



研究ノート

非独立誤りチャンネルにおける ARQ 方式のスループット特性

小松 雅 治*

Throughput performance of ARQ schemes over dependent error channel

Key words : Error Control Protocol, ARQ scheme, Data Communication, Performance Evaluation

計算機間通信を初めとするデータ通信では、送受信局間のデータの伝送を正しく行うことを保証しなければならない。そのための通信規約を誤り制御プロトコルと呼ぶ。広範囲に使われている誤り制御プロトコルに自動再送要求 (ARQ: Automatic-Repeat-Request) 方式がある。ARQ 方式の評価には、①データの正確さに加え、②スループットや遅延特性も極めて重要である。②の観点に立った ARQ 方式の性能評価は、従来、誤りの発生が互いに相関性を持たないランダム誤りを仮定して行われるのが一般的であった¹⁾。しかし、実際には、伝送路上の誤り発生に相関があることが知られている²⁾。

小文では、誤り発生が 2 状態マルコフ連鎖でモデル化された伝送路上における最も基本的な ARQ 方式である Stop-and-Wait (SW) 方式と Go-Back-N (GBN) 方式のスループット特性に関する研究結果を報告するものである。

2. 基本的な ARQ 方式

データは誤り検出符号で符号化されパケットとして送信局から受信局へ送られる。受信局は、パケットを受信すると受信パケットの誤り検出

を行い、誤りを検出すれば負の確認信号 NAK を送信局に返送し、対応するパケットの再送を促す。一方、誤りが検出されなければ、正の確認信号 ACK を返送し、パケットを正しく受信したことを知らせる。以上は両方式に共通する受信局の基本動作である。

次に、各方式に特有の動作を説明する。

(1) SW 方式 (図 1 (a))

送信局は、パケットを送信すると、その確認信号が受信局から返送されるのを待つ。確認信号が ACK であれば次のパケットを送信し、確認信号が NAK であればそれに対応するパケットを再送する。また、受信局は、受信パケットに誤りを検出すればそれを破棄し、そうでなければそれを受理する。

(2) GBN 方式 (図 1 (b))

送信局は、NAK を受信しない限り、パケット番号順にパケットを連続送信する。しかし、NAK を受信すると、送信局はそれに対応する

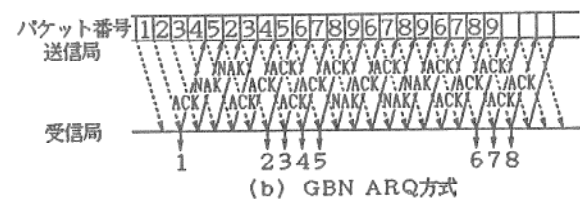
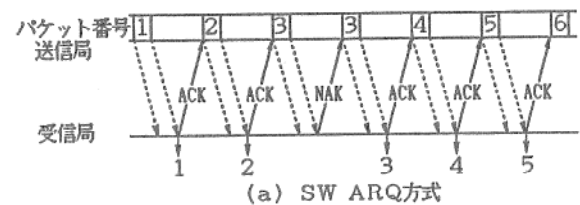


図 1 ARQ 方式の動作例



*Masaharu KOMATSU
 1948年 5 月 9 日生
 1972年大阪大学・工学部・通信工
 学科卒業
 現在、大阪大学工学部応用物理学
 科、助教授、工学博士、情報網工
 学
 TEL 06-877-5111(内線 4652)

パケットに戻り、再度順番にパケットを連続送信する。また、受信局は、受信パケットに誤りを検出しなければ受信パケットを受信し、誤りを検出すると受信パケットを破棄し、それ以降ラウンドトリップディレイ内の受信パケットを受信の対象外とする。

3. 一般化2状態マルコフ型誤りモデル

このモデルでは、パケット誤り率 e_1 と e_2 の2つの状態がスロットを単位時間として変化するマルコフ連鎖を形成する(図2)。この場合、平均誤り率 e_{av} は $e_{av} = (qe_1 + pe_2)/(p+q)$ で与えられ、また、マルコフ連鎖の特性が減衰係数 (shrinkage factor) $\delta = 1-p-q$ で表現できることが知られている³⁾。

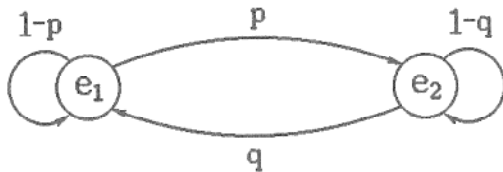


図2 一般化2状態マルコフ型誤りモデル

4. 基本的な ARQ 方式のスループット特性

ここでは、パケットがスロットに同期して送信され、その送信時間がスロットに等しく、また、ラウンドトリップディレイが n スロットであるという条件のもとで得られた理論解析と数値計算結果より、SW方式とGBN方式のスループット特性を示す。

A. SW方式のスループット特性

スループットは平均誤り率 e_{av} とラウンドトリップディレイ n にのみ依存する。

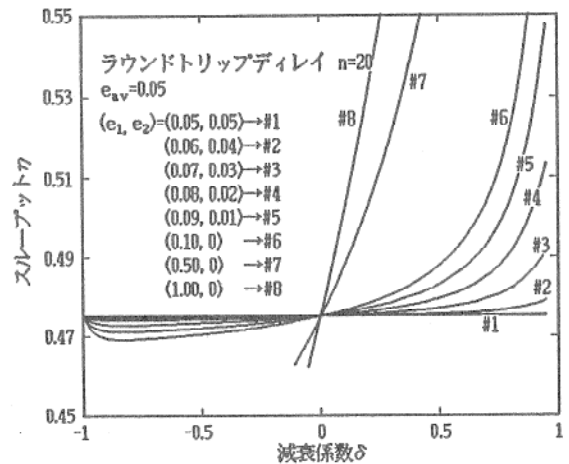
このことより、伝送路の平均パケット誤り率を観測すれば、誤り発生の変数を考慮せずスループット評価ができる。

B. GBN方式のスループット特性

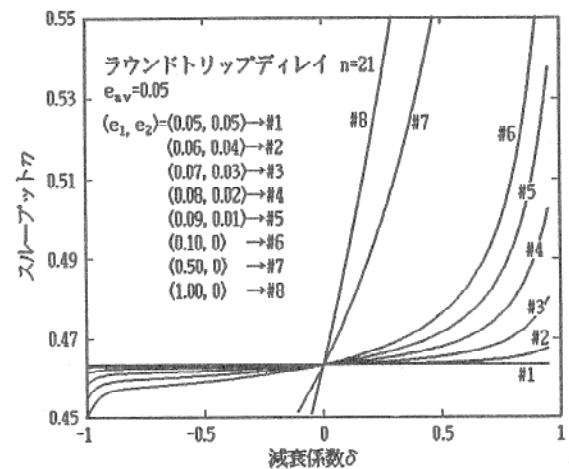
GBN方式の場合には、マルコフ連鎖の構造的特徴である減衰係数 δ 、各状態での誤り率 e_1 と e_2 がスループットに大きな影響を与える。 e_{av} を一定とした場合のスループットの特徴を以下に列挙する(図3)。

(1) $\delta = 0$ の場合はランダム誤りに相当する。

- (2) n が偶数で $\delta \rightarrow -1$ の場合のスループットはパケット誤り率が e_{av} であるランダム誤りにおけるスループットに等しい。
- (3) $\delta > 0$ の場合のスループットは、パケット誤り率が e_{av} であるランダム誤りにおけるスループットより大きい。更に、両者の差は、 δ あるいは $|e_1 - e_2|$ が大きいほど大きくなる。
- (4) $\delta < 0$ で n が偶数である場合のスループットはパケット誤り率が e_{av} であるランダム誤りにおけるスループットより小さくなる。両者の差は $|e_1 - e_2|$ が大きいほど大きい。更に、 $\delta \rightarrow -1$ において、誤りに相関がある場合のスループットとランダム誤りにおけるスループットが等しくなる。
- (5) $\delta < 0$ で n が奇数の場合のスループットは、



(a) $n=20$ (偶数)



(b) $n=21$ (奇数)

図3 スループット対減衰係数(GBN方式)

ランダム誤りの場合のスループットより小さい。両者の差は δ が小さいほど、また、 $|e_1 - e_2|$ が大きいほど大きくなる。

以上のことは、GBN方式の場合、SW方式の場合と異なり、伝送路の平均パケット誤り率だけを観測してもスループット特性を厳密に評価できないことを示すものである。

5. おわりに

パケットの誤り発生に相関がある場合の基本的なARQ方式のスループット特性についてまとめた。ランダム誤りを仮定して、ARQ方式の高性能化をはかった種々の改良方式が考えられているが、それらが誤り発生の特異性を考慮したとき、真に改良方式となっているかを検証する必要があると思われる。

参考文献

- 1) S. Lin, D. J. Costello, Jr., and M. J. Miller, "Automatic-repeat-request error control schemes", IEEE Commun. Magazine, 22, 12, Dec. 1984
- 2) C. Leung, Y. Kikumoto, and S. A. Sorenson, "The throughput efficiency of the go-back-N ARQ scheme under Markov and related error structure", IEEE Trans. Commun., COM-36, 2, Feb. 1988
- 3) R. A. Howard, "Dynamic Probabilistic Systems", John Wiley & Sons, Inc., 1971

