

# 高性能 I/O インタフェースケーブル延長方式†

松永俊雄<sup>††</sup> 魚住栄市<sup>††</sup>

ここ20年来、大型機の I/O インタフェースは応答確認プロトコルを採用している。近年、チャンネルレベルの I/O インタフェースを経由しての機器接続に対し、機器レイアウトに対する自由度の拡大、分散配置への対応などの要望が高まっている。これらに対処するには、チャンネルレベル I/O インタフェースを経由した計算機間の遠隔接続が必要となる。遠隔接続の主な問題点は、データキューや伝送時間遅れなどである。本論文では、プロトコルの仕様とケーブル長がデータ転送能力に及ぼす影響を及ぼすかを定量的に評価し、その評価結果にもとづき、ケーブル長の長大化と高性能化を両立する I/O インタフェースプロトコルを提案し、併せてその評価結果について述べる。

## 1. ま え が き

近年、中大型コンピュータシステムにおいて、機器レイアウトの自由度の拡大、システムの分散配置などをねらいとして、チャンネルの I/O インタフェースを介した周辺装置のリモート接続、隣接システム間の高速通信などのニーズが高まっている。

ところで、主要な中大型コンピュータシステムにおけるチャンネルレベルの I/O インタフェースの制御方式は、ここ20年以上、インタロック方式であり、データ転送はビットパラレル転送である（以下  $I_P$  方式と略す）。この方式は、いわゆる非同期方式であり、時間依存性が少ないため、扱える性能に限界はあるものの、その許容範囲であれば、I/O の性能に関係なく確実に情報転送ができるメリットがある。

しかし、 $I_P$  方式では、各信号の送受にはチャンネルと I/O 間のケーブル上の信号伝播遅延時間が加わるため、I/O インタフェースの転送能力は、ケーブル長に左右される。このため、現在の主要なコンピュータにおけるチャンネルレベルの I/O インタフェースの転送能力は、ケーブル長 120 m 程度で、約 4 MByte/s 前後が限界である。

現在の多くのシステムでは、 $I_P$  方式の仕様にもとづく本体装置ならびに I/O が導入されていることを考慮し、それとの互換性維持を前提に、本論文では、チャンネルレベルの I/O インタフェースを介しての本体装置と I/O 間およびコンピュータ相互間のリモート接続の必要性と実現にあたっての問題点を論じる。その上で、通信回線を利用した延長方式と光ファイバケーブ

ルを利用した構内適用の I/O インタフェースケーブル延長方式とに分け、実用化した高性能型 I/O インタフェースケーブル延長方式について、既存の延長方式と比較し、その評価結果について述べる。

なお、本論文で使用する略語の意味を表 1 に示す。

## 2. リモート接続のニーズと問題点

### 2.1 ニーズ

チャンネルレベルの I/O インタフェースを介してのリモート接続の必要性は、主に、次のようなシステムの信頼性確保、システム設置フロアの柔軟な設計の実現などの理由から高まっている。

#### (1) 災害対策

##### ●分散配置

本体装置やファイル装置等の情報処理装置を1つの建物内の別フロアや隣接の建物への分散配置により火災等からのシステム全体の停止の防止。

##### ●相互バックアップ

情報処理センタを例えば、東京と大阪に分散配置することによる地震等の災害への対処。

##### ●バックアップ・センタ

複数センタに対する共通的な予備システムの実現による災害への対処。

#### (2) フロア設計の緩和・移行スペースの確保

限られたフロアスペースでの本体装置と I/O の分離設置、機器増設などに対する I/O インタフェースケーブル長制限の緩和、システム更改時の移行先本体装置の別フロア配置などへの対応。

#### (3) 複数システムの集中運転

近隣地区に配置された複数システムの集中運転制御用コンピュータの接続。

さらに、近年の大都市の地価高騰にともなう都市ビ

† High Performance I/O Interface Cable Length Extended System by TOSHIO MATSUNAGA and EIICHI UOZUMI (NTT Communications and Information Processing Laboratories).

†† NTT 情報通信処理研究所

ルフロア使用の回避なども、リモート接続の必要性を高めている。

## 2.2 実現上の問題点

2.1 節に示したリモート接続のニーズを満足するにあたっての前提および性能に関する条件は以下のとおりとする。

### 【前提条件】

- (a) 既存のソフトウェアに影響を与えない。
- (b) 既存の周辺装置をそのまま接続できる。

これらの条件を満足するためには、チャンネル (CH) 側、I/O 側それぞれにおいて既存の  $I_P$  方式のインタフェースを保存する必要がある。

### 【性能条件】

- (a) スループットの低下がないこと。
- (b) ケーブル長は km オーダであること。

既存の  $I_P$  方式においては、性能に関するこれらの2条件は背反の関係にある。

このような前提条件および性能条件を満足するリモート接続を実現する場合の問題点は次の3つである。

1つは、ビットパラレル転送の  $I_P$  方式のまま、ケーブル長を延長すると、信号間のスキュー、アース電位、雑音などの影響によりデータの確実な送受が不可能になる (問題点①)。その限界は、現在の主要なインタフェース仕様によれば、4.5 MByte/s で、120m 程度である。

これらの問題を解決して、ケーブル長を長大化する方法として、ビットシリアル信号に変換して転送する方式がある。しかし、2番目の問題としては、CH および I/O のそれぞれで  $I_P$  方式を保存しておくことが前提になるため、ケーブル長の長大化にともなう信号伝播遅延時間が性能低下をまねくことになり、I/O インタフェースの応答確認のための回数を削減する必要がある (問題点②)。

3番目の問題は、ケーブル延長を実現する回線等の障害による信頼性低下であり、回復処理、異常報告処理が必要となる (問題点③)。

表 1 略語説明

Table 1 Meaning of abbreviations.

略語	略語の意味
CH	チャンネル
I/O	I/Oインタフェース
CH I/O	チャンネルレベル I/Oインタフェース
$I_P$	ビットパラレル転送
$I_S$	ビットシリアル転送
CH I/S	チャンネルレベル I/Oインタフェースケーブル延長方式
CHA	チャンネルアダプタ
IOA	I/Oアダプタ
DSU	端局装置
REP	回線中継器
OCH	光チャンネル
ORC	光リモートチャンネル
DKC	磁気ディスク記憶制御装置
DKU	磁気ディスク記憶装置
ADR	アドレス
OPI	Operational In 信号
CMD	コマンド
DSB	デバイス・ステータス・バイト
DATA	データ
$n_i(x)$	i 番目のデータブロック x: ブロック長
RET	コマンド再試行要求
T	コマンド処理時間
$V_{CH}$	チャンネル転送速度
$V_L$	回線伝送速度
$V_{I/O}$	I/O転送速度
$L_{CH}$	チャンネル側インタフェースケーブル長
$L_L$	回線長
$L_{I/O}$	I/O側インタフェースケーブル長
$T_{AO}$	CHからのアドレスを回線に送出するまでの時間
$T_{OP}$	I/Oからの応答を回線に送出するまでの時間
$T_{CM}$	CHからのコマンドを回線に送出するまでの時間
$T_{IS}$	I/Oからの初期ステータスを回線に送出するまでの時間
$T_{HO}$	CHからの先頭データを回線に送出するまでの時間
$T_{OL}$	回線へのデータ転送時間
$T_{EP}$	最終ブロックデータをI/Oに転送する時間
$T_{ES}$	I/Oからの終了ステータスを回線に送出するまでの時間
$T_L$	CHAからIOAまでの片道回線遅延時間
$T_I$	提案方式の初期起動時間
$P_T$	スループット (単位時間当たりのコマンド処理件数; 性能限界)
$\rho_{CH}$	チャンネル使用率
B	転送データ長
$T_{DS}$	端局装置 (DSU) 1台当たりの遅延時間
$T_{RE}$	回線中継装置1台当たりの遅延時間
D	単位回線長当たりの伝播遅延時間
$T_{CV}$	磁気ディスク記憶装置の記憶媒体の1回転時間
$T_{CC}$	コマンドチェイン時間
$T_W$	コマンドチェイン処理競合による待ち時間
$T_C$	コマンドチェイン処理回路の平均処理時間
$\rho_C$	コマンドチェイン処理回路の使用率
$V_O$	光ファイバケーブル伝送速度
$T_{AC}$	コマンドチェイン起動からI/Oにコマンドが到着するまで時間
$T_D$	コマンドチェイン時の先頭データ到着までの時間
$T_{OT}$	先頭データ転送時間
$B_{L1}$	データを除く制御フレーム長 (38 B)
$B_{L2}$	制御データ長 (3 B)
N	符号化係数 (8 B I/O B 符号: 10/8)
a	データのブロッキング長 (B)

## 3. リモート接続の実現形態と既存方式

2.1 節に示したニーズに対する実現形態として、図 1 に示すような形態が考えられる。

(形態1)<sup>1),2)</sup>

$I_P$  方式の CH と I/O との間に、I/O インタフェースケーブル延長用アダプタを設置し、CH とアダプタ (CHA) 間および I/O とアダプタ (IOA) 間は  $I_P$  方式のインタフェースとし、アダプタ間は通信回線を介

したビットシリアル転送方式(以下  $I_s$  方式と略す)とする。

(形態2)<sup>3),6)</sup>

CHA と IOA 間の接続に光ファイバケーブルを利用するほかは〔形態1〕と同じである。

(形態3)<sup>7),8)</sup>

CH は、 $I_s$  方式のインタフェースにより、光ファイバケーブルを介してアダプタ(ORC)を接続し、ORC を I/O に近接配置して  $I_P$  方式のインタフェースにより接続する。

すでに実用化されているアダプタ方式は、いずれも〔形態2〕で以下の2方式がある。

(方式A)

$I_P$ 方式のインタフェースプロトコル信号を一定周期でサンプリングしてビットシリアル信号にして送信し、受信側でシリアル信号を並列  $I_P$  方式のインタフェース信号に変換する。

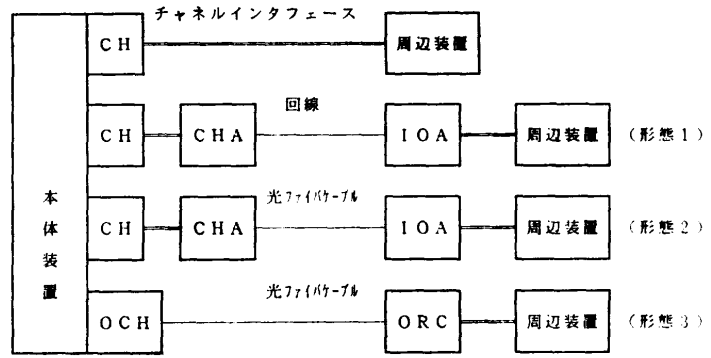
(方式B)

起動、報告のシーケンスは、上記の(方式A)と同じであるが、データ転送シーケンスでは、WRITE 動作の場合、I/O からの応答を待たずにデータを取引きし、READ 動作の場合、I/O 側のアダプタでデータをバッファリングして一定周期で転送する。

これらの2方式は、いずれも前提の2条件を満足するが、性能面では以下のような問題がある。

(方式A)では、信号間のスキューなど信号伝送上の問題については解決できるが、データ転送は  $I_P$  方式の基本である応答確認を起動、報告、データ転送のすべてのシーケンスで活かしているため、信号伝播遅延時間が、そのまま性能低下に結びつくことになる。すなわち、2.2 節の問題点①しか解決していないことになる。

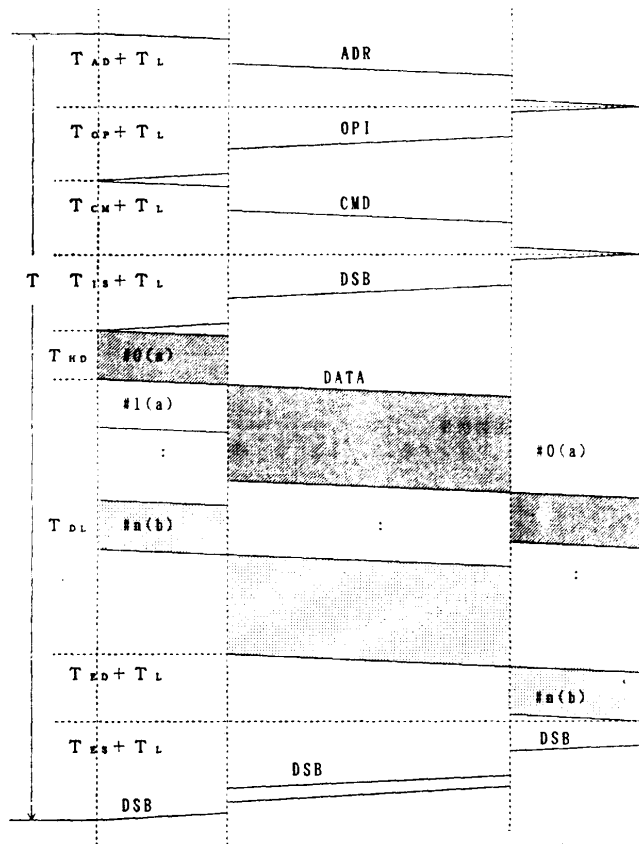
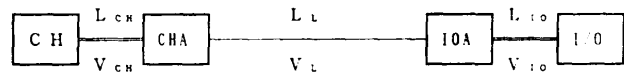
(方式B)では、データ転送は先取り方式により、同期転送になるため、ケーブル長長大化による信号伝播遅延の影響は軽減できるが、起動、報



(注) 略語の意味は表1参照

図1 リモート接続の実現形態

Fig. 1 Configurations of remote channels.



(注) 略語の意味は表1を参照

図2 入出力動作シーケンス(既存方式)

Fig. 2 Conventional remote channel operation.

告シーケンスにおいては信号伝播遅延の問題が残り、コマンドチェーン時間などがクリティカルになる磁気

ディスク装置などの I/O には適用できない。すなわち、データ転送シーケンスの部分に関してのみ 2.2 節の問題点②の対策を施したものである。

#### 4. 高性能型 I/O インタフェースケーブル延長方式<sup>1)</sup>

CH と I/O の間にアダプタを介在させる高性能型 I/O インタフェースケーブル延長の実現方法を、既存方式と比較して、その特徴について述べる。

既存方式の入出力動作シーケンスを図 2 に示す。この方式では、CH から I/O へのアドレス送出に対する I/O からの応答、CH からのコマンド送出に対する I/O からのステータス報告および転送終了後のステータス報告の 3 回の応答確認を行っている。

##### 4.1 高性能化方法<sup>2)</sup>

ここで提案する高性能型 I/O インタフェースケーブル延長方式では、報告シーケンスのみの 1 回の確認により高性能化を図っている。CH および I/O に近接設置されるアダプタで以下のように独立に実行する。

(1) CH に付加するアダプタ (CHA) は、CH からの起動 I/O アドレスをそのまま I/O からの応答アドレスとして即答する。また、CH からのコマンドに

対して、CHA は起動成功のステータスを報告し、WRITE 時は CH からデータを取ります。CHA は、アドレス、コマンド、およびデータをビットシリアル化し、別途定めるフォーマット (表 2 参照) により、I/O に付加したアダプタ (IOA) に転送する。

(2) IOA は、CHA からの情報をもとに I/O との間で起動・転送シーケンスを実行し、アドレス、コマンド、データを I/O へ転送、あるいは I/O からのデータ、ステータス情報を CHA へ転送する。また、I/O からの非同期割り込みに対しては、CH からの応答を待たずに受け付ける。

本提案方式では①I/O の無応答、②ショートビジーシーケンス、③イミディエイト動作が CH に見えなくなる問題がある。また、④起動と非同期割り込みの衝突、⑤選択的リセット前に I/O 側の動作が完了する問題がある。①~③の問題については、IOA からの起動実行に対する I/O からの正規の応答があった時点で、既に CH に報告したステータス (00) と異なる場合、コマンド再試行を要求し、これによって正規の応答を報告する。また④の問題については、I/O からの非同期割り込みを使用中ビットを付加したものを起動時の報告とすることにより割り込みの喪失を回避する。⑤

表 2 フレーム方式とノンフレーム方式のフォーマット比較  
Table 2 Format comparison between Frame method and Non-Frame method.

項目	ノンフレーム方式	フレーム方式 (FDDI) *
制御情報 コマンド等		
データ		

\* FDDI (Fiber Distributed Data Interface)  
 DL: 制御情報用デリミタ (パイオレーション符号)  
 DT: データ転送用デリミタ (パイオレーション符号)  
 C: 制御情報  
 AD: デバイスアドレス  
 CD: 制御情報 (コマンド, ステータス等)  
 INFO: 情報部分

の問題は、IOA から I/O に再起動して確実に選択的リセットを行う。したがって、本方式により正常動作以外の状態報告に時間遅れは生ずるが、既存の異常処理のいずれかに落とし込むことにより従来方式と同様の信頼度を維持できる。

この方式によって、既存方式ではコマンド当たり3回必要であったCHAとIOAとの間の応答確認のための信号往復回数を、起動シーケンス、転送シーケンス、報告シーケンス合わせて1回に減少できる。

図3に、本方式の入出力動作シーケンスを示す。

4.2 異常処理方法

(1) 回線異常処理方法

ビット誤り、バーストエラー、瞬断等の回線障害についてはHDLC手順に準じた再送方式により対処している。なお、ソフトでタイムアウトが検出される前にハードでの異常検出を行うため、再送回数と再送間隔の積がソフトウェア監視時間以内となるようにする。また、再試行失敗の場合は、CHへの切離し要求およびI/Oへの選択的リセットにより対処する。

(2) I/O インタフェース異常処理方法

バスのパリティエラーについてはそのまま報告し、CHまたはI/O側で検出できるようにする。また、起動、報告時の異常シーケンスはCHへの切離し要求およびI/Oへの選択的リセットにより対処する。転送シーケンスの異常については積極的な報告は行わずソフトによるタイムアウト検出により処理する。

(3) CHA, IOA の異常処理方法

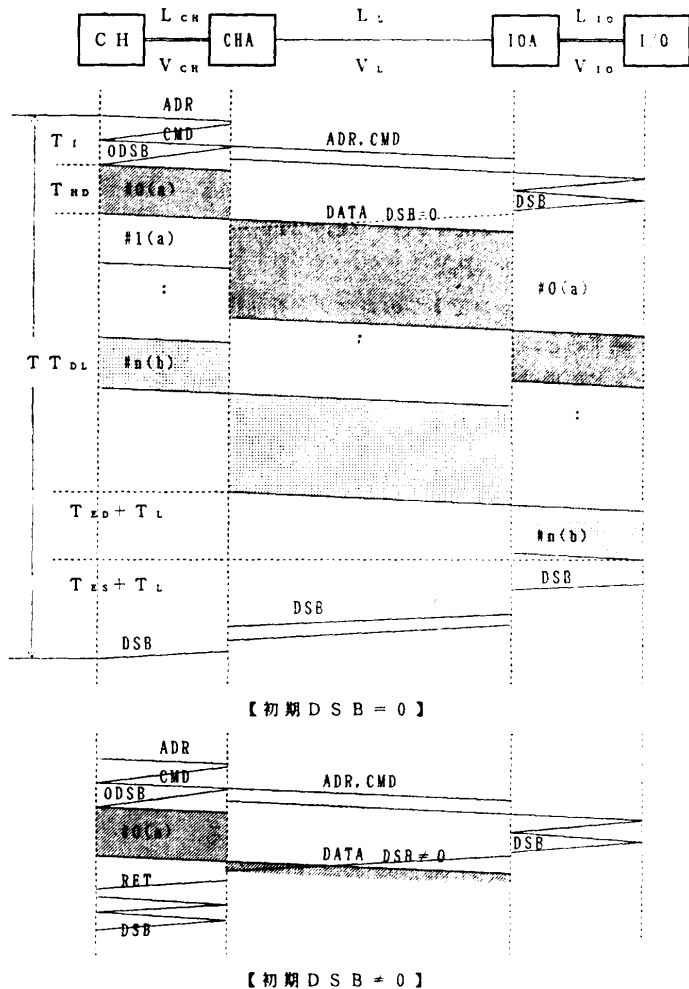
CHへの切離し要求およびI/Oへの選択的リセットにより対処する。

本方式を適用した延長方式を回線を介した場合(3章の形態1)と光ファイバケーブルを介した場合(3章の形態2)についての性能評価式を以下に示す。

4.3 性能評価式

(1) 回線を介した延長方式<sup>1),2)</sup>

回線を介した延長方式の対象になるのは、プリンタ



(注) RET: コマンド再試行要求  
その他の略語の意味は表1を参照

図3 入出力動作シーケンス (提案方式)  
Fig. 3 Proposed remote channel operation.

などの比較的低速でかつ動作時間に時間的な制約のないI/Oまたはチャネル対チャネル結合によるコンピュータ間接続である。

この場合の性能をスループットによって評価する。磁気ディスク装置などのように、記憶媒体の回転時間によって動作時間に制約のある場合には、(2)で後述する(以下略語は表1参照)。

1) 前提条件

回線上のデータはフレーム方式により転送されるものとする。転送速度は以下の関係にあるものとする。

$$V_{CH} > V_{IO} \cong V_L$$

2) コマンド処理時間 (T) の評価式

コマンド処理時間 (T) は、CHが起動を開始してか

ら I/O の終了報告が CH に報告されるまでの時間であり以下の式で表される。

① 既存方式 (図2 参照)

$$T = T_{AD} + T_{OP} + T_{CM} + T_{IS} + T_{HD} + T_{DL} + T_{ED} + T_{ES} + 6T_L$$

② 提案方式 (図3 参照)

$$T = T_I + T_{HD} + T_{DL} + T_{ED} + T_{ES} + 2T_L$$

3) スループット ( $P_T$ )

1 トランザクションで1つのコマンドを処理するものと定義すると、スループット (性能限界)  $P_T$  は前述のコマンド処理時間 ( $T$ ) および CH 使用率 ( $\rho_{CH}$ ) を用いて以下の式で表される。

$$P_T = \rho_{CH} / T$$

なお、コマンド処理時間 ( $T$ ) は回線遅延時間 ( $T_L$ )、転送データ長 ( $B$ ) および回線速度 ( $V_L$ ) に大きく依存するので、スループットもこれらに大きく依存する。

4) 回線遅延時間 ( $T_L$ )

$$T_L = 2T_{DS} + nT_{RE} + D \times L$$

ただし、 $n$  は中継器数

(2) 光ファイバケーブルを介した延長方式<sup>3),4)</sup>

光ファイバケーブルを介した延長方式の対象になるのは、低速 I/O、コンピュータ間結合はもとより、磁気ディスク装置などの高速 I/O も含めて考える。

磁気ディスク装置 (DKU) の場合は、記憶媒体の回転時間 ( $T_{cv}$ ) で決まる所要応答時間までに応答を返さないと、コマンドオーバーラン、データオーバーランなどが発生する。

1) コマンドチェーンとオーバーラン

CHA, IOA を介して DKU を接続した場合のコマンドチェーンシーケンスを図4に示す。ここでのオーバーランとは以下のとおりである。

a) コマンドオーバーラン

DKU は、CH からの次のコマンドが WRITE ポイントまでに到着しないと、コマンドオーバーランを検出する。コマンド到着までの時間は CH, CHA, IOA, DKC での処理時間と待ち時間の和で表される。したがって、コマンドオーバーランの確率はこの時間が DKU の WRI-

TE ポイントまでの時間を越える確率となる。

b) データオーバーラン

DKU は、CH からのデータが次のブロックのデータ書き込みまでに到着しないと、データオーバーランを検出する。データ到着までの時間は CH, CHA, IOA, DKC でのデータ転送時間と待ち時間の和で表される。したがって、データオーバーランの確率はこの時間がデータ書き込みまでの時間を越える確率となる。

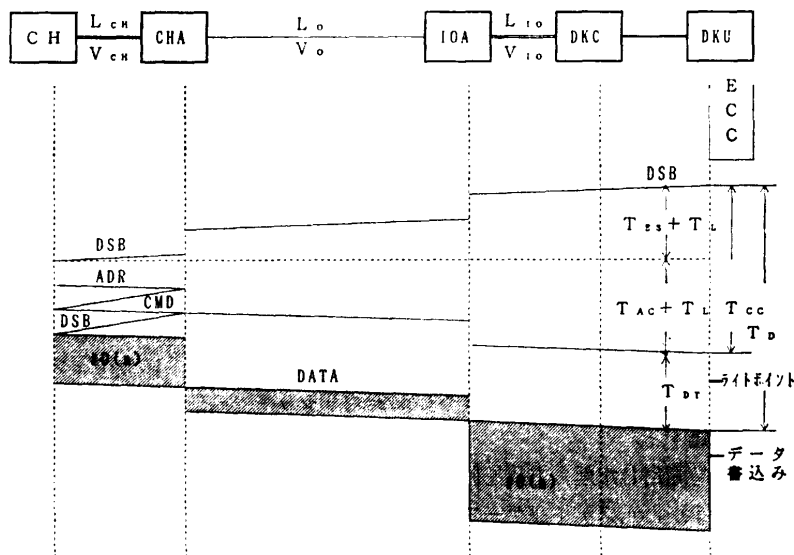
2) オーバランの確率とそれを小さくする方法

コマンドチェーン処理は CH, CHA, IOA, I/O において最優先に行われる。したがって、本体装置内の複数 CH 間でのコマンドチェーン処理競合による待ち時間 ( $T_w$ ) が WRITE ポイントまたはデータ書き込みまでの余裕時間を越える確率がコマンドオーバーランまたはデータオーバーランの確率となる。コマンドチェーン処理回路の使用率を  $\rho_c$ 、前記余裕時間を越えるコマンドチェーン処理回路での待ち行列の長さを  $N$  とすると、オーバーランの確率は、ほぼ以下の式で表される。

$$\rho_c^{N-1} (\rho_c \ll 1)$$

これらのコマンド/データオーバーランの確率を小さくするには、本体装置の待ち時間そのものを短縮することはできないのでコマンド処理時間を短縮する必要がある。以下にこの方法を提案する。

(方法1) シリアル信号を送信する場合のフレーム



(注) ECC: エラー検出訂正コード  
その他の略語の意味は表1を参照

図4 コマンドチェーンシーケンス  
Fig. 4 Command chaining operation.

化に要する時間を短縮する(ノンフレーム化).

〔方法2〕 IOA 側でコマンドチェーン起動をコマンド受信の直前まで事前に実行しておく.

以下に〔方法2〕を前提とした〔方法1〕のノンフレーム方式の効果をフレーム方式と比較して述べる.

3) フレーム方式とノンフレーム方式

① フレーム方式 (FDDI 形式)<sup>9)</sup>

制御情報用フレームとデータ転送用のフレームの2種類を設けフレームを組み立ててから回線に送信する. フレーム形式は FDDI の形式とする.

② ノンフレーム方式 (提案方式)

バイト単位の情報を符号変換 (8B10B 等) してバイト単位で情報を転送する. 制御情報とデータの区切りはバイオレーション符号を用いる. 各方式のフレームの比較を表2に示す.

4) オーバランの評価式

図4のコマンドチェーンシーケンスにおいて, CH 転送速度 ( $V_{CH}$ ), 光ファイバ伝送速度 ( $V_o$ ), および, I/O 転送速度 ( $V_{IO}$ ) は  $V_o > V_{CH} > V_{IO}$  の関係にあるものとする.

① コマンド到着までの時間 ( $T_{CC}$ )

$$T_{CC} = T_{ES} + T_{AC} + 2T_L$$

② データ到着までの時間 ( $T_D$ )

$$T_D = T_{CC} + T_{DT}$$

③ オーバランの確率

待ち時間  $T_w = (N-1)T_c$  となる確率は, 前述のとおり

$$\rho c^{N-1} \quad (\rho c \ll 1)$$

となる.

5) フレーム方式とノンフレーム方式の比較

フレーム方式とノンフレーム方式の差は, 回線上へのステータス, コマンド, ブロックデータの送信時間の差および CHA のデータブロック受信時間の差である. 表2のフォーマットより, ○をフレーム方式, ●をノンフレーム方式とすると,

① 回線へのステータス, コマンド送信時間

○  $(Bc_1 + 1)/V_o = 39/V_o$

●  $N_s(Bc_2 + 1)/V_o = 4N_s/V_o$

② 回線へのデータブロック送信時間

○  $(Bc_1 + a)/V_o$

●  $2N_s/V_o$

③ CHA のデータブロック受信時間

○  $a/V_{CH}$

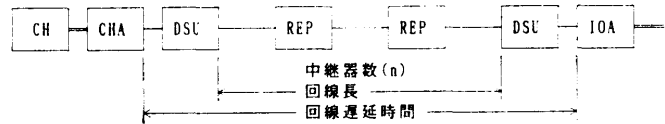
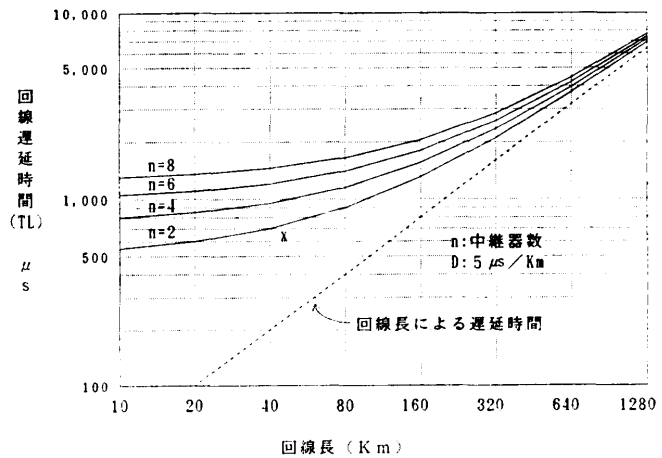
●  $1/V_{CH}$

5. 評価結果

5.1 回線を介した延長方式

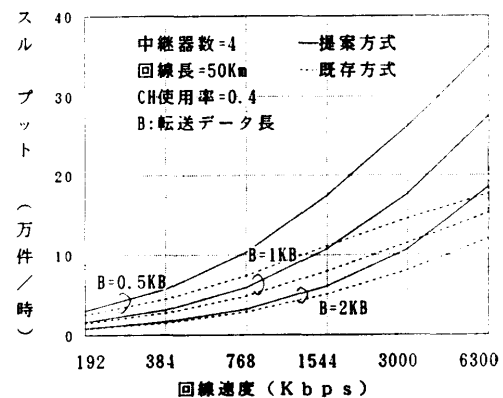
(1) 回線遅延時間

回線長, 中継器数の回線遅延時間への影響を図5に示す. DSU および多重化を行う中継器にはタイミン



(注) DSU: 端局装置 (遅延時間: 125  $\mu$ s/台)  
 REP: 中継器 (遅延時間: 125  $\mu$ s/台)  
 x: n=2 の場合の実測値  
 その他の略語の意味は表1を参照

図5 中継器数の回線遅延時間への影響  
 Fig. 5 Influence of repeater number for propagation delay time.



(注) 1 コマンドの処理を1トラヒックとする.

図6 回線速度から見たスループット  
 Fig. 6 Throughput comparison for digital line speeds.

グ調整用のバッファリングを行うため約 125  $\mu$ s 信号が遅延する。これは、回線長に換算して 25 km に相当する。実回線を使用する場合、少なくとも DSU 2 台と中継器 2 台の遅延時間を考慮する必要がある。したがって、回線長の短い領域では、DSU 遅延時間、中継器遅延時間が信号遅延の主要因となる。

(2) 回線速度から見たスループット (性能限界)

転送データ長をパラメータとした回線速度から見たスループットの比較を図 6 に示す。

提案方式は回線速度の高速の領域で既存方式の約 2 倍のスループットを確保できる。これは、提案方式がコマンド処理時間に占める回線遅延時間を 1/3 に削減

しているため相対的に回線速度依存部の割合が大きくなったためである。

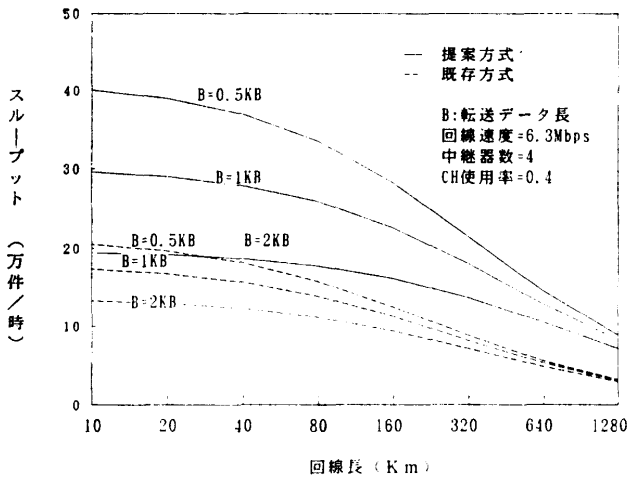
(3) 回線長から見たスループット

回線速度が 6.3 Mbps と高速な領域での転送データ長をパラメータとした回線長から見たスループットの比較を図 7 に示す。

提案方式は既存方式に比べ、回線長の短い領域で 1.5 倍~1.9 倍に、また、回線長の長い領域で 2.2 倍~2.6 倍にスループットを改善できることが分かる。これは、提案方式が CHA と IOA との間の応答確認回数を 1/3 に削減しているため、前述の回線遅延時間の影響が大幅に削減されたためである。

筆者らは、入出力装置のユーザサイトへの設置を狙いとして、本提案方式を採用した I/O インタフェースケーブル延長装置 (1.544 Mbps 高速デジタル回線を使用) を介した磁気テープ装置、漢字プリンタ、ラインプリンタ、コンソール、カードリーダー等の接続実験を行い正常動作を確認した。

この実績をもとに、回線障害等に対応する RAS 機能を付加し、6.3 Mbps 高速デジタル回線を介した I/O インタフェースケーブル延長装置を実用化した。本装置をシステムに組み込み 4.2 節に述べた種々の回線障害に対応した試験を実施し、システムに影響を与えることなく動作することを確認した。現在、商用システムの本体装置間結合装置の I/O インタフェースケーブルの延長に導入され、約 50 km 離れたプロセッサ間的高速転送用に用いられており、約 2 年間に 1 回、回線障害を検出したのみで、本方式に起因する障害は発生しておらず安定に動作してい



(注) 略語の意味は表 1 を参照

図 7 回線長から見たスループット

Fig. 7 Throughput comparison for line length.

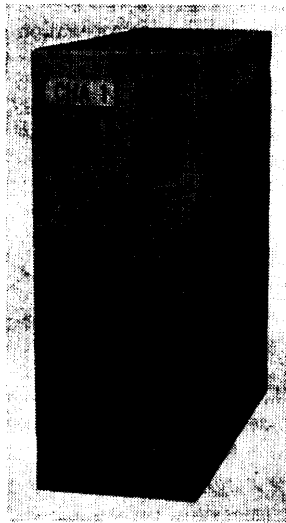
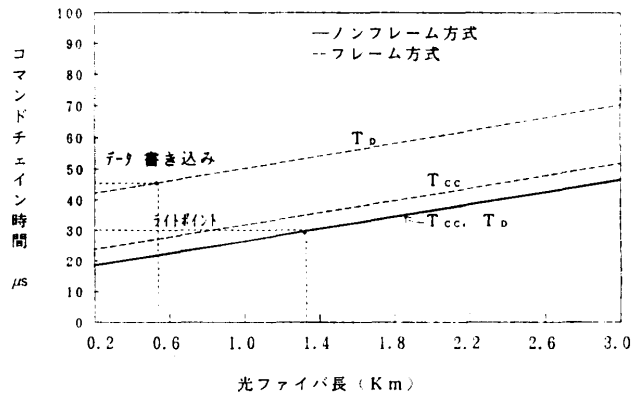


図 8 I/O インタフェース延長装置の外観  
Fig. 8 Channel interface cable extender.



(注) 略語の意味は表 1 を参照

図 9 ノンフレーム方式のコマンドチェイン時間

Fig. 9 Command chaining times of non-frame protocol.



る。図8に実用化したI/Oインタフェースケーブル延長装置の外観を示す。

5.2 光ファイバケーブルを介した延長方式

(1) コマンドチェーン時間と光ファイバケーブル長

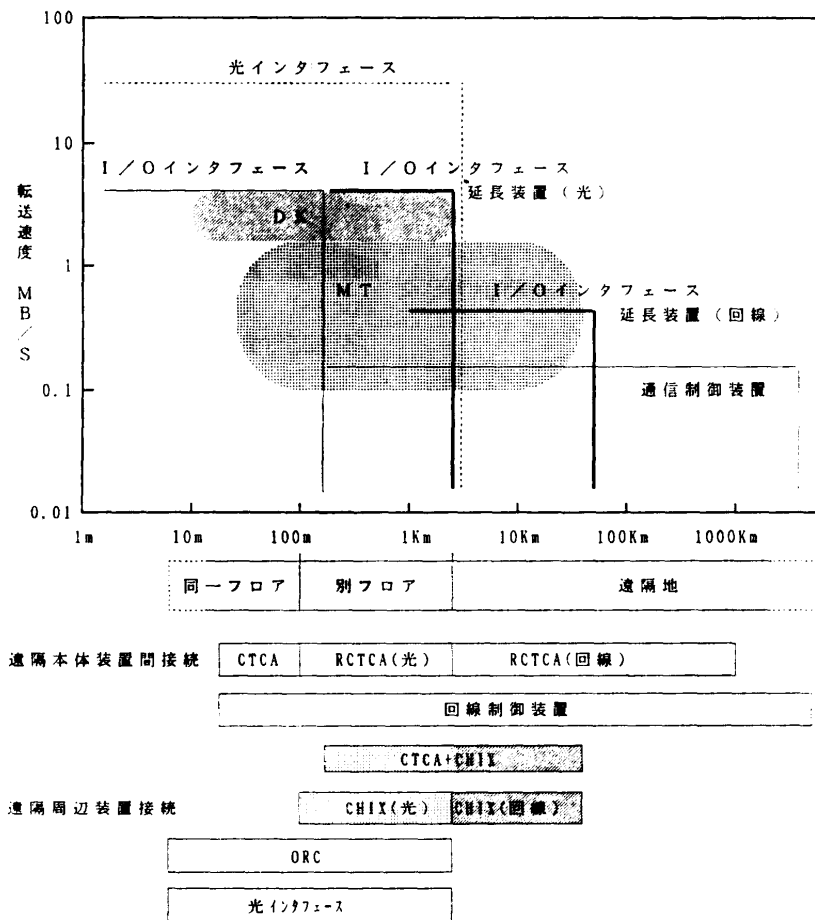
図9にフレーム方式とノンフレーム方式における光ファイバケーブル長とコマンド到着までの時間、およびデータ到着までの時間の比較例を示す。

接続したDKUのコマンド到着までの時間は30μs、データ到着までの時間は45μsあり、オーバーランの確率を10<sup>-6</sup>とするためのCH内での待ち時間は6μsであった。本条件での最大光ファイバケーブル長はフレーム方式の場合約0.5kmであるのに対してノンフレーム方式の場合1.3kmまで延長できることが分か

る。本論文で提案した方式を採用した32Mbps光ファイバケーブルを介したI/Oインタフェースケーブル延長装置については、DKUの接続実験を行い1kmまで延長して正常に動作することを確認した。

5.3 信頼度評価

4.1節で述べた提案方式の問題点への対処、および4.2節の異常処理方法の適用により、ソフトウェアからの見え方は従来と同じであり、信頼性の低下はない。また、回線障害対応のためのRAS機能のハードウェア増は、従来方式に比較して高々5%前後である。また、本方式に起因する異常処理はファームウェア追加で実現しておりコストへの影響はほとんどなかった。



(注) CTCA Channel To Channel Adapter  
 RCTCA (光) Optical Remote Channel To Channel Adapter  
 RCTCA (回線) Remote Channel To Channel Adapter by Line  
 その他の略語は表1参照

図10 リモート接続方式と適用領域

Fig. 10 Suitable regions for remote connections.

## 6. むすび

本論文では、チャンネルレベルの I/O インタフェースを介しての本体装置と I/O 間およびコンピュータ相互間のリモート接続の必要性和実現にあたっての問題点とその対処方法について論じた。その上で、通信回線を利用した延長方式と光ファイバケーブルを利用した構内適用の I/O インタフェースケーブル延長方式とに分け、実用化した高性能型 I/O インタフェースケーブル延長方式と既存の延長方式について、性能とケーブル長等との関係について評価した。その結果、6.3 Mbps の高速通信回線を介した延長方式については、既存方式に比較して 2~2.6 倍のスループットの実現が可能であることを示した。さらに、光ファイバケーブルを介した構内での延長方式については、シリアル信号を送信するフレーム方式に対して、本論文で提案のノンフレーム方式では、DKU を接続した場合、約 2.6 倍のケーブル延長が可能であることを示した。図 10 に本論文で提案した I/O インタフェースケーブル延長装置の適用領域を示す。

**謝辞** 日頃ご指導をいただく NTT 情報通信処理研究所の石野所長をはじめ、本システム開発にご協力いただいた同研究所の松田基本アーキテクチャ研究部長ならびに関係各位に深謝します。

## 参考文献

- 1) 魚住：I/O インタフェースの高速デジタル回線を介した延長，第 38 回情報処理学会全国大会論文集，5 J-5 (1989)。
- 2) 鈴木：高速デジタル回線による I/O インタフェースの延長方式，第 38 回情報処理学会全国大会論文集，5 J-6 (1989)。
- 3) SUMINET-9610 IBM System 370/360 Interface Channel to Control Unit 光伝送装置 User's Manual，住友電気工業(株) (1984)。

- 4) 松永，魚住：特許第 1411818 号 入出力装置接続方式 (1987)。
- 5) Summers, R. C.: Local-area Distributed Systems, *IBM Syst. J.*, Vol. 28, No. 2, pp. 227-240 (1989)。
- 6) Clementi, E., Logan, D. and Saarinen, J.: ICAP/3090: Parallel Processing for Large-scale Scientific and Engineering Problems, *IBM Syst. J.*, Vol. 27, No. 4, pp. 475-508 (1988)。
- 7) 岡本：コンピュータ周辺装置の遠隔接続方式，第 38 回情報処理学会全国大会論文集，7 W-4 (1989)。
- 8) M-68 X/M-66 X 光チャンネルサブシステム，日立評論，Vol. 28, No. 2, p. 70 (1988)。
- 9) Information Processing Systems—Fiber Distributed Data Interface (FDDI)—Part 2: Token Ring Media Control (MAC), ISO 9314-2, p. 23 (1989)。

(平成元年 8 月 31 日受付)  
(平成 2 年 6 月 4 日採録)



松永 俊雄 (正会員)

昭和 18 年生。昭和 40 年東北大学工学部通信工学科卒業。同年、日本電信電話公社電気通信研究所入所。現在、NTT 情報通信処理研究所研究企画部長。コンピュータの入出力制御方式、大型ハードウェアの研究実用化に従事。電子情報通信学会会員。



魚住 栄市 (正会員)

昭和 20 年生。昭和 43 年金沢大学工学部電子工学科卒業。同年、日本電信電話公社電気通信研究所入所。現在、NTT 情報通信処理研究所基本アーキテクチャ研究部主任研究員。コンピュータの接続方式、大型ハードウェアの研究実用化に従事。電子情報通信学会会員。