

パケット交換におけるマルチリンク制御

西園 敏弘 金牧 一夫 矢野 純

(日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所)

1. まえがき

パケット交換網に収容される端末のうち、網との間で直接パケットの形式で電文のやりとりをできるパケット端末は、1本の物理回線を使用して、多数の相手端末と同時に通信できる。その反面、この回線が、障害となると全通信が途絶するのでその影響が大きい。特に、大規模なTSSシステムを構築するときには、ホストコンピュータ側の回線障害対策は、重要な課題である。

パケット端末と網との間に複数の物理回線を敷設すれば通信の途絶を防止できるが、それぞれに別々の加入者番号が割当てられ個別に制御されていると、回線障害時には、別の加入者番号を投入して再接続する等の不便があり、多数のユーザからは改善策が要求されている。

これを改善するためには、単一加入者番号のもとで複数の物理回線を制御する手順が新たに必要となる。このような複数物理回線の制御手順は、種々提案されたがCCITT及びISOにおいて標準化作業の進められているマルチリンク手順が、信頼性、従来手順との親和性等の点で最も優れている。本手順は、パケット送信時にパケット毎に送信回線を選択して送信させ、その回線が障害となっても、自動的に他の回線を再選択して再送することにより、通信の続行を可能とするものである。

従って、パケット長のバラツキ、回線のビット誤まり等によりパケットの送信順序と受信順序とは必ずしも一致しないので、受信側において順序補整が必要となり、その分受信バッファが保留され、遅延時間が増加する。

本文では、マルチリンク手順におけるパケット送信回線の選択方式を提案し、それらの方式と順序待ち合わせ時間及びパケットの遅延時間との関係をシミュレーションにより測定、評価するとともに、マルチリンク手順を実現する時に考慮すべき要因を述べる。

2. 複数物理回線によるデータリンク制御

パケット交換では、通信呼毎に、論理回線 (virtual circuit) を設定し、それに番号 (logical channel number) を割当る。この番号により、単一回線上に複数の相手端末とのパケットが混在しても、網および端末は、通信相手が識別できる。論理回線の接続には、自由に相手を選択できるバーチャルコール (VC) と予め相手を固定して、発呼シーケンスを省くことができるパーマネントバーチャルサーキット (PVC) がある。

パケット交換網と端末間のインタフェースは、1) 電気物理レベル、2) フレームレベル、3) パケットレベルの3階層に分けられる。パケットレベルは、論理回線の設定および論理回線毎のパケットの転送に関するものである。フレームレベルは、全論理回線をまとめた物理回線上のフレーム (パケット) の転送に関するものであり、HDLC手順が用いられている。図2.1に各階層の関連を示す。

複数の物理回線を用いてパケットを送受するには、上記インタフェース階層になんらかの変更、追加が必要である。この制御手順として、図2.2に示す以下の3方式が提案されている。

(a) 複数加入者線方式

パケットレベルに複数物理回線制御機能を追加する方式である。論理回線を特定の物理回線に固定的に割付け、その論理回線にかかわるパケットは、対応する物理回線から送出させる。各物理回線は、それぞれのHDLC手順に従ってパケットの転送を行う。各論理回線単位には、順序逆転が起こらないので、他の2方式と異なり、順序制御が不要である。

(b) マルチライン方式

既存HDLC手順に複数物理回線制御機能を追加し、全回線を統合して、1 HDLC手順によりフレームレベルの制御

を行う方式である。物理回線と論理回線とに特定の対応を付けず、バケット毎に出回線を選択して送出させる。受信バケットの順序制御は、HDLC手順の順序番号を使用して行うので、新たな番号付与は不要である。

(c) マルチリンク方式

各物理回線は、それぞれのHDLC手順に従ってバケットを転送し、バケットレベルとHDLC手順の中間に複数物理回線制御部を新たに追加する方式である。この制御部は、バケット送信時にマルチリンクの順序番号を新たに付与してバケット毎に出回線を選択して送信させ、受信時には、この順序番号に従って順序制御を行う。

上記3方式の特徴を表2.1に示す。3方式を比較する

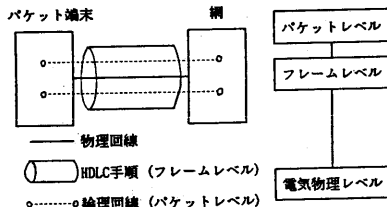
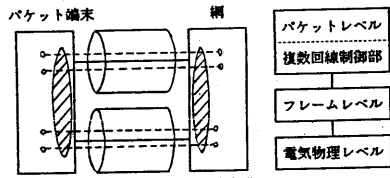
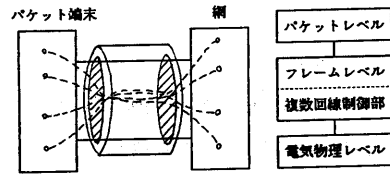


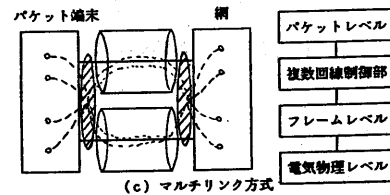
図2.1 インタフェースの階層構造



(a) 複数加入者線方式



(b) マルチライン方式



複数回線制御部

図2.2 複数回線の制御方式

と、マルチライン方式は、既存のHDLC手順を複数回線用に変更する必要があるのでISO において既に標準化がされているHDLC手順との親和性、互換性の点で問題がある。また、HDLC手順の確認応答がどの回線から返送されるかわからないので、HDLC手順の再送回数による障害検出機能では、どの回線が障害であるか判定できない。従って、電気物理レベルの障害検出機能が必要である。

複数加入者線方式は、平常時の処理負荷は少ないが、物理回線障害時には障害回線上の論理回線を他の回線上に再設定する必要があるため、VCでは、一度呼を切断して再発呼する必要があり、さらにPVCでは、再発呼できないので相手端末との間に、複数の物理回線にまたがって、別の論理回線を予め設定しておく必要がある。

これらに対して、マルチリンク方式は、新たな順序番号の付与等のマルチリンクレベルの処理が加わるため処理量は多いが、既に標準化されているHDLC手順との親和性、信頼性の点で他の方式より優れている。なお、本方式は、バケット交換網間のインタフェースを規定するCCITT 勧告X.75においてマルチリンク手順として既に標準化されており、バケット交換網とバケット端末とのインタフェースを規定するX.25およびISO においても標準化作業が進められている。

表2.1 複数回線によるデータリンク制御

項目	複数加入者方式	マルチライン方式	マルチリンク方式
基本構成	バケットレベルを複数回線用に変更 HDLC手順は変更なし	HDLC手順を複数回線用に変更 HDLCの番号付与は拡張モード(モジュロ128)の必要有り	HDLC手順とバケットレベルの中間に複数回線制御部を追加 HDLC手順は変更なし
バケットトラヒックの分配方法	論理回線毎に各物理回線に分配	バケット毎に各回線に分配	バケット毎に各回線に分配
平常時の処理負荷	順序制御が不要なので処理量小	順序制御が必要なので処理量大	マルチリンクのシーケンス番号を付与して順序制御等を行うので処理量大
回線障害時の処理	他の回線に論理回線を移し換える処理が必要である	障害回線から送出したバケットを自動的に他回線に移し換える	障害回線から送出したバケットを自動的に他回線に移し換える
回線障害の検出	HDLCのリトライアウトにより検出可能	電気物理レベルの検出機能が必要	HDLCのリトライアウトにより検出可能
信頼性向上の効果	障害回線の論理回線は新たに再設定する必要がある PVCに対する効果なし	回線障害時でも論理回線の再設定は不要	回線障害時でも論理回線の再設定は不要
国際標準化	なし	なし	CCITT X.75で標準化 X.25およびISOでも標準化の作業中

3. マルチリンク手順

図3.1にマルチリンク手順に関連するモジュール構成とフレームフォーマットを示す。図中のMLP (Multilink Procedure) が、出回線の選択、順序制御、後述するウィンドウ制御等の複数物理回線制御を行う。また、SLP (Single Link Procedure) は、HDLC手順に従う各物理回線対応の伝送制御を行うものである。新たに追加されたMLP制御部2オクテットは順序制御用に順序番号(MN(S))等を付与するフィールドである。

マルチリンクの動作概要を図3.2に示す。パケット送信時には、パケットレベルから受けとった順番に番号を付与し、自配下の適当なSLPに割当てて送信させる。受信MLPは、受信パケットをMN(S)の順序通りに並べかえた後、パケットレベルに引き渡す。従って、正常に受信されたパケットでも、MN(S)が期待順序番号でなければ、受信MLP内で待ち合わせが必要である。

マルチリンクの送達確認は、HDLC手順の送達確認により間接的に行われる。即ち、MLPは、何番のMN(S)をどのSLPに送信させたかを記憶しておき、SLPから送達確認受信報告を受けることにより対応するパケットが送達確認されたことを知る。マルチリンク手順でも、HDLC手順やパケットレベルと同様に相手からの送達確認なしに連

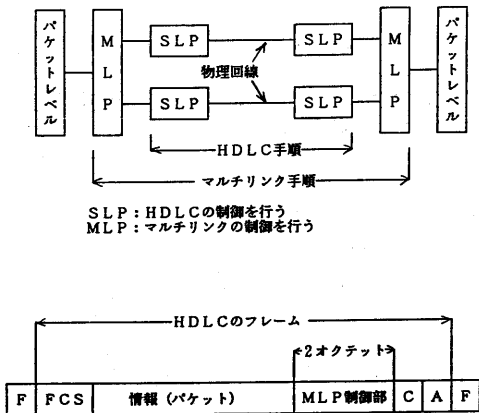


図3.1 マルチリンクのモジュール構成とフレームフォーマット

続転送可能なパケット数を制限するウィンドウ制御を行っている。即ち、最旧未確認のMN(S)から数えて、ウィンドウサイズを越える数のパケットは、送信できない(図3.3)。但し、マルチリンクでは、先に送信したパケットの送達確認を先に受け取るとは限らないので、図の様に、最旧未確認のMN(S)に対する送達確認を受けた時に、パケット数個分のウィンドウが一度に更新されることがある。

また、SLPは、送信したフレームに対する送達確認が得られない時には、HDLC手順に従って再送し、規定回数再送しても送達確認が得られない場合、MLPに報告する。MLPはそのパケットを他のSLPに移し換えて再送させる。この様にして、ある回線が障害となっても他の回線を使用して未送達のパケットを再送することにより、通信途絶が防止できる。

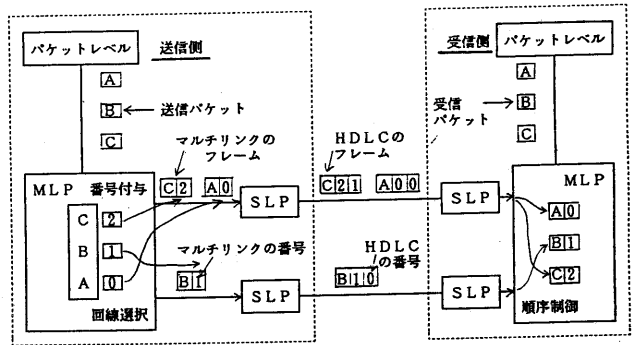


図3.2 マルチリンク手順の動作

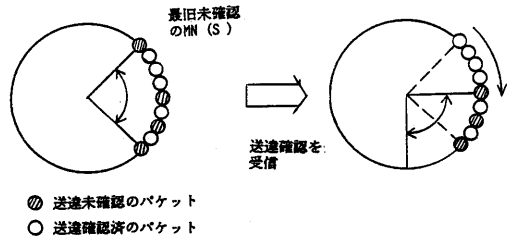


図3.3 マルチリンクのウィンドウ制御

4. マルチリンク特性評価

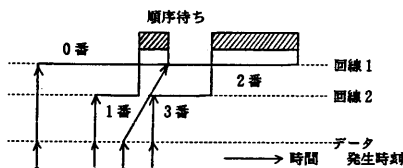
マルチリンク手順は、パケット長のバラツキ等により、発MLPの送信順序と着MLPの受信順序とは必ずしも一致しない。例えば、図4.1に示すように到着順序が逆転したパケットは、斜線部分の間着MLPにおいて待ち合わせが必要となる。この間受信バッファが保留されるとともにパケットの遅延時間がその分増加するのでそれがどの程度のものであるかは本手順実現上の重要課題である。また、図の(a)と(b)とでは、パケット長のバラツキは同じなのに、待ち時間(順序待ち時間)が異なる。これは発MLPの出回線選択方式が異なることに由来する。この様に、マルチリンクの順序待ち時間は、発MLPの回線選択方式と密接に関連する。本節は、この回線選択方式と順序待ち時間およびパケットの遅延時間との関係をシミュレーションにより測定、評価する。

4.1 回線選択方式

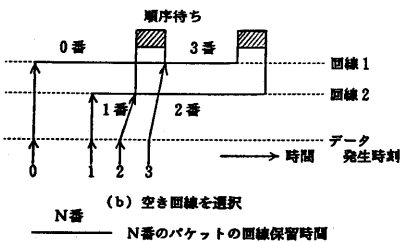
回線選択方式には、種々考えられるが、図4.2に示す以下の3方式が、比較的順序待ち時間が短いと思われる。

(1) シーケンシャル選択方式：前回パケットを割付た回線の次回線を選択する方式。

(2) 最小パケット長選択方式：各回線の送信待ちパケット数が最も少ない回線を選択する方式。



(a) 回線1, 2を交互に選択



(b) 空き回線を選択
N番 N番のパケットの回線保留時間

図4.1 回線選択方式と順序待ち時間の関係

(3) 最小オクテット長選択方式：各回線の送信待ちパケットのオクテット数が最も少ない回線を出回線とする方式。

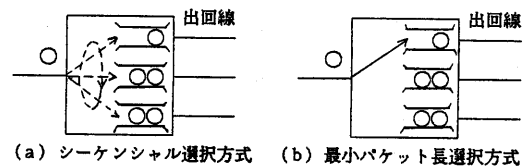
4.2 シミュレーションモデル

図4.3にシミュレーションのモデルを示す。図では簡単のために、通信の一方のみを示しているが、実際のモデルでは逆方向の通信も同じ方法で行っている。

送信側で発生したデータ(パケット)は、4.1の回線選択方式に従って、出回線を決められる。この時、マルチリンクとHDLC手順のウィンドウ制御、および出回線に空きがないことにより送信待ち合わせとなる。待ち合わせが終わると、発生時に決まったパケット長に応じた時間だけ回線を保留し、受信側に到着する。受信側では、マルチリンクの順序番号が揃うまで待ち合わせを行う。

本節で述べるシミュレーションは、以下の前提条件で行っている。

(a) データの発生間隔は指数分布



(a) シーケンシャル選択方式 (b) 最小パケット長選択方式

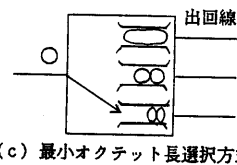


図4.2 回線選択方式

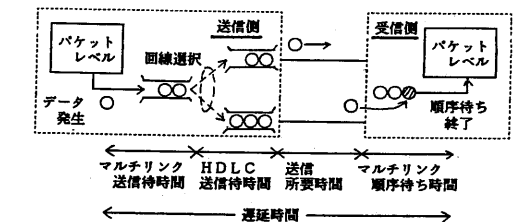


図4.3 シミュレーションモデル

(b) パケットのデータ長は指数分布 (平均128 オクテット)

(c) 回線のビット誤り率 0

(d) 網および端末の処理遅延時間 0

(e) 回線数 2本 (48 K b / s)

4.3 シミュレーション結果

上記モデルを用いて、4.1の各回線選択方式について順序待ち時間および遅延時間を測定した。遅延時間とは、送信側で、データが発生してから、受信側に到着し、順序待ちが終了するまでの時間であり、順序待ち時間とは、遅延時間のうち、パケットが受信側に到着してから順序待ちが終了するまでの時間である。測定は、

(1) ウィンドウサイズ無限大 (マルチリンクまたはHDLC手順のウィンドウ制御による受信側からの送達確認なしに連続転送できるパケット数に対する制限をなくしたもの) および、

(2) ウィンドウサイズ有限 (ウィンドウ制御による連続転送数制限を(1)に加えたもの)の2種類を行った。

以下に述べる測定結果は、シミュレーションモデルにおいて5000パケット通過毎の途中結果を6回測定した平

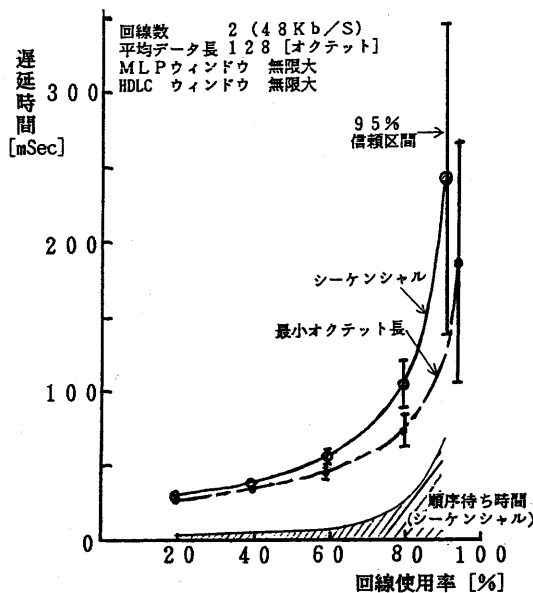


図4.4 ウィンドウ無限大の遅延時間

均値であり、95%信頼区間も併せて算出している。

(1) ウィンドウサイズ無限大

図4.4、4.5に遅延時間、順序待ち時間の測定結果を示す。図の縦軸は、それぞれの平均時間 (順序待ち時間については、順序待ちをしないパケットは、待ち時間0として平均している) 横軸は、2回線の平均利用率を示している。また、図4.4の斜線部は、順序待ち時間の割合を見るためにシーケンシャル選択方式を例にとりその順序待ち時間を同一尺度で示したものである。なお、図示していないが、最小パケット長選択方式の遅延時間は、他の2方式の間である。

図4.5より、最小オクテット長選択方式における順序待ち時間が最も短いことが分る。また、本方式では、順序番号若番のパケット (即ち、先に発生したパケット) が、必ず先に送出されるため、図4.6の様に、あるパケットが順序待ち合わせとなった場合、その待ち時間は、順序待ちの原因となるパケットの送信所要時間より短い。従って、順序待ち時間の平均値は、順序待ちの原因とな

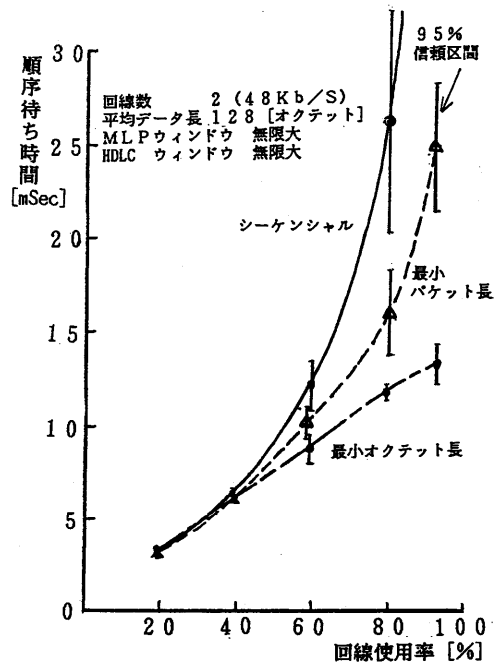


図4.5 ウィンドウ無限大の順序待ち時間

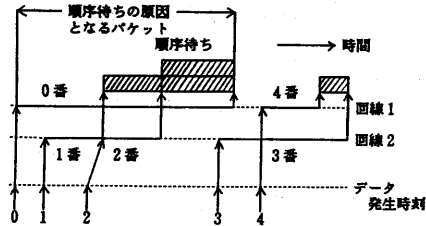


図4.6 最小オクテット長選択方式の順序待ち時間とその原因となるパケット長との関係

ったパケットの平均値より短いので、この平均が有限の場合には、待ち時間有限となる。

一方、シーケンシャル選択方式では、若番のパケットが先に送出されるとは限らないので、順序待ちの原因となるパケットが複数個となる。特に、回線使用率が1に近づくとき、一方の回線負荷がその能力を超えることがあり（例えば、送信所要時間 a 秒と b 秒のパケットが、時間間隔 $(a + b) / 4$ 秒で交互に発生）その時には、順序待ち時間は無限大となる。

(2) ウィンドウサイズ有限

- (a) HDLCウィンドウ 7
- (b) マルチリンクウィンドウ 14

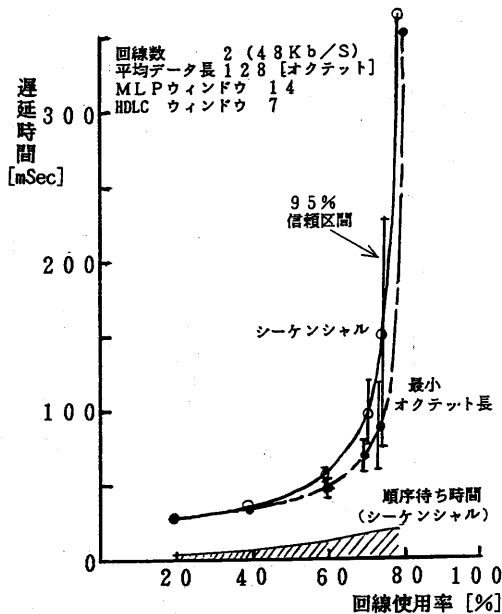


図4.7 ウィンドウ有限の遅延時間

- (c) 送達確認は、1フレームの相乗りのみ
- (d) 上り、下り同一トラヒック

の場合の測定結果を図4.7、図4.8に示す。

ウィンドウサイズを有限とすると、回線は空いていても、相手からの送達確認を受けるまでパケットの送信が不可となることがあるため、回線使用率100%未満で（図4.7では、80%程度）遅延時間が無限大となる。

これに対して、順序待ち時間は、最小オクテット長選択方式が、最も短いものの、ウィンドウサイズ無限大のとき（図4.5）と比べると、3方式の差が小さくなっている。これは、回線使用率が高いときには、回線選択方式とは関係なく、多数のパケットが送信待ち合わせとなっており、相手からの送達確認を受け取りウィンドウが更新された時点で同期してパケットが送出されるので、順序待ち時間は、回線選択方式よりもウィンドウ制御の影響を強くうけていることが原因と考えられる。

例えば、シーケンシャル選択方式を例にとると、図4.9の様に、各回線の平均送信パケット長が違えば、ウィンドウサイズ無限大のときは、順序待ち時間が次第に長くなるのに対し、ウィンドウサイズ有限のときには、順序待ち時間がある限界で打止めになる。

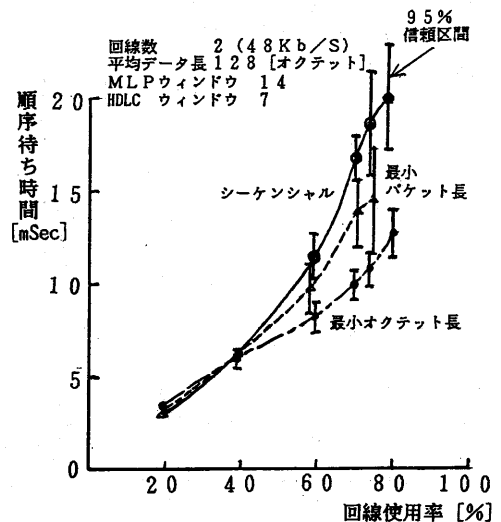
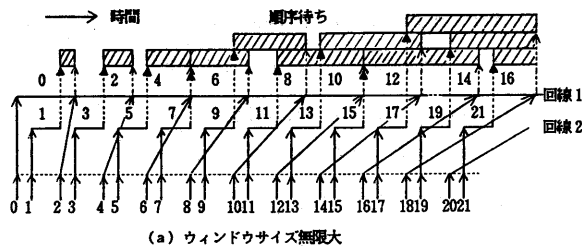
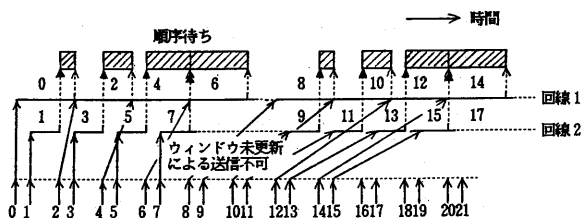


図4.8 ウィンドウ有限の順序待ち時間



(a) ウィンドウサイズ無限大



(b) ウィンドウサイズ有限

図 4. 9 ウィンドウ制御による順序待ち時間の短縮

この様に、ウィンドウ制御は遅延時間を長くするが、回線選択方式の違いによる順序待ち時間の差異を縮める効果がある。

また、図 4.7 から、回線使用率が60~70%付近までの各方式の遅延時間には大差がないこと、遅延時間に占める順序待ち時間の割合は小さいことがわかる。従って、ウィンドウサイズが小さく、回線数が少なければ、4.1 の回線選択 3 方式の何れを採っても大差はない。

5. マルチリンク手順実現上の考慮要因

前節は、回線のビット誤りや障害のない平常状態におけるマルチリンクの特性を述べたが、実際のシステム構築時にはさらに本節で述べる要因の考慮が必要である。

(1) 物理回線障害の影響

パケット転送中に物理回線が障害になると、以下の状態が発生する (図 5. 1 参照)。

(a) 正常回線から送出されたパケットは、障害回線から送出されたパケットが、マルチリンクの再送により到着するまでの間、受信 M L P 内で順序待ちとなる。このパケット数は、最悪の場合、マルチリンクのウィンドウサイズ-1 個である。

(b) 障害回線に割り当てられたパケットに対する送達確認

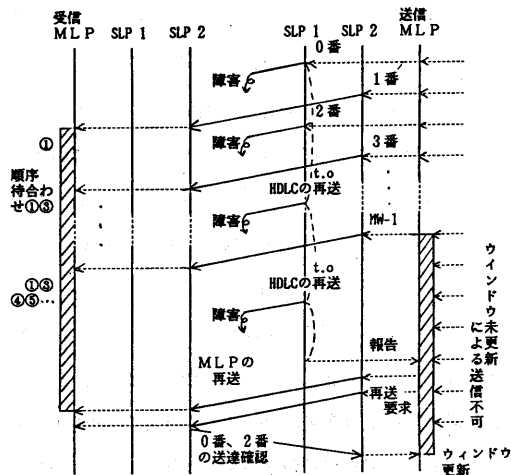


図 5. 1 回線障害による順序待と送信待

は、正常回線に移し換えて再送してはじめて返送されるので、マルチリンクのウィンドウが長時間更新されない。従って、その間に発生したパケットは、送信 M L P 内で待ち合わせとなる。

この様に、マルチリンクでは、回線障害により一時的に所要バッファ量が増加する。但し、相手 M L P の障害 (この場合は、全く通信不可) を除くとこれ以上のバッファは必要ないと考えられ、また、障害回線をマルチリンクから切り離すことにより、やがて回復する (但し使用可能回線数が減るので、その後のスループットは、減少する)。従って、システム構築時には、回線障害時を考慮したバッファの用意をすれば十分と考えられる。

(2) 回線のビット誤り

HDLC 手順では、回線のビット誤りにより受信パケットが汚された場合、受信側においてそれを廃棄し、REJ 回復手順またはタイムアウトによる送信側からの再送を待つ必要がある。マルチリンクの再送とは異なり、HDLC の再送手順なので回復時間は短く影響は少ないが、(1) と同様の原因により一時的な順序待ちおよび送信不可の状態が発生する。

回線のビット誤りに遭遇する確率は、回線障害と比べる と桁違いに大きい (ビット誤り率 10^{-6} の場合、平均バ

ケット長1000ビットならば、1000パケットに1個の割合でエラーが発生する)。従って、通信トラヒックに対応する平素の設備量(回線速度、回線数、バッファ量等)は、この分の余裕が必要がある。但し、十分な回線品質がある場合、または、回線使用率が極端に高くない場合には、この影響は、ほとんど無視できると考えられる。

(3) マルチリンク回線数

マルチリンクの回線数を増すと、平常時のスループット確保にはより大きなウィンドウサイズが必要なので、回線障害時の受信側の順序待ちパケット数が増加する。また、ウィンドウ更新の遅れによる影響も大きくなる。さらに、図には掲げないが、シミュレーション結果では回線数が多い程、受信側の順序待ち時間が長くなる。

これに対して、一般に回線数を増すと回線容量が増えるので、同じ使用率でのデータ発生から受信側に到着するまでの所要時間が短くなる。従って、遅延時間に占める順序待ち時間の割合が大きくなり、回線選択方式がそのシステムの性能を決める重要要素となる。

(4) パケット長

CCITT 勧告X.25では、パケットのユーザデータ長として、1024, 2048, 4096オクテット等が認められている。ユーザデータ長が長くなっても、制御パケット長は同じなので、必然的にパケット長のバラツキが大きくなる。従って、パケット長が長い時にマルチリンク制御を行えば、受信側における順序待ち時間は、パケット長が長いことに加えてバラツキの増加により、さらに長くなる。

また、パケットの長さに比例して回線のビット誤りによるエラー遭遇確率が大きくなること、パケットの再送所要時間が長いことにより、回線ビット誤りの影響度が大きくなる。

6. むすび

パケット交換において、複数の物理回線を単一加入者番号で使用し、回線障害による通信途絶を防止するマルチリンク手順の出回線の選択方式を提案し、それらと順

序待ち時間および遅延時間との関係をシミュレーションにより測定、評価し、以下の結果を得た。

- ①送信待オクテット数が最も少ない回線を出回線とする方式の順序待ち時間が最も短いこと
- ②マルチリンクおよびHDLC手順のウィンドウ制御により、各方式間の順序待ち時間の差が縮まること
- ③回線数が小さい場合には、遅延時間に占める順序待ち時間の割合が小さいこと

この結果から、回線数が少なく、ウィンドウサイズが小さい時には、回線選択方式は、マルチリンクの順序待ち時間と遅延時間に大きく影響しないことが分った。

また、マルチリンク手順の実現上考慮すべき要因である回線障害、ビット誤り、回線数、パケット長についても考察した。

今後は、回線のビット誤りがある場合、パケット長のバラツキが大きい場合のマルチリンク特性について定量評価する予定である。

最後に、日頃御指導賜っている吉田室長、吉田調査役をはじめとするパケット交換研究室各位に深く感謝する。

文献

- (1) 西園、金牧：“マルチリンク手順のサポート技術”，昭56年信学全大356
- (2) 西園、金牧：“マルチリンク方式に対する回線障害の影響”，昭57年信学全大1634
- (3) 大西：“パケット交換網への複数加入者線収容方式”，信学会交換研資，SE-77-97 (1977)
- (4) 近藤、高井：“複数データリンク制御手順の標準化動向”，情報処理 vol.21 No.8 (1980)
- (5) 松本、森：“パケット網間相互接続におけるトラヒック問題の検討”，信学交換研資，SE-77-45 (1977)
- (6) “Recommendation X.25”，CCITT (1980)
- (7) “Recommendation X.75”，CCITT (1980)