

에러 회복 기능을 포함하는 Ethernet 전송 프로토콜에 관한 연구.

오바 상대*, 신 우철, 이 상배, 박 민용

* 연세대학교 전자공학과

A Study on the Transmission Protocol Including Error Recovery Strategy for Ethernet

PARK SEONGRAE, SHIN WOO CHEOL, LEE SANGBAE, PARK MIGNON

Dep. of Electronic Eng. Yonsei Univ.

ABSTRACT

In this paper, a transmission protocol including error recovery strategy on the data link layer for Ethernet using CSMA/CD media accessing method was proposed.

So when considering the actual transmission error probability on the channel, it's performance was analyzed through a simulation.

Performing the simulation, the required parameters was taken as those given by Ethernet controller interface board.

그 분석에 있어서는 매체상에서의 전송 에러 확률을 배제하였다. 그러나 실제의 경우 채널의 특성, 시스템의 불안정, 우발적인 사고에 발생할 수 있는 전송에러 확률을 포함시켰을 경우, 이에 따른 정확성과 실질성을 기하기 위해서는 그 결과를 재검토 해보아야 한다. 본 논문에서는 이를 고려할 경우 발생할 수 있는 에러를 회복하는 기능을 포함하는 전송 프로토콜을 제안하였다.

따라서 이 때의 CSMA/CD의 성능을 재분석하고 제안된 전송 프로토콜과 같이 CSMA/CD에 에러 회복 기능을 추가시켰을 경우 에러의 발생 확률을 변형시킬 때 각각의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 과정에 있어서 필요한 파라미터는 실제로 Ethernet 제어 보드가 제공하는 값과 일치하도록 하였다.

I. 서론

LAN이란 용어가 활발하게 사용되기 시작한 것은 1980년대 이후로, Xerox, Dec, Intel 등의 3사로 부터 Ethernet의 표준화된 사양이 발표되고 1982년에 IEEE 802.3 모델의 표준안으로 채택되면서 그 관심은 점차 고조되었다. 현재 사용되고 있는 LAN 시스템은 CSMA/CD 매체 접근 방식을 사용하는 버스 형태의 토폴로지를 이용한 것이 주종을 이루고 있는데 이것은 기본 사양이 공개되고 있고 INTEL, Mostec, AMD 등의 여러 반도체 회사들에 의해 VLSI화된 LAN 전용 칩이 생산되고 있기 때문이다.

본 연구실에서도 AMD사의 Am 7990 Ethernet 패밀리 IC인 LANCE를 사용하여 IBM-PC로 LAN을 형성하기 위한 Ethernet 인터페이스 보드를 설계하여 개발한바 있으며 구성된 하드웨어를 이용하여 실질적인 파일 전송을 구현하기 위하여서는 상위 계층에서 응용 프로그램의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 Ethernet 인터페이스 보드를 이용하여 CSMA/CD 전송매체 접근 방식을 택하는 Ethernet을 위하여 에러 회복기능을 가지는 전송프로토콜을 제안하고 그 성능을 분석하였다. OSI의 기준 모델인 7 계층에서 하위 계층인 데이터 링크 계층, 물리 계층과 호환성을 유지하는 IEEE의 지역망 표준 모델인 802.3의 CSMA/CD에 대한 성능분석은 대표적인 Lam, Bux 등에 의하여 이루어진 바 있다.

II. ETHERNET이란?

1975년 XEROX사에 의해 제안되었으며, unrooted tree 형태의 토폴로지를 가지면서 CSMA/CD media access 방법으로 정보 전송을 실시하는 근거리 통신망의 일종이다.

1980년 Xerox, DEC, Intel 등의 3사로 부터 표준화된 사양이 발표되었고, 1982년에 IEEE 802.3 모델의 표준안으로 채택되었다.

Ethernet은 그림2-1와 같이 공통의 전송 매체로 함께 연결된 다수의 스테이션에 패킷을 전송한다.

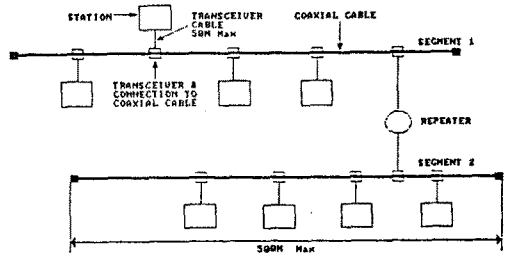


그림2-1. Ethernet의 버스 형태의 토폴로지

통신망을 구성하는 각각의 스테이션은 다른 모든 스테이션이 전송한 모든 패킷을 수신할 수 있는 데, 여기서 스테이션이란 단말기, 프린터 등과 같이 통신망을 통하여 정보의 교신이 가능한 주변 기기들을 말한다.

Ethernet의 개념은 정보의 traffic 이 bursty하다는 가정을 전제로 한다. 따라서 여러개의 스테이션은 시분할 멀티플렉싱을 이용한 공중의 전송매체를 효율적으로 공유할 수 있다. 이러한 패킷 전송 개념은 ALOHA 통신망에서 처음으로 시도되었다. Ethernet은 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 통신망으로 분류되는데, 여기서 CSMA/CD란 다수의 스테이션이 전송을 개시하기 전에 매체의 상태를 감지하고 또한, 다른 스테이션과 전송도중 충돌이 일어났을 지를 탐지할 수 있는 통신 protocol을 말한다. Ethernet은 스테이션 간에 산재해 있는 통신망 제어기를 상호 연결수 있는 매체를 가지고 있는데, 이는 전적으로 수동적이며 일반적으로 Xerox사가 제시한 표준형 coaxial cable을 일컫는다. 이 케이블의 토폴로지는 unrooted tree 형태이며, 이러한 tree 형태를 이루어야만 어떤 두개의 스테이션 간에 다중path가 생기지 않아 패킷이 간섭을 일으키지 않는다. 또한, 케이블의 양단은 케이블의 임피던스와 같은 값을 가지는 수동저항으로 적절하게 처리해 주어야만 사를 막을 수 있다. 통신망으로의 액세스에 있어서 미디어는 스테이션 간에 경합이 일어날 수 있는 확률을 가지고 공유된다. 어느 한 스테이션이 패킷을 전송하고자 할 때, 우선 통신망이 다른 스테이션의 사용으로 점유되어 있는 지를 감지한다. 이때 사용중이면 전송이 끝날 때까지 기다리고, 통신망이 비사용중이면 자신의 패킷을 전송하기 시작한다. 패킷을 전송하고 있는 스테이션은 이의 동시에, 전송을 시도하고 있는 또 다른 스테이션과 충돌을 일으키고 있지 않음을 확인하도록 자신의 전송을 관리한다. 만약 충돌이 발생했으면 전송을 시도했던 스테이션은 jamming 신호를 내보낸다. Ethernet에 있어서 jamming 신호는 적어도 32 bit에 해당하는 임의의 신호이다. 각각의 스테이션은 자신의 전송을 포기하고 Ethernet이 제공하는 truncated binary backoff 알고리즘에 의해 임의의 시간을 기다린 후 재전송을 시도한다. 일단 스테이션이 충돌없이 미디어를 점유할 수 있게되면 전송하고자 하는 모든 패킷을 전송한다.

각각의 스테이션은 자신의 고유한 주소를 가지고 있으며, Ethernet에는 최대 1024개의 스테이션이 존재할 수 있다. 실제로 대부분의 Ethernet에서는 스테이션의 수를 255개로 제한하고 있으며 0번지는 broadcast 번지로 사용된다. 각 스테이션은 통신망을 통해 전송되는 패킷의 목적지 주소를 검사해서 자신의 번지를 포함하거나 broadcast 번지를 포함하는 패킷만을 수신한다. Broadcast는 각각의 스테이션에 의해 acknowledge 되지 않는다.

Ethernet에 있어서 신뢰성은 설계 구조의 간략성에 있다 하겠다. 공중의 전송 매체와 분산된 제어기를 가지고 있기 때문에 어느 한 스테이션에 이상이 발생하여도 전체적인 통신망에는 영향을 미치지 못한다. 이러한 시스템의 간략성으로 인하여 패킷들은 높은 확률을 가지고 전송된다.

III. 전송 프로토콜의 설계 및 성능 분석

1. 에러 회복을 포함하는 전송 프로토콜의 설계

설계된 전송 프로토콜은 근본적으로 Stop and Wait 프로토콜의 개념과 유사하다.

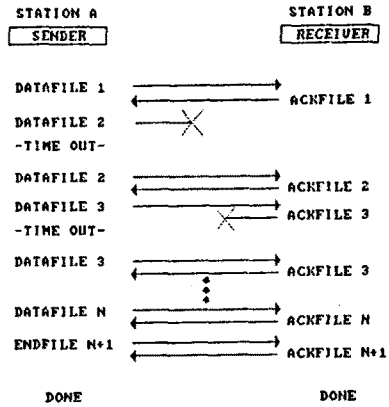


그림3-1. 전송 프로토콜의 실행 예

스테이션 A에서 B로 frame을 전송할 경우를 생각한다. 그림3-1에서의 같이 스테이션 A는 Datafile 1을 전송하고 receiver로부터 ackframe을 기다린다. 이때 Datafile들은 몇개의 frame으로 구성된다. 따라서 Datafile 내의 N개의 frame은 하나의 ackframe 내에서 각각 ack를 받게된다. 스테이션 A가 Timeout 내에 ack를 수신하지 못하면 nak로 간주하여 다시 Datafile 2를 전송한다. 이와 같은 과정으로 스테이션 A가 Endfile을 전송하고 ack를 받으면 전송은 끝나게 된다. 이러한 프로토콜은 Ethernet에서의 같이 전송 매체를 공유하는 Half Duplex 방식에 적합하다.

그러나 스테이션의 수가 증가할 경우, 스테이션들간의 경합이 발생할 확률도 자연히 증가하게 되므로, 제안된 프로토콜의 성능을 극대화 하기 위해선 적절한 timeout 구간의 설정이 중요한 문제가 된다. timeout 구간의 최소단위가 되는 time slot $2t$, 즉 round trip 전송 지연 시간은 그림 4와 같은 규모의 통신망을 구성하였다고 가정하였을 경우 크게 다음과 같은 물리적인 특성 요인으로 결정된다.

- 케이블의 양 끝이 특성 임피던스로 종단되어 하나의 segment를 이루며 이는 최소 단위의 토폴로지를 이룬다. 한 segment의 최대 길이는 500m이다.
- segment 간에는 repeater를 설치해야 하며 2개의 스테이션간에는 최대 2개의 repeater가 연결될 수 있다.
- 두개의 스테이션간에서 이루어질 수 있는 최장의 path의 길이는 1500m이며 최악의 경우 coaxial cable에서의 전송 속도는 빛의 속도에 대해 0.77 배이다. 따라서 최악의 경우 coaxial cable에 대한 round trip 전송 지연 시간은 13ms가 된다.
- Transceiver cable의 최대 길이는 50m로 제한되며 최악의 경우 신호는 6개의 path를 거쳐야 한다. 이때 transceiver cable에서의 전송 속도는 빛의 속도에 대해 0.65 배로 추정된다. 따라서 이 경우 transceiver cable에 대한 총 round trip 전송 지연 시간은 3.08ms가 된다.

실제로 Am7990에서는 time slot을 $2t=51.2$ s로 설정하고 있다. 따라서 총 round trip 전송 지연 시간, $2t$ 는 $2t=51.2$ s로 결정한다.

2. 전송 프로토콜의 성능 분석

앞에서와 같은 file 전송 프로토콜의 성능을 분석하기 위하여 다음과 같은 가정을 한다.

- a. Packet의 전송은 통신망을 이루는 N 개의 station 중 임의의 두개의 스테이션간에서 행해진다.
- b. 하나의 Datafile은 M 개의 frame 으로 구성되고, 하나의 ackframe으로 M 개의 frame 을 각각 ack한다.
- c. 통신망을 구성하고 있는 N 개의 스테이션은 전송할 데이터 화일을 가지고 있는 경우 전송 패킷을 액세스하려고 한다.

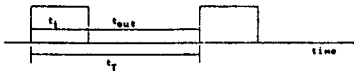


그림3-1. 패킷 전송의 시간적 표현

t_r : 하나의 패킷에 대해서 충돌이 발생하지 않을 때까지 재전송을 시도하여 걸린 가상 전송 시간.

t_{out} : 전송한 패킷에 대하여 receiver로부터 ack 또는 nak frame을 수신할 시간 간격.

$$t_r = t_i + t_{out} \quad \text{식(1)}$$

τ : end to end propagation delay 라 할 때 t_r 를 구하기 위하여 우선 t_i 를 구해본다. 가상 전송 시간 t_i 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

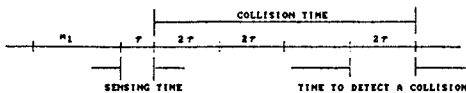


그림3-2. 데이터 파일의 가상 전송 시간

따라서 t_i 는

$$t_i = m_1 + \tau + 2\tau J_m \quad \text{식(2)}$$

여기서 m_1 은 데이터 화일의 길이, J_m 은 재전송을 시도할 경우 필요한 time slot, 2 의 갯수가 된다.

Ethernet의 truncated backoff algorithm 을 고려해 볼 때 J_m 을 다음과 같이 나타낸다.

$$J_m = \sum_{k=0}^{m-1} k \cdot v \cdot (1-v)^{k-1} = 1/v \quad \text{식(3)}$$

v 는 N 개의 스테이션중 경합을 피해 하나의 스테이션이 전송에 성공할 확률을 나타낸다. v 는 다시

$$v = n \cdot p \cdot (1-p)^{n-1} \quad \text{식(4)}$$

로 나타내지며, v 가 최대일 때를 구하기 위해 $\frac{dv}{dp} = 0$ 일 때 p 를 구해보면 $p = 1/n$ 에서 v 는 최대값을 갖는다.

따라서

$$v_{max} = (1 - \frac{1}{n})^{n-1} \rightarrow e^{-1}, \quad n \rightarrow \infty \quad \text{식(5)}$$

위 식(5) 를 이용해서 t_i 를 다시 나타내면

$$t_i = m [1 + a(1/e)] \quad \text{식(6)}$$

Ethernet의 truncated backoff algorithm 을 살

펴보면, 충돌이 발생했을 경우 최대 16 번까지 재전송을 시도한다. n 번째 충돌이 발생하면 $r < 2^{n-27}$ 인 임의의 수를 발생시켜 time slot r 에서 재전송을 시도하게 되며, 다시 충돌이 발생했을 경우 $r < 2^{n-27}$ 내에서 재전송을 시도한다.

N: 스테이션의 갯수 ($2 \leq N \leq 1024$) 이라고 하면 식(3) 에서 한 스테이션에서의 패킷의 도착율이 일정할 경우 N 이 증가할 수록 J 도 증가하게 되는데, 이는 자연스럽게 스테이션의 수가 증가할 수록 경합을 해결하는데 필요한 time slot 의 수가 더 많이 요구되기 때문이다.

t_r 를 구하기 위해서 ack frame의 가상 전송 시간, 즉 t_{out} 은 아래 와 같이 나타내어 진다.

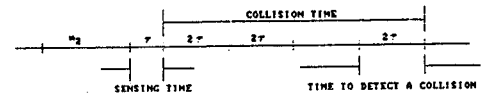


그림3-3. Ack frame 의 가상 전송 시간 (t_{out})

$2 \cdot \tau = 51.2$ S 이고, m_2 는 Ethernet의 frame format에서 최소 72 byte로 고정시킬 수 있으므로 전송 시간은 $72 \times 8 \text{ (bit)} / 10 \cdot 10^6 = 57.6 \mu s$ 즉, $m_2 \approx 2 \cdot \tau$ 로 간주한다.

따라서, $t_{out} = 2\tau + \tau + 2\tau J_{ack}$ 와 같다. 식(7)

timeout 구간을 정하기 위해서 마찬가지로 충돌을 일으키지 않고 수신 스테이션이 하나의 ack frame 을 전송하는 데 필요한 timeout 을 계산해 본다.

앞에서의 J_m 은 N 개의 스테이션중에서 전송하고자 하는 어느 한 스테이션을 충돌을 일으키지 않고 전송하는 데 필요한 timeslot을 나타낸다.

이 때, 이 data file 을 수신한 스테이션은 이에 대해서 최우선적으로 ack frame 을 전송 스테이션에 보내주어야 한다.

수신 스테이션에 ack frame 전송 기회의 최우선권을 주기 위해서 다른 스테이션과는 달리 충돌해결을 위해 backoff algorithm 을 이용하지 않고 충돌이 발생하면 다음 timeslot이 시작할 때 바로 재전송을 시도한다.

따라서 ack frame 은 최우선적으로 전송이 되며 이때 재전송에 필요한 평균 timeslot의 갯수 J_{ack} 은 J_m 과 같이 나타낼 수 있다. 다시 말해서 J_m 을 구할 때 N 개의 스테이션 중 전송에 성공하는 수신 스테이션에 해당한다. 즉 다음과 같은 식을 얻는다.

$$J_m = J_{ack} = J \quad \text{식(8)}$$

따라서

$$t_r = m_1 + m_2 + 2\tau + 4\tau J \quad \text{식(9)}$$

P_e : 스테이션 B에서 수신한 frame 에 error 가 발생했을 확률

t_v : 스테이션 B에서 수신한 frame 에 error 가 발생하지 않고 전송될 때의 평균 전송 시간

이라 할 때, t_v 는

$$t_v = t_r + \sum_{i=1}^{\infty} P_e^i \cdot (1-P_e) \cdot i \cdot t_r \quad \text{식(10)}$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} P_e^i \cdot (1-P_e) \cdot i \cdot t_r = P_e \cdot t_r / (1-P_e)$$

로 나타내어 진다.

그러므로 $t_v = t_r / (1-P_e)$ 이다. 식(11)

단, B에서 A로의 ack frame에는 error가 발생하지 않는다고 가정한다.
따라서, maximum throughput (packet/sec)은

$$\lambda_{max} = \frac{1}{t_v} = (1-p_e)/t_T \quad \text{식(12)}$$

로 표현된다.

normalized throughput은

$$\rho = \lambda \cdot m < \frac{(1-p_e) \cdot m}{t_T} < 1 \quad \text{식(13)}$$

로 표현된다.

l : 패킷에서 data field의 길이
l' : 패킷에서 control field의 길이

p_b : 적어도 한 bit에서 error가 발생할 확률

$$p_e = 1 - (1-p_b)^{l+l'} = 1 - p_b^{l+l'} \quad \text{식(14)}$$

가 아주 작을 때

$$p_e \approx 1 - (1-p_b)^{l+l'} \approx (l+l') \cdot p_b \quad \text{식(15)}$$

D : average data rate (초당 전송되는 최대 bit 수)라 하면

$$D = \lambda_{max} \cdot l = \frac{(1-p_e) \cdot l}{t_T} = \frac{(1-p_e) \cdot l}{(m + 4\tau + 4\tau e)} \quad \text{식(16)}$$

D/C : normalized data rate

$$D/C = p_b^{l+l'} \cdot l / [l+l' + 4\tau \cdot (1+e)] \quad \text{식(17)}$$

위 식에서 $a = \frac{4\tau}{l+l'}$, 즉 전송 지연 시간/데이터 회일의 전송시간으로 정의되므로 파라미터 a에 대하여 다음과 같이 표현된다.

$$D/C = p_b^{l+l'} \cdot l / [l+l' + 4 \cdot a \cdot l \cdot (1+e)] \quad \text{식(18)}$$

IV. 결과 고찰 및 결론

3장에서 제안한 전송 프로토콜의 타당성을 검토하기 위하여 그림 5-1과 같은 모델을 설정하였으며 Math coprocessor 8087을 장착한 IBM-PC XT를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

각 스테이션은 전송할 패킷이 도착하면 채널의 상태를 감지하고 채널이 idle한 경우 전송을 시도하고, 채널이 busy할 경우 재전송 지연 분포, 즉 back off 알고리즘에 따라 전송을 시도하는 nonpersistence 방식을 따른다. 또한 하나의 스테이션을 큐(queue)로 가정하고 단위 시간당 패킷의 수를 평균 도착율을 갖는 포아송 분포를 따르도록 발생시켰다.

이때 큐의 서비스 시간이 데이터 회일과 ack 프레임의 전송시간의 합으로 하고 그 역수를 서비스율로 하였을 때 $\lambda < \mu$ 인 조건하에서 λ 를 변화시켜 시뮬레이션을 수행시켰다.

시뮬레이션의 주요 파라미터는 전송 지연 시간/평균 패킷 전송 시간으로 정의되는 파라미터 a와, 비트당 전송 에러 발생 확률인 p이다. 일반적으로 LAN 시스템에서 p 는 $1E-7 < p < 1E-9$ 인 구간 내에서 설정되며 시뮬레이션에서는 $p=0$ 과 $p=1E-7$ 의 두 가지 경우를 선택하였다.

다음 그림 5-2와 그림 5-3은 각각 평균 패킷 길이가 24000, 48000 bit일 때 즉 $a=0.01067$, $a=0.00533$ 인 경우 제안된 프로토콜과 에러 회복을 포함하지 않는 CSMA/CD의 throughput에 따른 시간 지연을 나타낸다.

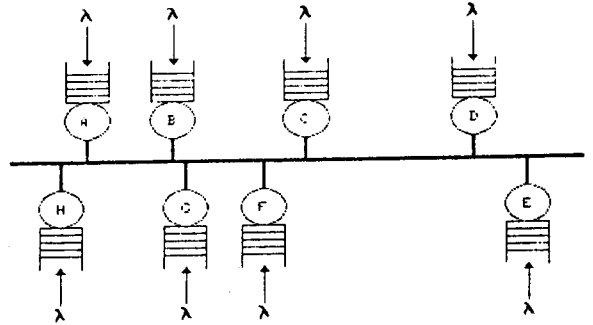


그림 5-1. 시뮬레이션 모델

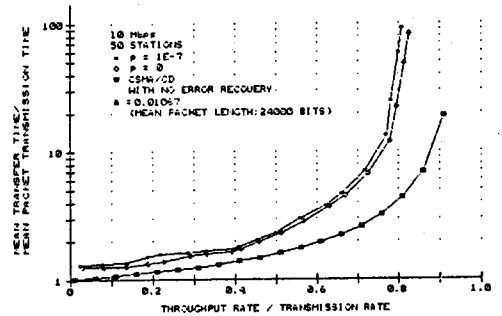


그림 5-2 시간 지연 (a=0.01067)

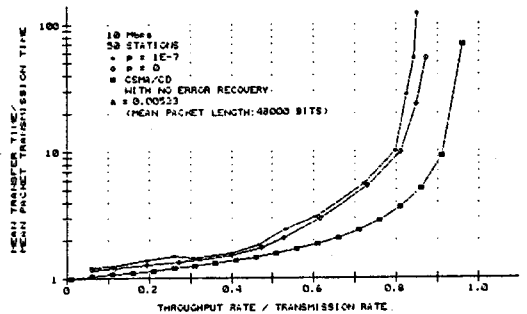


그림 5-3 시간 지연 (a=0.00533)

REFERENCE

1. S.S.Lam, "A Carrier Sense Multiple Access Protocol for Local Networks", Computer Networks, vol.4, no.1, Jan. 1980, 21~32"
2. D.Towsley and J.K.Wolf, "On the Statistical Analysis of Queue Lengths and Waiting Times for Statistical Multiplexers with ARQ Retransmission Schemes", IEEE Trans, on Comm, vol. COM-27, no.4, April 1979, 693~702
3. R.M.Metcalf and D.R.Boggs, "Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks", Comm. ACM, vol.19, no.7, July, 1976, 395~404
4. M.Schwartz, "Telecommunication Networks", Addison Wesley Publishing Company, 1987
5. M.H.Mac Dougall, "Simulating Computer Systems Techniques and Tools", The MIT Press, 1987
6. David John Lilja, "A Local Computer Network Implementation Using Ethernet", Urbana, Illinois, 1982