

論文91-28A-12-1

음성 및 데이터 집적 다속도 회선 교환망 성능분석

(Performance Analysis of Integrated Data/Voice
Multi-Rate Circuit-Switched Networks)

李 廷 圭*

(Jong Kyu Lee)

要 約

본 논문은 다수의 LAN(local area network)들이 중앙의 MAN(metropolitan area network)을 통해 연결된, 성형의 구조를 갖는 다속도 회선 교환 ISDN을 연구하였다. 각 단말은 데이터 및 음성 단말로 분류되며, 그들은 각각 다른 도착율과 서비스 시간 분포를 갖는다. 본 논문에서는 우선 유한가입자 모델로 데이터 및 음성 단말로 모델링하여, 최종 가입자간 통화차단 확률을 정확히 해석적으로 유도하며, 보다 정확한 성능 평가를 위하여 이들 확률을 회선 차단 확률, 행선지 통화중 확률 및 병발 확률 세 성분으로 구분하여 분석한다. 또한, 대규모 통신망을 위하여 최종 가입자간 통화차단 확률 계산을 위한 효과적이고 빠른 분석 방법으로서, 효율적인 반복 알고리즘을 제안한다.

Abstract

Multi rate circuit switching ISDN which assumes a star topology consisting of LANs(local area networks) interconnected through a backbone MAN (metropolitan area network) is considered. The stations are classified into two categories data and voice stations they are characterized by different arrival rate and session-length (holding time) statistics. We first model the data and voice terminals as finite-source stations and derive analytically exact expressions for the end-to-end blocking probabilities. For more exact evaluation, these probabilities are calculated in terms of three components:circuit blocking probability, destination busy probability and concurrent busy probability. For large size systems, we develop an iterative algorithm that provides a computationally efficient and fast method for the calculation of the end-to-end blocking probabilities.

I. 서 론

다속도 회선 교환망은 ISDN 방식의 일환으로서 회선 교환망에 근간을 두는 방식이다. 음성 및 데이터의 속도(또는 대역폭)가 통상 다른점을 고려하여,

기본 채널(elementary channel, 8kbps 또는 16kbps)의 배수 또는 동일 대역폭을 갖는 채널을 각 회선에 할당하는 방식이다. 그림1은 시스템 모델을 그림으로 나타낸 것이다. 본 논문에서는 장거리 회선 연결(다른 LAN에 위치한 단말들 사이의 통신)을 시도할 경우 발생하는 통화 차단 현상을 구하였다. 이 경우 차단된 호는 무시(blocked-calls-cleared mode) 되는 것으로 가정한다.

회선 교환망의 성능분석을 다룬 대부분의 논문들

*正會員, 漢陽大學校 電子計算學科
(Dept. of Com. Sci. Eng., Hanyang Univ.)
接受日字: 1991年 8月 8日

은, 다른 링크상에서의 통화차단 사건은 통계적으로 독립이라는 가정을 사용하여, 각각의 링크에서 계산된 통화차단 확률로부터 최종 가입자간의 통화차단 확률을 유도하였다. 각각의 링크 성능을 계산하기 위하여 유한가입자 모델의 경우 "Engset formula"를 무한 가입자 모델의 경우 "Erlang's loss formula"를 전 형식으로 사용하였다.¹⁶⁾ 실제상에서 회선 연결은 여러 링크를 거쳐 연결되고 단락되므로 본 논문의 정밀 분석 방법에서는 이 가정을 배제하였다.

본 논문에서는 시스템의 정확한 표현을 위하여 유한 가입자 모델로 설정되었으며, 각각의 단말은 유휴(idle) 상태 또는 통화중(busy) 상태에 있게 되며, 각 상태를 유지하는 시간은 지수 분포(exponentially distributed)를 가진다고 가정한다.¹⁶⁾ 따라서 시스템의 모든 통화 연결을 기본 요소로서 고려하는 프로세스는 "연속 시간 Markov chain"으로 모델링된다. 이 Markov chain의 "reversibility 특성"¹⁷⁾을 이용하여 시스템 상태 분포에 대한 closed product form 결과가 얻어지며 이를 이용하여 정확한 최종 가입자간 통화차단 확률도 유도한다.

보다 정확한 분석을 위하여 앞에서 유도한 데이터 및 음성의 통화차단 확률은 회선 통화차단 확률, 행선지 통화중 확률, 명발 확률의 세가지 구성요소로 나뉘어 진다. 회선 교환망에 관련된 이전의 연구들은 단지 회선 통화차단 확률만 고려하였으나, 본 논문의 연구 결과 행선지 통화중 확률도 시스템 성능에 많은 영향을 줄음을 알 수 있다.

시스템의 크기가 커지면 위에서 언급한 정밀한 분석 방법은 많은 계산 시간을 요구한다. 따라서 무한 가입자 모델로의 변환 방법 및 반복 알고리즘을 사용하는 효과적인 성능 평가 방법을 제안하겠다. 그

런 다음 이 방법으로 얻은 근사 결과치를 정밀한 값과 비교하겠다. 여기서의 연구는 행선지 통화중 확률 성분을 알고리즘에 포함시킨다는 점에서 이전의 근사법과 다르며, 결과적으로 본 논문은 보다 더 정확한 최종 가입자간 통화차단 확률 결과를 얻게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 시스템 모델, III 장에서는 통화차단 확률을 위한 정밀 해석법과 근사 해석법을 소개한다. 그리고 성능 평가 예와 수치적인 결과는 IV 장에서 설명하며, 앞의 결과를 종합해서 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문은 다수의 LAN이 중앙의 MAN에 의해 상호 연결된 성형 회선 교환망에 대해 연구한다. 시스템은 K개의 LAN으로 구성되며 각각의 LAN은 다수의 단말로 구성된다. 본 논문에서 기본 채널은 음성 및 데이터의 최대 공약수 대역폭(또는 time slot)으로 가정한다. 데이터 단말들 사이의 연결은 하나의 기본 채널을 요구하는 반면, 음성 단말들 사이의 연결은 m개의 기본 채널(m≥1)을 사용한다. 시스템 매개 변수들은 아래와 같이 정의된다.

- N_i^d : LAN i 내의 데이터 단말의 수 (i=1, ..., K)
- N_i^v : LAN i 내의 음성 단말의 수
- d_p^d : LAN i 내의 p번째 데이터 단말 (p=1, ..., N_i^d)
- v_p^v : LAN i 내의 p번째 음성 단말 (p=1, ..., N_i^v)
- C_i : 장거리 회선 연결을 위한 LAN i 내의 기본 채널의 수
- C_M : MAN에 있는 기본 채널의 수

$$\max_i C_i < C_M < \sum_i C_i$$

각 단말은 다른 단말에 대해 독립적으로 동작하는 것으로 가정한다. 각각의 단말은 유휴 상태 또는 통화중인 상태에 있게 되며, 지수 분포된 임의의 시간 동안 유휴 상태를 유지한 후, 통화중 상태가 되며 이 통화중 시간도 지수 분포되는 것으로 가정한다. 데이터(또는 음성) 단말 p가 유휴 상태일 때 단말 p는 $1/\lambda_{pq}^d$ (또는 $1/\lambda_{pq}^v$)의 평균 시간 후에 단말 q를 향한 하나의 통화를 발생시킨다. 이 통화는 $1/\mu_{pq}^d$ (또는 $1/\mu_{pq}^v$)의 평균 서비스 시간을 가지는, 지수 분포된 시간 동안 통화중 상태를 유지한다.

III. 시스템 분석

LAN i에 속한 단말 p로부터 LAN j에 위치한 단말 q로의 데이터(또는 음성) 통화는 LAN i, MAN과

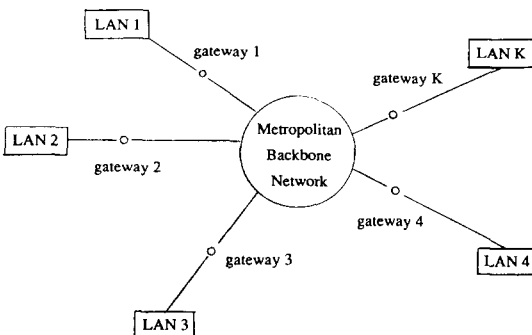


그림 1. 성형 구조의 회선 교환망
Fig. 1. A star topology circuit-switched network.

LAN j를 통과하는 하나의 기본 채널 (또는 m 개의 기본 채널)을 확보할 수 없을 때 차단된다. x_{ij} 를 LAN i 내의 데이터 단말로부터 LAN j 내의 데이터 단말로의 회선 연결들의 수라 하고, y_{ij} 를 LAN i 내의 음성 단말로부터 LAN j 내의 음성 단말로의 회선 연결들의 수라 하자. 이 경우 제한된 채널 용량에 의해 다음의 조건식이 만족되어야 한다.

$$\sum_{j=1}^K (x_{ij} + x_{ji} + my_{ij} + my_{ji}) \leq C_i, \quad 1 \leq i \leq K$$

$$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (x_{ij} + my_{ij}) \leq C_M \quad (1)$$

보다 자세한 통화차단 성능 분석을 위하여, 통화차단 확률은 회선 통화차단 확률, 행선지 통화중 확률 및 병발 확률로 나뉘어 진다. 회선 통화차단 확률은 통화 시도자가 통화중이 아닌 조건하에서, 회선 연결에 필요한 채널들이 포화 상태이고, 행선지가 통화중이 아닐 확률이다. 행선지 통화중 확률은 통화 시도자가 통화중이 아닌 조건하에서, 회선 연결에 필요한 채널들은 확보할 수 있으나 행선지가 통화중일 확률이다. 또한, 병발 확률은 통화 시도자가 통화중이 아닌 조건하에서, 회선 연결에 필요한 채널들이 포화 상태이고 행선지가 통화중일 확률이다.

1. 통화차단 확률 계산을 위한 정밀 해석법

$C(t)$ 를 시간t에서 통화중인 모든 데이터 단말과 음성 단말을 포함하는 연결들의 집합이라 하자. 이 경우 $C = \{C(t), t > 0\}$ 은 연속 시간 Markov chain 이 됨을 알 수 있다. 이 Markov chain의 state space Δ 는 가능한 모든 연결형태의 집합으로 정의한다. 연결 형태는 제한된 채널 용량에 의한 조건식(1)을 만족하면 가능하다고 말한다. D를 Δ 의 원소라 하자.

모든 상태D는 공 상태(empty state)로부터 한정된 시간 내에 확률1로 도달할 수 있다. 공 상태 또한, 어떠한 상태 D로부터도 확률 1로 한정된 시간 내에 도달할 수 있다. 그러므로 모든 상태는 서로 다른 상태로의 변화가 가능하며, 따라서 천이(transition)가 일어나는 시간을 기준으로 한 이산 시간 Markov chain은 irreducible하다. 추가적으로 이 이산 시간 Markov chain은 state space가 유한하므로 positive recurrent하며 ergodic하다. 따라서 이 연속 시간 Markov chain을 표현하는 정상상태 확률 분포는 유일하게 존재하게 된다.

또한 이러한 형태의 Markov chain은 reversible Markov chain이라는 것은 쉽게 증명할 수 있다¹¹⁾ D_0 는 어떤 고정된 상태이고, D는 Δ 내에 있는 다른 상태라고 하며, $D_0, D_1, \dots, D_m = D$ 인 Δ 내에서의 일련의

상태 변화 배열이라 하자. 이 배열에서 두개의 연속된 상태들은 천이율 (transition rate)이 0이 아니다. 여기서 $Q(D)$ 는 정상 상태 분포를 의미하고, $q(D_1, D_2)$ 는 D_1 으로 부터 D_2 로의 천이율을 의미할 때 다음식을 만족한다.

$$Q(D) = Q(D_0) \prod_{k=1}^m \frac{q(D_{k-1}, D_k)}{q(D_k, D_{k-1})} \quad (2)$$

본 논문에서는 정상 상태 분포 $\{Q(D), D \in \Delta\}$ 를 이용하여 회선 교환망에서의 시스템 성능을 나타내는 통화차단 확률을 구한다.

BPd_{pq}^s 를 LAN s 내의 p번째 데이터 단말로부터 LAN t내의 q번째 데이터 단말로의 데이터 통화차단 확률이라 하고, BPv_{pq}^s 를 LAN s 내의 p번째 음성 단말로부터 LAN t내의 q번째 음성 단말로의 음성 통화차단 확률이라 하자. 데이터 통화차단 확률 및 음성 통화차단 확률을 구하기 위한 두개의 state space $P(s, t, m)$ 과 $N(s, t, m)$ 을 아래와 같이 정의한다.

state space $P(s, t, m)$ 은 부등식(3)을 만족하는 모든 회선 연결의 집합으로써 정의된다. :

$$\sum_{j=1}^K (x_{ij} + x_{ji} + my_{ij} + my_{ji}) \leq C_i - m, \quad i = s, t$$

$$\sum_{j=1}^K (x_{ij} + x_{ji} + my_{ij} + my_{ji}) \leq C_i, \quad 1 \leq i \leq K, \quad i \neq s, t$$

$$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (x_{ij} + my_{ij}) \leq C_M - m \quad (3)$$

state space $N(s, t, m)$ 은 부등식 (4)를 만족하는 모든 회선 연결의 집합으로써 정의된다. :

$$\sum_{j=1}^K (x_{ij} + x_{ji} + my_{ij} + my_{ji}) \leq C_i, \quad 1 \leq i \leq K, \quad i \neq s, t$$

그리고

$$[C_s - m < \sum_{j=1}^K (x_{sj} + x_{js} + my_{sj} + my_{js}) \leq C_s, \text{ 또는}$$

$$C_t - m < \sum_{j=1}^K (x_{tj} + x_{jt} + my_{tj} + my_{jt}) \leq C_t \text{ 또는}$$

$$C_M - m < \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (x_{ij} + my_{ij}) \leq C_M] \quad (4)$$

$\delta(D)$ 를 D내의 회선 연결들에 참여한 단말들의 집합이라 정의하자. 본 논문에서는 데이터 통화차단 확률을 회선 통화차단 확률, 행선지 통화차단 확률 및 병발 확률의 합으로 나타낸다.

$$BPd_{pq}^s = Q(DAd_{pq}^s) + Q(DBd_{pq}^s) + Q(DCd_{pq}^s)$$

여기에서

$$\begin{aligned}
 DAd_p^s d_q^t &= \{D \in N(s, t, l) \text{ 이고 } d_p^s \in \delta(D) \mid d_q^t \in \delta(D)\} \\
 DBD_p^s d_q^t &= \{D \in P(s, t, l) \text{ 이고 } d_p^s \in \delta(D) \mid d_q^t \in \delta(D)\} \\
 DCD_p^s d_q^t &= \{D \in N(s, t, l) \text{ 이고 } d_p^s \in \delta(D) \mid d_q^t \in \delta(D)\}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

마찬가지로, 음성 통화차단 확률도 세 구성요소의 합으로 나타낼 수 있다.

$$BPV_p^s v_q^t = Q(DAV_p^s v_q^t) + Q(DBV_p^s v_q^t) + Q(DCV_p^s v_q^t)$$

여기에서

$$\begin{aligned}
 DAV_p^s v_q^t &= \{D \in N(s, t, m) \text{ 이고 } v_q^t \in \delta(D) \mid v_p^s \in \delta(D)\} \\
 DBV_p^s v_q^t &= \{D \in P(s, t, m) \text{ 이고 } v_q^t \in \delta(D) \mid v_p^s \in \delta(D)\} \\
 DCV_p^s v_q^t &= \{D \in N(s, t, m) \text{ 이고 } v_q^t \in \delta(D) \mid v_p^s \in \delta(D)\}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$Q(DAd_p^s d_q^t)$ 는 $DAd_p^s d_q^t$ 에 포함된 모든 D 에 대한 확률의 합을 뜻한다. 식(5) 및 (6)을 식(2)로부터 구하는 방법은 트래픽 도착률, 평균 서비스 시간, 통화 연결 패턴 등을 고려하여 구한다.¹⁰⁾

2. 근사해석 방법

통화차단 확률 계산 방법을 단순화하기 위하여, 하나의 LAN 내의 단말로부터 임의의 다른 LAN 내의 모든 단말로의 데이터(또는 음성) 통화율은 같은 값을 갖는 것으로 가정한다. 즉,

$$\begin{aligned}
 f d_p^s d_q^t &= \frac{\lambda d_p^s d_q^t}{\mu d_p^s d_q^t} = f_1, \text{ 임의의 } p, q \text{에 대하여} \\
 g v_p^s v_q^t &= \frac{\lambda v_p^s v_q^t}{\mu v_p^s v_q^t} = g_1, \text{ 임의의 } p, q \text{에 대하여}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

여기서 $i, j=1, \dots, K$ 이다.

1) 하나의 LAN 또는 MAN에 대한 무한 가입자 모델

앞 절에서 소개한 유한 가입자 모델은 LAN 들의 수 및 단말의 수가 증가됨에 따라 계산량이 지수적으로 증가하게 된다. 그러므로, 이 절에서는 계산량을 현저히 줄이는 근사적 성능 평가의 일환으로서 무한 가입자 모델을 소개한다.

이 절에서는 데이터 및 음성 단말들로 구성된 하나의 무한 가입자 시스템을 다룬다. 데이터 및 음성 통화들은 각각 Poisson point process에 따라 도착하는 것으로 가정한다. 정상 상태에서, X^d 를 통화중인 데이터의 통화수라 하고, X^v 를 통화중인 음성의 통화수라 하자. λ^d 는 데이터 통화의 도착률이고, λ^v 는 음성 통화의 도착률이라 정의하며, $1/\mu^d$ 는 평균 데이터 통화 시간, $1/\mu^v$ 는 평균 음성 통화 시간이다. 회선 연결 가능한 기본 채널의 수는 C 이다. 그림2는 시스템의 천이율(transition rate) 다이어그램이다.

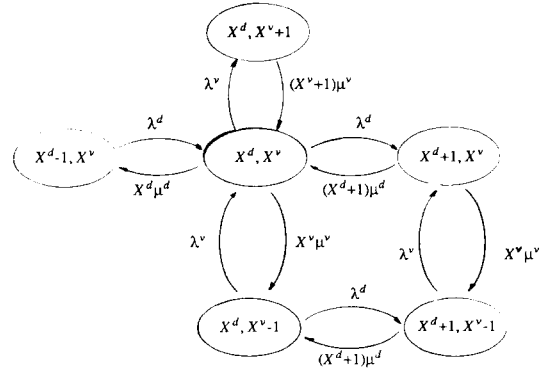


그림 2. 천이율 다이어그램
Fig. 2. Transition rate diagram.

프로세스 (X^d, X^v) 는 reversible한 연속시간 Markov chain이다.¹¹⁾ $Q(x, y)$ 를 시스템내 데이터 통화중인 수가 x 이고, 음성 통화중인 수가 y 일 확률을 나타내는, 정상 상태 분포라 정의하면, 아래의 product-form 결과를 얻는다.

$$Q(X^d, X^v) = \frac{f_1^{x^d} / x! \cdot f_2^{x^v} / x!}{\sum_{x=0}^C \sum_{y=0}^C I(x+my \leq C) \frac{f_1^x f_2^y}{x! y!}}
 \tag{8}$$

여기서

$$f_1 = \frac{\lambda^d}{\mu^d}, \quad f_2 = \frac{\lambda^v}{\mu^v}$$

이며, $I(\text{조건식})$ 은 조건식이 만족되면 1이고 아닌 경우 0을 뜻한다.

데이터의 통화차단 확률 BD 와 음성의 통화차단 확률 BV 는 다음과 같이 주어진다.

$$BD = \frac{\sum_{x=0}^C \sum_{y=0}^C I(x+my=C) \frac{f_1^x f_2^y}{x! y!}}{\sum_{x=0}^C \sum_{y=0}^C I(x+my \leq C) \frac{f_1^x f_2^y}{x! y!}}
 \tag{9}$$

$$BV = \frac{\sum_{x=0}^C \sum_{y=0}^C I(C-m < x+my \leq C) \frac{f_1^x f_2^y}{x! y!}}{\sum_{x=0}^C \sum_{y=0}^C I(x+my \leq C) \frac{f_1^x f_2^y}{x! y!}}
 \tag{10}$$

2) 근사해석 기술

이 절에서는 성형망에서의 회선 통화차단 및 행선지 통화중 확률의 효과적인 계산을 위하여 다음과 같은 근사 해석 기술을 소개하겠다. 임의의 한 LAN에서의 회선 통화차단 사건은 다른 LAN들의 통화차단 사건들과 통계적으로 독립이라고 가정한다. 이

근사해석 기술은 내부 및 외부의 두 루우프로 구성된다. 내부 루우프에서는 행선지 통화중 확률값이 일정하게 유지되는 반면, 회선 통화차단 확률과 각 MAN에 부가되는 통화량은 그들의 값이 안정(특정한 값에 수렴)될 때까지 반복해서 계산된다. 또한 외부 루우프에서는 행선지 통화중 확률이 내부 루우프 실행에 의해 얻은 안정된 회선 통화차단 확률에 기초하여 반복적으로 계산된다. 그림3은 근사 해석 방법의 흐름도를 나타낸 것이다.

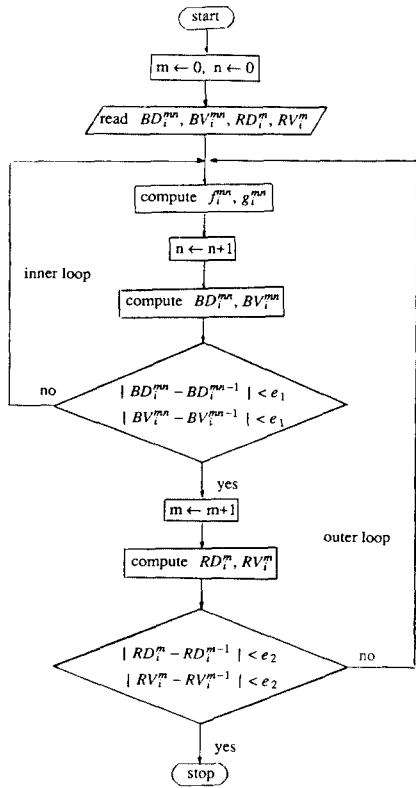


그림 3. 근사 해석 방법 흐름도
Fig. 3. Flowchart of approximation method.

각각의 LAN 및 MAN에 대한 회선 통화차단 확률, 행선지 통화중 확률, 처리된 통화량 및 부가된 통화량은 비선형 방정식 (nonlinear function) 들에 의해 서로 상관 관계를 갖는다. 따라서 이 식들로부터 회선 통화차단 확률을 위한 closed form 결과를 유도하는 것은 통상 불가능하다. 그러므로 이 비선형 방정식들의 해를 구하기 위한 효과적인 반복 알고리즘을 소개한다. 반복 과정은 n번째 단계에서 계산된 항과 (n+1) 번째 단계에서 계산된 항사이의 차가 미리 정

한 에러 수준보다 적을 때까지 수행된다. 이 과정에서 얻은 결과는 유일한 해이다⁶⁾

이런 반복적인 계산을 수행하는데 있어서, 비선형 방정식들에 의해 접근하기 위한 간단한 대입 방법 (substitution method)을 사용할 수 있다.^{11,12)} 이 방법의 장점은 수행 절차가 간단한 점이나, 문제의 복잡성으로 인하여 항상 해가 수렴하는지 증명하기 어려운 단점이 있다. 다른 방법으로는 Newton 방법 또는 이를 변형 개선한 방법들을 들 수 있다.^{2,11,12)} 이들 방법의 장점은 해가 항상 수렴함을 증명할 수 있다는 것이다. 그러나 루우프를 돌때마다 Jacobian 계산을 하여야 하므로 많은 계산량을 요구한다. 본 논문에서 취급하는 문제를 풀기 위하여는, 대입 방법이 정확성 및 요구되는 계산량 관점에서 볼 때 상당히 만족스러운 것으로 나타난다.

(1) 회선 통화차단 확률 계산을 위한 근사 해석 기술

BD_i^m 을 외부 루우프의 m번째 단계와 내부 루우프의 n번째 단계에서 계산된 LAN i ($i=1, \dots, K, M$, 여기서 M은 MAN)의 데이터 회선 통화차단 확률이라 하고, BV_i^m 을 상응하는 음성 회선 통화차단 확률이라 정의하자. 또한, RD_i^m 은 외부 루우프의 m 번째 단계에서 계산된 LAN i의 데이터 행선지 통화중 확률이라 하고, RV_i^m 은 상응하는 음성 행선지 통화중 확률이라 하자.

$BD_i^0, BV_i^0, RD_i^0, RV_i^0$ 을 각 확률들의 초기치라 하며, 이 값은 물론 1보다 작은 값을 갖는다. f_i^m 은 외부 루우프의 m번째 단계와 내부 루우프의 n번째 단계에서 LAN i에 부가되는 총 데이터 통화량이고, g_i^m 은 상응하는 총 음성 통화량이라 하자. 초기에 부가되는 총 데이터 및 음성 통화량들은 다음의 방정식에서 $m=n=0$ 으로 하여 계산된다.

$$f_i^m = \sum_{j=1}^K (1-RD_j^m) (1-RD_j^m) (f_{ij} + f_{ji}) (N_i^d N_j^d) / ((1-BD_i^m) (1-BD_j^m))$$

$$f_w^m = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (1-RD_i^m) (1-RD_j^m) f_{ij} (N_i^d N_j^d) / ((1-BD_i^m) (1-BD_j^m)) \quad (11)$$

$$g_i^m = \sum_{j=1}^K (1-RV_j^m) (1-RV_j^m) (g_{ij} + g_{ji}) (N_i^v N_j^v) / ((1-BV_i^m) (1-BV_j^m))$$

$$g_w^m = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (1-RV_i^m) (1-RV_j^m) g_{ij} (N_i^v N_j^v) / ((1-BV_i^m) (1-BV_j^m)) \quad (12)$$

LAN i에 부가되는 총 통화량은, MAN과 다른 항

선지 LAN들이 회선 통화차단 현상이 안일어날 때, 가입자 및 행선지 단말들이 유티할 경우, LAN i와 다른 LAN 사이의 총통화량으로 계산된다. 식(11)-(12)에서 계산된 부가되는 통화량 값들을 이용하여, 회선 통화차단 확률은 식(9)-(10)을 기본으로 하여 아래와 같이 구해진다.

$$BD_i^{mn+1} = \frac{\sum_{x=0}^{C_i} \sum_{y=0}^{C_{Li}} I(x+my=C_i) \frac{(f_i^{mn})^x}{x!} \frac{(g_i^{mn})^y}{y!}}{\sum_{x=0}^{C_i} \sum_{y=0}^{C_{Li}} I(x+my \leq C_i) \frac{(f_i^{mn})^x}{x!} \frac{(g_i^{mn})^y}{y!}} \quad (13)$$

여기서 $C_{Li} = \lfloor \frac{C_i}{m} \rfloor$

$$BV_i^{mn+1} = \frac{\sum_{x=0}^{C_i} \sum_{y=0}^{C_{Li}} I(C_{i-m} < x+my \leq C_i) \frac{(f_i^{mn})^x}{x!} \frac{(g_i^{mn})^y}{y!}}{\sum_{x=0}^{C_i} \sum_{y=0}^{C_{Li}} I(x+my \leq C_i) \frac{(f_i^{mn})^x}{x!} \frac{(g_i^{mn})^y}{y!}} \quad (14)$$

다음번 단계의 f_i^{m+1} 와 g_i^{m+1} ($i=1, \dots, K, M$)은 식(11)-(12)를 사용하여 BD_i^{m+1} 와 BV_i^{m+1} 로부터 계산된다. 여기서 얻은 f_i^{m+1} 및 g_i^{m+1} 을 식(13)-(14)에 대입하여 다음 단계의 회선 통화차단 확률들을 계산한다. 이 과정은 각각의 i 에 대하여 아래의 조건을 만족하는 값들을 얻을 때까지 반복된다.

$$\begin{aligned} |BD_i^{m+1} - BD_i^m| &\leq e_1, \\ |BV_i^{m+1} - BV_i^m| &\leq e_1, \end{aligned} \quad (15)$$

이때 e_1 은 미리 정해진 오차 허용값이다. 이들 계산에서 RD_i^m, RV_i^m 은 고정된 값을 갖는다. 이들 일련의 과정에서 늘 결과 값들이 수렴하는지 분석적으로 증명하기는 어려우나, 하나의 해만 존재함을 우리는 알고 있으며,^[6] 실제 이 논문에서 수행한 시스템의 경우 결과가 매우 빠르게 수렴한다.

(2) 행선지 통화중 확률 계산을 위한 근사해석 기술

행선지 통화중 확률은 내부 루우프의 종료(즉, 회선 통화차단 확률값 차이가 오차 허용범위 이내 일 때)로서 얻어지는 값들을 근거로 계산된다. 각각의 단말을 고려해 보면, 평균 시간 $1/\mu$ 동안에는 통화중이고, 평균 시간 $1/\lambda$ 동안엔 유티 상태의 유한 가입자 모델로 설정되기 때문에, 각 단말의 duty cycle은 $\rho/(1+\rho)$ 와 같다. 여기에서 $\rho = \lambda/\mu$ 이다. 행선지 단말은 그것이 동작 상태에 있을 때 (duty cycle)를 통화중이라고 가정한다. RD_i^m 을 외부 루우프의 m 번째 단계에서 계산된 LAN i 내의 데이터 단말에 대한

행선지 통화중 확률이라 정의하고 RV_i^m 은 LAN i 내의 음성 단말에 대한 상응하는 행선지 통화중 확률이라 하자. 임의의 단말에 대한 행선지 통화중 확률은, 이전의 내부 루우프에서 얻어진 회선 통화차단 확률 값과 그 내부 루우프 동안에 사용된 행선지 통화중 확률 값을 근거로 하여 다음과 같이 구하며, 이 식은 행선지 단말에 대한 duty cycle을 뜻한다.

$$RD_i^{m+1} = \frac{\sum_{j=1}^K N_j^d (f_{ij} + f_{ji}) (1 - BD_i^{m+1}) (1 - BD_j^{m+1}) (1 - RD_j^m)}{1 + \sum_{j=1}^K N_j^d (f_{ij} + f_{ji}) (1 - BD_i^{m+1}) (1 - BD_j^{m+1}) (1 - RD_j^m)} \quad (16)$$

$$RV_i^{m+1} = \frac{\sum_{j=1}^K N_j^v (g_{ij} + g_{ji}) (1 - BV_i^{m+1}) (1 - BV_j^{m+1}) (1 - RV_j^m)}{1 + \sum_{j=1}^K N_j^v (g_{ij} + g_{ji}) (1 - BV_i^{m+1}) (1 - BV_j^{m+1}) (1 - RV_j^m)} \quad (17)$$

이들 계산된 행선지 통화중 확률 RD_i^{m+1}, RV_i^{m+1} 은 BD_i^{m+1} 와 BV_i^{m+1} ($i=1, \dots, K, M$)의 계산을 위한 다음번 내부 루우프의 입력으로 사용된다. 식(16)-(17)을 사용하여 외부 루우프 계산은 반복된다. 외부 및 내부 루우프의 반복은 m 번째와 $m+1$ 번째의 행선지 통화중 확률들 사이의 차가 충분히 작을 때까지 수행된다. 즉, 아래의 조건이 만족될 때까지 외부 루우프의 반복은 계속된다.

$$|RD_i^{m+1} - RD_i^m| \leq e_2, \quad |RV_i^{m+1} - RV_i^m| \leq e_2, \quad (18)$$

(3) 최종 가입자간 통화차단 확률

LAN i 에 있는 단말로 부터 LAN j 에 있는 단말로 의 연결을 위한 최종 가입자간 유효도 (availability)는 통화 시도자가 통화중이 아닌 조건하에 회선 연결을 위한 채널들이 충분하고 행선지가 유티 상태일 확률로 정의된다. 최종 가입자간 통화차단 확률은 “1 - 상응하는 최종 가입자간 유효도”로 계산된다. AD_{ij} 를 LAN i 에 있는 단말로 부터 LAN j 에 있는 행선지 단말로 의 최종 가입자간 데이터 통화차단 확률이라 하고, BV_{ij} 를 상응하는 최종 가입자간 음성 통화차단 확률이라 하자. CA_{ij}^d 는 데이터 통화를 위한, 적어도 하나의 기본 채널이 LAN i 내의 단말로 부터 LAN j 내의 단말로 하나의 길을 따라 연결될 수 있는 사건이라 정의한다.

$$AD_{ij} = P([CA_{ij}^d] \cap [\text{행선지 유티상태}] | [\text{통화 시도자 유티상태}]) \quad (19)$$

CA_{ij}^d , 행선지 유티 상태 및 통화 시도자 유티 상태 사건들은 통계적으로 독립이라고 가정하면, 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$AD_{ij} = \frac{(1 - BD_i^{m+in+1})(1 - BD_j^{m+in+1})(1 - BD_j^{m+in+1})}{(1 - RD_j^{m+1})} \quad (20)$$

그러므로, 데이터 및 음성 단말에 대한 최종 가입자간 통화차단 확률은 다음과 같다.

$$BD_{ij} = 1 - \frac{(1 - BD_i^{m+in+1})(1 - BD_j^{m+in+1})}{(1 - BD_j^{m+in+1})(1 - RD_j^{m+1})}$$

$$BV_{ij} = 1 - \frac{(1 - BV_i^{m+in+1})(1 - BV_j^{m+in+1})}{(1 - BV_j^{m+in+1})(1 - RV_j^{m+1})} \quad (21)$$

IV. 성능 평가

정밀 해석 방법을 사용하여 계산된 통화차단 확률과 근사 해석 방법을 이용하여 얻어진 통화차단 확률을 비교하기 위하여, 우선 중앙의 MAN이 3개의

LAN에 의해 연결된 성형구조 시스템에 관해 연구해 본다. 그림4-6은 성능 곡선을 나타낸 것이다. 그림 4-5에서는 시스템 매개 변수의 값은 다음과 같다. : $N_1^d=200, N_2^d=160, N_3^d=300, N_1^v=100, N_2^v=100, N_3^v=140, m=4, C_1=20, C_2=16, C_3=24, C_m=32$.

그림에서 ρ_{12}^d 와 ρ_{23}^v 는 LAN i와 LAN j 사이의 총 데이터 및 음성 통화량 부하(LAN i 내의 단말로부터 LAN j 내의 단말로의 통화량 뿐만 아니라 LAN j에 있는 단말로부터 LAN i내의 단말로 흐르는 통화량도 포함)를 의미한다.

그림4는, 다른 통화량들이 일정하게 유지되는 동안 LAN 1과 LAN 2 사이의 데이터 통화량이 0.4에서 10Erlangs까지 증가될 때 LAN 1 내 단말로부터 LAN 2 내 단말로의 데이터 통화차단 확률을 보여

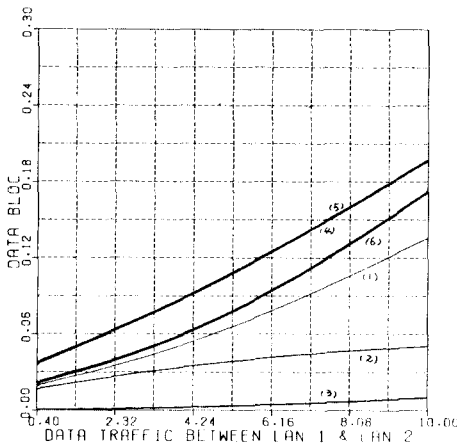


그림 4. LAN 1과 LAN 2사이의 총 데이터 통화량 (ρ_{12}^d)에 대한 LAN 1내의 단말로부터 LAN 2 내의 단말로의 데이터 통화차단 확률 (a) 정밀 회선 통화차단 확률 (b) 정밀 행선지 통화중 확률 (c) 정밀 병발 확률 (d) (a)+(b)+(c) (e) 행선지 통화중 확률을 포함한 근사 최종 가입자간 통화차단 확률 (f) 행선지 통화중 확률을 포함하지 않은 근사 최종 가입자간 통화차단 확률

Fig. 4. Data blocking probability from a 1-station to a 2-station vs. the total data traffic rate between LAN 1 and LAN 2 (ρ_{12}^d). (a) exact circuit prod, (b) exact destination busy prob, (c) exact concurrent busy prob, (d) (a)+(b)+(c), (e) approx. end-to-end blocking prob. incorporating the dest. busy prob, (f) approx. end-to-end blocking prob. not including the dest. busy prob.

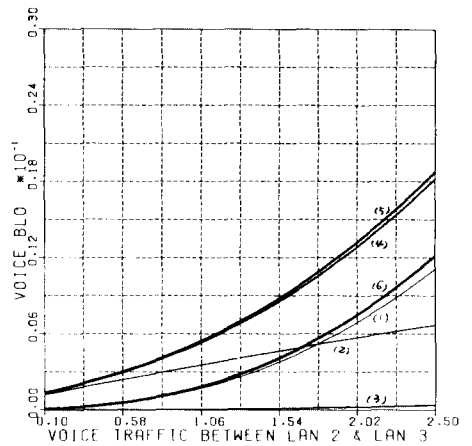


그림 5. LAN 2와 LAN 3사이의 총 음성 통화량 (ρ_{23}^v)에 대한 LAN 1내의 단말로부터 LAN 2내의 단말로의 음성 통화차단 확률 (a) 정밀 회선 통화차단 확률 (b) 정밀 행선지 통화중 확률 (c) 정밀 병발 확률 (d) (a)+(b)+(c) (e) 행선지 통화중 확률을 포함한 근사 최종 가입자간 통화차단 확률 (f) 행선지 확률중 확률을 포함하지 않은 근사 최종 가입자간 통화차단 확률

Fig. 5. Voice blocking probability from a 1-station to a 2-station vs. the total voice traffic rate between LAN 2 and LAN 3 (ρ_{23}^v). (a) exact circuit prob, (b) exact destination busy prob, (c) exact concurrent busy prob, (d) (a)+(b)+(c), (e) approx. end-to-end blocking prob. incorporating the dest. busy prob., (f) approx. end-to-end blocking prob. not including the dest busy prob.

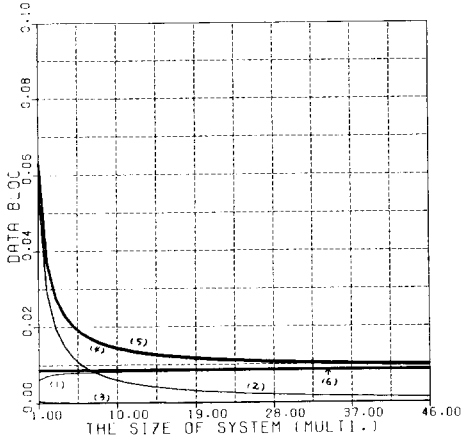


그림 6. 시스템 크기(원래 시스템 \times Multi.)에 대한 LAN 1내의 단말로부터 LAN 2단말 2로의 데이터 통화차단 확률
 $N_1^d=50 \times \text{Multi.}$, $N_2^d=40 \times \text{Multi.}$, $N_3^d=75 \times \text{Multi.}$
 $N_1^v=25 \times \text{Multi.}$, $N_2^v=25 \times \text{Multi.}$, $N_3^v=35 \times \text{Multi.}$
 (a) 정밀 회선 통화차단 확률 (b) 정밀 행선지 통화중 확률 (c) 정밀 병발 확률
 (d) (a)+(b)+(c)
 (e) 행선지 통화중 확률을 포함한 근사 최종 가입자간 통화차단 확률
 (f) 행선지 통화중 확률을 포함하지 않은 근사 최종 가입자간 통화차단 확률

Fig. 6. Data blocking probability from a 1-station to a 2-station vs. the size of system (original system \times Multi.)
 (a) exact circuit prob. (b) exact destination busy prob.
 (c) exact concurrent busy prob.
 (d) (a)+(b)+(c),
 (e) approx. end-to-end blocking prob. incorporating the test busy prob.
 (f) approx. end-to-end blocking prob. not including the dest busy prob.

준다. 다른 통화량들의 크기는 다음과 같다. : LAN 1과 LAN 3 사이의 데이터 통화량은 1.5Erlangs, LAN 2와 LAN 3 사이의 데이터 통화량은 2.5Erlangs, LAN 1과 LAN 2 사이의 음성 통화량은 2.0Erlangs, LAN 1과 LAN 3 사이의 음성 통화량은 3.0Erlangs, LAN 2와 LAN 3 사이의 음성 통화량은 3.0Erlangs로 고정시킨다. 근사 해석 방법으로 얻어진 성능 결과는, 행선지 통화중 확률을 포함시킬 때, 정밀 해석 방법으로 얻은 결과와 매우 가까운 값을 얻는다.

행선지 확률중 확률을 고려하지 않고 구한 근사 통화차단 확률은, LAN 1과 LAN 2 사이의 데이터 통화량이 적은 경우 정밀 해석 방법에 의한 회선 통화차단 확률에 근접하게 되며, 두 곡선의 차는 데이터 통화량 레벨이 증가함에 따라 커지게 된다. 행선지 통화중 사건을 포함시키지 않으면서 근사적으로 최종 가입자간 통화차단 확률을 구하는 방법은, 행선지 단말이 항상 유휴하다는 가정과 함께, 그림 3으로 표현된 근사 해석 방법 흐름 도중에서 내부 루우프만을 사용함으로 결과를 얻는다. 이 방법으로 얻은 근사 통화차단 확률값은 정밀 회선 통화차단 확률 곡선에 의해 나타난 값보다 더 높은 통화차단 확률값을 갖는다. 실제 상황에서 행선지 통화중 사건은 통화량의 감소를 수반하며, 이는 회선 통화차단 확률의 감소 원인이 된다.

그림5는 다른 통화량 부하들이 고정된 값을 유지하는 동안, LAN 2와 LAN 3 사이의 음성 통화량이 0.1에서 2.5Erlangs까지 증가될 때, LAN 1내의 음성 단말로부터 LAN 2내의 음성 단말로의 통화차단 확률을 보여준다. 다른 통화량 값들은 다음과 같다. : LAN 1과 LAN 2 사이의 데이터 통화량은 0.1Erlangs, LAN 1과 LAN 3 사이의 데이터 통화량은 0.1Erlangs, LAN 2와 LAN 3 사이의 데이터 통화량은 0.2Erlangs, LAN 1과 LAN 2 사이의 음성 통화량은 0.4Erlangs, LAN 1와 LAN 3 사이의 음성 통화량은 0.5Erlangs이다. 근사 해석 방법 및 정밀 해석 방법에 의한 통화차단 확률 곡선의 모양은 위에서 언급한 내용과 유사한 형태를 띠고 있다.

그림6에서는, 모든 통화량 부하를 고정시킨 상태에서 시스템의 크기 (즉, 단말의 수)가 증가될 때의 데이터 및 음성 통화차단 확률 성능 곡선을 보여준다. 데이터 단말들은 LAN 1에서 50-2300, LAN 2에 40-1840, LAN 3에서 75-3450으로 증가되며 음성 단말들은 LAN 1에서 25-1150, LAN 2에서 25-1150, LAN 3에서 35-1650으로 증가된다. 또한 $m=4$, $C_1=20$, $C_2=16$, $C_3=24$, $C_M=32$ 로 고정시킨다.

LAN 1과 LAN 2 사이의 데이터 통화량은 1.0Erlangs, LAN 1과 LAN 3 사이의 데이터 통화량은 1.0Erlangs, LAN 2와 LAN 3사이의 데이터 통화량은 1.5Erlangs, LAN 1과 LAN 2사이의 음성 통화량은 1.5Erlangs, LAN 1과 LAN 3사이의 음성 통화량은 2.0Erlangs, LAN 2와 LAN 3사이의 음성 통화량은 2.0Erlangs로 고정시킨다. 그림은 LAN 1내의 데이터 단말로부터 LAN 2내의 데이터 단말로 통화차단 확률 곡선을 보여준다. 근사 해석 방법에 의한 최종 가입자간 통화차단 확률 곡선은 시스템 크기에 상관

없이 정밀 해석 방법에 의한 값과 매우 근접한 것으로 나타난다. 행선지 통화중 사건을 고려하지 않고 구한 최종 가입자간 통화차단 확률은 시스템 크기에 의존하지 않으며, 특히 작은 크기의 시스템에서는 정밀 해석 방법에 의한 통화차단 값과 많은 차이를 나타낸다. 시스템의 크기가 커짐에 따라 회선 통화차단 확률은 증가하고, 행선지 통화차단 확률은 감소한다. 행선지 통화중 확률은 소형의 시스템(즉 하나의 LAN에 500개 이내의 단말)에서 더욱 더 지배적인 역할을 한다.

위에서 예를 든, 단지 3개의 상호 연결된 LAN 들로 구성된 성형망에서는, 정밀 해석법이 사용될 때 요구되는 계산 시간과, 근사 해석법에 의해 요구되는 시간이 거의 같다. 그러나, LAN의 수가 증가됨에 따라, 근사 해석 방법은 정밀 해석 방법에 비해 많은 시간 감소를 가져온다.

성능 평가 실례를 위해서, 그림 7.8에 근사 해석 방법을 사용하여 10개의 LAN들이 상호 연결되어 중앙의 MAN에 의해 성형망을 구현한 시스템에 대한 성능 결과를 표현한다. 그림 7은 각 LAN i의 기본 회선이 11에서 36으로 증가됨에 따른 최종 가입자간 데이터통화 차단 확률을 보여준다. 이 예에서는 $N_i^d = 100$, $N_j^d = 80$, $m = 4$, LAN i와 LAN j 사이의 총 데이터 통화량은 0.4Erlangs, LAN i와 LAN j 사이의 총 음성 통화량은 0.4Erlangs으로 고정시킨다. 따라서 각 LAN에 부가되는 데이터 및 음성의 총 통화량 부하는 $2 \times 9 \times (0.4 + 0.4) / 2 = 7.2$ Erlangs이고, 중앙의 MAN에 부가되는 데이터 및 음성의 총 통화량 부하는 $10 \times 9 \times (0.4 + 0.4) / 2 = 36$ Erlangs 이다. 곡선 (1)에서 $C_M = 60$, 곡선 (2)에서 $C_M = 55$, 곡선 (3)에서 $C_M = 50$, 곡선 (4)에서 $C_M = 45$, 곡선(5)에서 $C_M = 40$ 으로 값이 주어진다. 이들 성능 곡선을 살펴보면, 각 LAN의 회선수가 용량 포화점 C_M^{sp} (약 20회선) 보다 작을 때, 회선수의 증가에 따라 통화차단 확률은 급속도로 감소되는 반면, 이 포화 레벨을 초과한 후에는 통화차단 확률은 거의 일정한 값을 유지한다. 중앙에 있는 MAN의 용량은, 특히 각 LAN의 용량이 포화 레벨을 초과한후 통화차단 확률에 결정적인 영향을 미친다. 이 부분에서, MAN의 회선 용량이 일정한 포화 레벨 C_M^{sp} (약 55회선) 보다 낮을 때 통화차단 확률의 빠른 증가를 가져온다.

그림 8에서는, $N_i^d = 100$, $N_j^d = 80$, $m = 4$, LAN i와 LAN j 사이의 각각의 총 데이터 통화량은 0.2Erlangs, LAN i와 LAN j 사이의 각각의 총 음성 통화량은 0.2Erlangs으로 고정시킨다. 각 LAN에 부가되는 총 통화량 부하는 $2 \times 9 \times (0.2 + 0.2) / 2 = 3.6$ Erlangs인

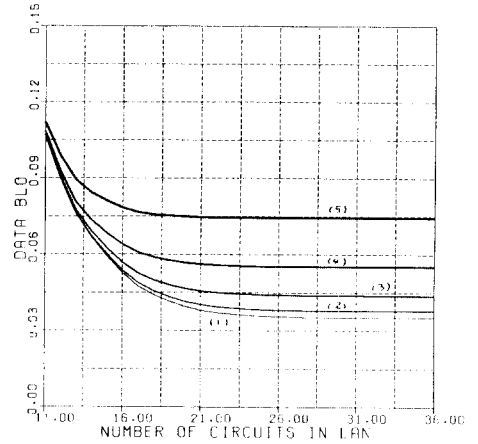


그림 7. 각 LAN의 회선수에 대한 LAN i 내의 단말로부터 LAN j 단말로의 데이터 통화차단 확률
(a) $C_M = 60$ (b) $C_M = 55$ (c) $C_M = 50$
(d) $C_M = 45$ (e) $C_M = 40$

Fig. 7. Data blocking probabilities from an i-station to a j-station vs. the number of circuits in each LAN subsystem.

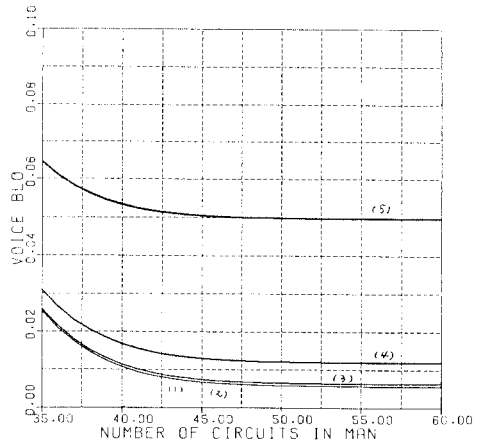


그림 8. MAN의 회선수에 대한 LAN i내의 단말로부터 LAN j 단말로의 음성 통화차단 확률
(a) $C_1 = 30$ (b) $C_1 = 26$ (c) $C_1 = 22$
(d) $C_1 = 18$ (e) $C_1 = 14$

Fig. 8. Voice blocking probabilities from an i-station to a j-station vs. the number of circuits in metropolitan backbone network.

반면, MAN에 부가되는 총 통화량 부하는 $10 \times 9 \times (0.2 + 0.2) / 2 = 18$ Erlangs이다. MAN 회선의 수가 35에서 60으로 증가될 때의 최종 가입자간 음성 통화 차단 확률 곡선이 그림8에 나타나 있다. 곡선(1)에서 $C_1=30$, 곡선(2)에서 $C_1=26$, 곡선(3)에서 $C_1=22$, 곡선(4)에서 $C_1=18$, 곡선(5)에서는 $C_1=14$ 로 고정시켰다. 그림에서 보면, 주어진 조건하에서 C_{SP} 는 약 45 회선이고, C_{SP}^0 는 약 20회선이다. 따라서, 본 논문에서 제시한 성능 분석 방법은, 다속도 회선 교환을 사용하여 MAN을 통해 연결된 성형 구조의 LAN들에 대해, 회선 용량 선택을 경제적이고 효율적으로 구할 수 있도록 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 LAN들이 중앙의 MAN에 의해서 연결된 성형 구조의 다속도 회선 교환 ISDN에 대해, 성능 평가의 일환으로 통화차단 확률을 구한다. 먼저 유한 가입자 모델로써 데이터 및 음성 단말을 모델링한다. 데이터와 음성 단말들 사이의 통화 연결을 표현하는 Stochastic 프로세스는 연속 시간 Markov chain으로 모델링되며, 이 Markov chain의 reversibility 특성에 바탕을 둔 해를 이용하여, 시스템 상태 분포에 대한 closed form 결과를 얻은 후, 이는 최종 가입자간 통화차단 확률을 위한 정확한 표현 방법에 사용된다.

계산된 데이터 및 음성 최종 가입자간 통화차단 확률들은 회선 통화차단 확률, 행선지 통화차단 확률 및 병발 확률로 나뉘어 진다. 회선 교환망과 관련된 이전의 연구들은 단지 각 링크에 대한 회선 통화차단 확률 계산에 편리한 Erlangs와 Engset 모델을 사용해 왔다. 그리고, 이들 결과는 최종 가입자간 회선 통화차단 확률의 근사값을 구하기 위하여 사용되었다.

시스템의 크기가 커짐에 따라, 정밀 해석법은 많은 계산량을 요구한다. 따라서 본 논문은 반복 알고리즘을 사용하는 근사 해석법을 소개한다. 이 과정은 상당히 짧은 계산 시간을 요구하며, 여러 시스템의 예에서 보듯이, 이 방법에 의한 근사 통화차단 확률 값은 정밀한 값에 대해 상당히 근접하게 된다. 이 근사 해석 방법은 행선지 통화중 사건에 의해 일어나는 결과를 포함하므로, 균일한 통화량 분포하에서 동작하는 소규모의 LAN (하나의 LAN에 500개 이하의 단말)이나, 평균 통화량 부하에 비해 매우 높은 통화량을 받아들이는 단말(host computer, minicomputer, 또는 shared server devices)을 포함할 때 특히

유효하다. 여기서 표현된 근사 해석 알고리즘은 비균형적인 통화량 분포를 갖는 시스템일지라도 쉽게 변형되어 유효 적절히 사용할 수 있다.

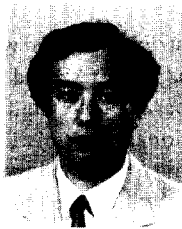
중앙의 MAN을 통해 LAN들이 연결된 다속도 회선 교환망에 대한 본 논문에서 제시한 성능 분석 방법은, 시스템 통화차단 성능의 평가뿐만 아니라 LAN 및 MAN의 회선수를 경제적이고 효율적으로 선택할 수 있도록 한다.

參 考 文 獻

- [1] P.M. Lin, B.J. Leon and C.R. Stewart, "Analysis of circuit-switched network employing originating-office control with spill-forward," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-26, no. 6, pp. 754-765, June 1978.
- [2] A. Girard and Y. Ouimet, "End-to-end blocking for circuit-switched networks : polynomial algorithms for some special cases," *IEEE Trans. on comm.*, vol. COM-31, no. 12, pp. 1269-1273, Dec. 1983.
- [3] A. Girard and Y. Gote, "Sequential routing optimization for circuit switched networks," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-32, no. 12, pp. 1234-1242, Dec. 1984.
- [4] J. Kaufman, "Blocking in a shared resource environment," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-29, pp. 1474-1481, 1981.
- [5] D. Mitra, "Asymptotic analysis and computational methods for a class of simple, circuit-switched networks with blocking," *Adv. Appl. Prob.*, pp. 219-239, 1987.
- [6] F.P. Kelly, "Blocking probabilities in large circuit-switched networks," *Adv. Appl. Prob.*, vol. 18, pp. 473-505, 1986.
- [7] F.P. Kelly, *Reversibility and Stochastic Networks*, Wiley, New York, 1979.
- [8] G. Barberis and R. Brignolo, "Capacity allocation in a DAMA satellite system," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-30, no.7, pp. 1750-1757, July 1982.
- [9] J.M. Aein and G.S. Kosevych, "Satellite capacity allocation," *Proceeding of the IEEE*, vol. 65, pp. 332-343, 1977.
- [10] I. Rubin and J.K. Lee, "Performance analysis of interconnected metropolitan area circuit-switched telecommunications networks," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-36, pp. 171-185, Feb. 1988.

- [11] K.M. Brown, "A quadratically convergent newton-like method based upon gaussian elimination," *SIAM J. Numer. Anal.*, vol. 6, pp. 560-569, Dec. 1969.
- [12] J.J. More and M.Y. Cosnard, "Numerical solutions of non-linear equations," *ACM TOMS*, vol. 5, pp. 64-85, Mar. 1979.

 著 者 紹 介



李 廷 圭 (正會員)

1955年 9月 24日生. 1979年 2月 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1986年 UCLA 전기공학과 석사학위 취득. 1989年 2月 UCLA 전기공학과 박사학위 취득 컴퓨터 네트워크 전공. 1979年 3月~1984年 5年 국방과학 연구소 연구원. 1989年 3月~1990年 2月 삼성전자 정보통신 부수 연구소 책임 연구원. 1990年 3月~현재 한양대학교 전자계산학과 조교수. 주관심분야는 ISDN, 무선 LAN, Queueing Theory 등임.