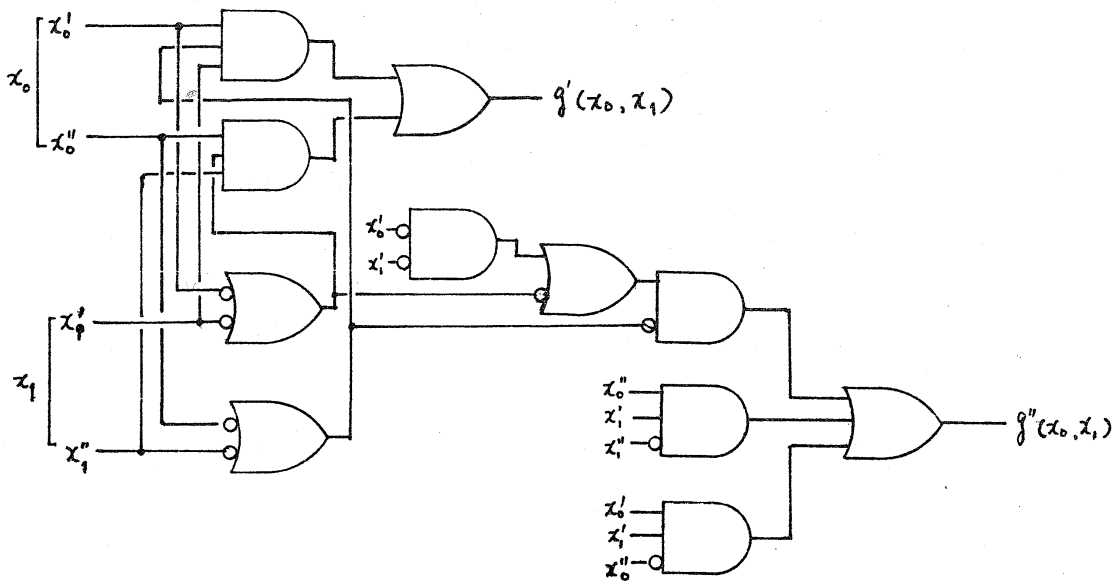


图 1. ST 式半加算回路同位析論理構成例

8. 情報変換論理方式.

この方式では、関数 $g(x_0, x_1)$ の変数 x_0, x_1 とおいて、タイムスロット t_0 における値と、つぎのタイムスロット t_1 とでは必ず別の値をとるようにする。 x_{0t_0} の値を $i_{x_{0t_0}}$ とすれば、 x_{0t_1} の値は $I - i_{x_{0t_0}}$ より選定する。ここで情報変の $n-1$ 個からなる集合を $S = \{s_0, s_1, \dots, s_{n-2}\}$ としよう。この情報変換方式では、情報変の数は、信号値より1つだけ少ない。このように情報変と信号値との対応もつけた系で

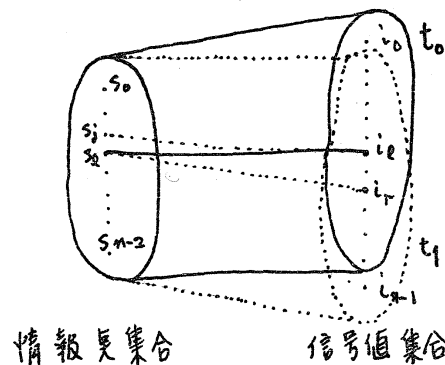


図2 情報変換方式における対応関係

は、ある値 i_e が送られるとき、その i_e の信号値によって対応づけられた情報変は、必ずしも一意に定まらないう。いまタイムスロット t_0 のとき、情報変 s_e を伝送するの、信号値 i_e が用いられるものとする。つぎのタイムスロット t_1 においても同一情報変 s_e を伝送しようとするときには、信号は $I - i_e$ の中から選定しなければならぬ。この値をかり

に x_i とすれば、前のタイムスロット t_i において、信号値として x_i が、もし用いられてゐたとするならば、このタイムスロット t_i で信号値 x_i が用いられることはな $\bar{u}$ 。このように、あるタイムスロットの信号値に対する情報量は、前のタイムスロットの信号値、または情報量を知っておかなければ一意に定まらな $\bar{u}$ ことがある。しかしながら一般には一つだけ前のタイムスロットの信号値、あるいは情報量を知れば充分に情報量を定めることができる。

関数 $g(x_0, x_1)$ の値は、上記の条件を満たし、しかも入力変数 x_0, x_1 の値が変化しな $\bar{u}$ ときに、出力値が変化するように構成する。このような関数の一般形は、

$$g(x_0, x_1, x'_0, x'_1, g') \quad (7)$$

として表わされる。ここに x'_0, x'_1 はタイムスロットが一つだけ前の x 変数の値であり、 g' は同じく一つ前のタイムスロットの関数 g の値である。

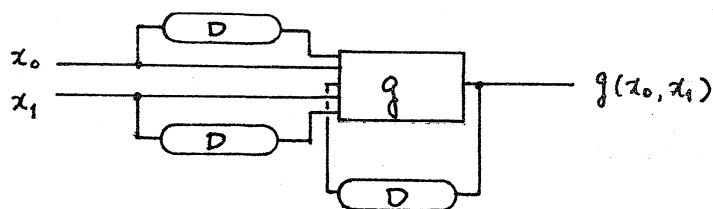


図3. 情報交換論理式の一一般形。

この方式の中で、信号値に対応する情報元の割り付け方によって、つぎのような2つの基本的な系に分類することができる。

も-1 全巡回符号化。いまあるタイムスロット t_0 において伝送されている信号値を i_j とすれば、その i_j について、つぎにとることをできる $n-1$ 個の情報元は図4に示すように巡回的に定められる。このタイムスロット t_0 の情報元は、その前のタイムスロットの信号値を知らなければ一意に定めることはできない。

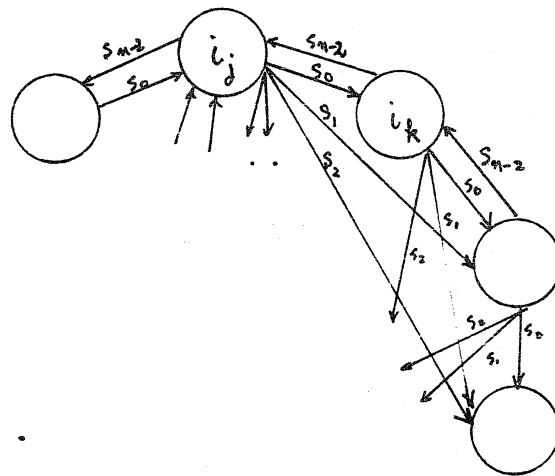


図4 全巡回符号化法。

も-2 部分巡回符号化法 m 個の信号値のうち、 $m-1$ 個の信号値は、すべての $m-1$ 個の情報元と1対1の

対応をつけておく。あるタイムスロット t において情報
 素 s_j が信号値 i_j によって伝送されてゐたものとする。つ
 ぎのタイムスロットでも同一情報素 s_j を伝送する必要が
 あるとき、そのときに限り、信号値 i_r を送る。すな
 わち、信号値 i_r が送られてきたときには、前のタイムス
 ロットと同一の情報素が送られたことを示すので、 i_r を
 検出したときのみ、前のタイムスロットの値を用ゐれば
 よい。ここで信号値 i_r が異なったタイムスロットで引き続
 いて伝送されることはないことに注意する。

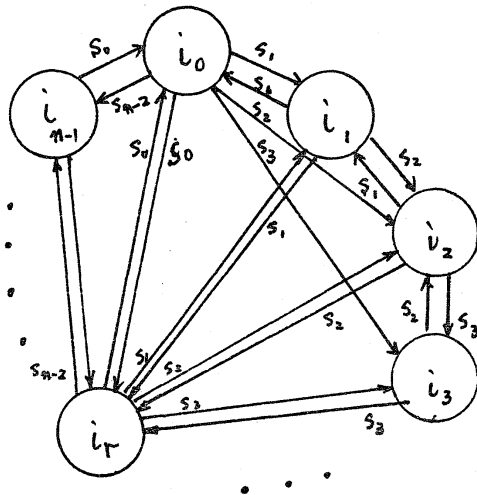


図 5. 部分巡回符号化法

この 2 つの系のうち、も - 1 の式では回路構成が複雑
 になるので、も - 2 の式を用ゐた構成例をつぎに述べ
 る。

例 2. 例 1 と同じ ST 式半加算 3 値論理の同位相を

与える回路構成について調べる。情報臭と、信号値との対応関係は図6のようである。

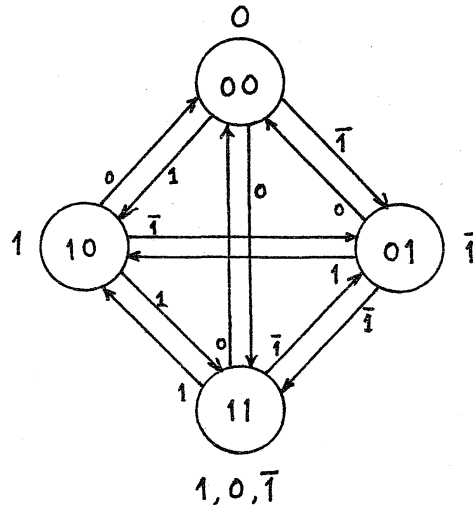


図6. 2重2値部分巡回符号化.

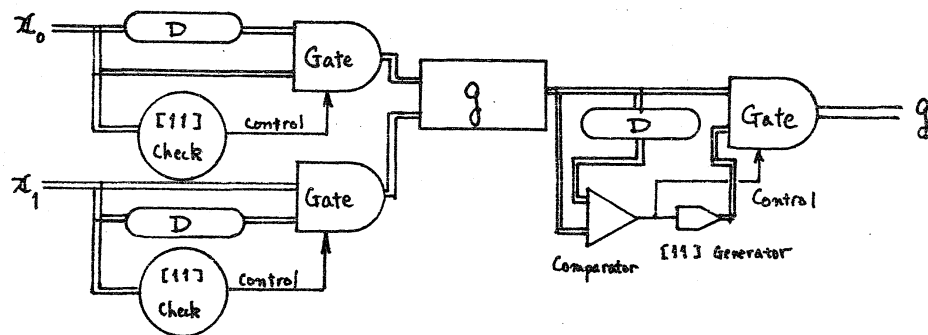


図7. 2重2値情報臭切換論理回路ブロック図.

図7にそのブロック図を与える。中央の関数 g は、例1と同様に構成すればよく、値 $[1\ 1]$ はこの関数入力に対して冗長となる。

c. 情報臭分離論理式.

情報臭の集合 $\{s_0, \dots, s_{p-1}\}$ (ここで $p = \frac{n}{2}$ とする) に対応するタイムスロット t_0 の信号値の集合は $I' = \{i_0, \dots, i_{p-1}\}$ とし、タイムスロット t_1 の信号値の集合は $I'' = \{i_p, \dots, i_{n-1}\}$ とする。

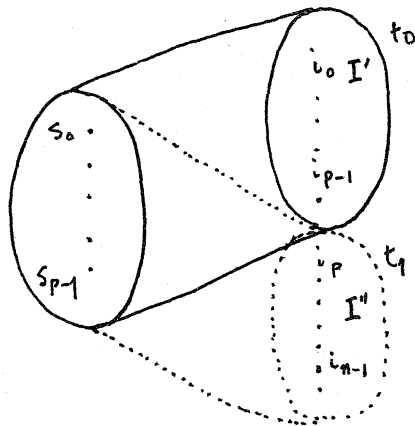


図 8. 情報臭分離式における対応関係

タイムスロット t_0 において、変数 x_0, x_1 および関数のとり得る値は I' に制限し、タイムスロット t_1 においては、変数および関数のとり得る値を I'' に制限する。ここでタイムスロットに関する制限を無視すれば、変数および関数のとり得る値は、 $I = I' \cup I''$ である。しかるにタイムスロットの制限を入れれば、変数 x_0, x_1 について $x_0 \in I'$ としても $x_1 \in I''$ 、あるいは $x_0 \in I''$ としても $x_1 \in I'$ のとき、関数 $g(x_0, x_1)$ の値は定義されていないものとする。この方式

では、とり得る情報量の数、信号値の数も n とすれば、
単位タイムスロットあたり $\frac{n}{2}$ である。

例3. 例1に仿らって、二重二値を用ゐる時の情報量
分離論理構成について調べる。二重二値系では $n=4$ で
あるから単位タイムスロットごとに伝送することのでき
る情報量数は2であり、しむかつて従来の二値論理系
を実現することになる。これは別の見方をすれば、二重
二値を用いて、二値論理と同期信号を同時に取扱ってゐ
るものとみることが出来る。

4. あとがき.

以上述べた非同期論理構成方式の中で、もっともあつて
方式は、もゝ二に述べた論理構成である。その理由として、

1) ある一定時間内に処理することのできる情報量数は
最大であつて、

2) ある特定の1つの信号値を除いて、一意に論理構成
を行うことが出来る

などがあげられ、この非同期論理構成の欠点としては、情報
量と論理方式にくらべて、

1) 余分の D type flip flop を必要とし.

2) 余分の信号値に検出器を必要とする

ことなどがあろう。

本報告では述べなかったが、非同期組み合わせ論理回路構成上問題となるのは、信号の伝播速度の変動であって、これについてはさうに詳しく検討を行う必要がある。変数 x_0 , x_1 の間における信号の伝播速度が変化する場合について考える。いま変数 x_0 が変化して Δt 時間のうちに x_1 が変化するものとしよう。このとき x_0 は少くとも Δt 時間以上同一値をとり続けなければならない。したがって一般には x_0 も Δt 時間以上保持するようにあらかじめ設定するか、あるいは x_1 が到来したことを検知して、1つ前の段の論理回路の出力信号を変化させるようにする。これについては非同期情報伝送の分野⁵⁾で一部検討されている。時間成分を信号値の変化の中から抽出して前段から送出される信号、または前段論理回路を制御するように構成するのが一般的な方法である。しかるに変数 x がある値 x_j をとつたときと別のある値 x_k をとつたときに伝播速度が違ふことがある。変数の数が多いときには、複雑化し動作となり、一段毎に時間成分の抽出器をつけた方がよいのか、あるいはある程度段数をまとめて時間成分を抽出した回路によって制御を行うようにした方がよいのか、簡単には

答が出たのであうり。今後の問題の一つであると思われる。

6 参考文献

- 1) H. Mine, T. Hasegawa and Y. Koga "Asynchronous Transmission Schemes for Digital Information". IEEE Trans. on Comm. Tech. Vol. COM-18, No. 5, Oct. 1970 PP. 562-568.
- 2) 富永 英義. 時間領域に制限をもつ符号とその再帰級数による表現. 電通学会論文誌 A Vol. 54. No. 4 April 1971 PP 201 ~ 208.
- 3) 高岡 忠雄. 多値論理に対するフェイルセーフシステムの構成. 電通学会論文誌 C Vol. 54-C. No. 1 Jan. 1971. PP 41 ~ 49.
- 4) 三根, 長谷川, 島田. 三進四則演算方式について. 電通学会論文誌 C. Vol. 54 C. No. 1 Jan. 1971. PP 66 ~ 73.
- 5) 三根, 長谷川, 古賀, 池田, 新谷. 三安定回路を用いたエラスティックメモリ. 電通学会通信方式研資 Sept. 29, 1966.
- 6) 三根, 長谷川, 島田. 三値 NAND 回路を用いた自動タイミング非同期論理回路とその二進加算器における効果. Sept. 1970. 電通学会論文誌 A. Vol. 53. No. 9. PP 652 ~ 659.