

分散制御に適した工業用データウェイ方式の提案

中塚茂雄

那須昭吾

松本正弘

(三菱電機株式会社)

1. まえがき

発電機、鉄鋼、上下水道処理プラントなどにおいて、データウェイが用いられるようになって久しい。このデータウェイが出現した当初は、センサ、コントローラ、プロセス入出力装置あるいは制御用電子計算機相互間を結ぶ膨大な配線の問題を解決することに主眼が置かれていた。そのために初期のデータウェイは、同軸ケーブルもしくは対より線によるループ状線路と、高速ベースバンド伝送および時分割多重伝送技術を用いて、これらの機器を相互接続する線減少技術としての意義が大きかった。

一方、工業用プロセス制御システムが、情報処理システムと結びついて、総合システムへ発展するにつれて、データウェイは線減少技術からネットワーク技術へ脱皮することとなった。また、制御の階層化による分散処理やネットワークアーキテクチャにおける階層構成の考え方の導入〔1〕、光通信の実用化、LSIおよびマイクロプロセッサ利用によるファームウェア技術の進歩などとあいまって、データウェイは、種々の工業用システムへ適用可能な汎用性を持つようになってきた。

本報告では、分散配置された制御用計算機のデータメモリ領域と、プロセス入出力制御装置を、システムの共有資源とみなし、通信プロトコルをファームウェアで実行することにより、分散形ダイレクトデジタル制御(D³C)に適した高効率通信を実現する工業用データウェイMDWS-60について提案する。

以下、第2章では、工業用データウ

ェイにおける分散処理と具備すべき条件を、第3章では、データウェイの設計方針について、第4章では、システムの構成と通信方式について論じる。

2. 工業用プロセス制御システムとデータウェイ

工業用プロセス制御システム(ICS)を、分散処理の観点から眺めると次の様な特徴がある。

ICSは、図1に示すように、上位計算機が経営や生産管理機能を、制御用親計算機がプロセスの運転管理を、子計算機がプロセスのシーケンス制御や連続制御機能を持つなど、階層構造をとることが多い。

プロセス制御システム設計者の立場からは、データウェイに対して次の様な配慮が必要である。

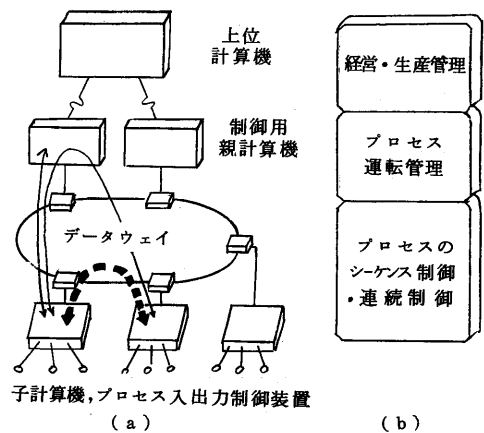


図1. 工業用データウェイを用いたプロセス制御システム

- (i) 高いアベイラビリティ
- (ii) 高信頼なデータ転送
- (iii) リアルタイム制御向き通信メカニズム
- (iv) オンラインテスト／故障診断機能

(iii)については、イベントに対してリアルタイムレスポンスの高い通信を実現し、通信にかかわるプログラムの単純明確化が望まれる。

発電所計装鉄鋼圧延制御システムなどにおいては、データウェイに接続する親計算機は、通常は主にプラントの状態監視を行っており、子計算機は、ダイレクトデジタル制御(DDC)のために用いられる。このDDCにおいて、制御の高度化を計るには、プラント入出力機器を100ミリ秒あるいはそれ以下の周期で制御する必要がある。そのためには、子計算機は、親計算機から指令を受ける毎に制御シーケンスを実行するのではなく、子計算機が自律的に、親計算機または他の子計算機をアクセスし、あるいはプロセス入出力装置からステータス情報を入手し、制御シーケンスを独立して実行できるようにする。つまり、ICSの下位制御層において、機能分散制御方式を採用し、一つの子計算機から他の子計算機またはプロセス入出力制御装置に対して、データウェイを介するリードおよびライト動作を、従来のように親計算機のソフトウェアを介さずに行う。すなわち、図1(a)の破線矢印に示すような、データメモリ間での直接転送により、データ転送のレスポンスタイムを向上させることが必要である。

3. MDWS-60 の設計方針

3.1 メモリ共有の概念

制御用計算機のプロセスに属するデ

ータ転送用メモリ領域およびプロセス入出力制御装置にあるデータのアクセスを、どの制御用計算機からも、あたかも自分自身のメモリにあるデータをアクセスするようにして、制御構造の簡易化と転送性能の向上を狙う。

ここで対象とするデータ転送用メモリ領域は、そのメモリが属する計算機にあるアプリケーションプロセスの直接作業領域として使用されるものである。プロセス入出力制御装置については、そのプロセス入出力部の各々をメモリの1語に相当するものとする。

MDWS-60では、図2に示すように、計算機に属する主記憶のデータ領域と、プロセス入出力装置を、データウェイに所属する共有資源とし、仮想的なファイルであるとみなすことによって、実デバイスの違いを解消し、仮想的に均質な通信空間を形成する。その環境の下で、制御用計算機から他の制御用計算機のプロセス入出力装置やプロセス入出力機器とのデータ転送を、自分に所属する入出力デバイスとの入出力と同等にするため、ディレクトリを指定し、通信装置のファームウェアの働きにより、仮想ファイルのアクセスを行うものとする。したがって、ア

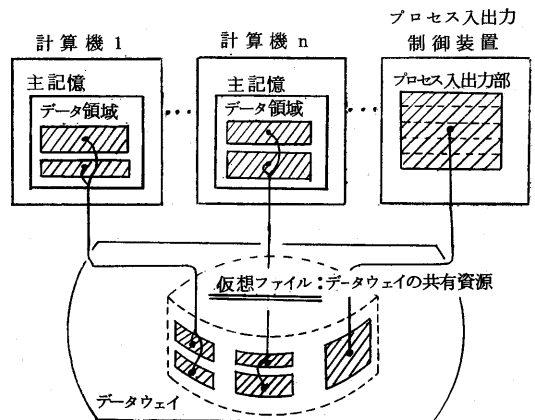


図2. メモリ共有の概念

アプリケーションプロセスは、相手プロセスのデータ領域と、直接にデータを送受できるため、通信に要するプログラムは大幅に簡略化できる。

3.2 インタフェース方式

従来、データウェイの通信装置と計算機間のチャンネルは1個で、また、通信装置相互間の通信リンクも各々1個である場合が多かった。そのため、複数の論理パスを実現するために、制御用計算機内の通信プログラムにより多重化と分離を行っていた。従って、このプログラムオーバヘッドのため、データ転送の遅延時間（レスポンスタイム）が長く、クリティカルリアルタイム処理に耐えられないとか、制御用計算機が通信処理に処理能力を消費するために、システムの性能が上がらないという欠点があった。

これらを改善するために、次に述べるインタフェース方式を採用することとした。

計算機の入出力サブチャンネルと、ファームウェアが管理する通信のための論理チャンネルとを1対1に対応させる。さらにアプリケーションプロセスと入出力サブチャンネルを1対1に対応させることにより、ソフトウェア介入なしにアプリケーションプロセスと論理チャンネルの1対1対応を実現する〔8〕。

データウェイに接続される計算機とプロセス入出力制御装置は、それぞれ固有の物理インタフェースを有しているが、これを通信装置のファームウェアにより論理的に統一化されたインタフェースに変換する。ここでは次のインタフェースを対象とした。

- D M A チャンネル
- M P X チャンネル
- プロセス入出力制御装置インタフェース

3.3 通信機能のファームウェア化

この種のシステムは、従来は図3(a)に示すように、通信機能が、計算機内のソフトウェアにより作られていたが、ここでは、それを同図(b)のように、計算機外部に設けた通信装置のファームウェアに持たせた。それにより、通信機能と処理機能を分化し、通信処理時間の短縮と、計算機の処理負荷を大幅に削減して、システム全体の制御能力を向上させようとしている。

通信制御装置は、マイクロプロセッサ、通信用および周辺用 L S I を使用し、チャンネル機能とプロトコル機能用に2個の汎用マイクロプロセッサを、通信回路制御用に1個の入出力プロセッサを持つマルチマイクロプロセッサ構成とすることにより、高性能化、高信頼化、小形化および低価格化を狙った。

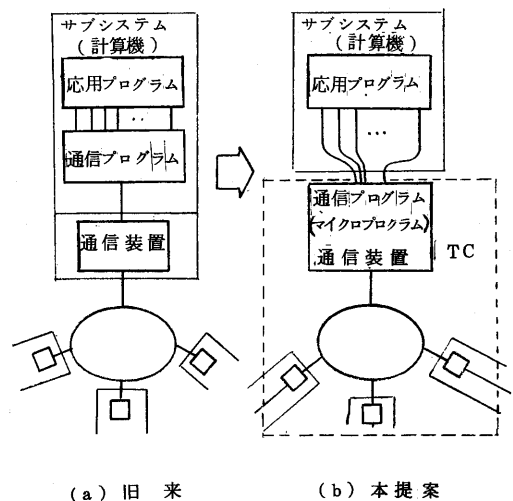


図3. 通信機能のファームウェア化

4. MDWS-60の構成と通信方式

今までに述べた検討を踏まえて、開発したデータウェイシステムMDWS-60の構成と通信方式について述べる。

4.1 構成

MDWS-60の構成例を図4に示す。このデータウェイは次の要素からなる。

(1) 光ファイバ伝送路

光ファイバは二重化され、伝送速度は15.36Mbpsである。

(2) ループカプラLCP

光ファイバ伝送路のアクセス制御と、ループバック、バイパスなどの切替制御を行う。内部の回路は二重化されている。

本データウェイのループ上の信号形式は図5に示すようにビット多重方式を採用している。

(3) ターミナルコントローラTC

LCPと計算機もしくはプロセス入出力制御装置とのインターフェースを行う装置であり、LSI・マイクロプロセッサを用いて通信プロトコルを実行する。

(4) ループコントローラLCT

データウェイの監視、伝送路の切替制御、同期タイムスロットの管理を行う装置である。ループ上に予備機を置き二重化が可能である。

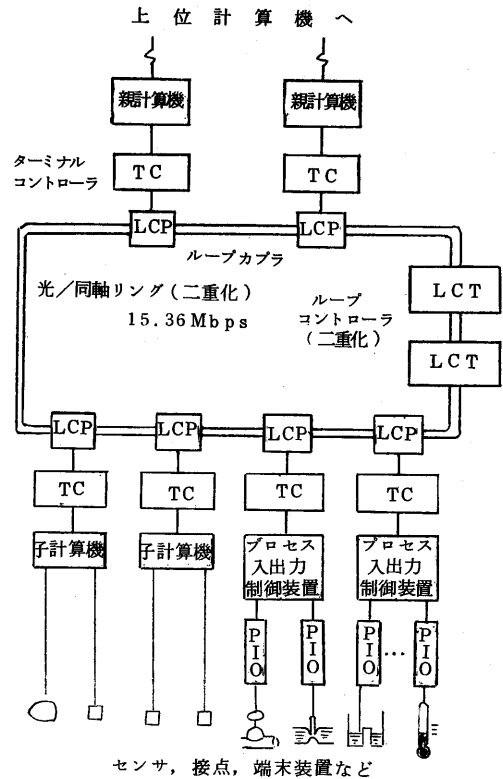


図4. データウェイMDWS-60の構成図

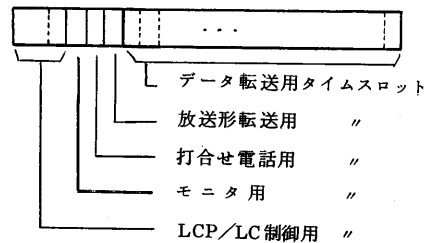


図5. 伝送フレーム形式

4.2 通信方式

このデータウェイにおいては次の3種のデータ転送がある。

- ファイル転送
- メッセージ転送
- 放送形転送

(1) ファイル転送

ファイル転送は、主にプロセスの制御情報を転送するために用いられる。ファイル転送要求を受けたTCのファームウェアは、相手のTCとの間の接続を確認してその後データを転送する。READ/WRITEオーダを出したプロセスは、転送相手プロセスのプログラム走行を全く伴わずに、データを転送することができる。ディレクトリは、各々のTCに存在し、そのTCに接続された子計算機からのロードまたは親計算機からのダウンラインロードにより初期設定される。各計算機毎に64個のファイルを持つことが出来、そのうちの1つのファイルは上記ディレクトリであってTCに、他の63個はデータメモリ内に含まれる。

ファイル転送には、次の2種がある。

- コンティニュアスアクセス
- サンプリングアクセス

コンティニュアスアクセスは、図6に示すように、ファイル内の連続する領域のアクセスである。アクセスに当って発呼プロセスは、ディレクトリ指定情報として、ファイル番号、先頭レコード番号、相対アドレスと転送数を用意する。

サンプリングアクセスは、図7に示すように、離散しているレコードのワードデータを複数収集するアクセスである。アクセスに当って、レコード番

号のリストと相対アドレスを発呼プロセスが用意する。プロセス入出力部のように、計算機によりワード情報で制御される機器とのデータ転送は、サンプリングアクセスにより行われる。

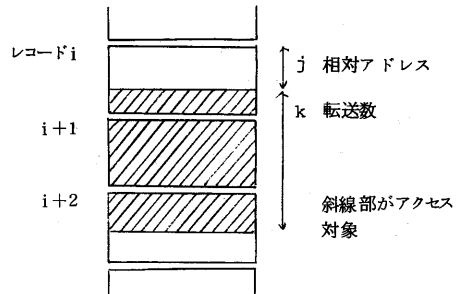


図6. コンティニュアスアクセス

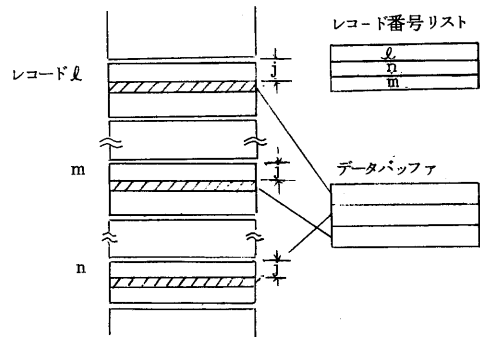


図7. サンプリングアクセス

ファイル転送（コンティニュアスアクセス）を、図8を用いて説明する。

発呼側のアプリケーションプロセスが、READを発すると、TCはディレクトリ指定情報を、計算機のメモリからフェッチしてきて、着呼側TCへ送付する。このときTCにおけるリンク割当ては、マイクロプロセッサにより行われる。着呼側TCは、ディレクトリ指定情報を受け取ると、ディレクトリを参照して、該当ファイルの位置を計算し、メモリサイクルスチールに

より、データを、データ領域から読み出し、発呼側TCへ転送する。発呼側TCはこのデータを受信し、計算機のデータバッファへ転送し終了報告を行う。

(2) メッセージ転送

メッセージ転送は、CRT表示装置へ表示するプロセス管理情報などの長大データの転送に用いられる。着呼側プロセスにおいても、プログラムが通信のために、サブチャネルを使用し、オーダーを発行する点が、ファイル転送と異っている。

メッセージ転送は、接続、データ転送および切断の各フェーズからなる。データ転送フェーズは、さらに、データ転送を要求するREADオーダーとWRITEオーダーの整合を行うサブフェーズと、実際にデータを転送するサブフェーズからなる。

データ転送フェーズにおいては、プロセス双方が、READ/WRITEを連続して出す事により長大データの転送も可能である。

以下、メッセージ転送シーケンスの例を図9を用いて説明する。

発呼側計算機から出された接続要求オーダーは、サブチャネルを介して、TCへ入る。TCは、空きリンクを割り当て、着呼側のTCへコネクトリクエストメッセージを送る。着呼側TCは、サブチャネル#0を介して、接続要求割込を計算機へ通知する。従って計算機は、該当するプロセスへ割込情報を与えるので、そのプロセスはサブチャネル#mを用いて、接続応答オーダーを返す。このオーダーは発呼側計算機へ伝えられ接続完了報告が行われる。以上で接続フェーズが完了する。

データ転送フェーズにおけるデータ転送はランデブメカニズムを用いている。つまり発呼側、着呼側双方からREADおよびWRITEオーダーが出されるが、データ転送を行うのに先立ってこのオーダーが正しい組合せであることの確認が必要である。そのために、READまたはWRITEオーダーは着呼側TCへ送られ転送条件の整合性が検査される。整合条件が整ったならば、双方のTCのファームウェア処理により、着呼側のアプリケーションプロセスのバッファから発呼側プロセスのバッファへ、プログラムの介在なしにデー

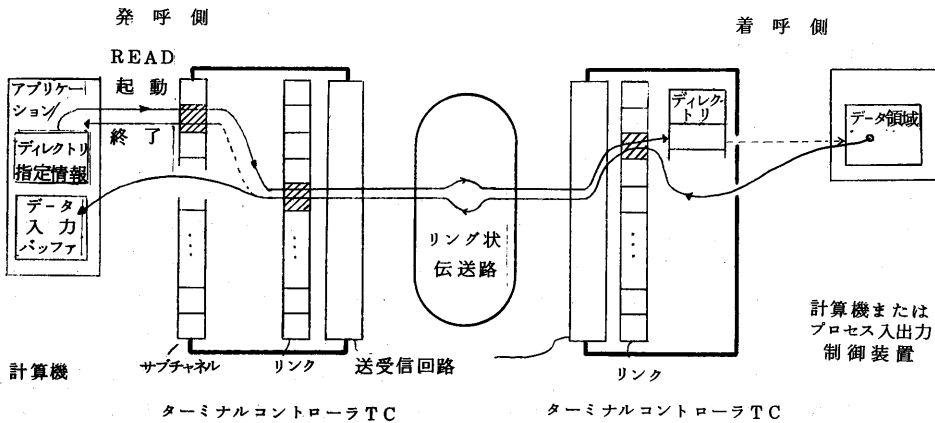


図8. ファイル転送シーケンス (コンティニューアスリードの場合)

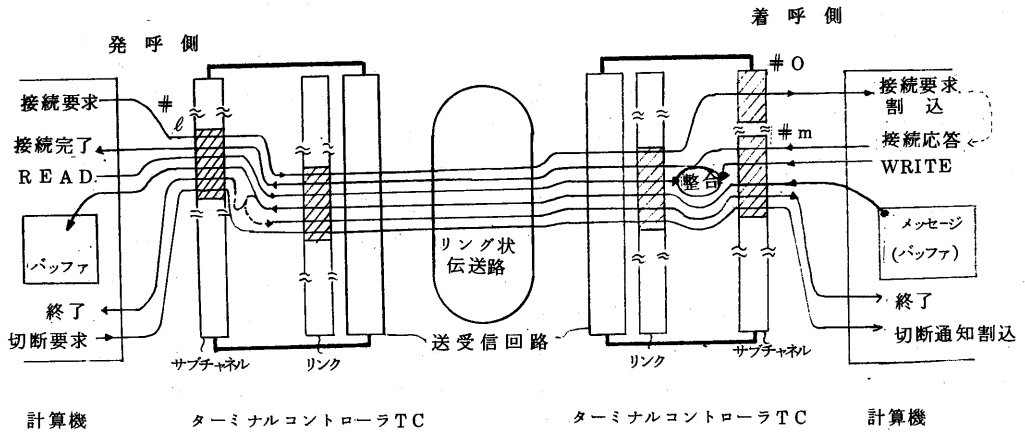


図 9. メッセージ転送シーケンス (リードの場合)

タが直接転送される。データ転送の終了は、双方のアプリケーションプロセスへ完了報告の形で通知される。

リンクの切断は、発呼側からの切断要求により TC 間のリンクを切断し、着呼側へ切断通知割込を渡すことにより完了する。

(3) 放送形転送

放送形転送では、一時期に唯一のステーションが放送源となり、他の総てのステーションヘデータを放送する。一般に ICS の周期的制御を実行するには、テレメータのように、信号を周期的に転送し、各制御装置の方でそれらの信号のうちで必要なものだけを使用することで用が足りる場合も多い。また、今までに述べたファイル転送およびメッセージ転送では、転送要求から転送完了までの遅れ時間にばらつきが生じるため、制御周期の正確さが要求される ICS のデータウェイにおいては放送形転送が必要である。LCT が各 TC を周期的にポーリングして送信権の制御を行い、放送源の唯一性を維持する。送信権を得た TC が、自分の持つ放送用データをデータウェイへ送出し、他の総ての TC はこれを受信

する。

以上の通信を行うために、各 TC は送受信回路を 2 組有しており、一方をファイルおよびメッセージ転送に、他方を放送形転送に用いて、放送形転送の周期性を確保している。

5. まとめ

以上、本報告では、工業用データウェイ MDWS-60 の設計方針とその構成と通信方式について述べた。

以下、本データウェイ設計の主眼点についてまとめる。

- (1) 制御用計算機のデータメモリ領域とプロセス入出力制御装置をデータウェイの共有資源とし、ネットワークの仮想ファイルと見なす概念を導入した。これにより、実デバイスの相違を解消し、仮想的に均質な通信空間を形成した。
- (2) ファイル転送機能または放送形転送機能を用いたプロセス制御情報の転送と、メッセージ転送機能を用いたプロセス管理情報の転送により、工業用プロセ

ス制御にマッチした通信を提供し、DDCレベルの制御の高速化を計った。

(3) プロセスが、データの転送要求が生じた時点で、ファームウェアへ通信要求を出すのみで通信できるため、プログラムの制御構造が簡単になった。

(4) 制御用計算機の通信処理負荷を軽減する事を狙った。そのために、従来計算機内で行われた通信処理を、外部接続するマイクロプログラム装置に負担させ、通信のレスポンスタイムを短縮し、計算機本来の制御能力を生かせるようにした。

(5) ファームウェア、LSIを用いてハードウェアの小形化と低廉化を計り、また複数種存在する物理インタフェースを論理的に統一化した。

謝 辞

おわりに、本システムの開発に当って制指導を頂いた三菱電機・コンピュータシステム製作所の関係者諸氏ならびに本報告作成に当って有益な助言を頂いた情報電子研究所石坂グループマネージャに謝意を表する。

参考文献

- [1] 'Process Data Highway (PROWAY) for Distributed Process Control Systems. Part 1 : General Description and Functional Requirments' IEC TC 65 SC65A Sep.1980
- [2] K.H. Degenhardt et al. 'Distributed Control and Data Processing with a Modified Real-Time Operating System'-Real Time Data Handling and Process Control,1980 PP 536-566
- [3] 八星禮剛他「データハイウェイシステムの動向」-情報処理 Vol.21No8 PP.872-879
- [4] 吉田 進「コンピュータ関連」電子通信学会誌 Vol.63 No.11 PP.1139-1144
- [5] 松本吉弘「データウェイの現状」電子通信学会誌 Vol.64 No.3 PP.262-264
- [6] 杉山 卓他「計測と制御における分散システム」-電子通信学会誌 Vol.64 No.4.PP.388-395
- [7] 村木克己他「MELCOM 350-50 工業用計算機における分散システムの構成技術」-三菱電機技報 Vol.55. No.11. PP.748-751
- [8] 池田克夫他「GAMMA-NET:光ファイバ・リングバスによる複合計算機システム」電子通信学会技術研究報告 EC 81-71 1982.2