

ハイレベル・データリンク制御手順の規定とその評価

高橋 修, 森野 和好, 田島 孝, 苗村 寛司
(日本電信電話公社 横須賀電気通信研究所)

1. まえがき

ハイレベル・データリンク制御(HDLC)手順は、電子計算機、端末装置、パケット交換機等を相互に結ぶ通信回線上のデータ伝送に係わるプロトコルとして重要である⁽¹⁾。HDLC手順は表1の特徴を持ち、従来の基本形手順に比較して、伝送効率、信頼性、汎用性等の面で優れた手順である⁽²⁾。

ISOは、HDLC手順の規約を次の3項目に分けて標準案検討を行っている。

- (1) フレーム⁽³⁾構成(フレームの構成要素、フレーム送受信時のビット操作方法等)
- (2) 手順要素⁽⁴⁾(モード、コマンド/レスポンス、誤り回復動作等)
- (3) 手順クラス⁽⁵⁾(基本のコマンド/レスポンスのクラス分け、オプションのコマンド/レスポンスの追加方法等)

これらの規約により、手順動作の主要事項はすべて定められるが、実際の

装置上の手順プログラムを作成するためには以上の事項の外に、詳細な制御動作の規定、システム定数の決定等が必要である。

本稿では、HDLC手順を種々の装置上でインプリメントする立場からISO案に基づいてその制御動作を詳細化し厳密に規定する方法、及び制御動作の評価方法について述べる。第2章ではこのためにISO案に対して追加して規定すべき事項を述べる。第3章では手順要素及び手順クラスの範囲について、規定方法に関する一般的な問題点及び筆者らが採用した規定方法について述べる。第4章では、制御動作に関して選択すべき主な項目及びシステム定数の評価方法、決定方法について述べる。また、筆者らが行った計算モデルによる検討結果及び設計中のHDLC手順シミュレーションシステムについて述べる。

* HDLC手順では回線上の伝送ブロックをフレームと呼ぶ。
(付録参照)

表1. HDLC 手順 の 特 徴

項 目	特 徴
通信方式	両方向同時通信(全二重通信)にも両方向非同時通信(半二重通信)にも適用できる。分岐回線においては、3つ以上の装置のうち2つの装置が通信している期間他の装置も通信できるノンセレクト・ホールド・オペレーションが可能である。
伝送効率	両方向同時伝送をベースにし、受信局からの応答なしに連続した情報転送(応答は一括応答**)を可能とし、また専用分岐回線において、ノンセレクト・ホールド・オペレーションにより伝送効率を向上させる。
信頼性	すべてのフレームに対してCRC方式による誤り制御を行い、また情報転送フレーム毎に番号を付与し、番号確認によって情報の消失・重複を防止することにより、高い信頼性を実現する。
符号に対する任意性	キャラクタコードにとらわれることなく任意のビット列を能率よく伝送可能とする。
汎用性	入出力装置の制御やフォーマット制御をデータリンク制御から完全に分離することにより、手順の拡張性・汎用性、装置間の互換性ともなせる。

** 複数の情報転送フレームに対して1つの確認信号を返送する。

2. 規定すべき事項

HDL C 手順をインプリメントするために規定すべき主な事項を表2に示す。ISO 国際標準、国際標準案及び国際標準草案でまだ規定されていない事項には手順クラスの適用領域、オプションのコマンド/レスポンスの有効性等がある。コマンド/レスポンスの種類については表3の内容が検討されているが、どれをインプリメントするかについては、なお検討の必要がある。

3. 制御動作の規定方法

3.1 一般的な問題点⁽⁶⁾

(1) 規定対象

通信は、基本的には2つの装置間で行われる。その制御動作を規定するとき、規定対象としては次の3つの考え方があ

方法1: 通信する両者(一次局と二次局)を1つの系として規定する。又はその間のフレームの流れを規定する(グローバル・アプローチ⁽⁷⁾)。

方法2: 一方(例えば二次局)のみ規定する。

方法3: 両方を別々に規定する(ローカル・アプローチ⁽⁷⁾)。

(2) クラスとサブセット

HDL C 手順を特定の装置上でインプリメントする場合、規定された機能の一部を除外することが可能である。I, RR, RNR, SXXM^{***}, DISC, UA, DM 及び CMDR は必ずインプリメントしなくてはならないが、例えば、1つだけの情報転送フレームの再送を要求する SREJ コマンド/レスポンスはインプリメントしなくてもよい。この場合、相手の装置と通信できるかどうかを、相互接続する前に判断できることが必要である。ここに「クラス」の概念と「サブセット」の概念の必要性及びその境界をどこに置くかの問題が生ずる。

(3) 規定の保証範囲

回線上等で発生する種々の誤りの中での程度までの誤りを回復できるように規定するかが問題となる。

(4) 記述手段

伝送制御手順やプロトコルの記述手段としては、文章による方法のほかに状態遷移図や状態遷移表による方法⁽⁸⁾が多く用いられている。また、制御指示と伝送ブロックを区別して状態遷移を記述する Colloquy のモデル⁽⁹⁾、流水図に似た方法で手順を記述する Protocol Machine のモデル⁽⁷⁾、通信系を一体として記述する Time Retri Net のモデル⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾などが提案されている。しかしいずれの方法を用いても、HDL C 手順のようにシーケンス番号を用いた一括応答や再送制御の機能を記述すると複雑になるので、このままでは使用できない。

3.2 HDL C 手順制御動作のモデル

以上の問題に対する解決策として以下に述べる方法が考えられる。

規定対象についてはインプリメンテーションへの反映を重視する立場から、一次局と二次局をそれぞれ規定する。クラスは局構成と動作モードにより定め、その他の機能項目はサブセットとする。規定はクラス毎とし、オプション機能はすべて包含した全セットについて行う。誤り回復の規定については、誤りの度合いを誤りの重複度によって整理し、単一誤りと二重誤りを回復できることを保証する。保証範囲外の誤りに対しては、遠くない将来回復できるか又は回復できない場合はデータリンクレベルでは安全側の動作を行いハイアレベルに報告する。

記述手段は以下に述べる方法による。なお、ここで述べるモデルは、実際のハードウェア、ソフトウェアの構成を規定するものではなく、外部から見た論理的な動作を表わすものである。

*** SNRM, SAR, SABM, SNRME, SARME, SABME⁽¹²⁾

表2. 規定すべき事項

項目	ISO策で検討されている事項	ISO策で未検討の事項
フレーム構成	フラグ, アドレス, 制御, 情報, 及び フレームチェック	——
コマンド/ レスポンス	種類 及び 機能	SREJ等インプリメントしなくてはならないものの 有効な条件と その効果
制御動作	誤り回復, ビジィ状態の通知, P/Fビットの制御, 等	(例) 分岐回路におけるホーリング方式
システム 定数	種類 (情報転送フレームの最大情報 ビット数, タイム, 等)	決定方法
手順クラス	動作モード及び使用するコマンド/レスポンス	動作モード (NRM [†] , ARM ^{††} , ABM ^{†††}) の 適用領域

† 一次局・二次局に適用し、二次局は一次局から許可された時のみフレームを送信する。

†† 一次局・二次局に適用し、二次局は一次局から許可されなくてもフレームを送信する。

††† 各複合局に適用し、各複合局は許可されなくてもフレームを送信する(対等通信で使用する)。

表3. コマンド/レスポンスの種類と機能概要

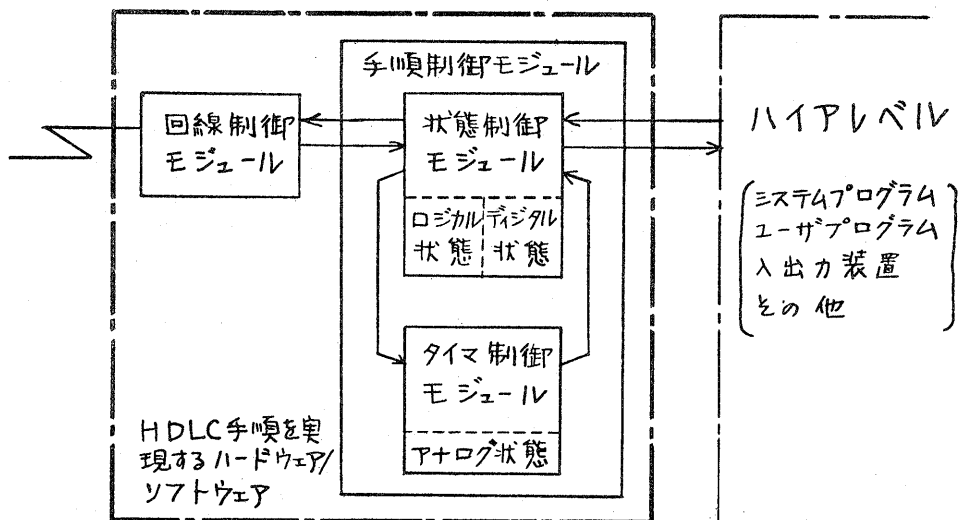
フォーマットに よる分類	コマンドの 略称	レスポンスの 略称	機 能 概 要
情報転送	I	I	シーケンス番号付きの情報と転送する。相手相手がフレームを正しく受信したことを通知する。
監視	RR	RR	受信準備ができていないこと及びフレームを正しく受信したことを通知する。
	RNR	RNR	ビジィ状態を通知する。
	REJ	REJ	指定したフレーム以降の再送を要求する。
	SREJ	SREJ	指定した1つのフレームの再送を要求する。
非番号制	SNRM		二次局をNRMに設定する。(シーケンス番号は3ビット)
	SARM		二次局をARMに設定する。(シーケンス番号は3ビット)
	DISC		二次局の動作モードを終了させる。
	SNRME		二次局を拡張NRMに設定する。(シーケンス番号は7ビット)
	SARME		二次局を拡張ARMに設定する。(シーケンス番号は7ビット)
		UA	非番号制コマンドを受信し受け入れたことを通知する。
		CMDR	再送で回復できない誤りを検出したことを二次局から一次局に通知する。
同上 (ISOで 追加を 検討中 のもの)	SIM		相手をイニシャレーションモードに設定する。
	UP		複数又は1つの局をホールドする。
	UI	UI	シーケンス番号を用いずに単独の情報と転送する。
	XID	XID	IDと送信又は受信する。
		DM	切断モードであることを通知する。
		RD	切断モードへの移行希望を通知する。
		RIM	相手局にSIMコマンドの送信を要求する。
	SABM		相手局をABMに設定する。(シーケンス番号は3ビット)
	SABME		相手局を拡張ABMに設定する。(シーケンス番号は7ビット)
	FRMR	FRMR	再送で回復できない誤りを検出したことを相手局に通知する。

制御動作を詳細に規定するためにその範囲を明確にする必要がある。HDLC手順の規約の中で、フレーム構成の取扱いに関する部分(フラグ、アドレス、フレームチェックなど)はISO標準により明確に規定されているので、ここでは回線の接続/切断機能と合わせて回線制御モジュールとし、手順制御モジュールとは分離して取扱う。手順制御モジュールで取扱う状態には、種々の要素が関連するが、これらを大別するとロジカル状態(コマンド/レスポンスの種類に關係する状態種別)、デジタル状態(主としてシーケンス番号などのカウンタ処理に關係する状態種別)、及びアナログ状態(タイマに關係する状態種別)に分けられる(表4参照)。これらの中で、ロジカル状態は手順

解析の基本的な動作を定めるものであり、その状態遷移は厳密に規定する必

表4. 状態の種別(例)

状態	種別
ロジカル状態	フェーズ
	ポール/ファイナル送信後
	自局ビジー
	相手局ビジー
	REJ誤り SREJ誤り
デジタル状態 (カウンタ)	送信状態変数(S)
	受信状態変数(R)
	最旧未確認状態変数(L)
	アウトスタンディングフレーム数
	連続タイムアウト回数
アナログ状態	タイマ値



- ・回線制御モジュール：主としてフレームの送受信を行うハードウェア/ソフトウェアであり、フラグの作成/検出、0の挿入・除去、フレームチェックの付加/検査、アドレスによる受信フレームの振分け、ある種の受信フレームの廃棄等を実行する。このほか回線の接続/切断の機能を有する。
- ・状態制御モジュール：入力を解析し、状態の管理/遷移、コマンド/レスポンスの送信等を行う。
- ・タイマ制御モジュール：回線動作の時間監視に必要なタイマの歩進とタイムアウトの通知を行う。

図1 HDLCを実現するハードウェア/ソフトウェアの機能的構成(概念図)

要がある。またデジタル状態は、主として、情報転送フレーム等のシーケンス番号に関与するものである。アナログ状態については、タイマの値如何を規定するよりもタイマのスタート/ストップ、及びタイムアウトに注目して取扱うのが適当である。

以上の理由により手順制御モジュールを状態制御モジュールとタイマ制御モジュールに分割し、前者はロジカル状態とデジタル状態のみを制御することとする(図1参照)。状態制御モジュールの入力及び出力として表5に示すものを定義する。

次に状態制御モジュールを図2に示すようにモデル化する。状態制御モジュールは、1つの入力を受付けると、その処理が終了するまで次の入力の解析を開始しない。ある入力を受付けるとその入力を解析する。次にレベルAサブモジュールは、現在のロジカル状態と入力に基づいて処理すべき内容を選択し、送信シーケンス番号 N(S)、受信シーケンス番号 N(R)、P/Fビット等機能要素毎にレベルBサブモジュールを呼出す。B(i)は入力の処理をし、デジタル状態の更新を行うとともに、また出力を行い、その終了をAに通知する。これ

によって、Aはロジカル状態を遷移させる。Aは複数のBを同時に呼出すことができ、また複数のBは同時に動作することができる。

図2のモデルにおいて、入力解析とレベルAの制御動作を状態遷移表に、入力解析とレベルBの制御動作を処理状態遷移表に記述する。状態遷移表では、ある時点における状態と遷移要因の交点に遷移先及び呼出すべきBを示す(表6参照)。処理状態遷移表では、入力の解析、処理及び出力を記述する(表7参照)。

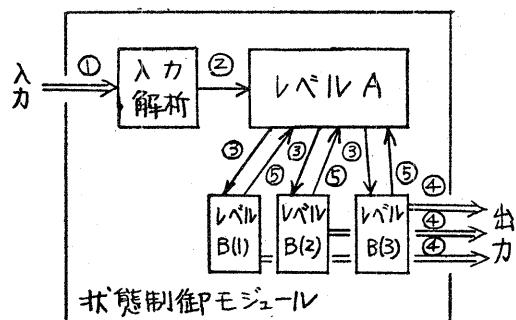
図3のシーケンス・チャートにおける二大局の制御動作を例に、上記の方法を図3に合わせ示す。

この方法は次の特徴を持つ。

- (1) 機能要素を個別に式を用いて規定するので、明確に規定できる。
- (2) 機能要素の処理等を並列に実行又は機能要素毎別の資源(フリップ・フロップ、メモリ上の特定のビット等)を用いることができる。
- (3) 遷移の流れをとらえやすく、全体的な把握が容易である。
- (4) すべての状態とすべての状態遷移要因の交点が現われ、網羅性のチェックに役立つ。
- (5) プログラムの自動生成に適している。

表5 状態制御モジュールの入力及び出力(例)

区別	種 別
入 力	通信開始
	動作モード終了
	送信データ
	ビジー発生/解除
	フレーム受信
	タイムアウト
出 力	データ送信可
	通信終了
	受信データ
	フレーム送信
	タイマ スタート/ストップ
	システム回復



(注) ①、②等は、1つの入力を受付けてから次の入力を受付けるまでの処理の順序を示す。

図2 状態制御モジュールのモデル

表6. 状態遷移表(例)

状態 遷移要因		F送信後		P受信後	
		N(S)正常	REJ誤り	N(S)正常	REJ誤り
		A	B	C	D
フレーム受信	I, P (N(S)=R) ①	C 01, 11, Z1	C 01, 11, Z1	$\times$	$\times$
	I, P (N(S) $\neq$ R) ②	D 02, 11, Z1	D 03, 11, Z1	$\times$	$\times$
	I, $\bar{P}$ (N(S)=R) ③	A 01, 11, Z2	A 01, 11, Z2	C 01, 11, Z2	C 01, 11, Z2
	I, $\bar{P}$ (N(S) $\neq$ R) ④	B 02, 11, Z2	B 03, 11, Z2	D 02, 11, Z2	D 03, 11, Z2
I以外, F送信 ⑤		$\times$	$\times$	A 31	B 33
I以外, $\bar{F}$ 送信 ⑥		A 32	B 34	C 32	D 34

備考1 表中の数字01, 02等は表7の番号である。

2 $\times$ は無視することを示す。

3 $\equiv$ は送信と受信の境界を示す。

表7. 処理状態遷移表(例)

入力とその解析		状態種別及びカウンタ更新	出力	番号
フレーム受信	I N(S) = R	REJ誤り $\leftarrow$ N, R $\leftarrow$ R+1	受信データ, RR送信要	01
	N(S) $\neq$ R	REJ誤り = N	REJ送信要	02
		REJ誤り = Y	——	03
	$L \leq N(R) \leq S$	$L \leftarrow N(R)$	——	11
	$N(R) < L$ 又は $N(R) > S$	フェーズ $\leftarrow$ CMDR フェーズ	システム回復	12
	ビット = '1'	F送信後 $\leftarrow$ N	——	21
		——	——	22
RR送信要	F送信後 = N	F送信後 $\leftarrow$ Y	RR, F送信	31
	F送信後 = Y	——	RR, $\bar{F}$ 送信	32
REJ送信要	F送信後 = N	F送信後 $\leftarrow$ Y	REJ, F送信	33
	F送信後 = Y	——	REJ, $\bar{F}$ 送信	34

備考 —— は図2におけるレベルB相互間の境界を示す。

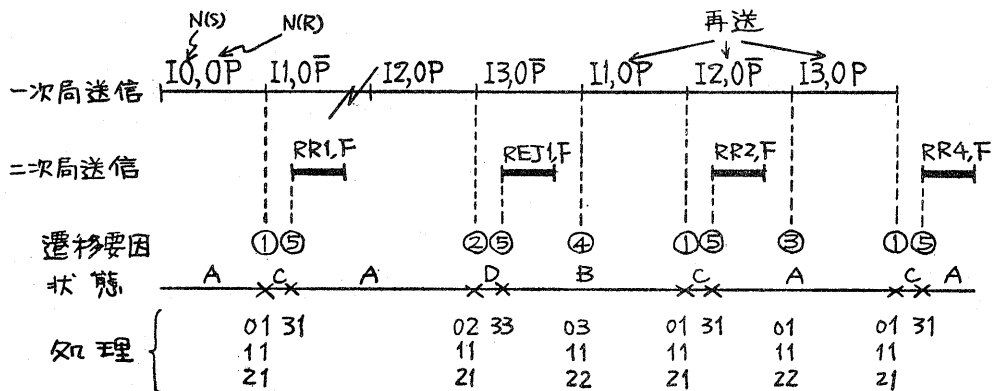


図3 状態遷移表及び処理状態遷移表上での遷移及び処理

4. 制御動作の評価

本章では制御動作の規定内容の検証並びに制御動作に関して選択すべき主な項目及びシステム定数の評価方法、決定方法について述べる。また、筆者らが行った計算モデルによる性能評価例及び設計中のシミュレーションシステムについて述べる。

4.1 評価の対象、項目及び尺度

評価は図1の状態制御モジュールの制御動作を対象とする。すなわち、データ転送速度、回線での誤り発生率、データの発生分布等が与えられ、表2に示したISOで未検討の項目である次の項目を評価する。

- (1) 詳細な制御動作の規定の検証
- (2) 手順クラスの適用領域
- (3) 分岐回線におけるポーリング方式
- (4) SREJコマンド/レスポンスの有効性
- (5) システム定数の決定方法

(2)~(5)を評価する尺度を以下に示す。

伝送効率：単位時間に受信した情報ビット数とデータ転送速度の比

待ち時間：情報転送フレームが発生した時刻からそのフレームの送信が開始される時刻までの時間

バッファ使用量：情報転送フレームのビット数と、そのフレームを回線に送出し始めてから確認信号を受信するまでの時間の積

4.2 評価方法

評価方法には大別して、計算モデルによる方法とシミュレーション又は実験による方法とがある。

計算モデルを用いる方法は、比較的短期間で前節で述べた項目の大まかな特性を評価することができる。

実際の装置を用いる方法は、制御動作の検証及び制御動作の評価の目的に対して、回線上での誤りの発生を可変としにくく、またシステムが大規模と

なる等困難な点が多い。

既存のシミュレータ(例えばGPSS)を用いる方法は、制御動作の検証の目的に対して、トランザクションの種類が多く、モデル化するのが困難である。

シミュレーション・プログラムを作成する方法は、上記の方法に比較して、変数を可変にすることにより容易に制御動作の検証及び制御動作の評価が可能である。

4.3 計算モデルによる評価例

計算モデルによる評価の例として、手順クラスの適用領域及びSREJコマンド/レスポンスの有効性に関する検討結果を述べる。

4.3.1 手順クラスの適用領域

NRMとARMの機能的な差異は次の3点にある。

- (1) NRMは分岐回線に適用できるが、ARMは分岐回線に適用できない。
- (2) NRM・一次局は、二次局からのフレームの送信を勧誘するために、送信すべき情報転送フレームがなくともPビット'1'のフレームを送信する必要がある。ARM・一次局はその必要はない。
- (3) NRM・二次局は、下ビット'1'のフレームを送信してからPビット'1'のフレームを受信するまでの間に送信データが発生すると、データの送信を待たなければならない。ARM・二次局は、データの発生した時点で送信可能である。データが発生してから送信開始までのNRMの待ち時間はARMに比較して一般に大きくなる。

次に、この差を評価するため、全二重通信におけるNRM・二次局とARM・二次局におけるフレームの送出待ち時間を待ち行列モデルを用いて算出する。

簡単のため以下の仮定を設ける。これにより、NRMには周期待ち行列モデル⁽¹²⁾を、またARMには、M/M/1型の待ち行列モデルを適用することが

できる。

- (1) 回線上の誤りは無視できるほど小さい。
- (2) 送信すべきデータはランダムに発生する(平均入のポアソン到着)。
- (3) データの送信時間(サービス時間)は、データ長に比例する。
- (4) 二次局でのデータの送信は先着順に行われ、同時に複数個の送信は行わない(受け窓口は1つである)。
- (5) トラヒック密度(単位時間に二次局で発生するデータ数の平均値と1データあたりの送信時間の平均値の積)は1よりも小さい。
- (6) NRM・二次局では、一定間隔(周期)毎に周期時点が与えられ、二次局でのデータの送信は、周期時点を超えて開始される。
- (7) 二次局でデータの送信の終了に待ちデータがあれば続けて次のデータの送信を開始する。
- (8) データ長の分布を指数分布($B(x) = 1 - e^{-\mu x}$)とする。

NRM・二次局については周期処理待ち行列モデルでこの周期の処理を要求する確率(b_i)は次式で表わされ、幾何分布として扱える。

$$b_i = B(iT_0) - B((i-1)T_0) \\ = (e^{\mu T_0} - 1) e^{-\mu T_0 i}$$

この時のNRM・二次局での待ち時間(W_N)、ARM・二次局での待ち時間(W_A)はそれぞれ次式で与えられる。

$$W_N = \frac{\lambda(1+e^{-\mu T_0})T_0^2}{2(1-e^{-\mu T_0})(1-e^{-\mu T_0}-\lambda T_0)}$$

$$W_A = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$$

ただし、 $\rho = \lambda/\mu$ 、 T_0 = 周期時間
平均送信時間($1/\mu$)を1単位とした時の
 W_N 、 W_A の数値例を図4に示す。図4より、トラヒック密度(ρ)及び周期時間(T_0)が大きくなると待ち時間の差が大きくなることが解る。たとえば、 $T_0 = 0.1/\mu$ で $\rho = 0.5$ の時、2割程度の差となる。

4.3.2 SREJの有効性

情報転送フレームのN(S)シーケンス番号誤りを回復する方法として、SREJコマンド/レスポンスを使用する方法が有効な条件と、有効な場合の伝送効率向上の程度について述べる。

次の仮定を設ける。

- (1) 回線上での誤り発生はランダムである。
- (2) 再送を要求するフレームに誤りは発生しない。
- (3) N(S)、N(R)のモジュラスは、2つの装置間で情報転送フレームの連続送信が円滑に行えるよう十分大きい。

上記仮定に基づき、計算モデルで評価した結果、回線での誤り発生率が 10^{-4} 程度の時、SREJコマンド/レスポンスを使用する場合は使用しない場合に比較して伝送効率が十数%向上することが明らかになった。

4.3.3 計算モデルによる検討の効果的な範囲

計算モデルによるHDLCC手頃の性能評価は、制御動作を場合分けして行くことで可能である。しかし、場合分けできても、分岐回線におけるポーリ

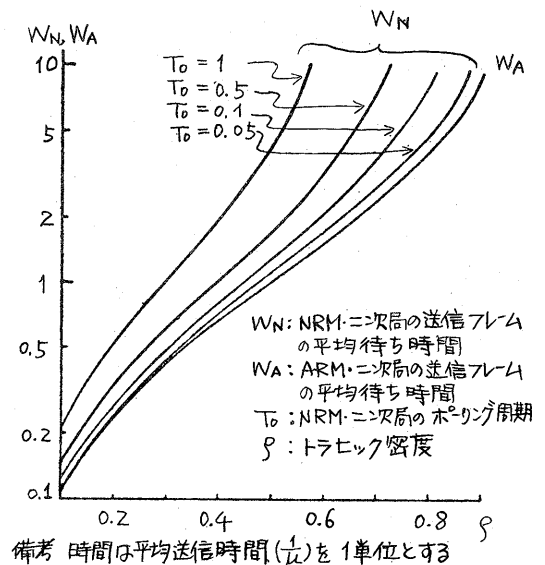


図4 NRM, ARMにおける待ち時間

ング方式のような待ち行列が複数現れる計算モデルによる性能評価は困難である。

4.4 シミュレーションによる性能評価

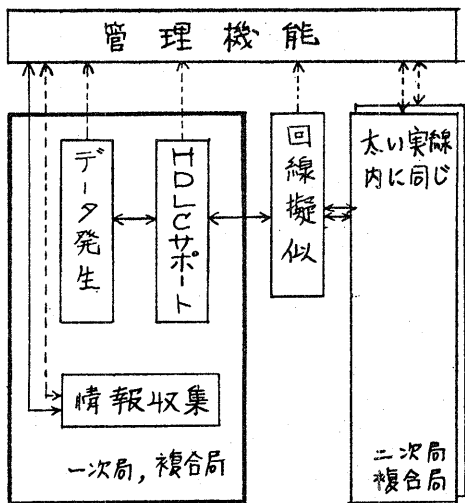
筆者らは、HDL C 手順の詳細な制御動作の検証、性能評価等を目的にシステムを設計することにした。前節までに述べたことから、これらの目的のためにはシミュレーション・プログラムを作成することが最適であると判断される。

HDLC手順シミュレーション・システムの構成概要を図5に示す。本システムは、DIPS-1 OS に制御される利用プログラムとして動作する。

5. あとがき

HDL C 準 順 ISO 案 に 基 づ い て そ の 制 御 動 作 を 詳 細 化 し て 厳 密 に 規 定 す る 方 法 及 び 制 御 動 作 の 評 価 方 法 に つ い て 述 べ た 。 本 稿 の 要 点 を 以 下 の よ う に ま と め る こ と が ぞ き る 。

まず、HDL C手順の規定方法に関し、規定対象、クラスとサブセット、規定の保証範囲及び記述手段について



注 ←---→ 制御の流れ
 ←====→ 情報の流れ

図5 HDLC手順シミュレーションシステムの構成概要

の問題点を整理した。記述手段については、ある時点における状態と遷移要因の交点に遷移先等を示す状態遷移表と、制御動作を入力とその解析、処理及び出力に大別して記述する処理状態遷移表とを用いる方法を提案した。この方法で、ISO案を基に状態遷移表により代表的な手順クラスにおける一次局及び二次局の制御動作を規定した。これに加えて処理状態遷移表により制御動作の規定をより明確に記述することにより、実際のプログラムの設計に反映させることができた。

次に、制御動作の各種評価方法を比較した。計算モデルによる検討の具体例の結果は次のとおりである。

データが発生してから送信開始までの NRM・二次局の待ち時間は、ARM・二次局のそれと比較して、3割増加する。

1つだけの情報転送フレームの再送を要求するSREJコマンド/レスポンスを使用した時は、使用しない時に比較して、回線での誤り発生率が 10^{-4} 程度の場合伝送効率が十数%向上する。

以上述べたHDL/C手順の規定方法、評価方法の問題点と類似の問題が他のレベルのプロトコルにも存在すると考えられる。今後、異種計算機間通信の重要度が増し、プロトコルの規定方法、評価方法が重要な問題となるであろう。

謝 辭

本研究を進めるにあたり終始有益な助言をいただいた都丸室長に感謝します。

文献

- (1) 加来, 田中, 松井, 苗村: データ伝送制御手順の動向, 電気通信施設, Vol. 28, No. 7, (Jul. 1976).
- (2) 森野, 梶原: ハイレベル伝送制御手順の性能について, 信学会電子計算機研資 EC 75-8, (May 1975).
- (3) High-level Data Link Control Procedures - Frame Structure -, ISO 3309, (Apr. 1976).
- (4) High-level Data Link Control Procedures - Elements of Procedures -, ISO/DIS - 4335, (Sept. 1976). 他.
- (5) Proposed Classes of Procedures, ISO/TC97/SC6 N1299, (May 1976).
- (6) 森野, 高橋, 田島, 苗村: ハイレベルデータリンク制御手順の規定方法について, 昭51情学全大 NO. 325, (Nov. 1976).
- (7) M. G. Gouda, E. G. Manning: Protocol Machines: A Concise Formal Model and its Automatic Implementation, Proc. 3rd ICC, (Aug. 1976).
- (8) B. W. Stutzman: Data Communication Control Procedures, ACM Computing Surveys, Vol. 4, No. 4, (Dec. 1972).
- (9) F. A. Schreiber: Some Linguistical Problem about Colloquies, ACM Computer Communications Review, Vol. 5, No. 4, (Oct. 1975).
- (10) P. M. Merlin, D. J. Farber: Recoverability of Communication Protocols - Implications of a Theoretical Study, IEEE Trans. Vol. COM-24, No. 9, (Sept. 1976).
- (11) 森, 荒木, 谷口, 都倉, 嵩: Time Petri Net に関する判定問題 - 通信制御手順の正しめの検証 -, 信学会オートマトン言語研資 AL 76-31, (Jul. 1976).
- (12) 中村: 周期処理待ち行列の一解法, 信学論, Vol. 51-A, No. 11, (Nov. 1968).

付録 HDLC フレーム構成の概要

(1) 基本的なフレーム構成

フラグ '01111110'	アドレス (8ビット)	制御 (8ビット)	情報 (任意)	フレームチェック (16ビット)	フラグ '01111110'
-------------------	----------------	--------------	------------	---------------------	-------------------

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8
情報転送 フォーマット	0	N (S)			P / F	N (R)		
		2^0	2^1	2^2		2^0	2^1	2^2
監視 フォーマット	1	0	S	P / F	N (R)			
					2^0	2^1	2^2	
非番号制 フォーマット	1	1	M	P / F	M			

備考 1. () 内はそのフィールドのビット数を示す。なおアドレスフィールドは 8 ビットの倍数に、制御フィールドは 16 ビットに拡張可能である。

2. 一次局が送信するフレームをコマンド、二次局が送信するフレームをレスポンスと呼ぶ。複合局はコマンド、レスポンスの両方を送信する。

例 N(S) : 送信シーケンス番号 (送信するフレームのシーケンス番号であり、0 ~ 7 (モジュロ 8) を用いる。)

N(R) : 受信シーケンス番号 (相手から送られてきたフレームの中で N(R) - 1 までのシーケンス番号を持つものを正常に受信したことを表す。)

S : 監視機能ビット (監視フォーマットの

コマンド/レスポンスの種別を表す。)

M : モディファイア機能ビット (非番号制フォーマットのコマンド/レスポンスの種別を表す。)

P/F : ポリフィアルビット (コマンドでは、ホッピング、フェージングの指示などを、レスポンスでは、エラーに対する応答、最終情報の表示などを示す。)