

오픈 큐잉 네트워크 모델을 이용한 가상회선
서비스 성능 분석

正會員 조 용 구* 正會員 吳 英 煥*

Performance Analysis of Virtual Circuit
Services Using Open Queuing Network Models

Young Gu JO* Young Hwan OH* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 패킷교환 통신망의 성능 분석을 위해 오픈 체인 큐잉 네트워크를 고려하여, 통신망을 기간 통신망과 근접 통신망으로 분류했다. 성능 분석망은 12지역으로 분산되어 있으며 기간 통신망으로는 DNS를 이용하였다. 분석은 이미 구축된 망에 데이터를 입력하여 얻은 실제값과 수학적 예측값으로 하였다.

성능 분석결과 각 체인의 평균 end-to-end 지연을 나타냈다. 특정 지역을 제외하고는 실제값과 수학적 예측값과의 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 각 지역간의 통신량 증가로 인하여 전체망의 성능에 문제가 될 수 있으므로 몇가지 해결 방안을 강구했다.

ABSTRACT

In this paper, queuing networks with open chains are considered to analyze the performance of packet switching networks. Networks are classified into backbone and local access networks. Networks for performance analysis are distributed to twelve regions and DNS is the backbone. Analysis was conducted using the real values from the input to existing networks and mathematical estimation values.

As the result of analysis, the mean of end-to-and delay for each chain was presented. Except special regions, we found that there was a little difference between real values and mathematical estimation values. However, there could be a performance problem in total networks due to the increase of communication volumes in each region. So we proposed some solutions to this problem.

1. 서 론

우리나라의 공중망에는 한국 데이터 통신 주식회

사에서 구축한 패킷 교환망인 DNS(DACOM-NET Service)가 있다. DNS는 국제전신전화에 관한 자문 위원회(CCITT: Consultative Committee on International Telegraphy and Telephony)의 권고안인 X.25 프로토콜을 구현한 망으로, 영구 가상회선(PVC: Permanent Virtual Circuit)서비스와 일시 가상회선(SVC: Switched Virtual Circuit)서비스

*光云大學校 電子通信工學科
Dept. of Telecommunication Engineering
Kwang Woon Univ.
論文番號: 92-24(接受1991. 11. 1)

를 제공한다.

본 논문에서 대상으로 삼은 통신망은 서울에 위치한 호스트를 중심으로 완전 분할 분산 데이터베이스를 갖춘 분산처리 체계로 되어 있다^{1,2,3)}.

패킷 교환망은 통신채널에 의해 상호연결된 교환노드의 집합으로 구성된다. 호스트 컴퓨터와 터미널은 그림 1에서 처럼 통신망에 의해 전송되는 데이터 메시지의 생성(source) 및 소비자(sink)로 구성된다. 통신망에서 데이터 전송의 기본 단위는 패킷이며 이들 패킷은 주어진 경로를 따라 소스 노드로부터 목적지 노드까지 전송된다. 통신망에서 패킷의 진행은 통신 프로토콜에 따라 다르다. 통신망에서는 세가지 자원인 통신채널, 패킷 버퍼, 노드 프로세서의 형태로 나타낼 수 있고, 노드 프로세서의 지연은 상대적으로 통신채널 지연보다 매우 작다. 통신채널과 노드 버퍼는 미리 할당되어 있어 안정적인 작동 측면에서는 좋으나 데이터 소스의 전송이 매우 돌발적으로 일어나기 때문에 낭비가 심하다⁴⁾. 패킷이 성공적으로 송신되고 다음 노드에서 받아 진다면 수신 노드는 송신 노드에 piggy back등의 방법으로 positive ACK를 전송하고 송신노드의 버퍼는 그때 또다른 패킷을 받을 수 있다. ACK가 없다면 송신노드는 재 전송해야 한다.

큐잉 네트워크 모델에서는 체인(chain)에 도착이나 출발이 사유롭게 발생하는 것을 오픈이라고 한다. 또한 큐잉 네트워크 모델에서는 적응성 경로배정 알고리즘을 적용할 수 없다. 큐잉 네트워크 모델을 이용하여 개선된 결과는 소스와 목적지 노드가 존재하는 패스들 중 결정적(Deterministical)으로 또는 불규칙(Random)하게 패스가 선택되어 지는 것에 유용하다.

본 논문에서는 실제 구축되어있는 대상망을 통하여 데이터의 응답 시간을 구하고, 소스와 싱크를 연결하는 가상채널에 따라 데이터 패킷이 진행되는 가상회선 시뮬레이션을 대상으로 하여 수식적으로 응답 시간을 구하였다. 이들 성능 측정은 통신망을 통한 모든 패킷이나 특정 소스와 싱크간의 패킷으로 특정 지을 수 있는데 본 논문에서는 후자를 택하기로 한다.

II. 성능분석 대상망

대상망은 서울과 다른 지역간의 통신망이 전체 통신망의 62.8%를 차지하므로 서울 지역을 중심으로

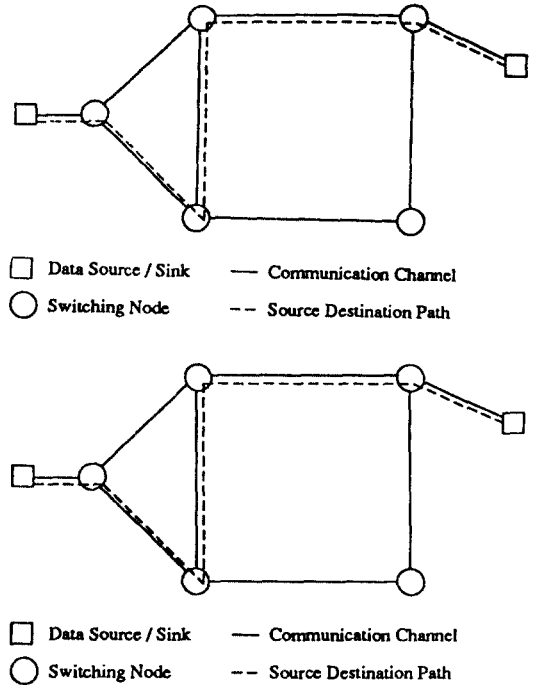


그림 1. 패킷교환 통신망
Fig. 1. Packet Switching Network

한 성형망이 PVC로 구축되어 있다. 서울 지역에는 서울청과 본청이 있으나 업무 성격상 본청이 성형의 중심이고 이들 두 시스템간에는 전용회선으로 직접 연결되어 있다. 또한 PVC 사용시 발생하는 문제점들을 해결하기 위해 각 지방청에 SVC를 한개씩 설치하였다⁵⁾.

(1) 통신 소프트웨어

대상망에서 사용하고있는 TANDEM 시스템의 통신 소프트웨어를 살펴보면 EXPAND와 X25AM으로 나누어 볼 수 있다. EXPAND는 TANDEM 시스템간의 통신을 관리하는 소프트웨어로서, 지역적으로 분산되어 있는 2~255개까지의 TANDEM 시스템을 하나로 통신망으로 묶어준다. EXPAND는 그림 2와 같이 NCP(Network Control Process), Line Handler, NETMON(Network Monitor)으로 구성되어 있으며, end to end 프로토콜을 구현한다. 또한 EXPAND는 두 시스템이 직접 연결되어 있지 않더라도 경로만 존재하면 통신이 가능하고, 미리 정의된 time

factor를 가지고 최적의 경로를 선정한다. EXPAND는 망의 투명성을 제공하는데, 이것으로 인해 사용자는 망의 다른 시스템을 마치 자신의 시스템처럼 사용할 수 있다. 전용회선으로 직접 연결된 서울청 시스템과 본청 시스템은 EXPAND로 연결되어 있다. X25AM은 TANDEM 시스템이 X.25 프로토콜에 의해 통신할 수 있도록 하는 소프트웨어로 X.25의 세계층(1,2,3 Layer)을 구현하였으며, TANDEM의 네번째 단계 통신방식에 따라, 단말기를 연결할 때 사용

하는 ITI(Interactive Terminal Interface), TANDEM 시스템끼리 연결하는데 사용하는 NET(Netowrk), TANDEM과 X.25를 구현한 이기종 컴퓨터와 연결할 때 사용되는 PTP(Process-to-Process) 프로토콜등 세가지로 분류된다. DNS를 통하여 연결된 본청과 11개 지방청 사이에는 그림 3과 같이 EXPAND와 X25AM의 NET방식으로 연결되어 있다. [1,2,3]

(2) 구 조

대상망을 개념적으로 볼때 서울청을 제외한 11개청의 시스템이 PVC를 통하여 본청 시스템을 중심으로 한 성형 구조를 이루고 있으며, 실질적으로 그림 4와같이 대상망이 DNS를 이용하여 구축되어 있다. 각각의 시스템중 본청, 대전, 대구, 부산, 광주청은 해당지역의 DNS 패킷 교환기와 연결되어 있고, 춘천, 강릉, 수원, 청주, 전주, 제주청은 해당 지역의 DNS PAD와 연결되어 있으며, 의정부청은 서울 지역의 패킷 교환기에 연결되어 있다. 각 청 시스템으로 부터 DNS까지 지역회선 속도는 4,800bps이며, DNS내에 교환기와 PAD 사이의 회선은 9,600bps, 교환기들 간에는 56Kbps이다. [1,2,3,4]

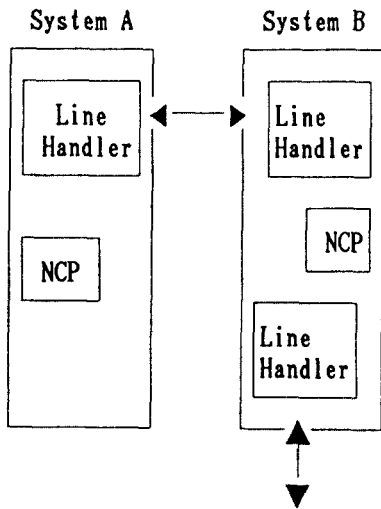


그림 2. EXPAND의 구성
Fig. 2. Configuration of EXPAND

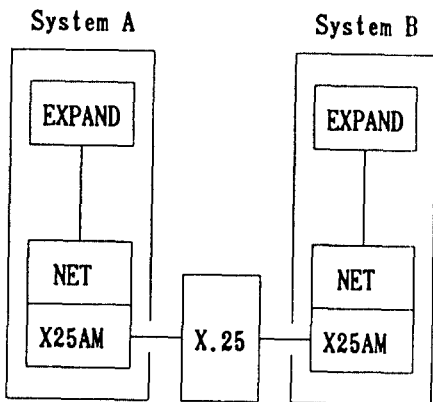


그림 3. X25AM의 NET 방식을 이용한 TANDEM 시스템의 연결
Fig. 3. Connection of TANDEM Systems using NET Method of X25AM

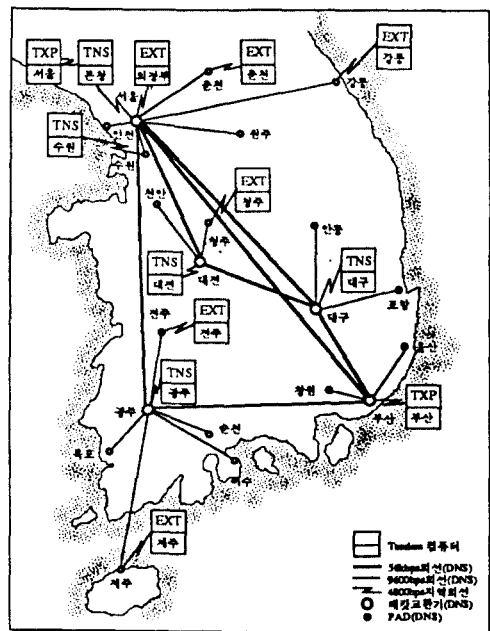


그림 4. 대상망의 구조
Fig. 4. Configuration of an Object Network

Ⅲ. 수학적 해석

컴퓨터 통신망을 교환장치 상호간을 연결하는 기간통신망과 가입자를 기간 통신망(Backbone Network)에 연결시켜주는 근접통신망(Local Access Network)으로 구분된다. 본 장에서는 기간 통신망과 근접통신망에서의 각각의 지연을 구하는 수식을 나타내기로 한다.

(1) 근접통신망

근접통신망에서 성능분석을 위해 응답시간을 구한다. 응답시간은 보통 예러가 없는 터미널에서 작동자가 ENTER나 SEND key를 친후 컴퓨터 응답의 마지막 문자가 수신될 때까지의 경과시간으로 정의하는데, 이것을 식으로 나타내면 다음과 같으며, 표 1은 본절에서 사용된 변수를 설명한 것이다.

$$RT=TD_i+W_i+S_i+CPU+W_o+S_o+TD_o \quad (1)$$

식 (1)의 7가지요소중 TD_i, TD_o, CPU는 고정된 값이며, 나머지 요소를 다시 세분화하면 다음과 같다. 서비스시간은

$$S=TT+CD+PD \quad (2)$$

대기시간은

$$W=\frac{A(V+S_2)}{2(1-U)} \quad (3)$$

표 1. 근거리통신망에서 사용된 변수

Table 1.Parameter used at Local Access Networks

RT=response time	TT=transmit time
TD _i =inbound terminal delay	CD=connection delay
W _i =inbound wait time	PD=polling delay
S _i =inbound service time	W=wait time
CPU=CPU processing time	A=arrival rate
TD _o =outbound terminal time	U=line utilization
W _o =outbound wait time	V=variance of service time
S _o =outbound service time	S=mean service time

(2) 기간통신망

매번 하나의 패킷이 통신망에서 큐에 들어오면 그

길이는 다음과 같다.

$$b(x)=\mu \exp(-\mu x), x \geq 0 \quad (4)$$

여기서 $1/\mu$ 는 평균 패킷길이를 나타내며, 식 (4)는 경로중 다양한 채널에서 패킷의 전송시간이 통계적으로 종속되지 않음을 나타낸다. 실제적인 통신망에서 패킷길이가 지수적으로 분포되지 않음으로 인해 큐잉 네트워크의 모델에서 나온 결과는 단지 근사적인 값이 된다. 통신망 모델에서 각 채널은 선입선출(FCFS: first come, first service)서비스이다. 패킷은 서로 다른 "routing chain"에 속하며, 체인 K의 경로 작동은 선이 확률로 나타내는 일차 마코프체인으로 모델링된다.

$$P_{ij}^{(k)}=\text{prob}[to server } j \text{ | currently at server } i] \\ i, j=1, 2, \dots, M \quad (5)$$

체인 k 패킷이 γ_k PPS를 갖는 포아송과정에 따라 체인의 첫 서버에 도착한다면, 체인 k의 서버 i에 도착하는 평균율은 다음과 같다.

$$\lambda_{ik}=\gamma_k \delta_{ik} + \sum_{j=1}^M \lambda_{jk} P_{ji}^{(k)} \quad (6)$$

여기서 δ_{ik} 의 값은 서버 i가 체인 k인 첫서버이면, 그 값은 1이고 그렇지 않으면 0이다. 서버i가 선입선출 가정하였으므로 서버 i에서 체인 k의 트래픽 밀도는 다음과 같다.

$$\delta_{ik}=\frac{\lambda_{ik}}{\mu C_i} \quad (7)$$

서버 i에서 체인k 패킷의 총수를 n_{ik} 라 할때 $n_i=(n_{i1}+n_{i2}, \dots, n_{ik})$ 이므로 큐잉 네트워크 상태를 $S=(n_1, n_2, \dots, n_M)$ 으로 나타낼 수 있다. 오픈체인을 갖는 네트워크에 대한 평형확률은 다음과 같다.

$$P(S)=\prod_{i=1}^M \frac{P_i(n_i)}{G_i} \quad (8)$$

$$P_i(n_i)=n_i! \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_{ik}}}{n_{ik}!} \quad (9)$$

$$G_i = \frac{1}{1 - \rho_i} \quad (10)$$

성능분석을 위해 각각의 경로에 배정된 체인에 대한 end-to-end 지연을 구해 본다. 관련된 기호에 대한 설명을 하면, T_i 는 통신망에서 전송된 모든 패킷의 평균 end-to-end 지연이고 T_{ik} 는 통신망에서 전송된 체인 k패킷의 평균 end-to-end 지연이다. 여기서 고려할 방안은 pathoriented routing을 사용하는 방안이다. 이와 같은 경로배정의 장점은 경로배정 결정이 분산되어 있고 패킷은 FCFS로 도착하며, 무프를 피할 수 있고, 소스 노드에 의한 잘못된 결정이 제한될 수 있다는 것이다. 또한 이런 경로배정으로는 "fixed routing"과 "random routing"있다. π_k 를 체인 k의 패킷이 경로배정된 패스라 한다. 이때 체인k의 선이 확률은 i와 j가 패스내에 존재할 때 그 값이 1이고 그렇지 않으면 0이다. 따라서 식 (6)을 다시쓰면 다음과 같다.

$$\lambda_{ik} = \begin{cases} \gamma_k & \text{if } i \in \pi_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

식 (8)을 정리하면 다음과 같다.

$$P(S) = \prod_{i=1}^M (1 - \rho_i) \prod_{k=1}^K \frac{\rho_{ik}^{n_{ik}}}{n_{ik}!} \quad (12)$$

식 (12)로부터 채널 i에서 주변 큐 길이분포를 구하면 다음과 같다[5].

$$P(n_i) = (1 - \rho_i) n_i! \prod_{k=1}^K \frac{\rho_{ik}^{n_{ik}}}{n_{ik}!} \quad (13)$$

채널 i에서 체인 k의 패킷 총수는 다음과 같고, 여기서 $R_j = \{n_i : n_{ik} = j\}$ 이다.

$$E[n_{ik}] = \sum_{i=0}^{\infty} j \sum_{n \in R_j} \frac{P(n_i)}{|R_j|} \quad (14)$$

여기서, 식 (13)을 식 (14)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$E[n_{ik}] = \frac{\rho_{ik}}{1 - \rho_i} \quad (15)$$

Little의 공식을 적용하면, 각 채널 i에서 체인 k패킷의 평균지연은 다음과 같다.

$$T_{ik} = E[n_{ik}] / \gamma_k = \frac{1}{\mu C_i (1 - \rho_i)} \quad (16)$$

따라서 체인 k의 평균지연은 다음과 같다.

$$T = \sum_{i \in \pi_k} \frac{1}{\mu C_i (1 - \rho_i)} \quad (17)$$

IV. 통신망 검증

이미 구축된 대상망의 성능을 검증하기 위해 각 층에 있는 자원을 서울청에서 검색 하여 그 결과를 실제값으로 하였고 해석적으로 구한값과 비교하였다. 실제 데이터를 입력한 터미널은 홍능에 위치하고 4선식(full duplex) 전용회선을 통해 청량리 전화국을 통하여 서울청 호스트에 연결되어 있다. peak hour 일때 터미널에 도착(출발)하는 메세지의 양은 100이라고하고, 원격지 조회인경우 통신량을 분석해보면 질의는 40bytes 응답은 500bytes 정도가 된다[1].

(1) 근접 통신망

근접 통신망에서 응답시간을 구하기 위해 대상변수를 나타내 보면 표 2와 같다.

표 2. 근접 통신망에서의 입력변수

Table 2. Input Parameter at Local Networks

100 inquiries entered at each region in the busiest hour
100 replies received at each region in the peak hour
40 characters(bytes) in each inquiry
500 characters(bytes) in each reply
100msec for the destination host to process an inquiry
modem turnaround time is zero
polling delay is zero
2 overhead bits per character
line speed is 4,800bps
lines are full duplex
line error rate is zero

(2) 기간 통신망

본 논문에서 기간 통신망은 DNS이다. 기간 통신망의 성능 분석을 위해서 실입력 변수를 나타내면 표 3과 같다.

표 3. 기간 통신망에서 입력변수
Table 3. Input Parameter at Backbone Networks

노드간 트링크 용량=56Kbps
평균 패킷 길이=1,204(bits /packet)
데이터 패킷의 교환기내에서 처리시간=35(msec)

따라서 총 응답시간을 구하기 위해 두 컴퓨터가 인접한 경우와 그렇지 않은 경우를 고려하면 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다. 첫째, 두 컴퓨터가 인접한 경우

$$\text{총 응답시간} = \text{근접 통신망 응답시간} + \text{기간 통신망 응답시간} \quad (18)$$

둘째, 두 컴퓨터가 인접하지 않은 경우는 각 항에 통과하는 시스템 수를 고려하면 된다. 식 (18)을 이용하여 나온 값과 실제 데이터를 전송하여 얻은 값을 비교한 것이 표 4에 나타나 있다.

표 4에서 실제 데이터 입력시 응답속도는 2차 시험시 나타난 시간 값으로 하였다. 왜냐하면 TANDEM PATHWAY시스템의 특성상 1차 시험시에는 자위 검색에 필요한 프로그램을 작동시키는데 필요한 시간이 추가되기 때문이다. 서울청에서 PVC를 실험하였기 때문에 SVC와 비교하여 시간 차이가 별로 없지만 그 이외의 지역에서 실험을 하였을 경우 PVC와 SVC의 서비스 차이에 의해 상당한 응답시간의 차이가 났다¹⁾. 실제값과 해석값의 차이를 살펴보면 다음 4가지로 요약될 수 있다. 첫째는 대상망의 구성상 서울청에서 검색하였기 때문에 전송측 노드와 수

신측 노드간에 중간 노드가 없이 직접 연결되어 있는 것으로 가정하여 계산하였으나 실제값은 TANDEM의 망상태 감시 프로그램인 NETMON을 사용하여 보면 실제 이들의 hop수가 둘 이상임을 알 수 있었다. 따라서 표 4의 해석값은 중간노드(DNS+TANDEM)의 지연이 생략된 값이다. 둘째는 batch 프로그램의 수행, 편중된 CPU(CPU 1 혹은 CPU 0) 사용등으로 인한 자신의 호스트 및 목적지 호스트의 부하, 세제는 거처가는 중간노드 및 망의 상태, 네제는 에라로인한 재 전송이다. 김중이 되고 있는 동안 프로세서의 부하를 조사하기위해 TANDEM utility인 PEEK를 사용하였는데 이것은 시스템 테이블이나 시스템 메모리 풀을 사용하여 CPU 부하를 나타내는 통계적 자료이다. 이 자료를 검색해 보면 부하가 크지 않음에도 불구하고 청구간의 왕복시간이 월등히 길게 나타나는 것은 청구지역의 공중망 상태가 좋지 않은 것으로 보인다.

V. 결 론

본 논문은 패킷망의 성능분석을 위하여 오픈큐잉 네트워크 모델을 사용하였으며, 또한 통신망을 기간 통신망과 근접통신망으로 분류하였다. 오픈 네트워크는 통신망을 분석하면서 window flow control, buffer management schemes, congestion control 등을 고려하지 않았다. 성능분석을 한 결과 DNS를 이용하는 대상망의 성능은 일부지역을 제외하고는 좋은 것으로 나타났다. 분석결과 실제값과 해석값의 차이는 해석값이 홉 수가 2일때의 값이고 실제값은 홉 수가 3일때의 결과이기 때문이다. 즉, 대상망이 PVC를 사용하고 있으므로 패킷이 중간노드(DNS+TANDEM)을 한번더 거치므로 인하여 이들 차이가 발생한다.

표 4. 실제값과 해석값
Table 4. Real Values and Analytic Values

(단위 : 초)

		부산	대전	대구	광주	성릉	춘천	의정부	수원	청주	전주	제주
실 제 값	PVC	8	9	8	7	4	3	3	4	17	5	5
	SVC (부산)		30		10	3	4	5	4	45	5	4
해 석 값	PVC	4.66	4.66	4.66	4.66	2.87	2.87	2.87	2.87	2.91	2.91	2.91
	SVC (부산)	4.66	4.66	4.66	4.66	2.87	2.87	2.87	2.87	2.91	2.91	2.91

추후 각 지역간의 통신량의 증가로 인한 전체망의 처리 능력의 문제가 발생할 수 있으므로 지역회선의 속도증가라든지 본청의 PVC채널분산, DNS 서울 패킷교환기와 서울청사이에 지역회선을 설치하여 통신량의 분산등도 고려할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 한국국방연구원, "병무행정 전산망 구축," 1988. 12.
2. Tandem Computers Inc., "EXPAND Reference

- Manual," 1987.
3. Tandem Computers Inc., "X.25 Access Method-X25AM," 1985.
4. J.W.Wong and S.S.Lam, "Queuing Network Models of Packet Switching Networks," Performance Evaluation 2, North Holland, 1982, 311~323.
5. L.Kleinrock, "Queuing System," Vol.2, Wiley-Interscience, New York, 1976.
6. Robert L.Ellis; "Designing Data Networks," Prentice-Hall, Inc., PP.145~185, 1986.



조 용 구 (Young Gu Jo) 정회원
• 광운대 전자통신공학과 졸업(공학 석사)
• 한국국방연구원 재직
• 광운대 전자통신공학과 박사과정.
※ 관심분야: Computer network, distributed computing systems, network interconnection

吳 英 煥 (Young Hwan OH) 정회원
1947年12月28日生
1975年2月: 仁荷大學校 電子工學科 卒業
1977年2月: 仁荷大學校 大學院 碩士課程 卒業
1983年2月: 仁荷大學校 大學院 博士課程 修了
1980年3月~現在: 光云大學 電子通信工學科 副教授