

---

# 접근확률 기반의 네트워크 자원할당방식의 최적화에 관한 연구

김도규\*

A study on the optimization of network resource allocation scheme based on access probabilities

Do-kyu Kim\*

## 요약

본 논문은 확률접근 기반의 네트워크 자원할당 방식에서 네트워크의 대표적인 서비스 품질 척도인 대기시간과 블러킹 확률이 특정 임계값을 넘지 않으면서 최소화가 되도록 접근 확률을 최적화 하는 방법에 대하여 연구하였고 그에 따른 성능분석을 하였다. 확률 접근에 의한 제어 방식은 시스템에서 서비스 받고 있는 메시지의 수, 시스템에서 대기하고 있는 메시지의 수, 문턱 값, 컷오프 값 등의 시스템 상태에 따라 접근확률을 다르게 하여 자원의 할당을 동적으로 제어하는 방식이다. 접근 확률을 최적화하는 문제는 무한개의 균형방정식을 포함하는 문제로서 Neuts의 행렬기하기법(matrix geometric method)을 통하여 유한개의 균형방정식을 가지는 최적화 문제로 변환하였다. 또한 유한개의 균형방정식은 비선형 최적화 문제로 모델링이 되는데 이것을 다시 변수 치환 기법을 이용하여 선형 최적화 문제로 변환하여 최적의 접근 확률을 구하였다. 수치해석을 통하여 주어진 조건하에 최적의 접근 확률을 구한 후 트래픽의 대기시간, 블러킹 확률 및 시스템 최대 이용률을 구하였고 버퍼의 문턱 값을 제어하여 시스템의 이용률이 증가하는 것을 보였다.

## ABSTRACT

This paper optimizes the access probabilities (APs) in a network resource allocation scheme based on access probabilities in order that the waiting time and the blocking probability are minimized under the given constraints, and obtains its performance. In order to optimize APs, an infinite number of balance equations is reduced to a finite number of balance equations by applying Neuts matrix geometric method. And the nonlinear programming problem is converted into a linear programming problem. As a numerical example, the performance measures of waiting time and blocking probability for optimal access probabilities and the maximum utilization under the given constraints are obtained. And it is shown that the scheme with optimal APs gives more performance build-up than the strategy without optimization.

## 키워드

Access probability (AP), Two-dimensional Markov process, Matrix geometric method, Optimization

## I. 서 론

광대역 네트워크에서는 상이한 특성을 가지는 데이터, 음성, 영상 등의 트래픽이 네트워크 전송자원을 공유한다 [1]. 다양한 트래픽이 효율적으로 네트워크의 자원을 공유하기 위해서는 각 트래픽의 서비스 요구조건을 충족하는 효율적인 자원 할당방식이 필요하다 [2].

지금까지 네트워크 자원에 대한 다양한 제어 방식의 연구가 진행되어 왔다 [3]-[13]. 그러나 대부분의 제어 방식은 시스템의 상태에 대한 고려가 포함되어 있지 않고 있다. 예를 들면 네트워크의 상태를 고려하지 않고 하나의 트래픽에 대하여 PP(Preemptive Priority) 기능을 부여하면 다른 트래픽의 성능 저하가 더 두드러지게 된다 [3]-[11]. 또한 특정 트래픽에서 사용 가능한 최소의 자원 할당을 보장하는 컷오프(cutoff) 파라미터를 사용하는 경우에도 네트워크의 상태를 고려하는 것이 더 바람직하다. 즉 다양한 트래픽에 대하여 네트워크의 자원을 보다 더 공평하고 효율적으로 할당하기 위해서는 시스템의 상태에 따른 할당방식이 필요하다. [13]에서 협대역 트래픽 a에 할당되는 최소 네트워크 자원을 시스템의 상태에 따라 제어하고 또한 시스템의 상태에 따라 광대역 트래픽 b는 협대역 트래픽 a에 의해 사용되는 자원을 고정된 확률 값으로 선점한다.

본 논문에서는 시스템에서 서비스 받고 있는 메시지의 수, 시스템에서 대기하고 있는 메시지의 수, 버퍼의 문턱(threshold) 값, 컷오프 값 등의 시스템의 상태에 따라 네트워크의 자원을 보다 효율적으로 할당하는 확률 접근 기반의 네트워크 자원할당 방식[13]에 대하여 주어진 제약조건하에서 클래스 a 트래픽의 대기시간과 클래스 b 트래픽의 블러킹 확률을 최소화 되도록 하는 접근확률의 최적화 문제에 대하여 연구하고 그에 따른 성능분석을 수행하였다. 접근 확률을 최적화하는 문제는 무한개의 균형방정식을 포함하는 문제로서 Neuts의 행렬기하기법을 통하여 유한개의 균형방정식을 가지는 최적화 문제로 변환하였다. 또한 유한개의 균형방정식은 비선형 최적화 문제로 모델링이 되는데 이것을 다시 변수 치환 기법을 이용하여 선형 최적화 문제로 변환하여 최적의 접근 확률을 구하였다. 수치해석을 통하여 주어진 조건하에 최적의 접근 확률을 구한 후 트래픽의 대기시간, 블러킹 확률 및 시스템 최대 이용률을 구하였다. 버퍼의 문턱 값을 제어하여 시스템의 이용률이 증가하는 것을 보였고, 또한 최적 접근

확률을 적용하는 것이 그렇지 않은 경우 보다 시스템의 블러킹 확률에 대한 성능이 대략 19% 가량 개선되는 것을 확인하였다.

서론에 이어 2장에서는 확률접근 기반의 네트워크 자원할당 방식의 모델과 수학적 분석에 대해 기술하고 3장에서는 접근 확률 최적화에 대해 기술하였다. 4장에서는 수치해석을 수행하고 마지막 5장에서 결론을 기술하였다.

## II. 확률접근 기반의 네트워크 자원할당 방식의 수학적 분석

### 2.1. 확률접근 기반의 네트워크 자원할당 방식

네트워크의 자원할당을 위하여 다음을 가정한다.

① 트래픽을 2개의 클래스로 구분 한다 (클래스 a, 클래스 b; a=1, b=2); (클래스 a: 데이터와 같은 협대역 트래픽, 클래스 b: 영상과 같은 광대역 트래픽)

② 네트워크에 할당할 자원이 없는 경우 클래스 a 트래픽은 무한크기의 버퍼에 저장되고 클래스 b 트래픽은 블러킹 한다.

③ 클래스  $i$  ( $i = 1, 2$ ) 트래픽의 interarrival 시간과 서비스 시간 분포는 각각  $\lambda_i$ ,  $\mu_i$ 의 지수분포를 가진다.

④ 네트워크의 총 자원용량은  $B$ 이고 트래픽  $i$ 의 서비스를 위해 필요한 자원용량은 각각  $b_1$ ,  $b_2$ 이다.

확률접근 기반의 네트워크 자원할당 방식의 동작은 다음과 같다 (그림 1). 시스템 상태를 기술하는 파라미터는 다음과 같다.

① 접근확률(Access Probabilities, APs)  $\phi(l, j)$  ( $l$ 은 시스템에 있는 클래스 a의 메시지 수,  $j$ 는 현재 서비스 중인 클래스 b 메시지의 수)

② 버퍼의 문턱값 벡터  $T = (T_1, \dots, T_K)$ , 여기에서  $K$ 는 문턱 값의 갯수

③ 컷오프 벡터  $c = (c_1, \dots, c_K)$ :  $c_i$ 는  $T_i$ 에 대하여 클래스 a 트래픽이 사용하는 최소의 자원량



$R$  과 경계 확률 벡터  $\hat{p} = (p_0, p_1, \dots, p_{M-1})$  가 구해지면 아래의 식에 의해  $P_B(2)$ 와  $W_1$  을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_B(2) &= \sum_{j=h}^{r-1} \sum_{l=L_0(j)+1}^{L_1(j)} (1-\phi(l,j))p(l,j) + \\
 &\sum_{j=h}^{r-1} \sum_{l=L_0(j)+1}^{M-1} p(l,j) + \sum_{j=h}^{r-1} \sum_{l=M}^{\infty} p(l,j) + \\
 &\sum_0^{\infty} p(l,r) \tag{8} \\
 &= \sum_{j=h}^{r-1} \sum_{l=L_0(j)+1}^{L_1(j)} (1-\phi(l,j))p(l,j) + \\
 &\sum_{j=h}^{r-1} \sum_{l=L_0(j)+1}^{M-1} p(l,j) + \\
 &\sum_{j=h}^r [p_{M-1}R(I-R)^{-1}]_j + \sum_0^{M-1} p(l,r),
 \end{aligned}$$

여기에서  $[\ ]_j$  는 벡터의  $j$ th 요소이다. 시스템에 있는 클래스 a의 평균 메시지 수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 E(n_1) &= \sum_0^r \sum_0^{\infty} lp(l,j) = \sum_0^r \sum_0^{M-1} lp(l,j) \\
 &+ \sum_0^r \sum_M^{\infty} lp(l,j) \tag{9} \\
 &= p_{M-1}R^2(I-R)^{-2}e + Mp_{M-1}R(I-R)^{-1}e \\
 &+ \sum_0^r \sum_0^{M-1} lp(l,j) \\
 &= \sum_0^r p(M-1,j) \sum_0^r b(j,k) \\
 &+ \sum_0^r p(M-1,j) \sum_0^r Ma(j,k) \\
 &+ \sum_0^r \sum_0^{M-1} lp(l,j)
 \end{aligned}$$

여기에서  $A = R(I-R)^{-1} = [a(i,j)]$ ,  $B = R^2(I-R)^{-2} = [b(i,j)]$ . Little의 법칙에 의해 클래스 a의 평균 대기시간은 다음과 같다.

$$W_1 = \frac{E(n_1)}{\lambda_1} \tag{10}$$

### III. 확률접근 기반의 네트워크 자원할당 방식의 접근 확률 최적화

#### 3.1. 접근 확률의 최적화 모델링

접근 확률의 최적화 모델링은 주어진 제약조건에서 클래스 a 메시지의 대기시간과 클래스 b 메시지의 블러킹 확률을 최소화하기 위한  $\Phi^* = \{\phi^*(l,j) | (l,j) \in E_\phi\}$  을 구하는 것이다. 여기에서

$E_\phi = \{(l,j) | h \leq j < r_1, L_0(j) < l \leq L_1(j)\}$  이다.

접근확률의 최적화 문제 :

$$\text{Minimize } W_1(P, \Phi)$$

$$\text{Minimize } P_2(P, \Phi)$$

주어진 제약조건 :

$$(1) p(l,j) \geq 0 \text{ for all } (l,j) \in E,$$

$$(2) \text{정규조건}$$

$$\sum_{i=0}^{M-1} p_i e + p_{M-1} R(I-R)^{-1} e =$$

$$\sum_0^r \sum_0^{M-1} p(l,j) + \sum_0^r p(M-1,j) \sum_0^r a(j,k) = 1, \tag{11}$$

(3)  $(l,j) \in E$ 에 대한 정상상태에서의 균형 방정식 (balance equation)

$$\begin{aligned}
 (\lambda_1 + \lambda_2 \phi(l,j) + u(l,j) + j\mu_2)p(l,j) = \\
 \lambda_1 p(l-1,j) + u(l+1,j)p(l+1,j) + \\
 \lambda_2 p(l,j-1) + (j+1)\mu_2 p(l,j+1), \tag{12}
 \end{aligned}$$

for all

$$(l,j) \in E_1 = \{(l,j) | j = h, L_0(j) < l \leq L_1(j)\} \cup,$$

$$\{(l,j) | h < j < r_1, L_0(j) < l \leq L_0(j)\}$$

$$(4) 0 \leq \phi(l,j) \leq 1 \text{ for } (l,j) \in E_\phi, \tag{13}$$

$$(5) W_1 = \lambda^{-1} E(n_1) \leq w_1,$$

$$(6) P_B(2) \leq p_{B2},$$

위의 조건을 만족하는 최적 접근 확률을 구하기 위하여 모든 시스템 상태에 대한 균형방정식을 우선 구하는 것이 필요하다. 그러나 무한개 ( $l \geq M$ )의 균형 방정식을 유한 개의 균형방정식으로 바꾸는 것이 우선되어야 한다. 이것은  $p_l = p_{M-1}R^{l-M+1}$  ( $l = M$ )을 이용하면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$p_M = p_{M-1}R \Leftrightarrow p(M, j) = \sum_{i=0}^r p(M-1, i)R(i, j) \quad (14)$$

위 (14)을 근거로 하여 무한개의 방정식을 유한개의 균형방정식에 대한 최적화 문제로 해결할 수 있다.

### 3.2. 변수변환을 통한 선형 최적화

접근 확률의 최적화 모델링은  $\phi(l, j)p(l, j)$ 의 곱이 포함되는 비선형 최적화 문제이다. 따라서  $y(l, j) = \phi(l, j)p(l, j)$ 의 변수의 도입을 통하여 선형 최적화 문제로 변환하여 최적의  $y(l, j)$  값을 구한 후 다시 역으로 계산하여 최적 접근확률  $\phi(l, j)$ 을 구하는 것이 가능하다.  $Y = \{y(l, j) | (l, j) \in E_\phi\}$ 을 사용하면 균형방정식 (12)는 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} (\lambda_1 + u(l, j) + j\mu_2)p(l, j) + \lambda_2 y(l, j) = \\ \lambda_1 p(l-1, j) + u(l+1, j)p(l+1, j) + \\ \lambda_2 p(l, j-1) + (j+1)\mu_2 p(l, j+1), \end{aligned} \quad (15)$$

모든  $(l, j) \in E_1$ . 또한  $0 \leq \phi(l, j) \leq 1$  은 아래와 같이 표현할 수 있다

$$0 \leq y(l, j) \leq p(l, j) \text{ for } (l, j) \in E_\phi.$$

또한 클래스 b 트래픽의 블러킹 확률은 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} P_{B(2)} = & \sum_{h=0}^{r-1} \sum_{l=L_0^{(h)}+1}^{L_1^{(h)}} p(l, j) - \sum_{h=0}^{r-1} \sum_{l=L_0^{(h)}+1}^{L_1^{(h)}} y(l, j) \\ & + \sum_{h=0}^{r-1} \sum_{l=L_0^{(h)}+1}^{M-1} p(l, j) \\ & + \sum_{j=0}^r p(M-1, j) \sum_{k=h}^r a(j, k) + \sum_{l=0}^{M-1} p(l, r). \end{aligned} \quad (16)$$

따라서  $\phi(l, j)p(l, j)$ 를 가지는 비선형 최적화 문제는 다음의  $(\hat{p}, y(l, j))$ 를 가지는 선형 최적화 문제로 바꾸어진다.

접근확률의 최적화 문제 :

$$\text{Minimize } W_1(\hat{p}, \Phi)$$

$$\text{Minimize } P_2(\hat{p}, \Phi)$$

주어진 제약조건 :

$$(1) y(l, j) \geq 0, p(l, j) \geq 0 \text{ where}$$

$$y(l, j) = \phi(l, j)p(l, j).$$

(2) 정규조건

$$\sum_{j=0}^{M-1} p_j e + p_{M-1} R(I-R)^{-1} e =$$

$$\sum_{j=0}^r \sum_{l=0}^{M-1} p(l, j) + \sum_{j=0}^r p(M-1, j) \sum_{k=0}^r a(j, k) = 1,$$

(3)  $y(l, j)$ 을 가지는 균형방정식

$$(4) 0 \leq y(l, j) \leq p(l, j) \text{ where } (l, j) \in E_\phi,$$

$$(5) W_1 = \lambda^{-1} E(n_1) \leq w_1,$$

$$(6) P_B(2) \leq p_{B2},$$

심플렉스기법(simplex method) 등의 표준선형최적화 기법을 이용하여 위 최적화 문제를 해결할 수 있다 [15]. 그래서 최적의  $(\hat{p}^*, y^*(l, j))$ 을 구한 후 최적의 접근 확률  $\Phi^*$ 는 다음과 같다

$$\phi^*(l, j) = \frac{y^*(l, j)}{p^*(l, j)}. \quad (17)$$

## IV. 수치해석

수치해석을 위한 시스템 파라미터는 다음과 같다;  $B=17, b_1=1, b_2=3, h=2, \lambda_2 = \mu_1 = \mu_2 = 1.0,$   
 $w_1=1.15, p_{B2}=0.02$  (네트워크 용량에서  $b_2h$ 는 클래스 b 메시지를 위하여 할당되는 값 이다). 시스템 이용률  $\rho = b_1\lambda_1/B\mu_1 + b_2\lambda_2/B\mu_2$ 에 대하여 최적의 접근 확률 값과 클래스 a의 대기시간과 클래스 b의 블러킹 확률을 구하였다.

그림 2에서는  $c_1=3$ 에 대한 결과를 보여주고 있다. 자원할당 방식이 적용되지 않는 경우의 블러킹 확률이 확률접근방식을 적용하는 경우에서의 결과 보다 매우 크고 대기시간은 반대의 현상이 나타나는 것을 보여주고 있다. 또한 블러킹 확률의 성능 개선이 대기시간의 성능 감소보다 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 문턱 값  $T_1$ 가 증가하는 경우 블러킹 확률을 더욱 줄일 수 있는 것을 알 수 있다. 주어진 제약 조건에서 최적 접근 확률을 사용한 제어 방식이 최대 이용률을 현저하게 개선한다는 것을 알 수 있다 (제어를 하지 않는 경우의 최대 이용률은 약 0.47인 반면에 최적 접근 확률을 사용하여 제어하는 경우 최대 이용

률은  $T_1=0$ 에서 대략 0.5,  $T_1=3$ 에서 약 0.6,  $T_1=7$ 에서 약 0.7이 되었다)

그림 3에서는 2개의 문턱 값을 적용하는 경우(즉  $K=2$  이고  $C=(2,5)$ 인 경우)의 시스템 성능에 대한 결과를 보여주고 있다. 2개의 문턱 값을 사용하는 경우 네트워크 자원할당을 하나의 문턱 값을 가지는 경우보다 더욱 동적으로 제어하는 것이 가능하다. 버퍼에서 대기하고 있는 클래스 a 메시지의 수가 문턱 값  $T_1$ 보다 많은 경우 블러킹 되는 클래스 b 메시지의 수에 따라 확률적으로 서비스가 가능하게 된다. 그림 2과 그림 3를 통하여 2개의 문턱 값의 증가에 따라 블러킹 확률이 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있다(그림 4). 반면에 클래스 a의 대기시간은 그림 2보다 조금 증가한 것을 확인할 수 있다. 그러나 이 증가된 대기시간은 최적의 접근 확률  $\Phi^*$ 을 통하여 여전히 최초의 주어진 제약조건을 만족하는 것을 알 수 있다. 그림 2과 그림 3를 통하여  $T=(3,7)$ 에서의 최대 이용률이  $T_1=3$ 인 경우의 최대 이용률 보다 증가한 것을 알 수 있다.

수치해석을 통하여  $l_0(j) = L_0(j) + 1$ 에서의 최적 접근 확률은 1보다 매우 작고(거의 0에 접근),  $l > l_0(j)$ 에서는 1이 되는 것을 확인하였다. 또한 시스템 이용률이 증가함에 따라  $l_0(j)$ 에 대한 최적 접근 확률 값도 증가하는 것과 높은 문턱 값에 대하여 최적 접근 확률 값이 1이 되는 시스템의 상태 수가 증가한다는 것을 확인하였다.

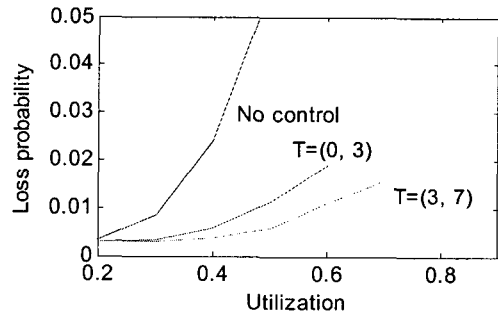


그림 3 (a). 클래스 b 트래픽의 블러킹 확률 ( $C=(2,5)$ )  
Fig. 3 (a) Loss probability for class b traffic ( $C=(2,5)$ )

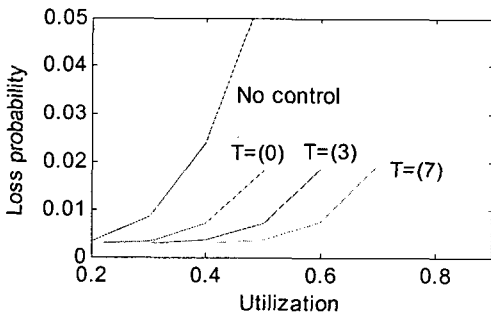


그림 2 (a). 클래스 b 트래픽의 블러킹 확률 ( $c_1=3$ )  
Fig. 2 (a) Loss probability for class b traffic ( $c_1=3$ )

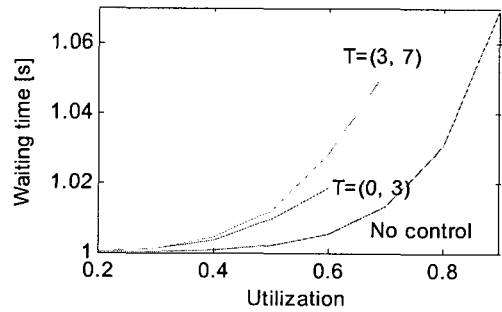


그림 3 (b). 클래스 a 트래픽의 대기시간 ( $C=(2,5)$ )  
Fig. 3 (b) Waiting time for class a traffic ( $C=(2,5)$ )

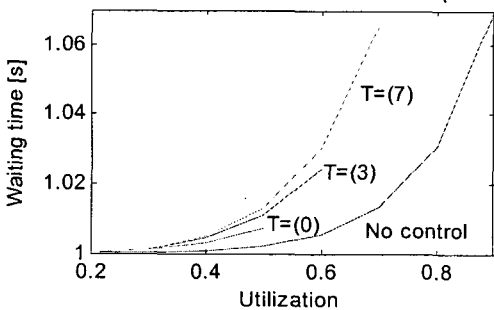


그림 2 (b). 클래스 a 트래픽의 대기시간 ( $c_1=3$ )  
Fig. 2 (b) Waiting time for class a traffic ( $c_1=3$ )

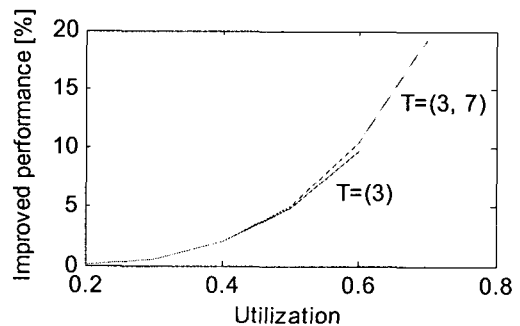


그림 4. 블러킹 확률의 개선된 성능  
Fig. 4 Improved performance in loss probability

표 1. 최대 이용률과 최적 접근확률

$(l, j)$	$\phi^*(l, j)$			
	$\rho = 0.2$	$\rho = 0.3$	$\rho = 0.5$	$\rho = 0.7$
(9,2)	0	7.8E-8	6.9E-5	5.0E-4
(10,2)	1.0	1.0	1.0	1.0
(11,2)	1.0	1.0	1.0	1.0
(12,2)	0	1.0	1.0	1.0
(13,2)	0	1.0	1.0	1.0
(14,2)	0	0.999	1.0	1.0
(15,2)	0	1.0	1.0	1.0
(16,2)	0	1.0	1.0	1.0
(17,2)	0	1.0	1.0	1.0
(18,2)	0	0	1.0	1.0
(6,3)	0	0	3.5E-3	0.817
(7,3)	1.0	1.0	1.0	1.0
(8,3)	1.0	1.0	1.0	1.0
(9,3)	0	1.0	1.0	1.0
(10,3)	0	1.0	1.0	1.0
(11,3)	0	1.0	1.0	1.0
(12,3)	0	1.0	1.0	1.0
(13,3)	0	1.0	1.0	1.0
(14,3)	0	1.0	1.0	1.0
(14,3)	0	0	1.0	1.0
(15,3)	0	0	1.0	1.0
(3,4)	0	0	0.192	1.0
(4,4)	1.0	1.0	1.0	1.0
(5,4)	0	1.0	1.0	1.0
(6,4)	0	1.0	1.0	1.0
(7,4)	0	1.0	1.0	1.0
(8,4)	0	1.0	1.0	1.0
(9,4)	0	1.0	1.0	1.0
(10,4)	0	1.0	1.0	1.0
(11,4)	0	1.0	1.0	1.0
(12,4)	0	0	1.0	1.0

V. 결론

본 논문은 시스템의 상태에 따라 접근확률을 다르게 하여 네트워크의 자원 할당을 동적으로 제어하는 것이 가능한 확률접근에 기반한 네트워크 자원할당 방식에서 접근 확률을 최적화 하는 방법에 대하여 연구하였고 그에 따른 성능분석을 하였다.

Neuts의 행렬기하기법을 통하여 무한개의 균형방정식을 유한개의 균형방정식을 가지는 최적화 문제로 변환한 후 변수 치환 기법을 이용하여 선형 최적화 문제로 변환하고 최적의 접근 확률을 구하였다. 수치해석을 통하여 주어진 조건하에 최적의 접근 확률을 구한 후 트래픽의 대기시간, 블러킹 확률 및 시스템 이용률을 구하였다. 버

퍼의 문턱 값을 제어하여 시스템의 이용률이 증가하는 것을 보였고, 또한 최적 접근 확률을 적용하는 것이 그렇지 않은 경우 보다 시스템의 블러킹 확률에 대한 성능이 대략 19% 가량 개선된 것을 확인하였다.

참고문헌

[ 1 ] E. Nussbaun and W. E. Noller, "Integrated network architectures: alternatives and ISDN," IEEE Commun. Mag., Mar. 1986.

[ 2 ] B. Kraimeche and M. Schwartz, "Bandwidth sharing in integrated networks," Proc. of Globecom, 801.7, 1990.

[ 3 ] B. Kraimeche and M. Schwartz, "Analysis of traffic access control strategies in integrated service networks," IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, Oct. 1985.

[ 4 ] B. Kraimeche and M. Schwartz, "Bandwidth allocation strategies in wide-band integrated networks," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-4, June 1986.

[ 5 ] B. Kraimeche and M. Schwartz, "A channel access structure for wideband ISDN," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-5, Aug. 1987.

[ 6 ] Y. D. Serres and L. G. Mason, "A multiserver queue with narrow and wideband customers and wideband restricted access," IEEE Trans. Commun., COM-36, June 1988.

[ 7 ] K. Liao and L. G. Mason, "An approximate performance model for a multislot integrated service system," IEEE Trans. Commun., vol. COM-37, Mar. 1989.

[ 8 ] B. Ngo and Lee, "Queueing analyses of traffic access control strategies with preemptive and nonpreemptive disciplines in wideband integrated networks," IEEE, JSAC-9, 1991.

[ 9 ] R. Schlott, J. Pruss and G. Mroczynski, "Integration of wide-band service in time division multiplexer system," IEEE Trans. Commun., vol. COM-39, Feb. 1991.

[ 10 ] T. Atmaca and Pujolle, "Performance analysis of an access control strategy in integrated networks," Computer Networks and ISDN Sys., pp. 421-434, 1992.

[ 11 ] Y. H. Kim and C. K. Un, "Analysis of bandwidth allocation strategies with access restriction in broadband

ISDN," IEEE Trans. Commun., vol. COM-41, May 1993

- [12] Do Kyu Kim and Chong Kwan Un, "Bandwidth allocation strategy with state-dependent Bernoulli access and pre-emptive priority," IEE Electron. Lett., vol. 27, no. 24, pp. 2202-2204, 1991.
- [13] Do Kyu Kim and Chong Kwan Un, "Performance analysis of bandwidth allocation strategy with state-dependent Bernoulli access and preemptive priority in wideband integrated networks," Telecommunication Systems, pp. 97-111, vol. 4, 1995
- [14] M. F. Neuts, "Matrix geometric solutions in stochastic models," Johns Hopkins University Press, 1981.
- [15] H. A. Taha, "Operational research," Macmillan Publishing Co. Inc., 1982.

## 저자소개

김도규 (Do-Kyu Kim)



1987년 2월 경북대학교 전자공학과  
공학사

1989년 2월 한국과학기술원 공학석사

1993년 2월 한국과학기술원 공학박사

1993년 - 1995년 2월 정보통신부 사무관

1995년 3월 - 현재 성결대학교 정보통신공학부 교수

※ 관심분야 : Communications systems, Embedded systems