

負の二項分布を用いた Stop & Wait ARQ 方策

1F-5

澤田 清 三道 弘明
流通科学大学情報学部

1 はじめに

データ伝送システムに高信頼性を実現する手段の一つとして、再送要求方式(ARQ方式)が広く利用されている。これは、データ通信回線の瞬断・雑音・ひずみなどによってデータ誤りが発生した場合に、データを再送することによって正しく伝送できることに着目した方式である。しかし、回線に障害が発生しているためデータを正しく伝送できない場合には、再送を早急に中止し、回線の状態を調べたり、他の回線に切り換えるなどの措置を講ずることが必要である。このため、データ伝送プロトコルには、1ブロックのデータに対し、最初の伝送及び再送を含めた伝送試行回数に上限値が設けられているのが通常である。筆者らは、最も基本的な再送要求方式である Stop & Wait ARQ 方式を取り上げ、1ブロックデータに対する伝送試行回数の上限値を決定するための定式化を試みている^{[1],[2]}。

本研究では、1ブロックデータごとの伝送試行回数の上限値を定めるのではなく、 N ブロックのデータに対する伝送失敗回数に上限値を設定するという新しい方策を提案する。

2 問題の設定

ここでは、Stop & Wait ARQ 方式に対し、 N ブロックのデータの伝送が完了するまでの伝送失敗回数が K 回以下なら伝送を続行し、 $K+1$ 回以上なら伝送を中止するという方策を考える。これは、 $K+1$ 回伝送が失敗した時点で、それまでの伝送完了ブロック数が N 以上なら伝送を続行し、 $N-1$ 以下なら伝送を中止することと同じである。従って、 N ブロックのデータを伝送し終えるまでに、伝送失敗回数が $K+1$ 回となった場合も伝送を中止する。なお、ここで言う伝送中止とは、単に伝送を中止するだけでなく、回線の状態を調べ、障害の原因を取り除いた上で伝送し直したり、あるいは他の回線に切り換えるなどの措置をとることである。

3 定式化

ここでは、回線の状態として、次の2通りを考える。一つは通常の回線の状態であり、この状態にお

いても、瞬断・雑音・ひずみなどにより、まれに伝送不能となることがある。もう一つは、回線に障害が生じており、伝送がほとんど不能な状態である。以下では、それぞれの状態を S_0 , S_1 と書くこととする。このとき、前述した再送要求方策の下では、次のような2通りの誤った判断を下す可能性がある。

(1) 回線の状態が S_0 であるにもかかわらず、 N ブロックの伝送が完了するまでに、たまたま $K+1$ 回伝送が失敗したために、状態 S_1 であると判断する誤り。

(2) 回線の状態が S_1 であるにもかかわらず、 N ブロックの伝送が完了するまでの伝送失敗が K 回以下しかなかったために、状態 S_0 であると判断する誤り。

(1) の誤りを犯すこと、すなわち、通常の状態であるにもかかわらず回線に障害が生じていると判断することは、回線の運用者(生産者)にとって好ましくない結果である。従って、(1) の誤りの確率は、その物理的意味から、信頼性実証試験^[3]でいう生産者リスクに相当すると考えてよい。同様に、(2) の誤り、すなわち、障害が生じている回線に対して通常の状態であると判断することは利用者(消費者)にとって好ましくない結果であり、その誤りの確率は、信頼性実証試験における消費者リスクに相当する。以上の理由より、再送要求方策において、(1) の誤りを犯す確率を生産者リスクと呼び、(2) の誤りを犯す確率を消費者リスクと呼ぶこととする。

状態 S_0 における伝送成功確率を p_0 、状態 S_1 におけるそれを p_1 と書くこととすると ($0 < p_1 < p_0 < 1$)、生産者リスク、消費者リスクは、各々次のように定式化される。

$$\begin{aligned}
 \text{Prob}[R|S = S_0] &= \text{Prob}[R|p = p_0] \\
 &= \sum_{k=K+1}^{\infty} \binom{N+k-1}{k} p_0^N (1-p_0)^k \\
 &= 1 - \sum_{k=0}^K \binom{N+k-1}{k} p_0^N (1-p_0)^k \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Prob}[A|S = S_1] &= \text{Prob}[A|p = p_1] \\
 &= \sum_{k=0}^K \binom{N+k-1}{k} p_1^N (1-p_1)^k \quad (2)
 \end{aligned}$$

A Stop & Wait ARQ Policy based on the Negative Binomial Distribution

Kiyoshi Sawada Hiroaki Sandoh

University of Marketing & Distribution Sciences

3-1 Gakuen-nishi-machi, Nishi-ku, Kobe 651-21, Japan

表1 Kの範囲

N	$\alpha = 0.01$			$\alpha = 0.001$			$\alpha = 0.0001$		
	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.05$	$\beta = 0.01$	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.05$	$\beta = 0.01$	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.05$	$\beta = 0.01$
1	1-1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2-8	2-5	-	3-8	3-5	-	4-8	4-5	-
3	2-19	2-13	2-6	4-19	4-13	4-6	5-19	5-13	5-6
4	3-31	3-24	3-13	4-31	4-24	4-13	5-31	5-24	5-13
5	3-44	3-35	3-21	4-44	4-35	4-21	6-44	6-35	6-21
6	3-57	3-47	3-31	5-57	5-47	5-31	6-57	6-47	6-31
7	4-71	4-60	4-41	5-71	5-60	5-41	6-71	6-60	6-41
8	4-86	4-73	4-52	5-86	5-73	5-52	7-86	7-73	7-52
9	4-100	4-86	4-63	6-100	6-86	6-63	7-100	7-86	7-63
10	4-115	4-100	4-75	6-115	6-100	6-75	8-115	8-100	7-75

ここで、 S は真の回線状態、 p は真の伝送成功率を表し、 A 、 R はそれぞれ、状態 S_0 と判断すること（伝送続行）、状態 S_1 と判断すること（伝送中止）を意味する。

式(1)、(2)を、負の二項分布^[4]の形で書くと、それぞれ式(3)、(4)のようになる。

$$\begin{aligned}
 & \text{Prob}[R|S = S_0] \\
 &= \sum_{k=K+1}^{\infty} \binom{-N}{k} p_0^N (p_0 - 1)^k \\
 &= 1 - \sum_{k=0}^K \binom{-N}{k} p_0^N (p_0 - 1)^k \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Prob}[A|S = S_1] \\
 &= \sum_{k=0}^K \binom{-N}{k} p_1^N (p_1 - 1)^k \quad (4)
 \end{aligned}$$

以上より、本問題は、信頼性実証試験の問題と同様に、生産者リスクとして $\alpha(0 < \alpha < 1)$ を、消費者リスクとして $\beta(0 < \beta < 1)$ を指定した式(5)、(6)の両方を満足する N （自然数）、 K （非負の整数）を求めればよい。

$$1 - \sum_{k=0}^K \binom{-N}{k} p_0^N (p_0 - 1)^k \leq \alpha \quad (5)$$

$$\sum_{k=0}^K \binom{-N}{k} p_1^N (p_1 - 1)^k \leq \beta \quad (6)$$

4 数値例

上で定式化した連立不等式(5)、(6)の解 N 、 K は、一般には1組とは限らない。ここでは、伝送ブロック数 N が与えられた場合の K の範囲の数値例を示す。

表1に、生産者リスクとして $\alpha = 0.01, 0.001, 0.0001$ 、消費者リスクとして $\beta = 0.1, 0.05, 0.01$ とそれぞれ3通りの値に設定し、伝送ブロック数 N を1から10まで変化させた場合の K の範囲を示す。ただし、 K の範囲が $K_1 \leq K \leq K_2$ であることを、表中 K_1-K_2 で表す。また、-のみの表記は、与えられた N に対する K が存在しないことを意味する。なお、通常回線状態における伝送成功率を $p_0 = 0.9$ 、障害が発生している回線状態での伝送成功率を $p_1 = 0.05$ とした場合の結果である。

参考文献

- [1] 三道弘明, 中川翠夫, 小池慎一: “データ伝送における最適再送要求回数に関するベイズ論的アプローチ”, 電子情報通信学会論文誌(A), J75-A, 7, pp.1189-1192 (1992-07).
- [2] 三道弘明, 平越裕之, 澤田 清: “Stop & Wait ARQ 方策における再送要求回数の検定論的決定法”, 電子情報通信学会論文誌(A), J76-A, 3, pp.450-455 (1993-03).
- [3] Mann N.R., Schafer R.E. and Sing-purwalla N.D.: “Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data”, Wiley, New York, pp.404-410 (1974).
- [4] Feller W.: “An Introduction to Probability Theory and its Applications”, Wiley, New York (1968).