

A Study on the Designing of Private Networks considering Response Time under Packet Switching Network Environment

- 패킷교환망 환경하에서 응답시간을 고려한 私設網 設計에 관한 연구 -

이영찬 · 민재형
서강대학교 경영학과

ABSTRACT

This paper presents a method for designing private networks considering response time under packet switching network environment. Specifically, we propose the designing process of a private network, where the host is assumed to be synchronous and the terminals to be asynchronous, according to protocol and access lines. To calculate the response time for the networks, we use the mutual independent M/M/1 and M/M/s queueing models. Comparing the response time derived from the model with the actual one, it is found that the model yields almost same performance in a more economic way. From the experiment, it is suggested that the necessary number of lines as well as the response time for a specific network can be estimated properly by sensitivity analysis.

1. 연구의 목적

실시간 업무처리를 수행할 때 공중 패킷 교환망(이하 패킷 교환망)을 이용하여 응답시간을 고려한 통신회선의 속도 및 회선수를 결정하는 일은 데이터 통신망을 설계하기 위해 선행되어야 할 과제이다. 본 연구에서는 적절한 통신회선 속도 및 회선수를 결정함으로써 데이터 통신망을 설계하는 방법을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 우선 패킷 교환망의 이용자 접속형태를 통신 프로토콜에 따라 단말측은 비동기,

호스트는 X.25로 설정하였다. 응답시간은 지연시간과 전송시간이 발생하는 각 노드별로 독립적인 시스템으로 간주하여 계산하였으며 각 노드마다 패킷의 도착율과 서비스율이 다르므로 M/M/1 및 M/M/s 대기행렬모형을 적용하였다[1][3].

패킷 교환망 모형은 현재 전용회선을 사용하고 있는 한국은행의 한은금융망을 공중 패킷 교환망으로 변경할 경우를 가정하여 설정하였다.

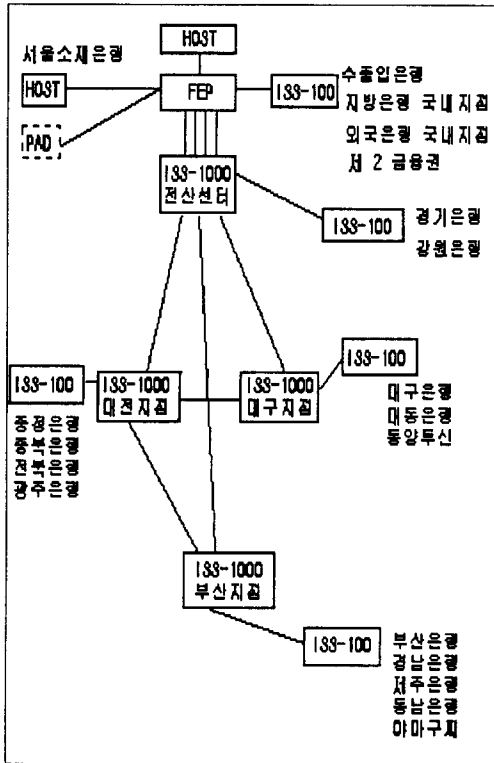
응답시간의 산출을 위해 패킷교환망을 구간화하고 구간별로 응답시간을 세분화하였다. 또한 각 구간에서의 응답시간 계산에 필요한 단말측 변수와 호스트측 변수를 정의하여, 패킷 교환망 이용시 응답시간 산출과 적절한 회선수를 구하는 과정을 기술하였다.

응답시간 산출을 위한 프로그램은 FORTRAN을 이용하였다. 또한 한은금융망의 실제 데이터를 본 연구의 프로그램에 입력하여 응답시간을 계산하였으며 아울러 적절한 데이터 통신회선수를 산정하였다.

2. 패킷 교환망 모형의 설정

현재 한국은행의 한은금융망은 [그림 1]과 같이 전용회선을 사용하고 있다[5]. [그림 1]의 전체적인 구조를 살펴보면 한은금융망은 한국은행 서울 본점 전산센터(ISS-1000)와 부산지점 전산센터(ISS-1000) 그리고 각 지점의 전산센터(ISS-100)들의 네트워크를 연결하고 있는 자체 전용회선을 사용하고 있음을 알 수 있다. 그러나 통신 트래픽이

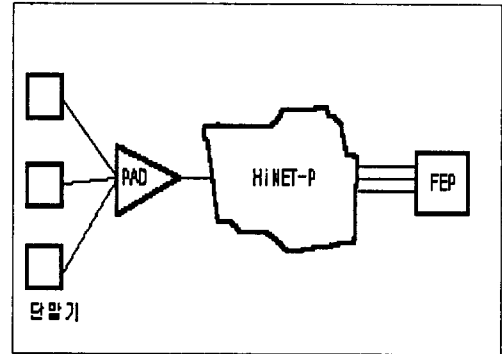
많지 않은 기관의 경우 비용이 많이 드는 전용회선을 사용하는 것 보다는 공중 패킷 교환망을 이용하는 것이 보다 경제성이 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 전용회선을 이용할 때의 통신회선 속도와 큰 차이를 보이지 않으면서 비용측면에서 보다 경제적인 공중 패킷 교환망을 이용한 사실망 설계방법을 한은금융망의 경우를 통해 제시하고자 한다. 이를 위해 우선 한은금융망을 공중 패킷 교환망으로 변경할 경우를 가정하여 [그림 1]의 전용회선망을 [그림 2]와 같은 공중 패킷 교환망으로 변경하고 이를 토대로 연구를 수행하였다.



[그림 1] 한은금융망 현행모형

3. 패킷 교환망의 응답시간 산정

패킷 교환망에서의 응답시간은 단말기에서 호스트 컴퓨터로 입력된 메시지의 마지막 문자가 전송된 후부터 호스트 컴퓨터에서 전송된 출력 메시지의 첫 번째 문자가 도착할 때까지의 소요시간으로 정의되며, 이 응답시간은 가상회선이 경로와 경로상의 각 교환장비 및 트렁크 회선을 이용하는 비율에 의해 결정된다[3].



[그림 2] 패킷교환망 모형

응답시간을 고려하여 사실망을 설계할 경우 설계방법은 다음과 같은 선형계획모형으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize Cost of Private Network} \\ & \text{s.t. } RT \leq T \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, RT는 회선상에서의 실제 응답시간을 나타내고 T는 사용자가 사전에 요구한 요구응답시간을 나타낸다.

사실망 비용은 패킷교환망에 접속되는 호스트나 단말측의 회선수와 회선속도에 비례한다. 또한 응답시간에 대기행렬 모형을 적용하고 실제 응답시간이 요구응답시간을 만족할 수준을 확률값 α 로 설정하면 위 모형은 다음과 같은 기회계획모형(chance constrained programming)으로 설계가 가능하다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } Z = \sum C_i X_i + \sum D_i Y_i \\ & \text{s.t. } P(RT < T) \geq \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $C_i(D_i)$ 는 단말측(호스트측)회선을 speed i 로 사용하는 데 드는 비용을 나타내며, $X_i(Y_i)$ 는 단말측(호스트측)을 speed i 로 사용하는 회선수를 나타낸다.

패킷교환망의 응답시간을 산출하기 위해서는 일반적으로 Open Queueing Network로 모형화하는 것이 바람직하다. 그러나 실질적으로 각 노드를 모두 M/M/1으로 모형화하기가 힘들고 패킷교환망의 topology형태에 따라 노드마다 패킷의 도착율과 서비스율이 달라지므로 이 방법은 해를 제공하기가 어려운 단점이 있다. 따라서 지연(delay)/전송(transmission)이 발생하는 node(PAD포함)를 독립적인 시스템으로 간주하여 응답시간을 계산하는 것이 타당하다. 이러한 가정하에서 응답시간 T_{sr} 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T_{sr} = T_{q1} + T_{q2} + 2T_{fs} + HTT$$

여기서,

T_{q1} = 단말측에서 호스트까지의 지연 전송시간(delay transmission time) 또는 입력 지연

시간(input delay time)
 T_{Q2} = 호스트에서 단말측까지의 지연 전송시간
 (delay transmission time) 또는 출력 지연
 시간(output delay time)
 T_{fs} = 고정 시스템 지연(fixed system delay)
 HTT = Host Think Time(CPU 처리시간)

또한 $T_{Qn}(n=1, 2)$ 의 평균과 분산 그리고 T_{fs} 를
 구하는 일반적인 방법은 다음과 같다.

$$Avg(T_{Qn}) = \sum_{i=1}^N Avg(T_{in}) + \sum_{j=1}^L Avg(T_{jl})$$

$$Var(T_{Qn}) = \sum_{i=1}^N Var(T_{in}) + \sum_{j=1}^L Var(T_{jl})$$

$$T_{fs} = T_{pg} + N \cdot T_{pt} + N \cdot T_m$$

여기서,

T_{in} = i 번째 노드의 지연시간(delay time)

T_{jl} = j 번째 노드의 node간 전송시간(internodal
transmission time)

T_{pg} = 전체 경로의 propagation delay time

T_{pt} = buffering/packetization/switching 등으로
인한 처리지연시간(processing delay time)

T_m = modem turnaround delay time(modem을
사용하는 경우)

N = 통신경로에 있는 PS node 수

L = 통신경로에 있는 node간 link 수

그리고 구하고자 하는 RT는 T_{sr} 의 평균값을
 구하여 사용하거나 $P(T_{sr} < t) = \alpha$ 를 만족하는 t 값
 을 구하여 사용한다[3]. 따라서 본 연구에서는 다음
 과 같이 응답시간 RT를 요소별로 분류하였다([그
 림 3] 참조).

D1 : 단말기에서 PAD까지의 시간

D2 : PAD에서 패킷 교환망까지 걸리는 시간

D3 : 패킷 교환망 접속부에서 FEP까지 걸리는
시간

D4 : FEP에서의 처리시간

D51 : 송신시 패킷 교환망 전송시간

D52 : 수신시 패킷 교환망 전송시간

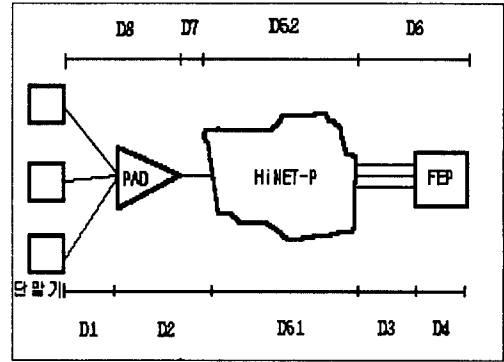
D6 : FEP에서 패킷 교환망 접속부까지 걸리는
시간

D7 : 패킷 교환망에서 PAD까지 걸리는 시간

D8 : PAD에서 단말기까지 걸리는 시간

여기서 D4, D51, D52는 온라인 거래의 크기
 및 패킷 교환망의 형태에 따라 결정되는 값으로 패
 켃 교환망의 목적함수와는 무관한 상수이다. 따라
 서 패킷 교환망 구축형태에 따라 변화될 수 있는
 응답시간의 구성요소는 D1, D2, D3, D6, D7, D8로
 국한되며, $RT = D1 + D2 + D51 + D3 + D4 +$
 $D52 + D6 + D7 + D8$ 가 된다.

본 연구에서 응답시간을 계산하기 위해 설정한
 가정은 다음과 같다.



[그림 3] 패킷교환망 응답시간 구성요소

- ① 응답시간의 구성요소는 각각 독립적인 시스템이
다.
- ② 프로토콜별 프레임의 도착은 Poisson process를
따르며, 노드의 처리도 Poisson process를 따른
다.
- ③ 각 노드에 저장할 수 있는 버퍼의 수는 무한하
다.
- ④ 동일 PAD에 접속되어 있는 단말에 대해서는
호스트측의 업무형태가 동일하다.
- ⑤ propagation delay, buffering/packetization/
switching processing delay는 무시한다.

응답시간을 계산하기 위한 단말측 및 HOST측
 의 변수들은 다음과 같이 정의한다.

▶ 단말측 변수

- f1 : 단말측 프로토콜에 따른 1프레임의 크기(단위
: bit) HiNET-P기준 $f1=1136$
- f5 : 단말측 프로토콜에 따른 1프레임중 순수 데이
터의 크기(단위 : bit) HiNET-P기준 $f5=1024$
- f2 : 단말당 전송량(Kbyte/일)
- f7 : 호스트측으로 보내는 전송량(Kbyte/일)
- s1 : 단말의 통신속도(bps)
- l1 : 1 PAD에 접속되는 단말기의 수
- s2 : 단말측 PAD의 속도(bps)
- l5 : 최번접속 빈도계수(최번시간 전송량/시간당 평
균전송량)

▶ 호스트측 변수

- f3 : FEP 프로토콜에 따른 프레임의 크기
- f4 : FEP 프로토콜에 따른 프레임중 순수 데이터의
크기
- f6 : FEP에서 특정단말로 보내는 1일 평균전송량
(Kbyte)
- s3 : FEP 회선속도(bps)
- l3 : FEP측 회선수

위에 정의한 변수들을 이용하여 요소별 응답시간을 산정하는 과정을 구간별로 설명하면 다음과 같다.

(1) D1(단말측에서 PAD까지) 계산

D1에서의 응답시간은 대기행렬이 없으므로 대기행렬 모형이 적용되지 않고 데이터의 전송시간만 고려된다. 이 전송시간은 단말측의 프레임 크기와 단말의 통신속도에 의해 결정된다[1].

$$D1 = \frac{f1}{s1}$$

(2) D2(PAD에서 패킷교환망까지) 계산

1개의 PAD에 11개의 단말이 있는 시스템을 생각해보자. 이 경우 각 단말당 패킷도착비율을 λ_i 라 두면, 패킷의 도착시간간격 $Ti(i=1, 2, \dots, 11)$ 는 지수분포를 따르므로 PAD에 도착하는 11개 단말

전체의 패킷도착비를 λ 는 $\lambda = \sum_{i=1}^{11} \lambda_i$ 가 되며,

$\mu = s2/f1$ 인 M/M/1 모형을 적용할 수 있다[1].

여기서, λ_i 는 최번시간대 단위시간당 패킷도착비율이므로 다음과 같이 계산된다.

$$\lambda_i = \text{최번시간대 단위시간당 도착비트수/패킷 크기}$$

$$= \frac{f2 * 8000 * (f1/f5) * 15}{X.25 \text{ 패킷크기} * 3600 * 8} \quad (3.1)$$

$$= \frac{5}{20,448} * 11 * 15 * f2/f5 \quad (\text{packet/sec})$$

식 (3.1)에서 3600*8을 한 이유는 단위시간을 second로 맞추기 위함이며 패킷크기를 X.25 패킷크기로 한 것은 노드의 평균처리속도와 같은 프로토콜로 맞추기 위함이다. 또한 노드의 평균처리속도 $\mu = s2/1136$ (packet/second)가 된다.

따라서, D2는 $P(D2 < t) = 1 - \exp[-\mu(1 - \lambda/\mu)t] = \alpha$ 를 만족하는 t값이 된다. 여기서, 단위 데이터의 통신망 대기시간의 기대치 Ws 는 $[\mu(1 - \lambda/\mu)]^{-1}$ 이 되며, 요구하는 α 값에 따라 D2의 값이 결정된다.

(3) D3(패킷교환망에서 FEP까지) 계산

FEP에서 X.25 프로토콜을 수용하는 경우로 Hunter 그룹 구성이 가능하므로 M/M/s 모델을 적용할 수 있다. 여기서는 FEP와 연결된 통신회선, 즉 서버의 수(s)를 13으로 가정하였다.

$$\lambda_i = \sum_{i=1}^{11} \lambda_i = \frac{f7 * 8000}{142 * 8 * 3600 * 8} * 15 = \frac{5}{20448} * f7 * 15$$

$$\lambda = \frac{5}{20448} * f7 * 15 * 13$$

$$\mu = \frac{s3}{1136}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{13 * \mu}$$

따라서 D3은 다음 식 (3.2)를 만족하는 t값이 된다.

$$P(D3 < t) = 1 - e^{-\mu t} * \left[1 + \frac{P_0 * (\lambda/\mu)^{13}}{13(1-\rho)} * \left(\frac{1 - \exp[-\mu(13-1-(\lambda/\mu)t]}{13-1-(\lambda/\mu)} \right) \right] = \alpha \quad (3.2)$$

여기서, $P_0 = \left(\sum_{n=0}^{13-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^{13}}{13!} * \frac{1}{1-\rho} \right)^{-1}$

$$Ws = \frac{P_0 * (\lambda/\mu)^{13} * \rho}{\lambda * 13! * (1-\rho)^2} + \frac{1}{\mu}$$

이 되며[2], 요구하는 α 값에 따라 D3의 값이 결정된다.

(4) D6(FEP에서 패킷 교환망까지) 계산

FEP가 패킷 교환망에 직접 접속되므로 이 경우 다음과 같이 데이터의 전송시간만 계산하면 된다.

$$D7 = \frac{f3}{s3}$$

(5) D7(패킷교환망에서 PAD까지) 계산

D7을 계산하기 위해서는 M/M/1 모형을 적용한다.

$$\lambda = \frac{f6 * 11 * 8000}{142 * 8 * 3600 * 8} * 15 = \frac{5}{20448} * 15 * 11 * f6$$

$$\mu = \frac{s2}{f3}$$

(6) D8(PAD에서 단말기까지) 계산

M/M/s (s=11) 모형을 적용하여 아래와 같이 λ , μ 를 계산한다.

$$\lambda = \frac{f6 * 8000 * 11}{f1 * 3600 * 8} * 15 = \frac{5}{18} * 15 * 11 * f6/f1$$

$$\mu = \frac{s1}{f1}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{11 * \mu}$$

4. 프로그램 설계 및 결과

앞절에서 유도한 패킷 교환망의 응답시간을 계산하기 위하여 [그림 4]와 같은 순서도에 의해 프로그램을 작성하였다.

본 프로그램은 사용자의 네트워크 환경에 부합하는 트래픽, 회선수, 단말수 등의 입력자료를 입력 변수화 하여 응답시간이 융통성 있게 출력될 수 있도록 하였다.

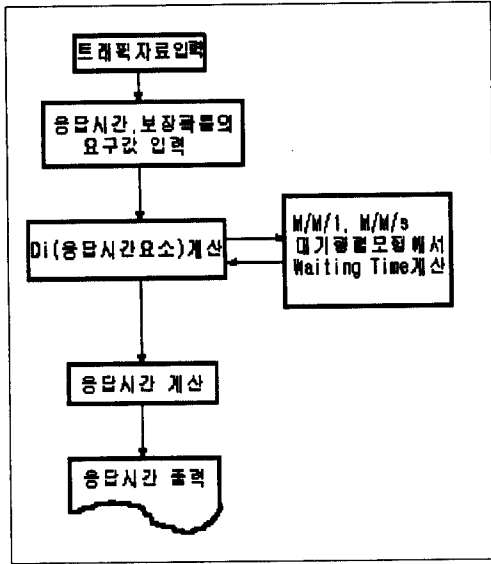
(1) 입력변수의 설정

▶ 단말측 변수

f1 : 단말측 프로토콜에 따른 1프레임의 크기(단위 : bit) \Rightarrow 1,136 bit(HiNET-P 기준)

f5 : 단말측 프로토콜에 따른 1프레임중 순수 데이터의 크기(단위 : bit) \Rightarrow 1,024 bit(HiNET-P 기준)

f2 : 단말당 1일 평균전송량(Kbyte/일) \Rightarrow 2,403 Kbyte(1,602건/일 * 1.5Kbyte)



[그림 4] 응답시간 계산 프로그램 순서도

- f7 : 호스트측으로 보내는 전송량의 일일평균합계 (Kbyte/일)
 ⇒ 16,240 Kbyte(10,826건/일 * 1.5Kbyte)
 - s1 : 단말의 통신속도(bps)
 ⇒ 4,800 bps(한은금융망의 단말기의 통신속도)
 - l1 : 1 PAD에 접속되는 단말기의 수
 ⇒ 1대(한은금융망 구성 기준)
 - s2 : 단말측 PAD의 속도(bps)
 ⇒ 4,800 bps(한은금융망 구성 기준)
 - l5 : 최번접속 빈도계수(최번시간 전송량/시간당 평균전송량) ⇒ 2(800 Kbyte/400 Kbyte)
 - a : 0.95(사용자 요구시간의 정확성 제고를 위해 임격하게 설정)
 - ▶ 호스트측 변수
 - f3 : FEP 프로토콜에 따른 프레임의 크기(bit)
 ⇒ 2,048 bit(TANDEM CLX 860 기종 기준)
 - f4 : FEP 프로토콜에 따른 프레임중 순수 데이터의 크기
 ⇒ 2,000 bit(TANDEM CLX 860 기종 기준)
 - f6 : FEP에서 특정단말로 보내는 1일 평균전송량 (Kbyte)
 ⇒ 2,942 Kbyte(1,471건/일 * 2.0Kbyte)
 - s3 : FEP 회선속도(bps)
 ⇒ 9,600 bps(한은금융망 구성 기준)
 - l3 : FEP측 회선수
 ⇒ 3회선(임의설정)
- 2) 프로그램 수행결과
 패킷에 대한 평균도착비율, 평균송출비율, 대기

행렬에서의 waiting time을 계산하여 패킷교환망의 구성요소별로 응답시간을 산출한 후 이를 합하여 최종 응답시간을 산정하였다. 이를 현행 한은금융망의 거래응답시간과 비교한 결과 불과 약 4%의 경미한 오차가 발생하였다.

한은금융망 온라인거래의 평균응답시간	4.590268초
프로그램 수행결과 응답시간	4.405795초

이것은 본 연구에서 제시한 패킷교환망 모형이 전용회선과 유사한 업무수행능력을 가지면서 비용 측면에서는 보다 경제적이 될 수 있음을 보여주고 있다. 경미한 오차가 발생한 이유는 한은금융망의 경우 지역통신장비(ISS-100)의 CPU 및 메모리 등의 제약조건으로 인한 응답시간 지체요인을 본 연구에서는 고려하지 않았기 때문이다.

5. 결 론

패킷 교환망은 현재 데이터 통신에서 많이 이용되고 있는 유용한 교환망으로 향후에도 지속적인 발전이 있을 것으로 예측된다. 그러나 국내에 패킷 교환망이 도입된 이후로 통신사업자 측면의 망 기술연구에 비해 사용자 측면의 연구는 제대로 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 사용자가 패킷 교환망을 효과적으로 이용할 수 있도록 응답시간을 고려한 사실망 설계방법을 제시하였다. 보다 정확한 응답시간을 산정하기 위해 응답시간을 요소별로 세분화하고, 각 요소에 대기행렬 모형을 적용하여 정확성을 기하였다. 또한 본 연구에서 제시한 응답시간 산정 프로그램은 트래픽, 회선수, 단말기의 수 등과 같은 입력자료를 입력변수화하여 사용자의 네트워크 환경에 따라 응답시간이 융통성 있게 출력될 수 있도록 하였다.

국내 기업 및 각 기관들이 패킷 교환망을 이용하여 사실망을 구축할 때 본 연구에서 제시된 방법에 기초하여 이를 실무에 확장시키면 사실망 설계 시 회선수 산정의 정확성을 보다 제고시킬 수 있을 것으로 기대한다.

<참고문헌>

- [1] Ellis, R. L., *Designing Data Networks*, Prentice-Hall, 1986.
- [2] Hillier, F. S. and G. J. Lieberman, *Introduction to Operations Research*, 5th edition, McGraw-Hill, 1990.
- [3] Shavma, R. L., *Network Topology Optimization*, Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [4] 한국통신(편), 「HINET-P 이용설명서」, 1992.
- [5] 한국은행 금융결제부, 「한은금융망(BOK-Wire) 해설」, 1995.