

サイクリックデジタルデータ伝送方式

Cyclic Digital Data Transmission System

谷中雅雄* 中野修一** 小林一彦**
Masao Yanaka Shūichi Nakano Kazuhiko Kobayashi

要 旨

自動給電用の情報伝送手段として開発したサイクリックデジタルデータ伝送方式は一般用としても使用することができる。特に本方式は送受信の同期方法と誤り検出に特長がある。前者としてはフレーム同期方式を採用し、フレーム単位で独立に同期できる。また後者としてはパリティチェックと反転2連送照合によりワードごとに誤りを検出し、 10^{-10} 以下の誤り見逃し率を得ている。

1. 緒 言

データ伝送またはデータ通信はテレタイプ技術の発展として生まれたために事務の機械化の分野 (IDP または EDP システムなど) では数多く応用されており、1,200 ボー以下の領域では完成した技術と考えられる。このようにデータ伝送は事務計算と関係が深いため、電子計算機による情報処理システムとも密接な関係を持つといえる。

一方電子計算機は工業用の自動制御システムにも採用されつつあるが、ここでは本質的にオンライン・リアルタイム性が重要視され、制御対象との情報伝送手段にもいわゆるテレメータ、テレコントロールおよびスーパービジョンなどの方式が要求されている。

今回、電気学会の通信専門委員会の技術報告⁽¹⁾として「サイクリック・デジタル情報伝送装置仕様基準」が発表されたが、テレメータ、テレコントロールおよびスーパービジョンの3方式を統合し、完全なデジタル化を図っているなど、計算制御システム用の情報伝送方式として一歩前進したものである。これは電力事業のオートメーションとしての自動給電用データ伝送をおもな目的としているため、ほかの産業用には多少の変形が必要であろう。

筆者らはデジタルテレメータは情報伝送としてより広い立場で検討すべきであるとの考えから、工業用のデータ伝送方式の検討を進めてきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。大部分の検討結果は上記技術報告に含まれているが、制御用として特異な点もあるので、その基本的な考え方について述べ、関係者の参考に供したいと考える。

2. 伝送するデータの特質

サイクリックデジタル伝送システムで伝送するデータはいわゆる事務の機械化としての IDP システムで取り扱うデータとは性質が異なる。IDP のデータは文字、数字および記号が順序をもって集められ、メッセージ、電文あるいはテキストなどといわれる単位で情報源から発生し、個々のデータが独立した価値を持っている。

これに対し本伝送システムのデータは IDP のデータとは異なって、一つの情報源から発生し時間的に変化する連続量の一連のサンプルである。したがってデータの価値は時系列として存在し、個々には不十分な情報しか含まれていない。前者を「事務データ」、後者を「計測データ」と呼ぶことにする。

計測データの中には、事務データと類似した性質のデータが混在する場合がある。たとえば、情報源側にある程度のデータ処理能力があって、処理した結果を伝送する場合である。また、機器の状態を示すデータはサンプルではあっても連続量とは言いがたい。

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所大みか工場

表1 事務データと計測データの特長

	始めの形	内 容	許 容 遅 れ	誤り検出後の処理	1データ当たりのビット長
事務データ	文字、記号、数字の系列 (順序を乱さない)	○ 文 字 ○ 数 字 ○ 記 号 ○ 制御符号	順序が狂わなければ数十秒までの遅れも可	再送して訂正または誤りを表示して出力	文字、数字、記号および制御符号がすべて5~8ビットで統一されている
計測データ	計測量、機器の状態などの時間的サンプル	○ 数 値 ○ 状 態 ○ 注釈符号	変動しない遅れならば数百ms、そうでなければ数msまで	棄却または訂正 (時間的に余裕がないので再送訂正困難)	数値: 10~14ビット 状態: 10~14ビット を群とする 注釈符号: 2~8ビット

これらのデータの特長をまとめてみると表1のようになる。両者の性質の大きな違いは、事務データは既に送り側で書類、テープ、そのほかに記録されているもの、あるいは人間のように柔軟性に富んだものから発生する情報であるので、伝送装置が伝送タイミングを決定できるのに対し、計測データは物理的現象として発生したデータを次の現象が発生するまでの短時間に伝送しなければならないので、伝送装置が伝送の主導権を持っていないことにある。

一般的に言って事務データではデータのビット数が多く、発生ひん度が低い。計測データではたかだか10~20ビットが1データであるがひん度は非常に高い。また一つのシステム内において情報源を区別するために必要なビット数(アドレスということにする)とデータビット数との関係であるが、事務データではアドレスよりデータのほうが圧倒的に多い。しかし計測データでは数値データでさえアドレスより少し長いくらいであり、状態データではまったく逆転する。

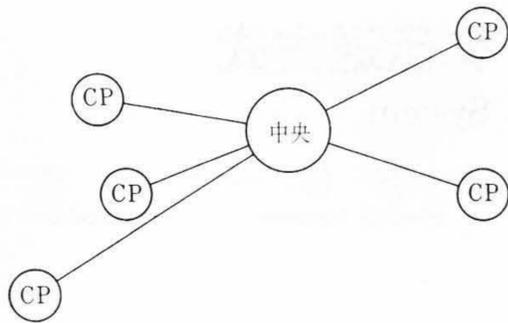
3. 通 信 方 式

3.1 伝送システム構成

サイクリック伝送システムは上位の制御システムの情報伝送用サブシステムであるので、その制御システムの構成によって伝送システムの構成が大きく変えられる。一般的には図1に示すような構成となり、基本的には同図内に示したような「C-構成」と「H-構成」とに分けられる。

電力システムを例にとれば、C-構成は局部的なもの、たとえばある水系に属する発電所群などに適しており、H-構成は電気所から中央給電指令所への全系統的な制御に適合している。しかし、実際にはC-構成は局部的にしか使用されておらず、ほとんどの場合H-構成が採用されている。

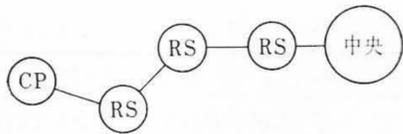
C-構成またはH-構成において両方向のデータの流が考えられるが、両者の間に「会話」のような密接な関係はない。したがって、単向通信方式を基本とすべきである。



(a) H-構成

中央：データ交換装置，データ集配装置，伝送制御装置などがあり，上位システムと接続する。

CP：端末であり，伝送制御装置があり被制御装置と接続する。



(b) C-構成

中央：(a)に同じ

CP：(a)に同じ

RS：中継端末であり，中継と同時に自己の情報もその伝送フレームにそう入する。

図1 伝送システム構成

3.2 伝送信号方式

サイクリック伝送では，直送回線が用いられることはほとんどなく，ほとんどの場合搬送回線を経由して伝送される。またデジタル伝送のみであるので伝送回線は「デジタルチャンネル」として考えられ，変復調方式は任意のものでよい。

しかし，伝送回線としては，CCITTの勧告および現実に使用されているものから考えて，200，600，1,200ビット/秒および2,400ビット/秒のいずれかを選ぶのが妥当であろう。200ビット/秒より低い回線ももちろん使用できるが伝送時間から考えて，時分割多重化されることはほとんどないので除外して考える。

1ビットエレメントの伝送にはNRZ，RZ，長短およびバイポーラなどの多数の方式があるが，伝送効率をもっとも良いNRZ等長符号方式を採用する。

数年前までは同期のとりやすい長短パルス方式が多く用いられていたが，制御システムからの多数情報の高速伝送の要求と電子回路

技術の進歩によりNRZ方式に付随した問題がなくなったのでNRZ方式が採用されるようになった。またPCM電話伝送のようにパルス波形を直接線路へ流す場合には周波数成分の広がりを制限する必要からバイポーラが用いられているが，搬送回線を用いる場合にはその必要はない。

3.3 伝送フレーム構成

伝送効率をあげるために，時分割多重方式が採用される。図2は典型的なフレーム構成を示したものであるが，PCM多重電話通信とデータ伝送との中間的なフレーム構成となっている。

もっとも小さい単位がビットであり，nビットでワードを構成し，データNoワードと同期符号1ワードでフレームを構成する。Fフレームでサイクルを構成し，この単位で繰返し伝送する。この繰返し伝送のためにサイクリック伝送といわれる。

ここでいうワードは時分割チャンネルを意味し，フレームは同期をとるための補助的な区切りである。サイクル内の同一位置のワードでは同一情報源からの一連のサンプルを送るのを原則とする。

ワードは“データビット”，“注釈ビット”および“冗長ビット”によって構成される。注釈はデータに含めて考えられることもあるが，冗長ビットはまったく異質であり，誤り検定方式によって大幅に変化する。データビットは計測データそのものであり，注釈ビットはアドレスおよび“試験中”，“検出器異常”などのフラグである。

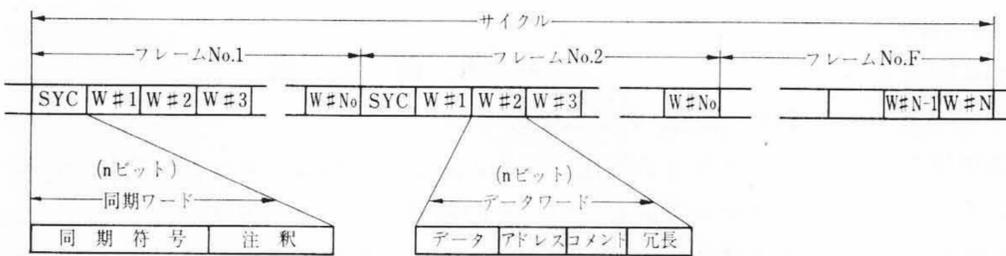
フレーム構成によって伝送効率に変化するが，図2の構成の場合フレーム長がある程度長ければ効率は冗長ビットのみに依存すると考えてよい。図3に伝送効率とフレーム構成との関係を示す。1フレーム内のワード数が10を越えれば伝送効率は一定値すなわちワード構成における有効ビットの割合に近づく。

4. 同期方式

4.1 フレーム構成との関係

サイクリックデジタル伝送が確実にこなされるためには，ビット，ワード，フレームおよびサイクルの4段階のすべてについて送受両端局が同期しなければならぬ。図2のフレーム構成において，F，N，nが一定値に固定されていれば同期は容易である。

しかし，応用面から考えると，情報源の種類はすべて同種ということはないから，同一のサンプリング周期で送るためには多少の犠牲も生まれる。したがって伝送データ数の増減に追従してフレーム長を伸縮できるほうが望ましい。すべての単位を可変にすると同期が困難であるので，nはすべてのワードに対して一定とし，Nにも上限を設けサイクル内の最終フレームのみ可変とし，ほかは上限値



(a) 伝送フレーム構成

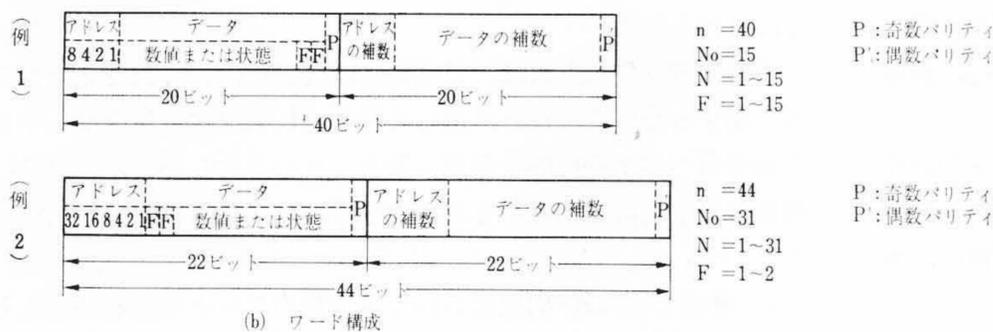


図2 伝送フレーム構成

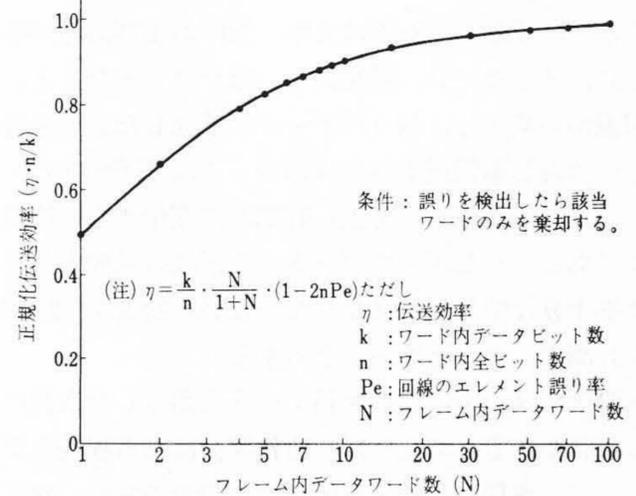


図3 フレーム構成と伝送効率

$$\left(\begin{array}{l} n=40 \\ Pe=10^{-4} \end{array} \right)$$

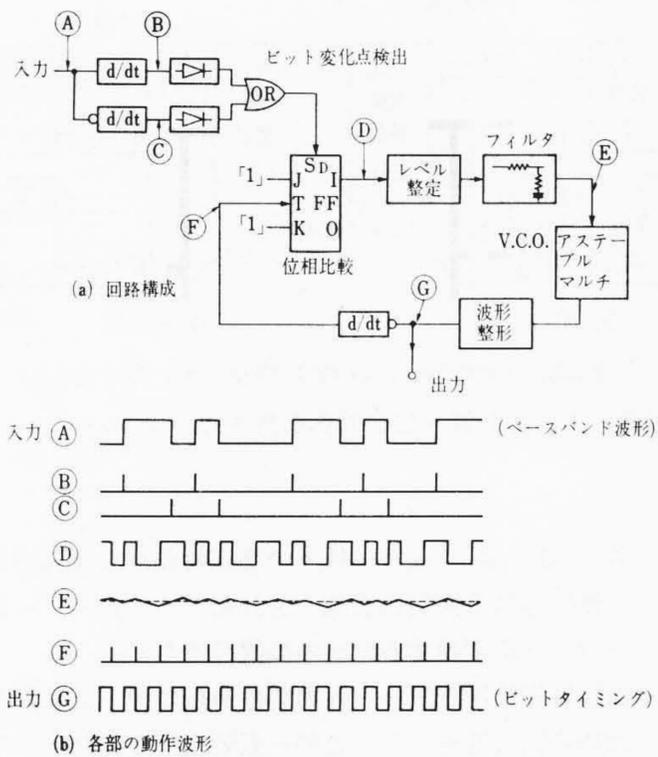


図4 位相制御発振器を用いたビット同期方式

(No)とする。この条件を加えることによってワード、フレームおよびサイクルの同期が容易となる。

4.2 ビット同期方式

伝送回線をデジタルチャンネルとして考えるにはビット同期が確実になければならない。また、ワードまたはフレームのような上位の同期とは独立にとれることが望ましい。2,400ビット/秒の4位相変復調装置ならばビットタイミングは変復調装置が再生するが、1,200ビット/秒以下の周波数偏移変調(FSK)方式では伝送制御装置側で作成し、再生しなければならない。

本伝送システムでは主として1,200ビット/秒以下のFSKの変復調装置によるNRZ等長符号を採用している。パルス幅変調のようにビット同期情報が明白に含まれている方式とは異なったビット同期方法が必要である。またPCM伝送の場合に用いられる「1」、「0」の出現をランダム過程とし、その出現確率を2分の1と仮定して行なう方法も直接には採用できない。なぜならば計測データでは、一定値が長時間続くことがあるので、ランダム過程であると仮定することはできないからである。

しかし、誤り検出のための冗長ビットとして、「1ワード内の1、0の出現確率が2分の1」となるようなものを選べば、ワード内に少なくとも一つの変化点が保証される。したがって非常にQの高い発振器(たとえば位相制御発振器など)があれば、特別な同期ビットがなくてもビット同期をとることができる⁽⁶⁾。図4はそのような回路の例である。これはアナログ的に制御を行なうものであるが完全なデジタル化も可能である。

ワードまたはフレーム単位の調歩同期方式もあるが、同期符号の正しい検出が条件となる。

4.3 フレーム/サイクル同期方式

ワード、フレーム、サイクルのいずれにも同期ビットを付加しないで全部の同期をとることは困難である。前節で述べたようにビット同期が確実にとれているときには、あとは1サイクルまたは1フレームに1個の同期符号を付加してそれを確実に検出し、ビット数を計数すればワードの同期もとれる。同期符号のそう入周期は同期がはずれたときの回復時間に影響するので伝送効率をあまり低下させない程度で短いほうがよい(図2参照)。

サイクルの同期はフレーム数Fの大小によって異なった方法が考えられる。まずFが小さいときには、ワード内のアドレスを1サイクル内の最大ワード数(F×N)を区別できるビット数を選んで置けば

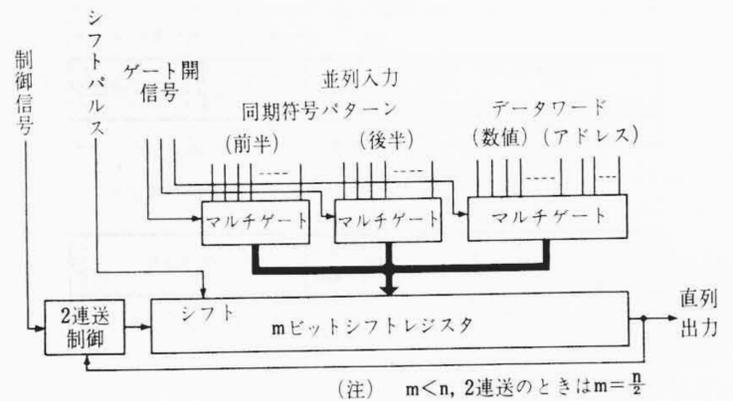


図5 シフトレジスタによる並列—直列変換回路

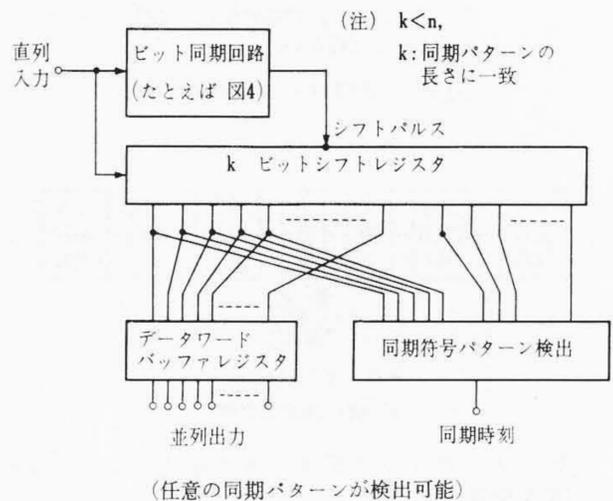


図6 シフトレジスタを用いた直列—並列変換回路

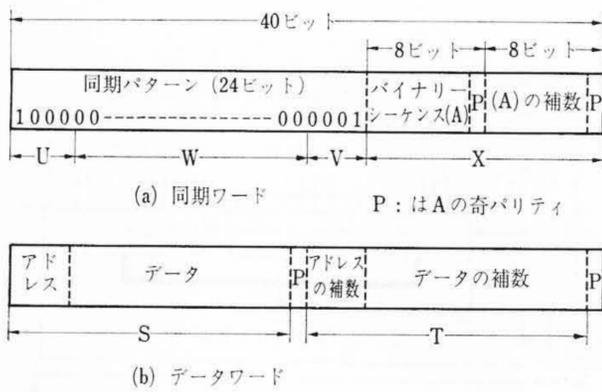
フレームとワードの同期がとれ、サイクルの同期もとれる。したがって同期パターンは単純なものでよい。Fが大きくなると上記のような方法ではアドレスビット数が増大するため伝送効率が低下するので、同期符号のパターンをフレームごとに変更してフレーム間の分離を行なう。このときワード内アドレスはNワードを区別できるビット数でよいが、同期パターンはデータワードと容易に区別でき、かつサイクル内のフレーム分離の情報を持たせられるものでなければならない。

4.4 同期符号パターンとその検出

同期符号として1ワードを使用すると2ⁿの組合せのパターンが存在する。どのようなパターンとすべきかは①作成方法、②検出方法、③検出誤りの確率および④検出不能の確率などについての検討によって決められる。

作成方法については、伝送制御装置内の並列直列変換回路を図5のように構成することによって、任意のパターンの作成が容易に行なわれる。検出方法については同期符号が長いマークまたは長いスペースであれば積分回路(時間を測定すると考える)が使用でき、ビット同期などとは独立に検出できる。一方、前述のようにビット同期が同期符号とは独立にとれていれば、任意のパターンがシフトレジスタなどによって検出できる。たとえば図6の回路を用いればnビットの任意の組合せを同期符号とすることができる。したがって、同期符号パターンの決定にあたっては誤同期と同期不能の確率を小さくすることのみを条件として考えればよい。

誤同期を防ぐためには、データワードの中には発生しないパターンを選ぶのがよい。データの中には10~14ビットのバイナリシーケンスが含まれているのでそれよりも長い系列が必要である。そしてデータワードに加えられているパリティビット、アドレスビットおよび反転2連送などの性質を利用することによってデータとのハミ



注：1. $T = \overline{S}$ であるが $V \neq \overline{U}$ & $X \neq \overline{W}$
 ∴ 同期ワードとデータワードの分離が可能。
 2. 多数のワードが時系列を作るときは
 $T_i \neq S_{i+1}$
 であるが、アドレスは all zero となることはない。しかし W は all zero であるので、 T_i と S_{i+1} の境界付近に同期パターンができることはない。

図7 同期ワード構成の例

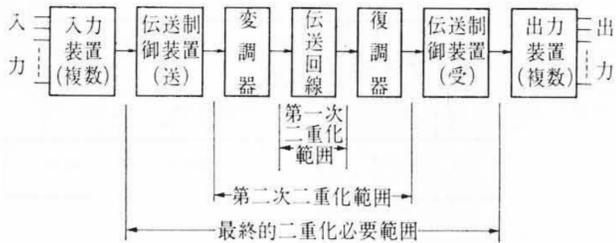


図8 サイクリックデジタル伝送システムの構成要素

ング距離を遠くできる。その例⁽³⁾は図7に示すとおりである。

同期不能を防ぐためには種々の方法が考えられるが、1フレーム位の同期不能の影響はシステムにとって安全側であるのでそれほど問題ではない。したがって、連続的に同期不能となることが防止されていればよい。結局は同期符号の検出は1フレームごとに独立に行なわれなければならない。PCM伝送方式で使用されている複数のフレームの同期符号の相関をとる方法は、いったん同期がはずれると回復までに時間がかかり、同期不能の時間が長くなる。特に計測データのように1, 0の出現にランダム性が仮定できないときには採用困難である。

4.5 伝送誤りの検出および制御方式

データ伝送の品質は装置の動作品質よりも悪く、通常回線で伝送エレメントは $10^{-4} \sim 10^{-6}$ の確率で誤って受信される。ところが工業応用のデジタル伝送では 10^{-10} 以下の値が要求される。

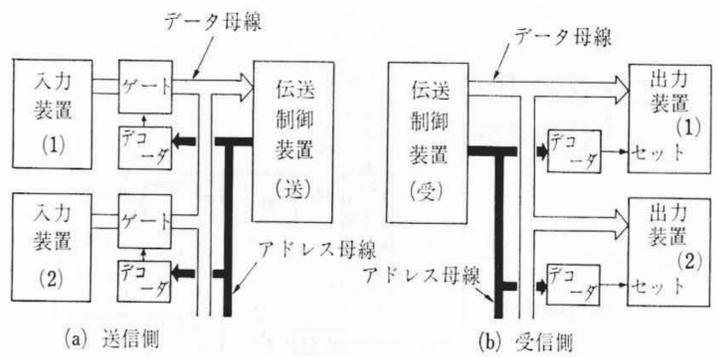
伝送品質を高めるために送出側で伝送方法に冗長性を付与して送出し、受信側でその性質を検出することによって伝送中の誤りを見出し、そのデータの棄却、再送あるいは警報などの処置をとる。

サイクリックデジタル伝送ではワード内で同一データを反転して2回送り、その一致を検定する「反転2連送照合」と、各回のデータについて「パリティ検定」とを行なっている。両方の検定によってデータの誤りを見逃す確率はエレメント誤り率の2乗以上に改善され、ほぼ $10^{-10} \sim 10^{-12}$ の値が得られる。

誤り検定にはそのほか数多くの方法があり、上の2方式は決して最良ではないが、装置の構成が簡単であることと実績があるため用いられている。しかし、サイクリックコード⁽⁷⁾などを用いた実験例が増加しているため、近い将来工業用にも用いられるようになるであろう。

5. システムの構成

サイクリックデジタル伝送システムは図8の要素によって構成



(変調器から復調器までは CCITT の勧告に従うべきであろう)

図9 入出力装置と伝送制御装置とのインターフェイス

される。

- (1) 入力装置……種々の測定対象からまちまちの形式で検出される測定値を統一されたデジタルデータのフォーマットに変換するための装置群である。
- (2) 伝送制御装置(送)……入力装置からのデータに誤り検出のための冗長性を与え、並列一直列変換を行ない、そして時分割多重化のための切換制御を行なう。
- (3) 変調器……伝送制御装置からのベースバンド波形を音声周波に変換して伝送回線に渡す。
- (4) 伝送回線……応用分野によって異なり、電話回線、マイクロ波搬送回線、電力線搬送回線、無線あるいは有線搬送回線(VHFあるいはUHF)および直送ケーブルなどほとんどすべての伝送路が用いられる。
- (5) 復調器……変調された信号を復調してベースバンド波形とし、伝送制御装置に直列信号として渡す。
- (6) 伝送制御装置(受)……直列一直列変換、冗長性検定による誤り検出とその処置および伝送同期を行なう。
- (7) 出力装置……伝送系で用いる統一されたデータフォーマットからそのデータを必要とする装置に適した形に変換する。

より複雑な伝送系にはデータ集配装置⁽⁴⁾が必要である。

これらの構成要素間の接続条件は規格を統一するのが望ましい。

図9はインターフェイスの例である。伝送制御装置と入出力装置とは入出力装置の増減が容易なように信号母線方式が適している。

情報授受はワード単位とし、電気的レベルは同一架内であればIC直接でよいが、数メートル～数十メートル離れる場合は10~12Vのレベルにすべきである。

6. 計算制御システムとの接続

サイクリックデジタル情報伝送システムは、上位の情報処理システム(計算制御システム)の中にあって神経の役目を果たすサブシステムである。従来このような情報伝送手段には郵便、電話などあるいはテレコントロール、テレメータおよびスーパーバイゾリなどの各装置が用いられている。これらはいずれも情報処理装置とオフラインで接続されるが、サイクリック伝送が用いられるようなシステムでは端末および中央側ともにオンラインで結合されなければならない。

中央側において計算機とサイクリックデジタル伝送システムとを結合するには、①データ交換、②データリダクション、③伝送多重制御、④伝送速度変換などを行なう専用装置が必要である⁽⁴⁾。それはまず伝送システムが複雑な構成となるときに交換が必要であり、計算機はサンプリング計測データを処理するのに適していないので、多数の伝送制御装置と直接結合されると非常に多くの能力を消費してしまう。そのために計算機に必要なデータのみを必要な時に渡す専用装置が必要となる。さらに、中央に存在する入出力装置の数

が多くなるとIC化されたとは言え、その占有スペースは大きなものとなるので多重制御する装置が必要となる。

伝送システムの回線数が少なく情報のトラフィックが少ない場合には特別の装置を用いずに制御装置(電子計算機システム)の余力で伝送制御まで行なうことができる。これは個々の計算機システムの問題として解決されている。

7. 結 言

計算制御システムを遠隔制御にまで拡張するために必要な情報伝送方式として、サイクリックデジタルデータ伝送方式の概要を述べた。テレメータ、テレコントロールおよびスーパービジョンなどが統一された一つの方式によって達成でき、計算機との結合もより容易となった。

特にオンライン・リアルタイム性が重視されるため、伝送方式で

も同期および誤り検定に対してじゅうぶんに考慮されている。

本方式は電気学会技術報告によって一応まとめられ、仕様基準が完成したが、将来伝送速度の高速化、回路素子のLSI化および事務用情報処理システムと制御用情報処理システムとの統合化が進めば、当然改訂が必要になると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 通信専門委員会：電気学会技術報告 第91号(昭44-8)
- (2) 谷中：昭和42年電気四学会連合大会論文集 No. 2547
- (3) 岩田，小林：日立評論 51, 808(昭44-9)
- (4) 谷中：日立評論 50, 289(昭43-4)
- (5) 通信学会編：データ通信 第6章(昭42-2)
- (6) 谷中：昭和43年電子通信学会全国大会論文集 No. 1032
- (7) W. W. Peterson: Error correcting codes John Wiley & Sons (1961)

第 32 卷

日

立

第 3 号

目

次

- ・グラフ / OSAKA 万国博開幕目前の大阪
 - ・解説 / 雪の十日町の水道を守る
 - ・ルポ / 伝統工芸・黒田辰秋
 - ・特集 / エレクトロニクス
- グラフ解説：最先端を行くIC技術

最近の動向とその応用範囲

- ・ハイライト / 大量輸出される空調設備
- ・P R コ ー ナ ー
- ・ホ ー ム サ イ エ ン ス

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101
振替口座 東京20018番

Vol. 52

日 立 評 論

No. 4

目

次

■論 文

- ・制御用角のばらつきによる交流側異常高調波の検討
- ・川鉄化学株式会社水島工場納ベンゼン製造用水素精製装置
- ・大形B. W. R. 原子力発電所における放射性廃棄物処理設備の計画
- ・最近の日立空気しゃ断器
- ・大容量高性能DH形遠心圧縮機
- ・燃料としての都市ごみ

- ・高性能ガンタイプバーナの開発
- ・HITAC 8000 用 1600 BPI 磁気テープ装置
- ・レーザーによる人工衛星測距
- ・超高圧ケーブルの実負荷試験

■軽水動力炉の安全評価特集

- ・反応度事故評価のためのパルス炉実験とその解析
- ・軽水動力炉冷却喪失事故時の安全解析に関する研究
- ・活性炭フィルタの放射性ヨウ素除去性能
- ・しゃへい貫通部の放射線漏えいに関する実験解析

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101
振替口座 東京20018番