

Kalman-Filter를 이용한 음성 트래픽 예측 및 회선 교환 격자 구조망 성능 평가

P17P

正會員 文 慶 德* 正會員 李 廷 圭*

Voice Traffic Estimation using Kalman-filtering and Performance Evaluation of a Circuit Switched Network with Grid Topology

Kyeong Deok Moon,* Jong Kyu Lee* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 kalman-filter 방법을 이용하여 향후 수년간의 음성 트래픽 양을 예측하고, 이 값들을 이용하여 격자 구조로 구성된 회선 교환망에서의 성능을 평가하였다. kalman-filter 방법은 측정 오차와 모델링 오차를 고려해서 시스템의 상태를 예측하기 때문에 다른 예측 방법들보다 정확하게 시스템의 상태를 예측할 수 있다. 격자 구조 회선 교환망은 우회 경로가 존재하므로 노드들이 다른 구조로 구성되어 있는 통신망보다 높은 신뢰도를 가진다. 본 논문에서는 향후 수년간의 예측된 음성 통화량을 이용하여, 회선 교환망 성능 평가의 단간이 되는 호차단(call blocking) 확률을 구했다.

ABSTRACT

In this paper, we have estimated voice traffics using Kalman-filtering for upcoming years and evaluated performance of a grid topology circuit switched network using above outcomes. Since measurement errors and modeling errors are considered in Kalman-filtering, the system is estimated more accurately than by using any other estimation methods. A grid topology circuit switched network has alternative routing paths, therefore it is more reliable than any other networks. In this paper, we have calculated the call blocking probabilities, which is the key measurements of performance evaluation in circuit switched networks, by using estimated voice traffics for upcoming years.

I. 서 론

*漢陽大學校 電子計算學科
Dept. of Computer Science and Engineering,
Hanyang University
論文番號 : 92-46(接受1991. 8. 5)

시스템 상태를 정확히 예측하기 위해서는 우선 시스템에 영향을 줄 수 있는 여러 요인들을 고려해 시스템을 모델링해야 한다. 따라서, 시스템에 영향을

미치는 여러 요인을 표현하는 다중 상태 변수들(multiple state space parameters)을 설정하여야 한다. 다중 상태 공간 변수들을 이용하여 시스템 상태를 예측하는 방법에는 다음의 몇가지 방법이 있다. ARIMA(AutoRegressive Integrated Moving Average)에 근간을 두는 Box-Jenkins 방법은 시스템의 상태를 예측하는 시간에 단절이 없어야 정확한 예측을 계속할 수 있으며, 시스템에서 발생하는 급격한 변화에 대해 적응성이 없다. Exponential-Smoothing에 근간을 두는 Holt-Winters 방법은 예측을 하다 일시적인 단절이 생기면 예측한 결과를 더 이상 신뢰할 수 없다. 이런 단점을 보완한 방법이 Kalman-filter 방법이다.⁽¹⁾

Kalman-filter 방법은 피드백 기법을 이용하여, 시스템 상태를 예측 할 때 예측한 결과를 불안정하게 만들 수 있는 시스템의 불확실성에 의한 영향을 고려하므로, 시스템 상태를 보다 정확하게 예측해 나가는 방법이다. 이 때, 시스템의 불확실성은 시스템을 모델링할 때 발생하는 모델링 오차와, 측정할 때 발생하는 측정 오차에 의해 생긴다.^{(2), (3)} Kalman-filter 방법은 현시점에 대한 추정치와 측정치의 차이와, 모델링 오차와 측정 오차에 의한 영향을 고려해서 보다 정확하게 시스템의 상태를 예측하는 방법이다. 따라서, Kalman-filter 방법은 모델링 오차와 측정 오차에 적응성이 있고, gain-tuning 하다.^{(4), (8)}

Kalman-filter 방법이 가지는 장점은 다음과 같다. 시스템의 상태를 예측해 나가는데 있어서 시간의 흐름이 일시적으로 중단되어도 효율적으로 다음 시스템의 상태를 예측 수 있다. 또한, Kalman-filter 방법에서, 다음 시스템의 상태를 예측해 나가는 방법은 간단하고, 순환적으로 처리되기 때문에 과거에 대한 데이터 히스토리를 저장하고 있을 필요가 없다. 즉, 새로운 예측을 하기 위해 새로 측정된 값을 이용해 데이터 히스토리를 변화시켜준다.⁽⁹⁾

본 논문에서 성능 평가를 위해 설정한 회선 교환 격자 구조망은 노드들이 격자 구조를 이루며, 각 노드에서 경로가 결정되는 분산 시스템이다. 격자 구조망의 특징은 다른 토폴로지의 통신망에 비해서, 트래픽이 분산되므로 높은 처리율을 보이고, 노드의 신설 및 삭제가 용이하다. 또한, 우회 경로가 존재하므로 망의 신뢰도가 다른 망에 비해서 높다.⁽¹⁰⁾⁻⁽¹¹⁾

본 논문의 주요 내용은 우리 나라의 시내 및 시외 통화량을 Kalman-filter 방법을 이용하여 예측한 점

이며, 이 예측한 결과를 이용하여, Manhattan Street Network 및 PCN(Personal Communication Network)등 향후 미래 컴퓨터 및 통신망에서 널리 쓰일 격자 구조 통신망을 성능 평가한 점이다.

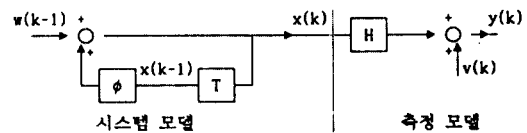
본 논문의 구성은, I 장의 서론에 이어서, II 장에서는 음성 트래픽 예측을 위한 음성 트래픽 예측 모델을 제시하고, Kalman-filter를 이용한 음성 트래픽 양 예측 방법에 대해서 서술한다. III장에서는 본 논문에서 성능 평가를 한 회선 교환 격자 구조망의 특성에 대해 서술한다. IV장에서는 1978년부터 1988년까지의 KTA 통계 자료를 이용해서 1989년부터 1993년까지의 음성 트래픽 양을 Kalman-filter를 이용해 예측하고, 이 예측한 결과를 이용해 회선 교환 격자 구조망의 호차단 확률을 구하였다. 앞의 결과를 종합해서 V장에서 결론을 맺는다.

II. 음성 트래픽 예측

Kalman-filter 방법을 이용하여 시스템을 모델링할 경우 통상 다음 가정을 한다.⁽¹⁾

- ① 시스템 상태는 이산-시간(discrete-time)에 변화를 일으킨다.
- ② 시간이 흐름에 따라 시스템이 안정된다.
- ③ 다중 상태 공간 입력 파라미터들을 가진다.

Kalman-filter의 시스템 모델과 측정 모델의 블록도는 그림 1에 나타나 있다.⁽²⁾



- T : 한 단위 시간 지연.
- φ : 전이 함수.
- H : 전이 함수.
- w : 모델링 오차.
- v : 측정 오차.
- x : 상태 변수.
- y : 측정치.
- k : 시간

그림 1. 시스템 모델과 측정 모델의 블록도

Fig 1. Block diagram of a system and measurement model

음성 트래픽 예측을 위한 본 모델에서는 음성 트래픽 양과 증가율의 두 입력을 입력 파라미터로 설정을 하고, 음성 트래픽 예측 모델의 전이 행렬 ϕ , H는 다음과 같다.

$$\phi = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}$$

식(1)은 음성 트래픽 예측 모델의 상태를, 식(2)는 한 시점 앞의 트래픽 양을 예측하는 방법을 나타내고 있다.

$$\begin{bmatrix} X_{n+1} \\ \dot{X}_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_n \\ \dot{X}_n \end{bmatrix} + w_n \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_{n+1,n} \\ \hat{\dot{X}}_{n+1,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}_{n,n} \\ \hat{\dot{X}}_{n,n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서,

X_n : n번째 시점에서의 트래픽 양

\dot{X}_n : n번째 시점에서의 트래픽 증가율

$\hat{X}_{n,n}$: n-1번째 시점에서 예측한 트래픽 양에 대한 조정치

$\hat{\dot{X}}_{n,n}$: n-1번째 시점에서 예측한 트래픽 증가율에 대한 조정치

$\hat{X}_{n+1,n}$: n번째 시점에서 한 시점 앞의 트래픽 양을 예측한 추정치

$\hat{\dot{X}}_{n+1,n}$: n번째 시점에서 한 시점 앞의 트래픽 증가율을 예측한 추정치

w_n : 2×1 vector의 모델링 오차

이 때, w_n 은 음성 트래픽 예측 모델을 모델링 할 때 발생하는 모델링 오차로 0-평균을 가지고, 분산이 1인 Gaussian 확률 분포를 따르는 백색 잡음이라고 가정한다.

식 (3)은 음성 트래픽 예측 모델에서의 출력을 나타내고 있다.

$$y_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_n \\ \dot{X}_n \end{bmatrix} + v_n \quad (3)$$

여기서

y_n : 측정된 트래픽 양

v_n : 측정 오차

이 때, v_n 은 측정 오차로서 0-평균을 가지고, 분산이 1인 Gaussian 확률 분포를 따르는 백색 잡음이라

고 가정한다. 모델링 오차와 측정 오차의 분산은, 모델링 오차와 측정 오차의 분산을 변화시키면서 음성 트래픽을 예측한 결과, 분산이 1일 때 예측한 결과가 측정된 값에 가장 근접하므로 분산을 1로 정하였다.

식 (4)를 이용하여 다음 시점의 트래픽 양을 예측하는데 기준이 될 수 있는 조정된 트래픽 양을 구할 수 있다.

$$\hat{X}_{n,n} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{n,n} \\ \hat{\dot{X}}_{n,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{1n} \\ K_{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_n - [1 \ 0] \begin{bmatrix} X_{n,n} \\ \dot{X}_{n,n} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서,

K_{1n}, K_{2n} : 모델링 오차와 측정 오차를 고려해서 구한 가중치

가중치 K_n 을 구하는 방법은 다음의 식(5), (6), (7)을 순환적으로 사용함으로써 구할 수 있다.⁽⁹⁾

$$K_n = P_n H^T (H P_n H^T + R)^{-1} \quad (5)$$

여기서,

P_n : 2×2인 예측한 추정치와 상태변수와의 오차 variance matrix

R : 측정 오차의 covariance matrix (=E { $v_n v_n^T$ })

$$S_n = (I - K_n H) P_n \quad (6)$$

여기서,

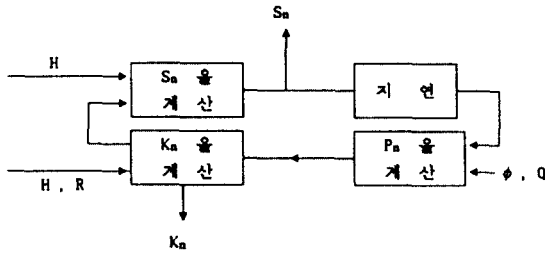
S_n : 2×2인 조정된 추정치와 상태변수와의 오차 variance matrix

$$P_{n+1} = \phi S_n \phi^T + Q \quad (7)$$

여기서,

Q : 모델링 오차의 covariance matrix
(= E { $w_n w_n^T$ })

그림 2는 가중치 k_n 을 구하는 방법을 나타낸다.



K_n : 시점 n 에서의 가중치.
 S_n : 시점 n 에서 조정된 추정치와 시점 n 에서 상태 변수와의 오차.
 P_n : 시점 $n-1$ 에서 예측한 추정치와 시점 n 에서 상태 변수와의 오차.
 R : 측정 오차의 covariance.
 Q : 모델링 오차의 covariance.
 H, ϕ : Transition matrix.

그림 2. 가중치 k_n 을 구하는 방법
 Fig 2. Method for computing a weigh k_n

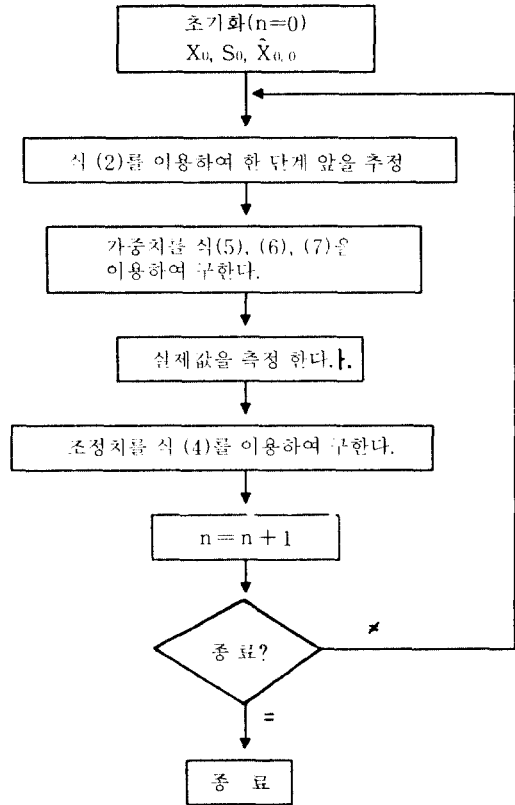


그림 3. 예측을 위한 순서도
 Fig 3. Flowchart for estimation

그림 3은 음성 트래픽을 예측하기 위한 순서도이다. 음성 트래픽 예측을 위해 다음의 순서를 따른다.

- ① n 이 0이면, filter를 초기화한다.
 -> 초기 상태 벡터 X_0, S_0 를 사용자 제공 추정치 $\hat{X}_{0,0}$ 에 의해 초기화 한다.
- ② 다음 시점의 시스템 상태를 식(2)를 사용하여 예측한다.
- ③ 가중치 k_n 을 식(5), (6), (7)을 이용하여 구한다.
- ④ 실제로 시스템의 상태를 측정한다.
- ⑤ 조정치 $\hat{X}_{n,n}$ 을 식 (4)를 이용하여 구한다.
- ⑥ 다음 예측 시점을 위하여 n 을 증가시킨다.
- ⑦ 예측하고자 하는 기간이 종료될 때까지 ② 번부터 반복하여 수행한다.

III. 회선 교환 격자 구조망

본 논문에서 성능 평가를 위해 설정한 격자 구조 회선 교환망은 여러개의 노드들이 격자형으로 구성되어 있는 망이다. 각 노드에는 유한개의 가입자가 가입되어 있으며, 각 가입자는 서로 독립적으로 호를 발생시킨다. 망의 구조가 격자형을 가짐으로 임의의 한 노드로부터 다른 한 노드로의 경로는 다수개가 존

재하며, 각 노드는 망내에 있는 타노드에 대한 경로 정보를 가지고 있어서, 경로의 설정은 각 노드에서 결정되어진다.

각 노드에서는 호가 발생하였을 경우, 타 노드로의 연결 가능한 경로 정보를 이용하여, 통화 대상 노드로의 경로를 설정해 준다. 통화 경로는 하나 이상의 연결된 링크들로서 구성된다. 호차단 확률을 최소화하기 위하여 가능한 모든 경로를 고려하도록 한다. 즉 트래픽이 증가하여 사용하고자 하는 링크에 있는 모든 채널이 점유되었을 경우, 사용 가능한 채널이 있는 다른 링크를 이용하여 경로를 설정한다. 통화 경로의 설정은 호가 발생한 노드로부터 통화 대상 노드까지 FCS(Forward Call Setup) 메시지를 보낸 후 반대 방향으로 RCS(Reverse Call Setup) 메시지를 보냄으로서 완료된다.

회선 교환 격자 구조망은 노드들이 격자형 구조로

이루어져 있어서, 노드 상호간에 우회 경로가 존재한다. 따라서, 격자 구조망의 일부분에 이상이 발생하여도, 우회 경로를 이용하므로써, 노드간에 큰 영향을 받지 않고 정보를 교환할 수 있다. 그러므로, 격자 구조망은 다른 구조망에서보다 높은 신뢰도를 가진다. 또한, 다른 구조를 갖는 망의 경우, 트래픽이 망의 일부분에 편중되어 발생하는 호차단에 의한 망의 처리율 저하를, 격자 구조망에서는 우회 경로를 이용하여 편중된 트래픽을 망 전체에 고루 분산시킴으로써 처리율을 증가시킨다. 또한, 이미 설정되어 있는 망에 새로운 노드를 첨가하거나 기존의 노드를 제거할 경우, 노드들을 연결시켜 주는 링크들의 연결 구조를 약간 변경시킴으로써 다른 구조의 망에 비해서 쉽게 할 수 있다.

즉, 노드들이 격자 구조를 이루는 망은 다른 망에 비해서 신뢰도와, 처리율이 뛰어나며, 새로운 노드의 추가 및 기존의 노드를 제거하는 것이 용이하다.

본 논문에서 성능 평가를 위해 설정한 망은 20개의 노드가 격자 구조를 가지는 회선 교환망으로서 그림 4와 같은 구조로 구성되어 있다.

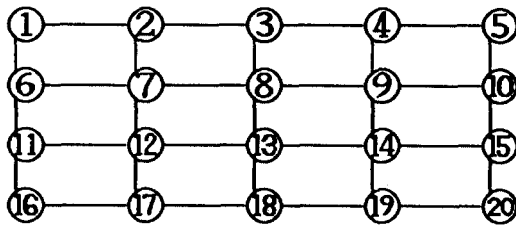


그림 4. 20개의 노드로 이루어진 격자 구조의 통신망
Fig 4. 20-node grid topology circuit switched network

IV. 성능 평가.

1. 음성 트래픽 예측.

이 절에서는 II 장에서는 설정한 음성 트래픽 예측 모델을 이용해 음성 트래픽 양을 예측해 보았다. 예측을 위해 Kalman-filter 방법을 이용하였고, KTA에서 발행한 전기 통신 통계 연보 자료 중에서 1978년부터 1988년까지의 자동식 가입 시내 전화도수(Automatic local telephone calls)의 통계 자료(표 1)와 시외 전화 도수(Long-distance calls)의 통계 자료(표 2)를 이용하여⁽¹²⁾, 89년부터 93년까지의 음

성 트래픽 양을 예측해 보았다. 예측은 1년을 주기로 하였고, 고려의 대상이 된 음성 트래픽 단위는 1분간 백명의 가입자당 통화 도수로 하였다. 음성 트래픽양 및 음성 트래픽 증가율은 다음과 같이 초기화하였다. 즉, 음성 트래픽 양은 78년도의 음성 트래픽 양을 초기값으로 하였으며, 음성 트래픽 증가율은 증가율 값을 변화시키면서 트래픽양을 예측한 결과 측정된 값에 가장 근접한 증가율 값을 초기화값으로 정하였다.

표 1. 자동식 가입 시내 전화 도수

Table 1. Automatic local telephone calls

년 도	가입자수	1 년 총통화도수 (단위=1000)	1 분 간 백명에 대한 통 화 도 수
1978	1,595,965	11,567,203	1,3790
1979	1,964,129	15,121,508	1,4648
1980	2,333,481	18,623,956	1,5185
1981	2,876,251	21,657,408	1,4326
1982	3,675,815	24,052,466	1,2449
1983	4,445,290	27,570,132	1,1800
1984	5,225,039	35,239,816	1,2832
1985	6,271,298	42,206,840	1,2805
1986	7,392,199	40,302,096	1,0373
1987	8,601,725	47,571,824	1,0522
1988	10,279,566	56,996,412	1,0549

그림 5는 자동식 가입 시내 전화 도수에 대한 음성 트래픽을 예측한 결과이다. 매년 증가하는 자동식 전화 가입자의 증가율이, 전체 가입자의 총 전화 도수 증가율보다 크기때문에, 각 가입자에 대한 전화 도수가 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 향후 수년간의 예측된 가입자당 시내 전화 도수는 감소하는 추세를 보이며, 81, 84, 86년의 경우처럼, 트래픽 양이 갑자기 증가하거나, 감소하면 예측한 트래픽 양이 실제 측정된 양과 차이를 보이나, 곧 예측한 트래픽 양이 측정치에 근접하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 교환을 거치는 시외 전화 도수에 대한 음성 트래픽을 예측한 결과이다. 시외 전화 도수의 경우, DDD를 이용한 시외 통화 도수가 점차 증가하므로, 교환을 거치는 시외 전화 도수는 계속해서 감소한다. 따라서, 향후 수년간을 예측한 시외전화 도수는 감소하는 추세를 보이며, 예측한 트래픽양이 측정치에 상당히 근접하는 것을 알 수 있다.

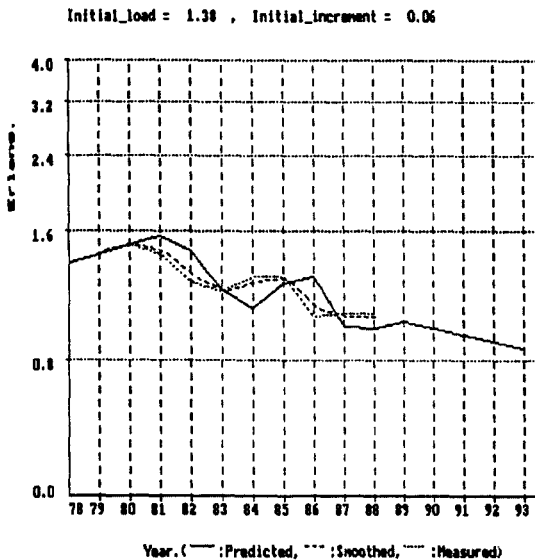


그림 5. 자동식 가입 시내 전화 도수를 이용한 음성 트래픽 예측

Fig 5. Voice traffic estimation using automatic local telephone calls

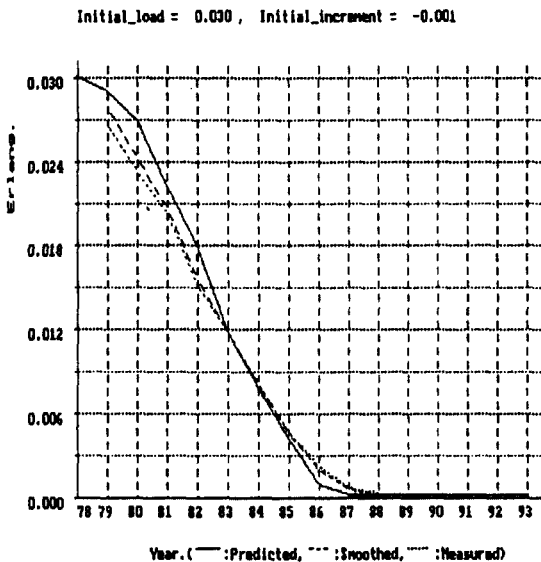


그림 6. 시외 전화 도수를 이용한 음성 트래픽 예측

Fig 6. Voice traffic estimation using long distance calls

표 2. 시외 전화 도수

Table 2. Long distance telephone calls

년 도	가입자 수	1년시의 통화도수	1분간 백명에 대한통화도수
1978	1,997,390	315,933,920	0.0300
1979	2,426,050	338,127,680	0.0265
1980	2,834,970	345,401,664	0.0232
1981	3,491,270	370,773,664	0.0202
1982	4,492,660	357,056,832	0.0151
1983	5,337,450	327,286,560	0.0117
1984	6,290,172	266,309,440	0.0081
1985	7,538,598	183,393,456	0.0046
1986	8,905,462	105,199,504	0.0022
1987	10,221,746	38,030,800	0.0007
1988	11,239,443	15,156,176	0.0003

2. 회선 교환 격자 구조망의 성능 평가.

앞 절에서 예측한 음성 트래픽 양 중에서 92년도 음성 트래픽 양(시내 전화 도수 + 시외 전화 도수)을 이용하여 20개의 노드로 이루어진 격자 구조를 가지는 통신망(그림 4)상에서 호차단이 일어날 확률을 구해 보았다. 시뮬레이션을 하기 위해서 시뮬레이션 전용 언어인 SIMSCRIPT II.5를 사용했고⁽¹³⁾, 다음의 가정을 했다.

- ① 각 노드에 연결된 가입자 수는 유한하다.
- ② 각 가입자의 상태는 idle 또는, active(통화중) 상태에 있으며, 각각의 시간은 지수 분포를 따른다.
- ③ 호 설정 시도 중 차단된 호는 무시된다. (Blocked-calls-cleared)

회선 교환 격자 구조망에 대한 성능 평가의 근간이 되는 호차단 확률을 구하기 위해 각 노드간의 채널의 수는 30개, 평균 서비스 시간은 3분으로 하였고, 각 노드의 가입자 수는 200명으로 하여 시뮬레이션을 하였다.

각 음성 트래픽의 서비스 시간은 시스템의 상태(idle 가입자수, 링크의 활용도)와는 무관하지만, 각 음성 트래픽이 노드에 도착하는 평균 도착률은, 본문에서 고려하는 회선 교환망이 유한 가입자 모델이므로, 현재 idle 상태에 있는 가입자수에 따라 변화한다. 즉, 음성 트래픽이 각 노드에 도착하는 평균 도착률은 식(8)과 같다.

$$\lambda_j(t) : k(t) * \lambda_j(0) / k(0) \quad (8)$$

여기서

λ_j : 싹점 t에서 노드 i로부터 j로 가는 총 트래픽의 평균 도착률

$k(t)$: 싹점 t에서 노드 i의 idle 가입자수

싹점 t가 0인 경우는 초기 상태를 나타내며, 모든 가입자는 idle 상태이다. 즉, $k(0)$ 는 임의의 한 노드에서 가입자가 모두 idle 상태임을 나타낸다. 또한 $\lambda_j(0)$ 는 초기 상태에서 노드 i에서 노드 j로 가는 총 음성 트래픽의 평균 도착률을 나타낸다.

앞 절에서 예측한 92년도의 음성 트래픽 양, 0.03033(calls/sec), 을 음성 트래픽 양*(0.8~1.2)로 변화시키며 구한, 회선 교환망에서 호차단이 일어날 확률은 그림 7에서와 같이 나타났다. 이 때, 구한 호차단 확률은 전체 망의 평균 호차단 확률이고, 호차단 확률은, 호가 노드에 도착하는 평균 도착률이 증가함에 따라, 지수적으로 증가함을 알 수 있다.

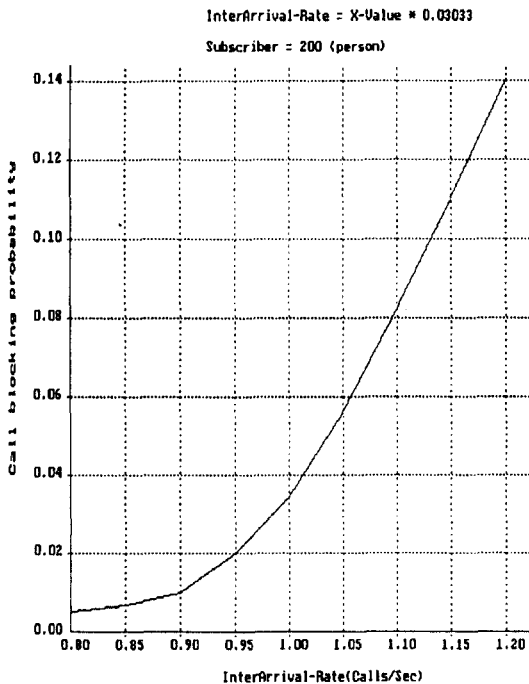


그림 7. 회선 교환 격자 구조망의 호차단 확률(가입자수=200)

Fig 7. Call blocking probability of a grid topology circuit switched network(subscriber=200)

V. 결 론

본 논문에서는 Kalman-filter 방법을 이용하여, 89년부터 93년까지의 자동식 가입시내 전화 도수 및 시외 전화 도수에 대한 음성 트래픽 양을 예측하고, 이 예측한 결과를 이용하여, 노드들이 격자 구조를 이루는 회선 교환망의 평균 호차단 확률을 구하였다.

Kalman-filter 방법은 피드백 기법을 이용하여, 시스템 상태에 영향을 미치는 모델링 오차와 측정 오차를 고려하여, 시스템 상태를 보다 정확하게 예측하는 방법이다.

격자 구조 회선 교환망은 노드들이 격자 구조로 되어 있으며, 경로 설정은 각 노드에서 결정되는 분산 시스템이다. 노드간에 우회 경로가 존재하므로, 다른 구조의 망에 비해 신뢰도와 처리율이 뛰어나며, 기존 망에 새로운 노드를 첨가 및 삭제하는 것이 다른 구조망에 비해 쉬운 장점을 갖고 있다.

Kalman-filter를 이용하여 자동식 가입 시내 전화 도수를 예측한 결과, 음성 트래픽양이 갑자기 증가하거나 감소하면, 예측한 추정치와 측정치에 차이가 있으나, 예측한 추정치가 곧 측정치에 근접하는 것을 알 수 있었다. 또한, 시외 전화 도수와 같이 음성 트래픽 양에 갑작스러운 변화가 없으면, 예측한 추정치가 측정치와 상당히 근접하게 나타났다.

또한 격자 구조 회선 교환망에서, 음성 트래픽이 각 노드에 도착률이 증가함에 따라, 망의 성능 평가에 단점이 되는, 호차단 확률이 지수적으로 증가함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Chemouil, Prosper and Bruno Garnier, "An Adaptive Short-Term Traffic Forecasting Procedure Using Kalman Filtering," International Teletraffic Congress 11, Kyoto, Japan, September, 1985.
2. Bozic, S.M., "Digital and Kalman Filtering," Edward Arnold, pp. 81-140., 1979.
3. 김종식, "선형 제어시스템 공학," 청문각, pp.454-486, 1988.
4. Girolami, Alessandro and Edson L. Ursini, "Yealy and Monthly Data For-

- ecasting Using Kalman Filter," International Teletraffic Congress 12, Torino, Italy, June, 1988.
5. Knottnerus, Paul, "Forecasting: Kalman Filtering and Prediction Intervals," International Teletraffic Congress 12, Torino, Italy, June, 1988.
 6. Masreliez, C. Johan and R. Douglas Martin, "Robust Bayesian Estimation for the Linear Model and Robustifying the Kalman Fiter," IEEE Trans, Automatic-Control, Vol.AC-22, No.3, June, 1977.
 7. Takahashi and Rabins and Auslander, "Control and Dynamic Systems," Addison-Wesley, pp.597-618.
 8. Tomé., F.M. and Cunha.J.A., "Traffic Forecasting a State-Space Model," International Teletraffic Congress 11, Kyoto, Japan, September, 1985.
 9. Pack,C.D. and B.A.Whitaker, "Kalman Filter Models for Network Forecasting," Bell System Technical Journal, Vol.61, N0.1, pp.1-14, January, 1982.
 10. Maxemchuk, N. F., "Regular Mesh Topologies in Local and Metropolitan Area Networks," AT&T Technical Journal, Vol.64, No.7, Sept., 1985.
 11. Maxemchuk, N. F., "Routing in the Manhattan Street Netwrok," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-35, No. 5, pp. 503-512, May, 1987.
 12. "신기 통신 통계 연보(Statistical Yearbook of Telecommunication) 1988," 한국 전기통신 공사(Korea Telecommunication Authority), 1989.
 13. Russel, E.C., "Building Simulation Models with SIMSCRIPT II.5," CACI, 1983



文慶德(Kyeong Deok Moon) 正會員
1966년 5월 31일생
1990년 2월 : 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사)
1990년 8월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 전자계산학과 석사 과정 재학 중
※주요관심분야 : 무선 LAN, optimal estimation 등



李廷圭(Jong Kyu Lee) 正會員
1955년 9월 24일생
1979년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1986년 5월 : UCLA 전기공학과 석사학위 취득
1989년 2월 : UCLA 전기공학과 박사학위 취득(컴퓨터 네트워크 전공)
1979년 3월 ~ 1984년 5월 : 국방과학연구소 연구원
1989년 3월 ~ 1990년 2월 : 삼성 전자 정보 통신 부설 연구소 책임 연구원
1990년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자계산학과 조교수
※주요관심분야 : ISDN, 무선 LAN, Queueing Theory 등