

ハイレベル手順を用いた計算機間通信について

是友春樹 山口宏二
富士通株式会社

はじめに

最近「ネットワーク・アーキテクチャ」が各所で研究、開発され、ハイレベルデータ・リンク制御手順(以下 HDLC と略称する。)が実用化されてきている。またコンピュータ・ネットワークが商用化の段階にはいっている。

富士通では 1973年初めから HDLCならびにネットワーク・アーキテクチャの開発を開始し、1974年には実験システムへの提供を始めた。そして1975年以降、商用システムを次々に稼動させてきた。

本稿では このネットワーク・アーキテクチャならびに HDLC の概要を簡単に述べ、更に実際のシステム例の紹介、および稼動経験を通して得られた様々な評価を述べる。

[1] HDLC を適用した体系の概要

この体系では「通信と処理の分離」を基本フィロソフィとしており、通信の領域を次の3レベルに階層化している。

- ① 伝送制御レベル(Lレベル)
- ② ネットワーク制御レベル(Nレベル)
- ③ パス制御レベル(Pレベル)

これら3レベルは基本的なレベルであり、実際のシステムにおいては、パス制御レベルより高位のレベルで、システムに依存するレベルが数種類、存在するが、本稿では この3レベルについて述べる。

§ 1.1 伝送制御レベル

隣接ノード間で、通信回線上での誤りに対するリカバリ制御と、トラフィック・コントロールとを行なうレベルである。

伝送制御レベルのプロトコールとして HDLC (High-level Data Link Control Procedures) を適用しており、この HDLC の特徴を図1に示す。

§ 1.2 ネットワーク制御レベル

基本的には ネットワーク内の複数ノードを経由して、最終目的地まで、情報を正しく伝送する為の各種制御を行なうレベルであり、主な制御内容を次に示す。

* HDLC の目的 *

- ① 高効率伝送
- ② 高信頼度伝送
- ③ 広範囲の適用領域

* HDLC の特徴 *

- ① 高効率伝送 を達成する為に、
 - A. 連続転送
 - B. 全二重通信
 - C. ノンセレクト・ホールド
 - D. フリー・ホイーリング
- ② 高信頼度伝送 を達成する為に、
 - A. FCS
 - B. 通番
- ③ 広範囲な適用領域 を達成する為に、
 - A. アプリケーション・インディペンデント
 - B. ビット・オリエンテッド
 - C. フレーム・フォーマットの統一
 - D. 制御の統一

図1 HDLC の目的と特徴

- i) ソースアドレスとデスティネーションアドレスからの経路の選択
- ii) ネットワークパスの接続, 切断
- iii) 代替経路による再試行
- iv) 異なる経路で伝送され, 順序不同になったデータの並びかえ
- v) ネットワーク状態の監視と管理

このネットワーク制御レベルに要求される機能は ネットワークの形態 (2地
 点間, ハイアラキ構成, メッシュ構成 etc) により差が出てくるが, これらの
 制御情報を統一し, 個々のシステムでは そのサブセットで制御できる方式をと
 っている。

§ 1.3 パス制御レベル

一般にプロセスとプロセスが通信する為には 1対1に結びつける論理的なパ
 スが必要である。このパスはネットワーク上の1対の最終局間上に複数個存在
 する事ができ, 種々の通信目的に使い分ける事ができる。この論理的パスを制
 御するレベルが パス制御レベルであり, Pレベルパスの接続, 切断, 各種フロ
 ーコントロールを行なう。なおここで言うプロセスとは論理的な通信主体の事
 であり, 実際のシステムでは, 処理プログラム, デバイス, オペレータなど様々
 なものに対応する。

§ 1.4 各レベルの関係と伝送フォーマット

この3レベルは図2のような階層になっており, 伝送フォーマットも図3に示
 す階層構造となっている。

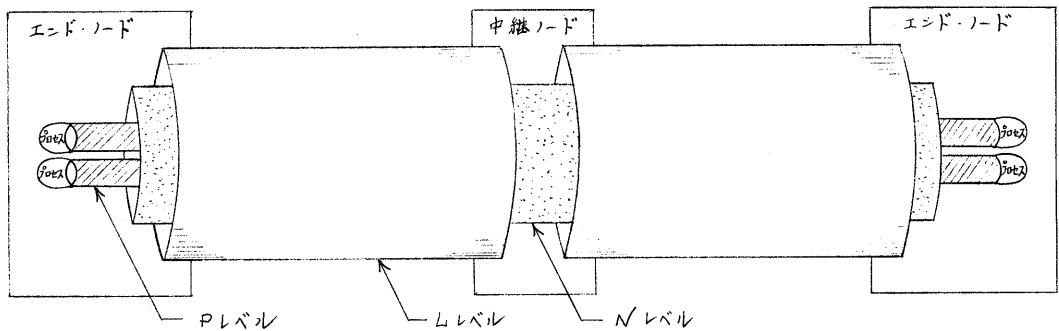


図2 階層構造

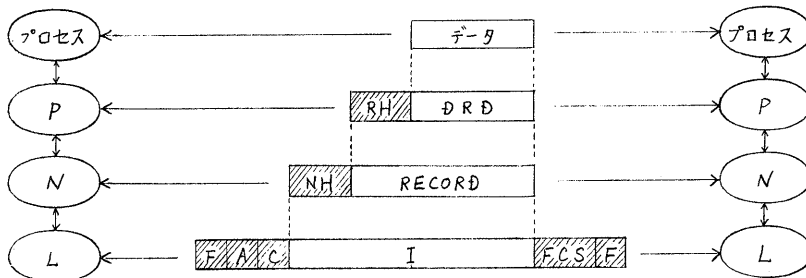


図3 伝送フォーマット

(2) 製品概要

前記体系をサポートする各種の製品を開発した。そのうち本稿に関係のある製品を図4に示す。

ホスト	FACOM 230 5シリーズ, 8シリーズ (OSII/VS, COP, SOM)
サブホスト	FACOM 230 5シリーズ, 8シリーズ (M25-COP-R) PFUシリーズ (HCP)
通信制御装置	HLCCU
端末	汎用端末, F9520ディスプレイ

図4 主な製品

§ 2.1 SOM と COP

FACOM 230 5シリーズ, 8シリーズのアクセス・メソッドとして, OSII/VSの下に SOM (Standard Online Module) と COP (Online Common Package) とがある。SOMはバッチ処理に加えて, 標準的なオンライン処理を容易に行なう為のモジュールであり, COPは高処理能力, 高信頼性を要求される本格的な大規模オンラインシステム用のパッケージプログラムである。両者はその適用領域(ぬらい)の差により機能が異なるが, 共にパス制御レベルをサポートしており, COP相互間, SOM相互間, COPとSOM, COP・SOMと端末間の通信が可能である。またHLCCUとのインターフェース(レベル・レベル間のインターフェース)も同一である。SOM, COPは従来のベシックモード制御手頃のサポートに始まり, 今回HDL C体系サポート用にレベル・アップしたので, 処理プログラムとのインターフェースは従来のものを包含し, 互換性を保っている。処理プログラムとしては, 一般のユーザ作成のプログラムの他に, RBM (リモートバッチモジュール), CPM (会話型プログラムモジュール), HICS (階層化システム制御モジュール), RICS, INIS (オンラインDB/DC)等が開発されている。

§ 2.2 HLCCU

HDL Cの特徴を活かし, またホスト・コンピュータに対する通信の処理負担を軽減する為, プログラム内蔵型の通信制御装置(HLCCU)を開発した。

ホスト・コンピュータとHLCCUとの機能分担は次のようになっている。

{ HOST : パス制御
{ HLCCU : 伝送制御とネットワーク制御

したがってホスト・コンピュータはネットワークの形態と伝送制御を意識する事なく, 最終宛先のみ意識すればよい。但し, 1台のホスト・コンピュータにHLCCUが複数台接続される場合には, 宛先のコンピュータまたは端末が, どのHLCCU経由で接続されているかを意識する必要がある。

H L C C Uの特徴を次に示す。

- i) H D L Cによる高効率、高信頼度データ伝送が可能。
 - ii) 高速伝送(最高48kビット/秒)が可能。
 - iii) ネットワーク制御と伝送制御を吸収しているため、ホストはネットワークの形態を意識する必要がない。
 - iv) ネットワークの形態にあったソフト・モジュールをホストで生成し、ホストから自動的にIPLする事により実行可能。
 - v) 回線テストやロギング機能などのR A S機能が用意されており、ホストは運用中いつでもこれらの機能をH L C C Uに対して要求可能。
- H L C C Uの構成を図5に示す。

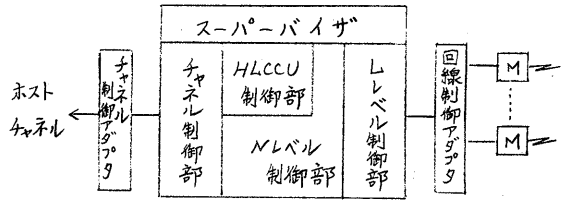


図5 H L C C Uの構造

[3] システム例

本稿では2つのシステムを紹介する。(Aシステム, Bシステムとする。)

§ 3-1 Aシステム

Aシステムのネットワーク構成を図6に示す。

(1) 運用形態

1. データ集配信

各工場、倉庫、関連会社との間で、営業情報、一般情報の集配信処理を行なう。端末としては、データ量とコストとのバランスから、F-1520(特定回線)、F-1522(電話回線)、テレックス端末 および 磁気テープがある。

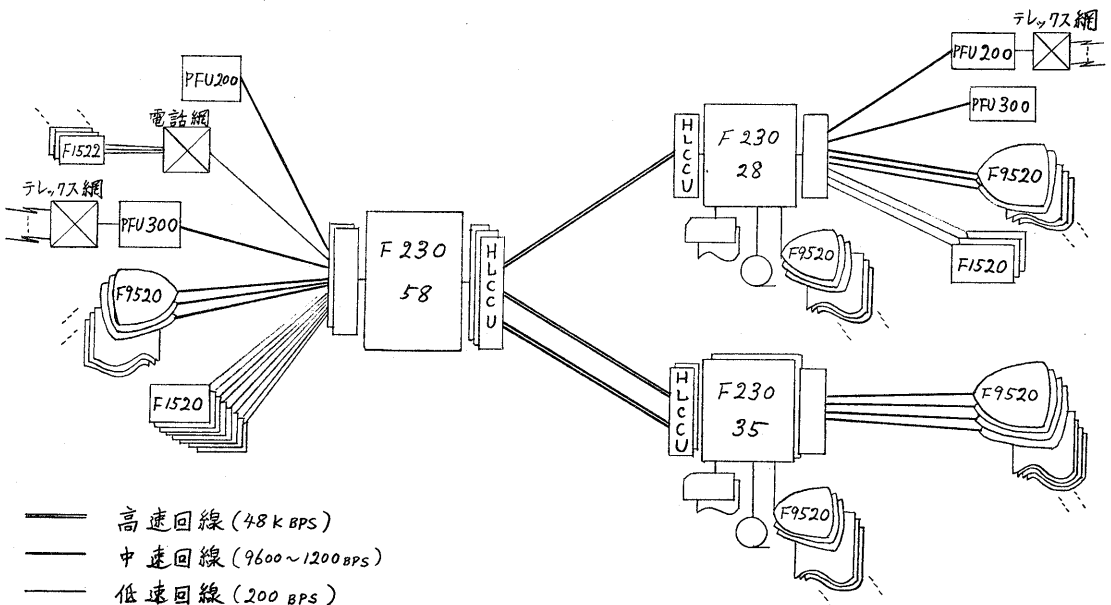


図6 Aシステム構成

2. オーダ・エントリィ

受発注処理と指図—入出荷の物流管理が主体で、F-9520ディスプレイによる営業情報のダイレクト・インプット（メニュー方式）と各種伝票発行、各工場、倉庫への指示とが行なわれる。

3. インクワイアリー

F-9520ディスプレイやテレックス端末のオペレータが、各種情報の問合せを行なう。

4. リモート・バッチ

磁気テープ、カード・リーダー/パンチ、ラインプリンタ等を使用して、サブホストからホストへ、リモート・バッチを行なう。

以上の運用が単にネットワークを共有するだけでなく、互いに密接に結びついて有機的なシステムを構成している。

(2) ネットワーク・システムの特徴

1. HDLCによる高速コンピュータ間通信

FACOM 230-58, 35, 28 の間で48kビット/秒 高速回線によるコンピュータ間通信を実現している。この高速回線には前記の様々なデータが流れている。

2. 大規模ネットワーク

コンピュータ4台、ミニコン4台、端末が6種320台、48k BPS 3回線、9600 BPS 6回線、4800 BPS 2回線、1200 BPS 4回線、200 BPS 11回線、電話回線、テレックス回線と全国にまたがる大規模ネットワークとなっている。

3. サブホスト

FACOM 230-35, 28 では次のような機能を実行している。

- ・中継制御（集配信、オーダ・エントリィ、インクワイアリー）
- ・MTファイル伝送（集配信）
- ・ホストへのリモート・バッチ
- ・ローカルバッチ

その他の特徴として、INISによるDB/DC、ミニコンによるテレックス集配信システム等がある。

§ 3.2 Bシステム

Bシステムのネットワーク構成を図7に示す。

(1) 運用形態

1. データ集配信

各種データの集配信を磁気テープ、紙テープ等により行なう。

2. 制御情報の伝送

各種制御機器情報の収集とインクワイアリー

3. 技術計算と情報検索

F-9520ディスプレイを使用して設計技術計算、ドキュメント作成、情報検索等を行なう。

(2) ネットワーク・システムの特徴

1. HDLCによるコンピュータ間通信

FACOM 230-58 と PFU-200 とを 48kビット/秒、2400ビット/秒、1200ビット/秒のHDLCで接続している。

2. ネットワーク監視ノード

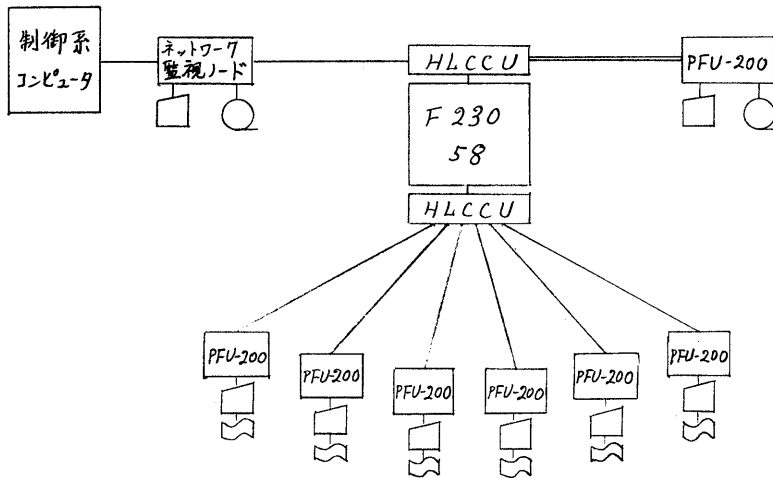


図7 Bシステム構成

〔4〕評価

前節で紹介したシステムでは様々な角度から解析をなすに実測を行ない、問題点の把握、改良を行なってきた。これらの成果およびシステムの稼働経験によって得られたものの中から一般的な評価を次の2つの立場からまとめる。

- ・ HDLC の評価
- ・ アーキテクチャ及びそれを適用したシステム全体としての評価

§ 4.1 HDLC の評価

先に述べたHDLCの目的が実際のシステムでどのように達成されているかという観点から述べる。

(1) 高効率伝送

Bシステムでの実測値を図8に示す。実測条件のうち、半二重とは集信業務のみの時の上りデータについて測定したものであり、全二重とは集信業務、配信業務共に行なっている時の上りデータについてのものである。

計算値は次式より求めたものであり、ヘッダ(L, N, Pレベル)として14バイト、HDLCでのソフトのオーバーヘッドとして約1msのIFTF(フレーム間タイムアウト)を考慮している。

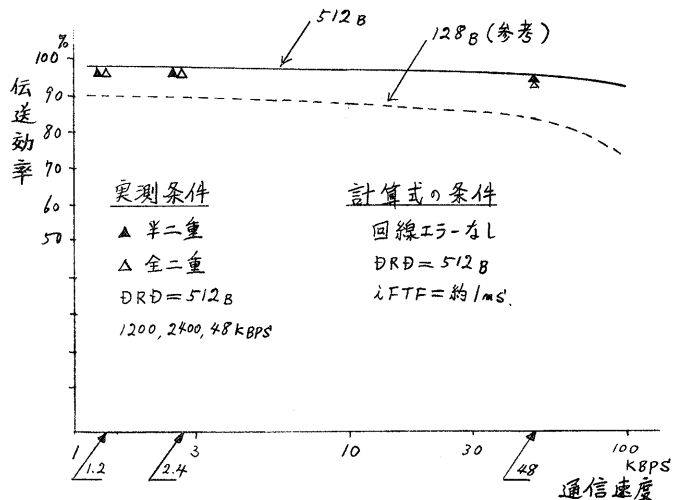


図8 伝送効率

$$R = \frac{DRD}{DRD + 15 + \left[\frac{B}{8000} \right]}$$

(DRD: データバイト長, B: 通信速度ビット/秒, [] ガウス記号)

図8より次の事が分かる。

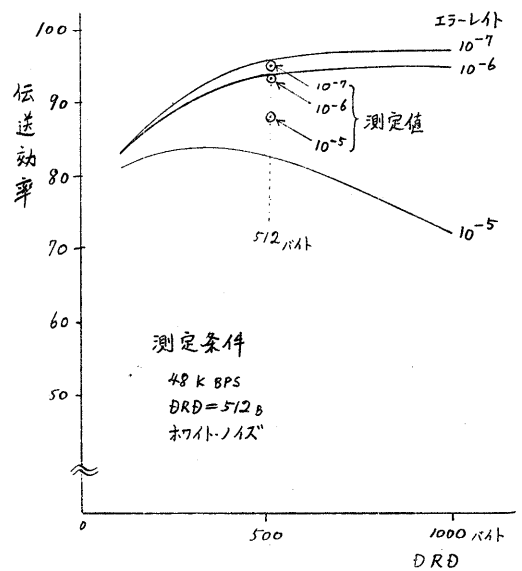
- ① 従来より大巾に伝送効率が向上しており、HDLCの高効率伝送の目的が達成されている。
- ② 高位プロトコルのヘッダメシーケンスが伝送効率に与える影響は運用面からみると問題にならなぬ。
- ③ ホスト内の処理プログラム、アクセスメソッド、OS内のEXCP、HLCCU、サブホスト内の処理プログラム、IOX等各所にキューが起き、様々なフロー制御が行なわれているが、伝送効率が低下していない事から、この制御がスムーズにしている事が分かる。
- ④ 48kビット/秒程度以下では伝送効率は通信速度にほとんど影響されていない。
- ⑤ 片側のコンピュータにミニコンを使っているが、処理能力的にも伝送効率的にも48kビット/秒まで容易に達成できている。(同じミニコンを使い、光ファイバにより240kビット/秒で動かしたシステムもある。)
- ⑥ 全二重運用ではHDLCの応答フレームが増える為、半二重運用に比べて伝送効率が若干下がるが運用面からみると問題ない程度少である。

Aシステムでは右の実測値を得ている。
 理論的にはCase1では95%、Case2では86.9%の伝送効率が見られる筈である。
 様々な解析の結果、F-230/28がマルチアプリケーションで様々な端末を配下に持つ為、CPU負荷、コア容量が限界に達しており、前記実測値となっている事が分かった。

Case1 集配信業務
 $R = 83.5\%$
 (48k BPS, 全二重, 618 B)

Case2 リモートパッチ
 $R = \text{約} 80\%$
 (48k BPS, 半二重, 133 B)

HDLCの開発に際し、回線エラーがある場合の伝送効率について、様々な角度から解析、シミュレーションを行なった。一方48kビット/秒高速回線をエラーのない環境に設置し、その途中にノイズジェネレータを挿入して回線品質を低下させた時の伝送効率を測定し、理論式との比較を行なった。結果の一部を図9に、理論式を以下に示す。



$$R = \frac{DRD}{\{n + 2f + (1 - P_B) \cdot 48\} \left\{ (1 - P_B) + \frac{P_B(3 + \tau)}{1 - P_B} \right\}}$$

$$\tau = \frac{3}{2} + \frac{2d + 48}{n + 2f + (1 - P_B) \cdot 48}$$

$$P_B = \begin{cases} 1 - (1 - P)^n & \text{ランダム誤り} \\ \frac{2P(n + b - 1)}{2 + (e^{-b})^n + (e^{-b})^{n-1}} & \text{バースト誤り(指数分布)} \end{cases}$$

n : ビット数/フレーム, f : iFTFビット数, d : 伝送遅延(ビット・タイム)
 P : ビット誤り率, P_B : ブロック誤り率, b : バースト平均長

図9 伝送効率

- ① 10^{-7} , 10^{-6} のビット誤りでは計算値と実測値が一致している。
- ② 10^{-5} では測定値の方が良くなっているが、これはノイズ・ジェネレータの発生するノイズが完全にランダムではなく、バースト性になっている為である。
- ③ 解析の結果、次の事が分かっている。
- 10^{-6} 以下のビット誤りでは誤り率が伝送効率に与える影響は少ない。
 - 10^{-5} になると伝送効率が大きく低下し始め、 10^{-4} になると通常の運用では問題となる。
 - バーストエラーとランダムエラーの差は 10^{-6} 以下ではほとんどないが、 10^{-5} になるとかなり大きくなる。(例: DRD = 5/2B で 10% 程度)

(2) 高信頼度伝送

HDLCはすべてのフレームにFCS (Frame Check Sequence) が付加され、ベシツク手順に比べて信頼性が上がるとされている。生成多項式 $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$ の誤り検出能力は理論的には次の通りである。

- 奇数個の誤り
- 符号長が 32767 ビット以下の時は 3 個以下の誤り
- 長さ 2 以下の 2 重バースト誤り
- 長さ 16 以下のバースト誤り
- 長さ 17 のバースト誤りの $(1 - 2^{-15})$
- 長さ 18 以上のバースト誤りの $(1 - 2^{-16})$

一方、実際の回線において誤りパターンの実測を行ない、バースト長分布をもとめ、次の式にもとづいて、CRC見逃し率を出した。

$$\text{CRC見逃し率 } P_{UD} = P_B \cdot P_S$$

$$\begin{cases} P_B : \text{ブロック誤り率} \\ P_S = \frac{1}{2^{r-1}} \int_r^{r+1} f(x) dx + \frac{1}{2^r} \int_{r+1}^{\infty} f(x) dx \end{cases} \quad (r: \text{生成多項式の次数})$$

$$f(x) = 0.936 e^{-\frac{x}{20}} + 0.064 e^{-\frac{x}{5000}} \quad (\text{バースト長分布の実験式})$$

この結果、 10^{-11} オーダの見逃し率であり、問題ない事が分かった。実際の運用テストでもCRC見逃しは発生していない。なおこの実測回線ではビット誤り率は 10^{-7} 以下であるが、かなりバースト性の強い誤りが発生している。

(3) 広範囲の適用領域

すでに述べたように実際のシステムにおいて様々な形態 (通信速度、回線形態、コンピュータ間通信、コンピュータ・端末間通信、各種運用形態 etc) で稼動しており広範囲に適用できる事が実証できた。(前節で述べた形態以外に、FAXの交換システム等も稼動している。)

§ 4.2 アーキテクチャ及びそれを適用したシステム全体としての評価

(1) 伝送効率

§ 4.1 で述べたように、高位プロトコールのヘッダ、シーケンスが伝送効率に与える影響は問題ない事が分かった。またハード、ソフトのインプリメントも適切であった。

(2) レスポンスタイム

サブホストの FACOM 230-28 配下の周辺型及び回線型ディスプレイ からホストへインクワイアリを行ない、レスポンスタイムを測定した。結果は端末や周辺条件によって異なるが、例えば平均 2.1 秒、平均 3.5 秒といった値が得られており、蓄積交換の中継が多いシステム（サブホスト→HLCCU→HLCCU→ホスト→HLCCU→HLCCU→サブホスト）としては非常に良い結果であった。高位プロトコルのレスポンスタイムへの影響は少なく、それよりも処理プロの作り方（タスク構造、優先処理等）やバッファの取り方の要因の方が大きかった。

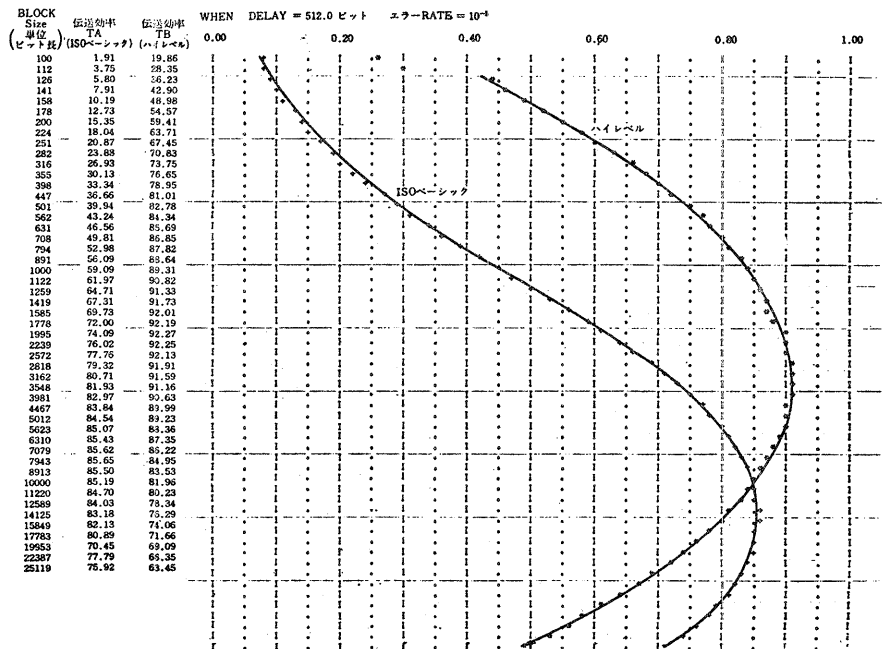
(3) システム設計

問題点として、階層化、レベル分けされた結果、従来に比べてシステムごとにきめるパラメータ（フレーム長、ブロッキングファクタ、各種タイム長、リトライリミット、バッファ個数、高位プロトコルの選択等）が多くなり、システム設計が難かしくなった事があげられる。これに対しては理論的解析と実システムでのチューニングとで対処し、経験やデータを数多く得る事ができた。

例1 フレーム長

一般にコンピュータと端末との通信では端末コストや処理能力の関係で、端末側の要因からバッファ長がきまってしまう、フレーム長もそれに合わせる事になる。しかしコンピュータ間通信ではバッファの大きさはかなり自由にとれるので、回線特性に応じて最適なフレーム長を設定する事ができる。そこで図10に示すように各種パラメータ（通信速度、誤り率、伝送遅延等）をかえて伝送効率とフレーム長の関係を解析的に求め、更に処理能力等の要因を考慮してフレーム長を決定した。

図10
伝送効率とフレーム長



例2 HDLCの応答待タイム

このタイムは手順上矛盾が生じない範囲でできるだけ小さくする事が望ましい。回線特性の実測結果を使い、次のように設定した。

$$\begin{aligned} \text{タイム長} &= \text{最長フレーム伝送時間} + \text{応答フレーム伝送時間} + \text{ソフト処理時間} + 2 \times \text{伝送遅延時間} \\ &\quad + \text{マージン} \\ \text{タイム長} \times \text{リトライ回数} &= \text{バースト長分布の 99.55\% をカバーする値} \end{aligned}$$

(4) RAS

RASとして次のような機能を備えており、デバッグ段階、システム運用時の障害検出、切分けに有効であった。

① 各種ロギング情報の収集

- ・ Mレベルでの統計情報 (CRCエラー発生回数, N(s)エラー発生回数, T.O.発生回数 etc)
- ・ L, N, P各レベルでの重大エラーと詳細情報
- ・ 各ハード/ソフトごとの詳細ステータス。

② 回線テスト

- ・ L, N, P各レベルでの自動テスト
- ・ オペレータ指示による各所 (回線, モデム, ハード, ソフト) の折返しテスト

③ トレース/モニタ

- ・ L, N, P, 各レベルでのトレース/モニタ
- ・ 障害切分けの為の各タスクごとのトレース。

Bシステムでは前述のようにネットワーク管理ノードを設け、このノードでネットワークの状態の監視を行ない、ネットワークの変更やRASの指示ができるようになっている。

(5) プログラマブル通信制御装置導入の効果

① ホスト負荷の軽減

図11に示すようにHLCCUを導入した結果、ホストのCOPのTCP部 (回線制御) が約6割に減る事が分かった。

② プログラマブルの効果

HLCCUでのRAS機能, L, Nレベルのプロトコル等のレベルアップに容易に対処する事ができた。

またAシステムでは次のステップとして、サブホストがダウンした時、HLCCUが下位のディスプレイを制御して一部の運用を続行する事を計画している。(図12)

一方, Bシステムでホストが夜間電源を落してネットワークは生きており、一部の運用を続行する事を考えている。(図13)

おわりに

本稿ではHDLC及び新しいネットワークアーキテクチャを通用したシステムでの稼働経験を通して得られた成果の一部を紹介した。各問題点の改良を通して様々な成果が得られ、システム全体としてかなり成功したのではないかと思う。

今後とも一層の発展をめざして努力してゆきたいと考えている。

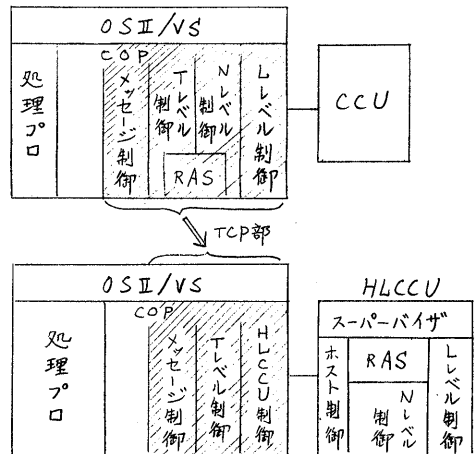


図11 ホスト負荷の軽減

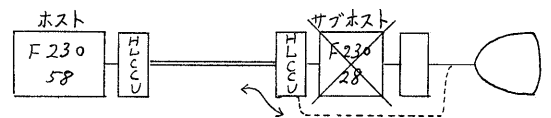


図12 プログラマブルの効果1

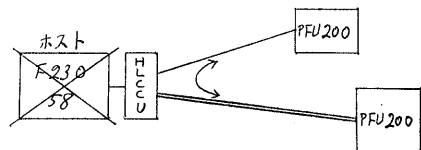


図13 プログラマブルの効果2