

論文95-32A-1-3

相關性を 고려한 GBN ARQ 방식의 throughput 分析

Throughput Analysis of GBN ARQ Scheme under Correlated Frame Losses

李宗遠*, 金鍾權**, 李忠雄*

(Jong Won Lee, Chong Kwon Kim, and Choong Woong Lee,)

요약

본 논문은 go-back-N ARQ 방법을 사용하는 통신망에서 使用者間 throughput을 分析한다. 본 논문에서 제안하는 분석 방법은 獨立的인 프레임 損失을 假定하거나, 프레임 손실 특성을 1차 마르코프 특성을 지닌 것으로 임의로 가정하여 throughput을 구하는 기존 방법과는 달리, 輻轉가 발생한 노드에서 프레임 損失의 相關性を 고려하여 throughput을 분석할 수 있는 技法이다. 獨立的인 프레임 손실을 假定하여 구한 결과와 제안하는 분석 방법에 의한 결과를 몇 가지 例에 대하여 比較하였으며, 전산모의실험을 통하여 제안하는 분석 방법에 의한 결과가 더욱 精確함을 檢證하였다. 제안하는 분석 방법은 高速通信網에서 중요한 輻轉 制御 방법인 BWM이 동작하는 상황에도 適用될 수 있으며, BWM 방식이 트래픽 흐름 사이의 獨立성을 유지시킴을 보였다.

Abstract

Go-back-N ARQ is widely used in packet networks for error and flow control mechanisms. This paper analyzes the network throughput under the go-back-N scheme. Contrast to other analytic methods which assume independent frame losses or the first order Markov frame losses conceptually, the proposed method takes into account the correlation between successive frame losses in a congested node. Computer simulation shows that our method generates more accurate performance results than independent assumption methods. We apply the proposed method to analyze the performance of BWM in high speed networks. Our results show that BWM maintains the independence between traffic streams.

I. 概要

70년대 ARPANET으로부터 시작된 패킷통신망은 컴퓨터의 보급이 늘어감에 따라 점차 확대되어 가고 있으며, 지난 수년 전부터 서비스 및 프로토콜에 상당한 변화가 일어나고 있다. 初期의 패킷통신망은 비교적 낮은 비트 傳送率과 높은 에러 발생 환경 하에서 동작하였다. 이러한 환경 하에서 각 노드에서의 프로토콜은 링크 단위로 에러를 復舊하는 방식으로 동작하였으며,

* 正會員, 서울大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Seoul Nat'l Univ.)

** 正會員, 서울大學校 計算統計學科
(Dept. of Statistics & Computer Science, Seoul Nat'l Univ.)

接受日字 : 1994年 2月 4日

따라서 각 노드에서 많은 프로토콜 처리가 필요하였다. 그러나 링크의 속도가 병목점이었기 때문에 각 노드에서 요구되는 프로토콜의 複雜度는 문제가 되지 않았다. 光傳送시스템이 통신망에 도입되기 시작하면서 비트 傳送率 當 가격이 낮아지고, 傳送 特性 또한 10^{-9} 이하의 대단히 낮은 비트 에러율을 지니게 되었다. 전송 속도가 빨라지게 됨에 따라 노드에서도 빠른 프로토콜 처리가 요구되게 되었으며, 광통신이 제공하는 傳送路의 특성으로 인하여 링크 사이에서 에러를 복구하는 방법은 使用者間(end-to-end)에 에러를 復舊하는 프로토콜에 비하여 長點이 없다는 것이 밝혀졌다^[1]. 이와 같은 이유로 데이터 링크 階層에서의 에러 復舊 기능을 제거하고 단순히 에러를 感知하는 등 단순화된 LAPD^[2]와 같은 프로토콜이 제안되었다.

일반적으로 高速通信網을 위하여 제안된 프로토콜은 앞에서 설명한 LAPD와 같이 통신망 내에서는 트래픽의 흐름을 제어하는 기능이 없으므로 통신망에서 輻輳(congestion)가 발생할 수 있다. 고속통신망에서는 이러한 輻輳를 방지하기 위하여 기존에 사용되던 back-pressure 등의 방법 대신에 傳送率 制御에 根幹을 둔 여러 가지 방법들이 제안되었다^{[3][4][5]}. 이들 중 Eckberg 등이 제안한 bandwidth management (BWM)방식은 事前 輻輳 制御 방법으로 다음과 같이 동작한다^[3]. 사용자는 呼를 개설하기 前에 자신이 사용할 트래픽 量을 協議한 後 프레임을 전송한다. 그러면 통신망에서는 사용자가 規定된 傳送率 以內로 사용하는 지를 監視하여 規定된 傳送率 以上の 프레임에 대해서는 該當하는 量만큼 프레임에 위반표시를 하여 전송한다. 그리고 통신망에서 輻輳가 발생하는 경우에 위반프레임을 먼저 버려 輻輳 발생을 防止하게 된다. 전송 도중에 損失된 프레임은 使用者間에 에러복구를 하게 되며, 주로 ARQ(automatic repeat request) 방식^[6]인 GBN(go-back-N) 방식이나 SR(selective

repeat) 방식이 이용된다. 이들 방법들에 윈도우 概念을 포함시켜 使用者間 흐름제어도 행하여진다.

본 논문에서는 使用者間 GBN에 의한 에러복구 기능을 행하고, 통신망 內의 한 노드에서 輻輳가 발생한 環境下에서 특정 사용자의 throughput에 대한 성능 분석을 한다. 또한 고속통신망에서 중요한 輻輳 制御를 위하여 BWM 방식이 동작하는 環境에서의 사용자의 throughput에 대한 성능 분석도 한다.

以前の GBN에 대한 분석 방법은 프레임의 손실이 서로 獨立的으로 발생한다는 假定下에서 이루어졌거나^[7], 또는 실제적인 상황을 고려하지 않고 概念적으로 프레임의 손실 특성이 1차 마르코프라는 단순한 假定下에서 성능 분석을 하였다^[8]. BWM을 고려한 GBN에 대한 분석 또한 프레임 손실이 獨立적으로 발생한다는 가정 하에서 수행되었다^{[9][10]}. 그러나 고속통신망에서의 프레임 손실은 傳送路에서 비트 에러에 의하기보다 버퍼에서의 오버플로우에 의해 발생하는 경우가 많기 때문에 프레임 손실 사이에는 높은 相關性이 있으며, 이러한 프레임 손실 특성은 단순히 1차 마르코프 프로세스로 모델링될 수 없다^[11]. 본 논문에서는 相關性을 고려하는 성능분석 방법을 제시하고, 제안한 분석 방법이 타당함을 전산모의실험을 통하여 확인한다. 2장에서는 성능분석을 위한 시스템 모델에 관하여 설명하며, 3장에서는 성능분석 방법을 기술한다. 그리고 4장은 제안하는 분석 방법에 의한 성능분석 결과와 전산모의실험 결과를 비교하며, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 통신망 모델링

성능 평가를 위하여 사용된 통신망 모델은 그림 1과 같다. 使用者間에 사용되는 GBN 프로토콜은 고정된 윈도우 크기 W를 지니고 있으며 受信側에서는 正常적

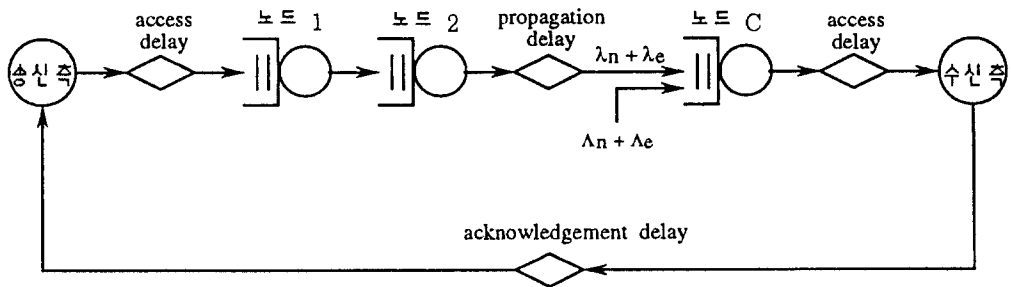


그림 1. 통신망 모델
Fig. 1. Network model.

으로 수신된 프레임에 대해서는 ACK 프레임으로 응답 하지만 順序가 다르게 들어온 프레임에 대해서는 該當 프레임을 버릴 뿐 아무런 조치도 취하지 않는다. 따라서 손실된 프레임은 送信側에서 결국 타임아웃이 되어 再傳送됨으로써 에러가 복구된다. 여기에서 타임아웃은 윈도우 크기에 해당하는 프레임을 전송할 때까지 ACK 프레임이 수신되지 않을 경우에 발생한다고 假定한다. 正常的으로 전송된 프레임에 대해서는 통신망에서의 遲延에 의해서 타임아웃이 발생하지 않는다고 가정한다. 使用者間 遲延은 低速의 통신망에서는 주로 큐잉 지연에 의해서 좌우되나, 고속의 통신망에서는 傳送遲延에 의해서 좌우된다^[12]. 따라서 윈도우의 크기를 크게 하면 타임아웃이 거의 발생치 않기 때문에 이러한 假定은 무리가 없는 가정이라 할 수 있다. 또한 受信側에서 전송되는 ACK 프레임은 통신망 內에서 손실되지 않고, 에러없이 전송된다고 가정한다.

BWM 방식을 위한 監視機能은 통신망에서 理想的으로 수행된다고 가정한다. 즉, 사용자에게 規定된 트래픽의 傳送率이 단위 시간당 Δ 프레임이고 실제 傳送率이 단위 시간당 λ 프레임일 경우에, $\lambda \leq \Delta$ 를 만족하는 한 사용자의 어떠한 프레임에 대해서도 違反 表示를 하지 않는다. 反面에 $\lambda > \Delta$ 인 경우에는 정확하게 $(\lambda - \Delta)$ 에 該當하는 프레임에 대해서는 위반표시를 하여 보낸다. 사용자의 正常的인 트래픽의 傳送率을 λ_n 으로 표시하고, 違反 트래픽의 傳送率에 대해서는 λ_e 로 표시한다.

特定 사용자의 프레임은 통신망 內에서 몇 개의 노드(즉 스위치)를 거쳐서 최종 목적지까지 전달된다. 통신망에서 한 노드를 제외하고 나머지 노드에서는 각 노드에 流入되어 서비스를 요구하는 프레임의 수가 그 노드의 서비스 用量에 비하여 적다고 假定한다. 따라서 그러한 노드들을 지나면서 프레임들은 약간의 遲延을 경험할 뿐 버퍼 오버플로우에 의한 프레임 손실은 발생하지 않는다.

트래픽 輻輳가 발생하는 노드를 C 노드라 하고, C 노드에 流入되는 성능분석 대상이 되는 特定 使用者의 트래픽을 제외한 트래픽을 干涉 트래픽이라 칭한다. 干涉 트래픽 중에서 正常的인 트래픽을 λ_n , 違反 트래픽을 λ_e 로 표시한다. C 노드에서의 버퍼의 용량은 $(K-1)$ 이며, BWM이 동작하는 경우에 노드 내의 프레임이 K' 개 이상이 되면 輻輳가 발생할 가능성이 있는 것으로 간주하여 도착하는 違反프레임을 버리게 된다. 반면에 정상프레임은 버퍼 오버플로우 발생 시에만 버려지게 된다. BWM이 동작하지 않는 경우에는 $K'=K$ 가 된다. 또한 再傳送되는 프레임을 포함한 트래픽의 도착 과정은 포아송 分布를 따르는 것으로 假定한다.

III. 성능 분석

통신망 內에서 유일하게 프레임 損失이 발생할 가능성이 있는 곳은 그림 1에 나타나 있는 노드 C에서의 버퍼 오버플로우에 의한 것으로 假定하여 使用者間の 성능을 분석한다. 이 章에서는 BWM이 적용되는 일반적인 경우에 대한 성능분석을 기술한다. 앞절에서 언급한 바와 같이 BWM이 적용되지 않는 경우는 $K'=K$ 의 특수한 경우로 간주한다. 먼저 獨立的인 프레임 손실을 假定한 경우에서의 분석 방법을 記述하고, 다음 相關성을 고려한 성능분석 방법을 記述한다.

1. 독립적 프레임 손실을 가정한 성능 분석

성능을 분석하기 위해서는 먼저 노드 C에서의 平均 프레임 損失 確率을 계산하여야 한다. 노드 C에 流入되는 特定 트래픽과 干涉 트래픽은 포아송 分布를 가지며 독립이므로, 이 두 트래픽의 합도 포아송 分布를 따른다. 또한 프레임의 서비스 요구시간은 指數 分布를 가지고 있다. 따라서 노드 C는 M/M/1/K 시스템으로 모델링할 수 있다. 노드 C에서의 狀態 遷移圖는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

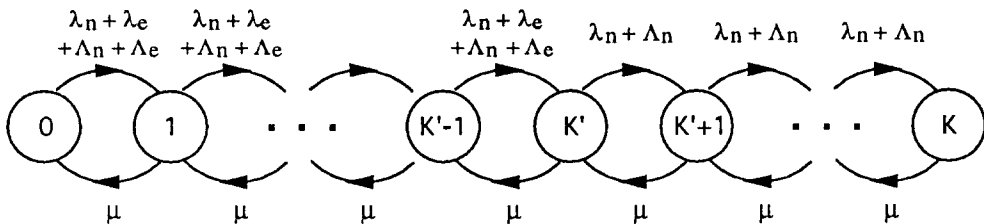


그림 2. 상태 천이도
Fig. 2. State transition diagram at node

그림 2에서 K' 는 違反프레임에 대한 문턱값을 나타낸다. 시스템 내에 i 개의 프레임이 存在할 確率을 π_i 라 하면 π_i 는 式 (1)과 같이 표시된다.

$$\pi_i = \begin{cases} \pi_0 \cdot \left(\frac{\lambda_n + \lambda_e + \Lambda_n + \Lambda_e}{\mu}\right)^i & 1 \leq i \leq K' \\ \pi_0 \cdot \left(\frac{\lambda_n + \lambda_e + \Lambda_n + \Lambda_e}{\mu}\right)^{K'} \cdot \left(\frac{\lambda_n + \Lambda_n}{\mu}\right)^{i-K'} & K' < i \leq K \end{cases} \quad (1)$$

여기서 π_0 는 시스템 內에 프레임이 存在하지 않을 確率이며 式 (2)와 같이 표시된다.

$$\pi_0 = \left[1 + \left\{ \sum_{i=1}^{K'} \left(\frac{\lambda_n + \lambda_e + \Lambda_n + \Lambda_e}{\mu}\right)^i + \sum_{i=K'+1}^K \left(\frac{\lambda_n + \lambda_e + \Lambda_n + \Lambda_e}{\mu}\right)^{K'} \cdot \left(\frac{\lambda_n + \Lambda_n}{\mu}\right)^{i-K'} \right\} \right]^{-1} \quad (2)$$

正常프레임과 違反프레임에 대한 문턱값이 다르기 때문에 각각에 대한 프레임 손실 確率 또한 달라진다. 正常 프레임의 손실이 발생할 확률을 P_n 이라 하고 違反 프레임의 손실 확률을 P_e 라 하면 PASTA(Poisson Arrival See Time Average) 性質에 의하여 이들은 각각 式 (3), (4)와 같이 된다.

$$P_n = \pi_K = \pi_0 \cdot \left(\frac{\lambda_n + \lambda_e + \Lambda_n + \Lambda_e}{\mu}\right)^K \cdot \left(\frac{\lambda_n + \Lambda_n}{\mu}\right)^{K-K'} \quad (3)$$

$$P_e = \sum_{i=K'+1}^K \pi_i = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \pi_0 \cdot \left[\frac{1 - \left(\frac{\lambda_n + \lambda_e + \Lambda_n + \Lambda_e}{\mu}\right)^{K'+1}}{1 - \left(\frac{\lambda_n + \lambda_e + \Lambda_n + \Lambda_e}{\mu}\right)^{K'}} \right] \quad K' \neq K \\ \pi_K \quad K' = K \end{array} \right. \quad (4)$$

特定 사용자 트래픽에서 正常 트래픽과 違反 트래픽의 比率이 각각 $\lambda_n/(\lambda_n + \lambda_e)$, $\lambda_e/(\lambda_n + \lambda_e)$ 이므로, 특정 사용자 트래픽의 平均 프레임 損失 確率 P 는 式 (5)와 같이 된다.

$$P = \frac{\lambda_n \cdot P_n + \lambda_e \cdot P_e}{\lambda_n + \lambda_e} \quad (5)$$

使用者間 여러復舊 혹은 흐름제어를 위하여 GBN이 사용되기 때문에 사용자 觀點에서의 throughput을 구하기 위해서는 GBN 프로토콜의 效果를 고려하여야 한다. 모델링된 통신망에서 버퍼 오버플로우로 인한 프레임 손실이 서로 獨立이라고 假定할 境遇, 그 손실 확률은 式 (5)에서 구한 P 가 되므로, GBN의 윈도우 크기가 M 일 때 통신망에서의 사용자간 throughput 效率 η_{ind} 은 式 (6)과 같이 표현된다¹⁸⁾.

$$\eta_{ind} = \frac{1 - P}{1 - P + W \cdot P} \quad (6)$$

2. 相關性을 고려한 성능 분석

受信側에 도착한 프레임 列의 한가지 類型이 그림 3에 나타나 있다. 그림에서 '0'과 '1'은 각각 성공적으로 전달된 프레임과 損失된 프레임을 나타낸다. 그림 3에서 표시된 바와 같이 프레임 列은 사이클로 구분되어 나누어질 수 있다. 각 사이클은 손실된 프레임과 $(W-1)$ 개의 프레임으로 시작된다. 이 $(W-1)$ 개의 프레임은 GBN 프로토콜에 의해서 버려지는 프레임이다. 그리고 각 사이클은 사이클 시작후 W 번째 프레임 以後에 손실된 프레임에 의해서 끝나고, 바로 이 손실된 프레임에 의해서 새로운 사이클이 시작된다.

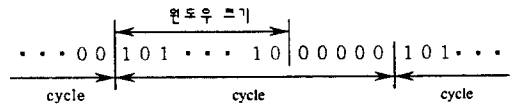


그림 3. 수신 프레임 列의 例
Fig. 3. An example of received frame sequence.

위와 같이 표현되는 경우 regenerative theorem을 이용하여 throughput을 계산할 수 있다. 즉 하나의 사이클에서 受信側에 성공적으로 전달된 平均 프레임의 갯수를 $E(N)$ 이라 하면 throughput 效率 η 는 式 (7)과 같이 된다.

$$\eta = \frac{E(N)}{W + E(N)} \quad (7)$$

따라서 노드 C에서의 프레임 損失 特性을 고려하여 $E(N)$ 의 값을 구하면 使用者間의 throughput을 계산할 수 있다.

각 사이클에서의 i 번째 프레임의 狀態를 不規則 變數 X_i 로 표현하자. 이와 같은 境遇 항상 $X_1=1$ 로 표현될 것이다. 한 사이클에서 i 개의 프레임이 성공적으로 전송된 경우를 S_i 라 하면, S_i 는 式 (8)과 같이 定義된다.

$$S_i = \{X_1=1, X_2= x, \dots, X_W= x, X_{W+1}=0, \dots, X_{W+i}=0, X_{W+i+1}=1\}, \quad (8)$$

단 $i \geq 0$, $x = 1$ 또는 0

한 사이클에서 i 개의 프레임이 성공적으로 전송될 確率을 $\Pr\{S_i\}$ 라 하면, $E(N)$ 은 式 (9)와 같이 표시된다.

$$E(N) = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot \Pr\{S_i\} \quad (9)$$

$\Pr\{S_i\}$ 의 값을 구하기 위하여 먼저 각 사이클이 시작할 때, 노드 C에 도착하는 特定 사용자의 프레임이 바라 본 시스템 狀態는 定常狀態이고, 이 프레임이 버퍼 오버플로우에 의하여 손실되므로 새로운 사이클이 시작된다고 假定하자. 定常狀態의 확률 벡터 π 는 式 (10)과 같이 定義된다.

$$\pi = [\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_K] \quad (10)$$

여기서 π_i 는 시스템 內에 i 개의 프레임이 존재할 確率로 式 (1)과 같다. 시스템이 정상 상태에 있을 때 도착한 프레임이 손실될 확률 벡터 π^+ 는 式 (11)과 같이 된다.

$$\pi^+ = \begin{cases} [0, \dots, 0, e \cdot \pi_K, e \cdot \pi_{K-1}, \dots, e \cdot \pi_{K-1}, \pi_K], & K' \neq K \\ [0, 0, \dots, 0, \pi_K], & K' = K \end{cases} \quad (11)$$

여기서 e 는 違反프레임이 도착할 確率로 $\lambda_d/(\lambda_n + \lambda_d)$ 이다.

特定 사용자 프레임이 도착한 후부터 다음 同一 사용자 프레임이 도착한 直後 사이의 시스템 遷移 確率 行列을 P^+ 라하고, 이 경우 해당 사용자 프레임이 손실된 경우의 遷移 確率 行列을 P^+ , 손실되지 않은 경우의 遷移 確率 行列을 P^+ 이라 하면, $\Pr\{S_i\}$ 는 式 (12)와 같이 표시된다. 遷移 確率 行列 P^+ , P^+ , P^+ 을 구하는 자세한 방법은 附錄에 나타나 있다.

$$\Pr\{S_i\} = \{ \pi^+ \cdot (P^+)^{W-1} \cdot (P^+)^i \cdot P^+ \cdot \epsilon^T / (\pi^+ \cdot \epsilon^T) \} \quad (12)$$

여기서 $\epsilon^T = [1, 1, \dots, 1]^T$ 이다. ϵ^T 는 벡터 ϵ 의 transpose를 의미한다. 式 (12)의 의미는 다음과 같다. 각 사이클은 첫 프레임이 손실됨으로써 시작되므로 이는 조건부 확률로 표시될 수 있으므로 이 확률은 $\pi^+ / \pi^+ \cdot \epsilon^T$ 로 표시되며, 이로부터 $W-1$ 개의 프레임은 GBN의 특성 상 손실되든지 성공적으로 전송되든지 아무런 의미가 없다. 이에 대한 遷移 確率 行列은 $(P^+)^{W-1}$ 로 표시된다. 또한 이 후로 한 사이클에서 i 개의 프레임이 성공적으로 전송되기 위해서는 i 개의 프레임이 성공적으로 전송된 뒤, 다음 프레임이 손실되는 경우이므로 이에 대한 狀態 遷移 確率 行列은 $(P^+)^i \cdot P^+$ 이다. 따라서 이 모든 경우의 합이 한 사이클에서

i 개의 프레임이 성공적으로 전송할 확률이므로, $\Pr\{S_i\}$ 는 式 (12)와 같이 표시된다.

式 (12)를 式 (9)에 代入하면, 한 사이클에서 受信 側에 성공적으로 전달된 프레임의 갯수인 $E(N)$ 을 구할 수 있다.

IV. 분석 결과

이 章에서는 몇 가지 狀況에 대하여 독립적 프레임 손실을 假定한 경우와 프레임 손실의 相關성을 고려한 경우의 throughput을 수학적 해석방법으로 비교하였다. 또한 두 방법 중 어떤 방법이 실제 상황에서 더욱 정확한 결과를 나타내는가를 살펴보기 위하여 전산모의 실험을 수행하였다. 전산모의 실험의 결과는 95% 信賴度 區間 값을 나타낸다.

기본적인 媒介變數는 다음과 같이 設定하였다. 노드에서의 버퍼는 74 프레임을 저장할 수 있고, 평균 프레임의 길이는 128바이트이며, 각 노드에서는 平均的으로 秒當 1500 프레임을 처리할 수 있다. 이 狀況은 노드간의 전송속도가 약 1.5Mb/s일 경우를 想定하고 있다. 요구되는 대략적인 윈도우 크기를 推定하면 다음과 같다. 사용자와 통신망과의 접속링크의 속도가 64 kb/s라 하면, 프레임 당 평균 傳送遲延時間(transmission delay)은 16ms이다. 한 방향 傳播遲延時間(propagation delay)이 25ms라 가정하면, 兩方向 全體 遲延 시간은 약 82ms에 노드에서의 큐잉 지연이 더해진 시간이다. 轉接이 발생치 않은 노드에서의 큐잉 지연 시간은 매우 작다고 假定하면 轉接이 발생한 노드에서의 平均 最大 지연시간은 50ms 이다. 여기에 각 노드에서의 프레임의 傳送시간을 고려하여 타임아웃을 設定하면 잘못된 타임아웃은 거의 발생치 않을 것이다. 따라서 윈도우의 크기에 의해서 프레임의 전송이 制約 받지 않기 위해서 기본적인 윈도우의 크기를 15로 하여 성능분석을 하였다.

그림 4는 $A_n=1400$, $A_d=150$, $K'=15$, $W=15$ 인 경우의 throughput을 나타낸다. 이 境遇 사용자가 통신망과 협의된 throughput은 秒當 30프레임이다. 그림에서 보는 바와 같이 사용자의 트래픽에 違反프레임이 없을 경우에는 BWM에 의하여 사용자의 프레임이 거의 損失되지 않기 때문에 獨立的인 프레임 손실을 假定 하더라도 결과는 전산모의 실험 결과와 近似하게 나타난다. 그러나 違反 트래픽의 량이 증가함에 따라, 독립적 손실 假定 下의 성능 데이터는 전산모의 실험 결과와의 差異가 커지지만, 본 논문에서 제안한 相關성을 고려한 방법으로 얻은 결과는 전산모의 실험 결과와 일치된다.

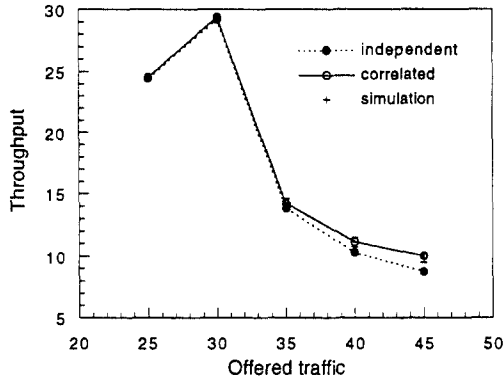


그림 4. BWM이 동작하는 환경 하에서의 $A_n=1400$, $A_e=150$, $K'=15$, $W=15$ 일 때의 throughput
 Fig. 4. Throughput vs. offered traffic for $A_n=1400$, $A_e=150$, $K'=15$, and $W=15$ in the network with BWM.

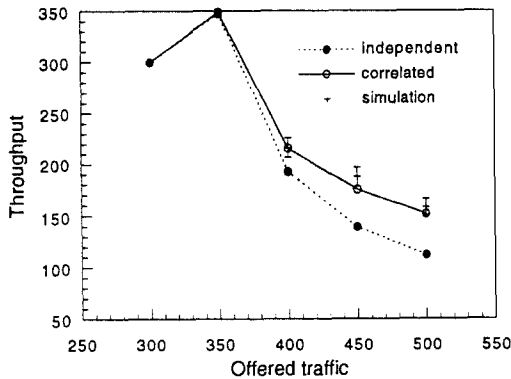


그림 5. BWM이 동작하는 환경 하에서 $A_n=1050$, $A_e=200$, $K'=15$, $W=15$ 일 때의 throughput
 Fig. 5. Throughput vs. offered traffic for $A_n=1050$, $A_e=200$, $K'=15$, and $W=15$ in the network with BWM.

이러한 결과는 違反프레임의 損失間의 相關性이 커지 기 때문이며, 이러한 경우에는 독립적 프레임 손실을 가정한 성능분석 방법으로는 정확한 결과를 얻을 수 없다. 干涉 트래픽에 대한 사용자 트래픽의 比率이 커질 경우 사용자의 프레임 손실에서 相關性이 점차 커짐을 直觀的으로 알 수 있다. 따라서 사용자 트래픽의 比率이 커짐에 따라서 독립적 프레임 손실을 가정한 경우와

相關性을 고려한 경우와의 throughput 차이가 점점 커짐을 그림 4와 그림 5를 비교해 볼 때 알 수 있다. 그림 5는 $A_n=1050$, $A_e=200$, $K'=15$, $W=15$ 이고, 통신망과 合意된 트래픽 量이 350이라고 가정한 경우이다. 이 경우에도 相關性을 고려하여 분석한 성능 결과는 전산모의실험 결과와 거의 일치한다.

그림 4, 5에서 BWM이 동작하는 경우에 사용자의 違反 트래픽이 없을 때에는 전송된 프레임이 거의 손실 없이 전송됨을 볼 수 있다. 즉 BWM이 동작할 경우에 합의된 전송율을 준수하는 사용자는 다른 사용자의 過度한 사용으로 인한 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그러나 합의된 트래픽 量을 초과하는 경우, 사용자의 throughput은 違反 트래픽의 量이 증가함에 따라 점차 낮아진다. 이러한 이유는 BWM 동작 원리에 의해서 違反프레임은 거의 대부분 버려지게 되며, 따라서 그 違反프레임을 뒤따르는 正常프레임이 수신측에 도착 하더라도 GBN 프로토콜에 의해서 버려지게 되기 때문이다.

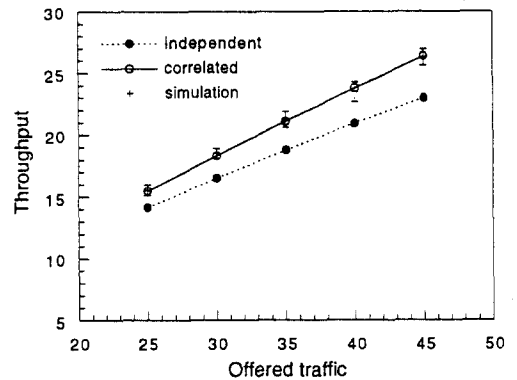


그림 6. BWM이 동작하지 않는 환경 하에서 $A_n=1400$, $A_e=150$, $W=15$ 일때의 throughput
 Fig. 6. Throughput vs. offered traffic for $A_n=1400$, $A_e=150$, and $W=15$ in the network without BWM.

그림 6,7은 BWM이 동작하지 않는 상황에서의 throughput을 나타낸다. 사용된 媒介變數 값은 각각 그림 4, 그림 5와 同一하다. 그러나 BWM이 동작되지 않는 경우에는 K' 값은 아무런 의미가 없다. 그림에서 보는 바와 같이 BWM을 사용하지 않는 경우와 BWM을 사용한 경우의 特性은 많이 다르다. 즉 BWM을 사용하지 않는 경우에는 어떤 사용자가 합의된 傳送率을 준수하더라도 다른 사용자들이 전송하는 트래픽 量에 따라서 throughput이 영향을 받음을 알 수 있다. 특

히 그림 7에서 보는 바와 같이 사용자 트래픽의 比率이 큰 경우에 있어서 독립적 프레임 損失을 假定한 경우와 전산모의실험 결과와는 throughput에서 상당한 差가 존재한다. 즉 實際 프레임 損失間의 相關성이 큰 것을 알 수 있다. 이러한 경우에도 본 논문에서 제안한 방법으로 계산한 결과와 전산모의실험 결과는 일치한다.

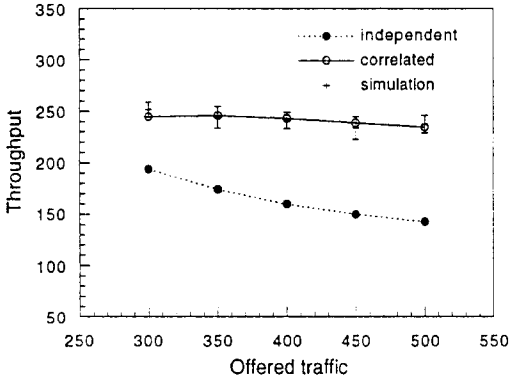


그림 7. BWM이 동작하는 않는 환경 하에서 $\lambda_n=1050$, $\lambda_e=200$, $W=15$ 일 때의 throughput

Fig. 7. Throughput vs. offered traffic for $\lambda_n=1050$, $\lambda_e=200$, and $W=15$ in the network without BWM.

그림 6, 7을 살펴보면 사용자의 트래픽이 커짐에 따라, 그림 6에서는 throughput이 增加하고 있으나, 그림 7에서는 약간 減少하는 傾向을 나타냄을 알 수 있다. 이와 같은 傾向을 면밀히 분석하기 위하여 사용자의 트래픽을 폭발적으로 증가시키기에 따라 나타나는 성능 결과를 그림 8, 9에 각각 나타내었다.

두 경우 모두 사용자의 트래픽 量이 대단히 커짐에 따라 throughput이 一定 값에 收斂함을 알 수 있다. 獨立的 프레임 손실을 假定하는 경우, 式 (6)에 式 (3)을 代入한 다음 $(\lambda_n + \lambda_e) \rightarrow \infty$ 로 하면, throughput 效率 η_{nd} 는 $\mu / \{W \cdot (\lambda_n + \lambda_e)\}$ 으로 수렴한다. 따라서 throughput은 μ / W 로 수렴하며, $\mu=1500$, $W=15$ 일 때 그림 8, 9에 나타난 바와 같이 throughput은 100에 收斂하게 된다. 그림 8에서는 사용자의 트래픽이 增加함에 따라 throughput 또한 增加하다가 減少하여 100에 收斂해 감을 볼 수 있다. 그림 9에서는 이미 초기의 throughput이 頂點을 지났으므로 사용자의 트래픽이 증가함에 따라 throughput은 감소하여 100에 收斂함을 나타낸다.

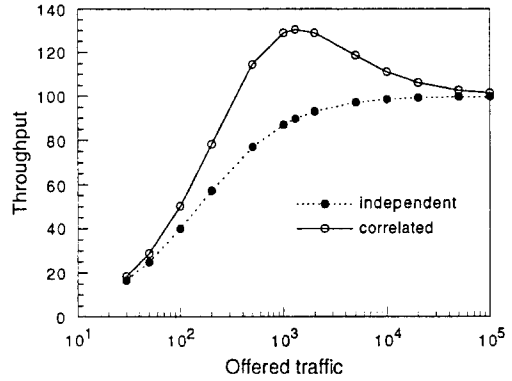


그림 8. BWM이 동작하지 않는 환경 하에서 $\lambda_n=1400$, $\lambda_e=150$, $W=15$ 일 때, 광범위한 사용자 트래픽에 대한 throughput

Fig. 8. Throughput vs. wide-ranged offered traffic for $\lambda_n=1400$, $\lambda_e=150$, and $W=15$ in the network without BWM.

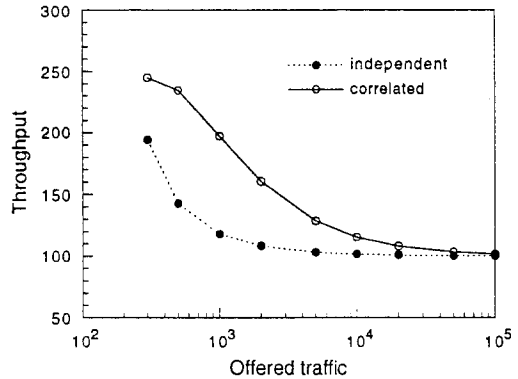


그림 9. BWM이 동작하는 않는 환경 하에서 $\lambda_n=1050$, $\lambda_e=200$, $W=15$ 일 때, 광범위한 사용자 트래픽에 대한 throughput

Fig 9. Throughput vs. wideranged offered traffic for $\lambda_n=1050$, $\lambda_e=200$, and $W=15$ in the network without BWM.

그림 8에서 보는 바와 같이 throughput의 差가 變化하는 이유는 divergence^[11]를 比較함으로 알 수 있다. divergence란 確率 分布간의 답음 정도를 비교할 수 있는 尺度로 式 (13)과 같이 定義된다.

$$D \equiv \sum_{i=0}^W P(i, W) \cdot \ln \frac{P(i, W)}{P_{ind}(i, W)} \quad (13)$$

여기서 $P(i, W)$ 와 $P_{ind}(i, W)$ 는 각각 相關性을 고려한 경우와 獨立的인 프레임 손실을 가정한 경우에서 윈도우 크기의 블록에서 i 개의 프레임 손실이 발생할 確率을 나타낸다. 그림 8에서 표시된 성능 데이터에 대한 divergence가 그림 10에 나타나 있다.

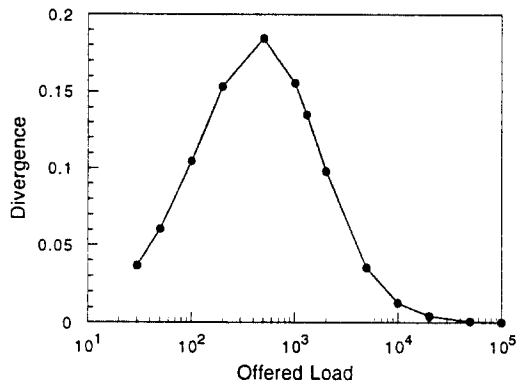


그림 10. 그림 8에서의 사용자 트래픽에 대한 divergence

Fig 10. Divergence of the offered traffic with the same parameters in Fig. 8.

divergence는 throughput과 比例 關係에 있는 尺度는 아니지만, 獨立的인 프레임 손실을 가정한 경우와 相關性을 고려한 경우에서의 throughput의 差를 간접적으로 설명한다. 그림 10에서 보는 바와 같이 사용자의 트래픽이 적은 때에는 divergence가 작다가, 트래픽 量이 많아짐에 따라 divergence도 漸次 커지게 된다. 그러나 사용자의 트래픽이 대단히 커짐에 따라 divergence는 '0'에 收斂하게 된다. divergence가 '0'에 收斂한다는 意味는 두 경우에서 確率 分布가 거의 일치한다는 것이며, 그 이유는 確率 分布에서 $P(W, W)$ 의 確率, 즉 모든 프레임이 손실될 確率이 대단히 크기 때문이다. 사용자의 트래픽이 적은 경우에는 特定 사용자의 프레임 도착 사이에 干涉 트래픽이 많이 도착하기 때문에 사용자 프레임 損失間의 相關性이 작아지기 되므로, 당연히 divergence도 작게 된다. 따라서 사용자의 트래픽이 적은 경우와 대단히 큰 경우에는 相關性을 고려한 경우와 獨立的인 프레임 손실을 假定한 경우에서의 블록 내에서의 프레임 손실 확률 분포가 아주 類似하므로 역시 그림 8에서 보는 바와 같이

throughput도 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 그러나 사용자 트래픽이 어느 정도 큰 부분에서는 독립적 프레임 손실을 假定한 경우와 相關性을 고려한 경우와의 프레임 손실 확률 分布의 差가 커짐을 알 수 있다. 그러므로 그림 8에서 보는 바와 같이 throughput에서도 상당한 差異를 나타낸다.

V. 結 論

고속통신망에서의 프레임 손실은 傳送路上에서 비트 에러에 의하기보다 버퍼에서의 오버플로우에 의해 발생되는 경우가 많으며, 링크가 점차 高速化되면서 輻輳가 발생한 노드에서의 프레임 損失間의 相關性은 더욱 증가하게 된다. 따라서 기존의 방법과 같이 獨立的인 프레임 손실을 假定하여 고속통신망을 설계할 경우에 실제 성능과 差異가 커지게 된다. 본 논문에서는 고속통신망에서 하나의 노드에서 輻輳가 발생하는 실제적인 상황을 고려하여 사용자간 GBN의 throughput을 구하는 방법을 提示하였다. 즉 노드에서의 프레임간 손실의 상관성을 고려하여 GBN throughput을 구할 수 있는 방법이다. 프레임 손실간의 相關性이 큰 경우에서 독립적 프레임 손실을 가정한 성능 결과는 전산모의실험 결과와 차이가 크나, 提案한 방법은 전산모의실험에 더욱 近似한 성능 결과를 나타냄을 보였다. 또한 제시한 해석방법은 고속통신망에서 중요한 事前 輻輳制御 방법인 BWB이 사용되는 경우에 있어서도 適用될 수 있음을 보였다.

본 논문에서 提案한 방법을 이용하면 상관성을 고려한 SR ARQ의 throughput을 비롯하여 輻輳가 발생한 노드에서의 프레임 損失 프로세스에 대한 여러 가지 特性도 쉽게 구할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] K.J. Chen, B. Doshi, H.Q. Nguyen, and K.M. Rege, "Performance of LAPD Frame-Relay Networks: Transmission Error Effects and Congestion Control," ITC 12, Toronto, June 1988.
- [2] CCITT Recommendation I.122, Framework for Providing Additional Packet Mode Bearer Services, CCITT White Book, 1992.
- [3] A.E. Eckberg and P.E. Wirth, "Switch Overload and Flow Control Strategies in

