

적응형 구조를 갖는 이동통신망에서 호 저하 시간 비율 추정

정성환¹ · 이세진¹ · 홍정완² · 이창훈^{1*}

¹서울대학교 산업공학과 / ²한성대학교 산업 및 기계시스템공학부

Estimation of Degradation Period Ratio for Adaptive Framework in Mobile Cellular Networks

Sung-Hwan Jung¹ · Sae-Jin Lee¹ · Jung-Wan Hong² · Chang-Hoon Lee¹

¹Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742

²Division of Industrial and System Engineering, Hansung University, Seoul, 136-792

Recently there is a growing interest in mobile cellular network providing multimedia service. However, the link bandwidth of mobile cellular network is not sufficient enough to provide satisfactory services to users. To overcome this problem, an adaptive framework has been proposed. In this study, we propose a new method of estimating DPR(Degradation Period Ratio) in an adaptive multimedia network where the bandwidth of ongoing call can be dynamically adjusted during its lifetime. DPR is a QoS(Quality of Service) parameter which represents the ratio of allocated bandwidth below a pre-defined target to the whole service time of a call. We improve estimation method of DPR using DTMC(Discrete Time Markov Chain) model by calculate mean degradation period, degradation probability more precisely than in existing studies. Under Threshold CAC(Call Admission Control) algorithm, we present analytically how to guarantee QoS to users and illustrate the method by numerical examples. The proposed method is expected to be used as one of CAC schemes in guaranteeing predefined QoS level of DPR.

Keywords: adaptive multimedia network, degradation period ratio, call admission control, quality of service, discrete time markov chain

1. 서 론

1.1 연구 배경

무선/이동통신 시장의 성장과 서비스의 확대에 따라 기존의 음성과 데이터 서비스뿐 아니라 대용량, 실시간의 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가하고 있으며 이를 구현하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 멀티미디어 서비스를 차세대 이동 통신망에서 구현하기 위해서는 다양한

서비스 클래스에 이전보다 더 큰 대역폭을 실시간으로 제공해 줄 수 있어야 한다. 아울러 사용자의 QoS(Quality of Service)를 보장하기 위해 이동통신망의 고유한 특성인 사용자의 이동성(mobility)과 전파의 페이딩(fading)으로 인한 주파수 자원의 가변성을 동시에 관리해 주어야만 한다. 이러한 문제를 해결하고 사용자의 QoS를 보장해 주기 위해서 적응형 구조(adaptive framework)가 제안되었다(Naghshineh and Willebeek-LeMair, 1997; Bharghavan *et al.*, 1998). 기존의 비적응형(nonadaptive) 구조에서는 핸드오프 호가

본 연구는 2003년도 한성대학교 교내연구비 지원과제임

* 연락저자 : 이창훈 교수, 151-742 서울시 관악구 신림9동 산56-1번지 서울대학교 산업공학과, Fax : 02-873-6486,

E-mail : chl@cybernet.snu.ac.kr

2003년 4월 접수; 2003년 11월 수정본 접수; 2003년 11월 게재 확정.

들어왔을 때, 시스템에 여유 채널이나 예약 채널이 없으면 들어온 호는 차단될 수밖에 없었다. 그러나 적응형 구조를 갖는 이동통신망에서는 다중 채널 할당(multiple channel assignment)과 계층 부호화 기술(layered coding scheme)을 기반으로 현재 서비스를 제공받고 있는 호의 대역폭 할당을 가변적으로 제어할 수 있게 된다(Brown and Christianson, 2000; Yeh, 2001). 즉, 현재 셀의 대역폭 이용 상황과 인접 셀로부터 핸드오프되거나 새롭게 발생하는 호들의 부하(traffic load)를 고려하여 서비스중인 호들의 대역폭을 감소시키거나 증가시킬 수 있다. 따라서 사용중인 호들의 대역폭을 저하(degrade)시킴으로써 얻어진 대역폭의 여유 용량을 새롭게 들어오는 핸드오프 호에게 할당해 줌으로써 핸드오프 호의 차단 확률(handoff dropping probability)을 0에 가깝게 현저히 낮출 수 있게 된다(Naghsineh and Willebeek-LeMair, 1997) 그러므로 적응형 구조에서는 비적응형 구조에서 중요한 QoS 척도였던 핸드오프 호의 차단 확률을 보장하는 문제보다 사용자들이 겪는 호의 수준 저하와 연관된 QoS의 보장을 위한 문제가 더 중요하게 대두된다.

1.2 기존 연구 현황

비적응형 구조에서의 대역폭 할당(resource allocation) 연구는 핸드오프 호의 차단확률을 보장하는 제약조건 하에서 시스템의 효율성을 최대화할 수 있는 호 수락 제어 정책(CAC : Call Admission Control)의 알고리즘을 찾는 방향으로 이루어져 왔다(Jain and Knightly, 1999). 반면, 적응형 이동통신망에서는 호의 대역폭을 변경시키고 할당해주는 대역폭 할당 알고리즘(bandwidth allocation algorithm)과 호 수락 제어 정책의 개발 및 새로운 QoS 척도의 개발에 대한 연구가 진행되어 오고 있다.

Kwon *et al.*(1998)은 적응형 구조의 이동통신망에서 호 저하 시간(degradation period)과 서비스 시간의 비율로 정의되는 호 저하 시간 비율(이하 DPR : Degradation Period Ratio)이라는 새로운 QoS 척도를 제시하고, 안정상태 가정 하에서 이를 보장하기 위한 호 수락 제어 정책과 대역폭 할당 알고리즘을 제안하였다. Xiao *et al.*(2001)은 대역폭의 저하 시간과 함께 저하 정도까지 반영한 DD(degradation degree), DR(degradation ratio)을 새로운 QoS 척도로 제시하고 측정 기반(measurement based)하에서 호 수락 제어 정책과 호와 서비스 클래스간의 형평성(fairness)을 보장하는 대역폭 할당 알고리즘을 제시하였다. Wang. *et al.*(2001)은 사용자에게 할당된 대역폭을 입력으로 하는 시스템의 효용함수(utility function) 개념을 도입하고 인접 셀 간에 사용자 수에 대한 정보를 공유하는 상황에서 일정한 T시간까지의 효용함수를 예측하고 이를 보장해주는 호 수락 제어 알고리즘을 제안하였다.

1.3 연구 목적

본 연구에서는 기존에 QoS 척도로 제시된 DPR을 적응형 구조의 특성을 잘 반영하여 분석적으로 추정할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. Kwon *et al.*(1998)은 DPR을 추정하기 위해, 새로운 호가 셀 내로 들어오거나 나가는 것을 하나의 전이 사건으로 정의하고 분석하는 호의 서비스가 지속되는 동안 발생하는 전이 사건 횟수에 대한 확률분포를 구하였다. 그 후 각 전이 사건마다 자신의 호가 저하될 확률을 상수(P_D)로 두고, K 번의 전이가 일어날 때 호가 저하되는 횟수의 분포가 $B(K, P_D)$ 인 이항분포를 따른다고 가정하였다. 그러나 각 전이 사건마다 호가 저하될 확률을 상수로 둔 것은 모든 호의 상태 변화가 대역폭 할당 알고리즘에 의하여 영향을 받게 된다는 사실을 정확하게 반영하지 못한 것이다. 즉, 대역폭 할당 알고리즘은 현재 호의 상태 시스템 내 호의 개수 등을 고려하여 정해진 목적함수-저하된 호의 개수, 호의 저하 기간 또는 저하로 인한 비용-를 최소화하면서 여유 대역폭 확보를 위해 시스템 내의 호들의 상태를 변경시키는 것이다 이러한 사실을 반영하기 위해서 본 논문에서는 대역폭 할당 알고리즘에 따라서 이전 분석 호의 상태와 셀 내에 있는 호의 개수에 의해서 분석호가 저하 또는 정상화되는 확률을 직접 계산하였다. 또한 분석 호의 다음 전이 상태가 현재 분석 호와 시스템의 상태에 종속된다는 특성을 반영하여 현재 분석 호와 셀 내에 있는 호의 개수를 상태 벡터로 하며 분석 호가 서비스를 받고 떠나는 때가 흡수상태(absorbing state)가 되는 이차원 이산 마코프 체인(discrete markov chain)으로 시스템을 모델링 하여 DPR을 추정하였다.

2. 모델 설명 및 가정

본 연구에서는 고정 채널 할당 정책(FCA : Fixed Channel Assignment)하에서 한 셀에서 사용 가능한 대역폭 용량이 C 로 정해져 있으며 시스템은 하나의 멀티미디어 클래스만을 서비스한다고 가정하였다. 또한 다른 주변 셀들과의 정보 교환 없이 이미 계산된 트래픽 부하를 입력으로 하여 하나의 대상 셀만을 분석하는 독립 셀 분석방법(isolated cell approach)을 사용하였다. 호 수락 제어 정책은 임계값 정책(threshold CAC)을 채택하였는데, 이것은 현재 셀 내의 호의 개수가 임계값인 N_m 이상이 되면 신규 호는 차단시키고, 핸드오프 호만을 받아들임으로써 핸드오프 호에 우선권을 주는 정책이다. $B = \{b_{\min}, b_{\max}\}$ 는 호가 할당받을 수 있는 대역폭의 집합으로, b_{\max} 는 정상 호의 대역폭, b_{\min} 은 저하된 호의 대역폭을 각각 나타낸다. N_{\max} 는 셀이 받아들일 수 있는 호의 최대 개수, N_{\min} 는 모든 호가 저하되지 않고 b_{\max} 를 사용할 수 있는 최대 개수로 각각

다음의 식 (1)과 같이 계산된다.

$$N_{\max} = \left\lfloor \frac{C}{b_{\min}} \right\rfloor, N_{\min} = \left\lfloor \frac{C}{b_{\max}} \right\rfloor \quad (1)$$

셀 내 호의 개수가 $n > N_{\min}$ 일 때, 새로운 호를 수용하기 위해서는 하나 이상의 호를 저하시켜야만 여유 대역폭을 얻을 수 있다. 이 때, 대역폭 할당 알고리즘은 호들의 대역폭 변화 횟수를 최소화하기 위해 새로 들어오는 호들을 우선적으로 저하시켜 받아들인다. 그리고 기존의 시스템에 있는 호들 중 할당 대역폭을 저하시킬 호들을 동일한 가중치를 두고 선택하게 된다. 시스템의 상태 벡터 $S = (s, n)$ 에서 s 는 분석 대상이 되는 호의 상태를 나타내며 $s \in \{U : \text{정상 상태}, D : \text{저하 상태}\}$ 가 된다. n 은 분석 호를 포함하여 셀 내에 있는 호의 개수를 나타내며 $n \in \{1, \dots, N_{\max}\}$ 가 된다. 실제 시스템 상황에서는 신규 호나 핸드오프 호가 도착하여 호의 개수가 증가할 때 또는 호가 종료되거나 인접 셀로 핸드오프되어 호의 개수가 감소할 때 대역폭 여유 용량의 변화가 생기게 되어 대역폭 할당 알고리즘이 실행되게 된다. 이에 따라 시스템의 각 호의 상태 전이가 발생하게 되는 것이다.

본 연구에서는 최소 단위 시간 간격으로 시스템을 모니터링하여 호의 상태 변화가 일어나는 간격을 단위 시간의 정수배로 이산화한다. 이를 위하여 단위 시간 동안 신규 호나 핸드오프 호의 발생이 각각 p^{NC}, p^{HC} 의 확률을 갖는 베르누이(Bernoulli) 과정을 따른다고 가정하였다. 그리고 단위 시간 동안 하나의 호가 떠날 확률을 p^{Dep} 로 정의하면 호의 지속시간(sojourn time)의 분포는 평균이 $\frac{1}{p^{Dep}}$ 인 기하분포를 따르게 되며, 셀 내의 호의 개수가 n 일 때, 단위 시간 동안 시스템을 떠날 호의 개수는 (n, p^{Dep}) 의 모수를 갖는 이항분포(binomial)를 따르게 된다. 이렇게 함으로써 시스템 상황을 단위 시간 간격으로 상태 전이가 발생하는 마코프 체인으로 모델링할 수 있게 된다. 시스템 내의 호의 개수가 변화되면 대역폭 할당 알고리즘에 의하여 분석 호의 상태가 변하는데 본 모델에서는 이것을 단위 시간 간격마다 시스템에 반영하여 상태 전이 간격이 단위 시간 간격의 정수배가 되게 하는 것이다.

3. DPR의 추정 방법

3.1 상태 전이도

앞서 정의한 시스템 상태 벡터 $S = (s, n)$ 의 상태 전이는 Figure 1과 Figure 2와 같이 분석 호의 현재 상태에 따라 정상 상태(Normal State)와 저하 상태(Degraded State)의 두 가지 경우로 나눌 수 있다. Figure 1과 Figure 2에서 “Dep”

는 분석 호가 시스템을 떠나게 되는 흡수 상태를 나타낸다.

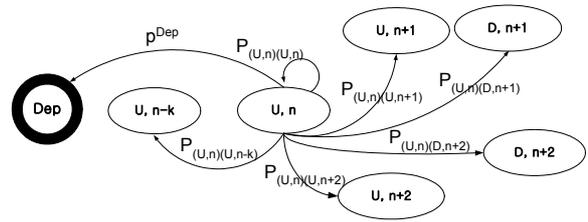


Figure 1. State Transition from Normal State.

3.1.1 분석 호가 정상 상태(U)인 경우

셀 내로 호가 들어오면 대역폭의 여유 용량이 줄어들어 분석 호가 저하되거나 정상 상태로 유지될 확률이 모두 존재한다. 이 때 호의 증가는 모델의 가정에 의해서 1(신규 호와 핸드오프 호 중 하나만 들어오는 경우) 또는 2(신규 호와 핸드오프 호 모두 들어오는 경우)의 값만을 취한다. 이 때 n 이 임계값(N_{th}) 이상일 때 신규 호는 차단되므로 $n+2$ 로 전이되는 확률은 0이 된다. 호의 개수가 감소하면 대역폭의 여유 용량이 늘어나므로, 분석 호는 정상인 현재 상태를 유지하게 되며 저하될 경우는 존재하지 않다.

3.1.2 분석 호가 저하 상태(D)인 경우

셀 내로 호가 들어오면 대역폭의 여유 용량이 줄어들어 저하되어 있는 분석 호가 정상화될 경우는 없고 단지 현재 상태인 저하 상태를 유지한다. 이 때 n 이 임계값(N_{th}) 이상일 때 신규 호는 차단되므로 $n+2$ 로 전이되는 확률은 0이 된다. 반면 호의 개수가 감소하면 여유용량이 늘어나게 되어 분석 호가 정상화되거나 현재 상태를 유지할 경우가 존재한다.

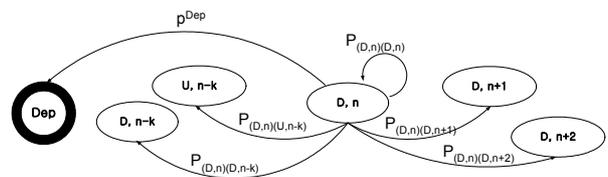


Figure 2. State Transition from Degraded State.

3.2 상태 전이 행렬의 구성

상태 전이 확률을 구하기 위해 본 연구에서 새롭게 정의한 기호들은 다음과 같다.

- k : 단위 시간 동안 감소하거나 증가한 호의 개수
- k_{Dep} : 단위 시간 동안 떠난 호의 개수
- k_d : 단위 시간 동안 떠난 호 중 저하된 것의 개수

$$P^{Dep}(n, x) = \begin{cases} \binom{n}{x} (p^{Dep})^x (1-p^{Dep})^{n-x} & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases} \quad (2)$$

$$P^{NC}(i) = \begin{cases} p^{NC} & (i=1) \\ 1-p^{NC} & (i=0) \end{cases} \quad (3)$$

$$P^{HC}(i) = \begin{cases} p^{HC} & (i=1) \\ 1-p^{HC} & (i=0) \end{cases} \quad (4)$$

식 (2)는 n 개의 호 중에서 x 개가 떠날 확률로 이항 분포가 된다. 식 (3)과 (4)는 단위 시간 동안 신규 호와 핸드오프 호가 발생할 확률값을 각각 나타낸다.

상태 전이 확률은 (시스템의 호의 개수가 변화될 확률 \times (분석 호의 상태가 변화될 확률)로 구성된다.

3.2.1 호 개수의 변화 확률

단위 시간 동안 시스템의 호의 개수가 n 에서 $n \pm k$ 로 전이할 확률을 $P_{n, n \pm k}$ 로 정의하자(단, $k \geq 0$). 단위 시간동안 들어온 신규 호와 핸드오프 호의 개수를 각각 i 와 j 라 하자. (단, $i, j = 0, 1$) 이때 k 가 증가한 호의 개수를 나타낼 때는 $k_{Dep} = i + j - k$, 감소한 호의 개수를 나타내면 $k_{Dep} = i + j + k$ 의 관계가 성립된다. 처음 n 개의 호가 있었고 단위 시간 동안 신규 호와 핸드오프 호가 각각 i, j 개 들어 오고 분석 호를 제외한 k_{Dep} 개의 호가 떠나서 호의 개수가 k 개 만큼 변화되었을 때 확률은 식 (5), (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{n \pm k}(n, k, i, j) = [1 - p^{Dep}] P^{NC}(i) P^{HC}(j) P^{Dep}(n-1, i+j \mp k) \quad (1 \leq n \leq N_{th} - 1) \quad (5)$$

$$P_{n \pm k}(n, k, j) = [1 - p^{Dep}] P^{HC}(j) P^{Dep}(n-1, j \mp k) \quad (N_{th} \leq n < N_{max}) \quad (6)$$

식 (5)와 (6)을 이용하여 $P_{n, n \pm k}$ 를 구하면 식 (7)과 같이 정리된다.

$$P_{n, n \pm k} = \begin{cases} P_{n \pm k}(n, k, 0, 0) + P_{n \pm k}(n, k, 1, 0) \\ + P_{n \pm k}(n, k, 0, 1) + P_{n \pm k}(n, k, 1, 1) \\ \quad (1 \leq n \leq N_{th} - 1) \\ P_{n \pm k}(n, k, 0) + P_{n \pm k}(n, k, 1) \quad (N_{th} \leq n < N_{max}) \\ [1 - p^{Dep}] \cdot P^{Dep}(n-1, k) \quad (n = N_{max}) \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)은 단위 시간 동안 신규 호나 핸드오프 호가 들어 올 수 있는 모든 경우의 수를 고려하여 정확률 공식에 대입한 것이다.

3.2.2 분석 호의 상태 변화 확률

분석 호의 상태가 변화될 확률은 분석 호가 저하될 확률과 정상화될 확률로 나눌 수 있다

각 확률을 구하기 위해서는 셀 내의 호의 개수가 정해졌을 때 저하되어 있는 호(degraded call)의 개수를 먼저 알아야 한다. 호의 개수가 n 일 때 저하된 호의 개수를 $d(n)$ 이라 하자. $d(n)$ 은 다음 식 (8)을 만족하는 최소의 양의 정수를 찾음으로 결정할 수 있다.

$$C = [n - d(n)]b_{max} + d(n)b_{min} + \delta \quad (0 \leq \delta < b_{max}) \quad (8)$$

(1) 저하 확률

직전에 n 개의 호가 있었고 단위 시간 동안 k 개의 호가 증가했을 때 분석 호가 저하될 확률을 $P^D(n, k)$ 로 정의하자. 먼저 k_{Dep}, k_d 가 정해졌을 때, 정상 상태에 있는 분석 호가 저하될 확률은 식 (9)와 같이 나타낸다.

$$P^D(n, k, k_{Dep}, k_d) = \frac{\text{Max}[0, d(n+k) - d(n) - (k + k_{Dep})]}{\text{Max}[1, n - d(n) - (k_{Dep} - k_d)]} \quad (9)$$

식 (9)에서 분모는 분석 호를 포함하여 정상 상태였던 호의 개수($n - d(n)$)에서 정상 상태에서 떠난 호의 개수($k_{Dep} - k_d$)를 제한 것으로 떠나지 않고 남아있는 정상 상태의 호의 개수를 나타낸다 분모의 최대값이 1이 될 때는 정상인 호가 분석 호 자신뿐일 때 즉, $n - d(n) = 1$ 일 때 $n - d(n) - (k_{Dep} - k_d) = 0$ 인 경우가 발생할 때 적용된다. 분자에서 $d(n+k) - d(n) - (k + k_{Dep})$ 부분은 호의 증가로 인해 추가적으로 저하가 필요한 호의 개수($d(n+k) - d(n)$)에서 새롭게 저하되어 들어오는 호의 개수($k + k_{Dep}$)를 제한 것으로 정상 상태에 있는 호 중에서 새롭게 저하시켜야 할 호의 개수를 나타낸다 분자의 최대값이 0이 되는 경우는 $d(n+k) \leq N_{min}$ 로서 여유 용량이 충분하여 호를 저하시킬 필요가 없는 경우와 추가적으로 저하시킬 호보다 새롭게 들어온 호의 개수가 많거나 같은 경우 즉, $d(n+k) - d(n) \leq (k + k_{Dep})$ 인데 이 때 분석 호는 저하되지 않으며 새롭게 들어온 호 중에서 선택적으로 저하된다.

• $k=1$ 인 경우

식 (10)에서 $1 \leq n < N_{th}$ 일 때는 떠난 호가 없고 신규 호와 핸드오프 호 중 하나가 들어 온 경우($k_{Dep} = k_d = 0$, $P_{n+1}(n, 1, 1, 0) + P_{n+1}(n, 1, 0, 1)$)와 한 개의 호가 떠나고 신규 호와 핸드오프 호가 모두 들어 온 경우($k_{Dep} = 1$, P_{n+1}

$(n, 1, 1, 1)$ 로 나눌 수 있다. 호 하나가 떠난 후자의 경우는 다시 저하된 호가 떠날 경우($k_{Dep} = k_d = 1$)와 저하되지 않은 호가 떠날 경우($k_{Dep} = 1, k_d = 0$)로 나뉘어 지게 되고 $P^D(n, k)$ 는 $k=1$ 인 경우의 확률($P_{n, n+1}$)이 발생했다는 조건하에 위의 세 가지 경우가 발생할 확률을 각각 계산하여 $P^D(n, 1, k_{Dep}, k_d)$ 와 곱해줌으로써 기대값의 형태로 구할 수 있게 된다. $N_{th} \leq n < N_{max}$ 일 때는 떠난 호가 없고 핸드오프 호가 들어온 경우밖에 없으므로 $k_{Dep} = k_d = 0$ 이 된다.

$$P^D(n, 1)$$

$$= \begin{cases} \left[\left(\frac{1}{P_{n, n+1}} \right) [P_{n+1}(n, 1, 1, 0) + P_{n+1}(n, 1, 0, 1)] \right] \cdot P^D(n, 1, 0, 0) \\ + \left[\left(\frac{1}{P_{n, n+1}} \right) [P_{n+1}(n, 1, 1, 1)] \left(\frac{d(n)}{n-1} \right) \right] \cdot P^D(n, 1, 1, 1) \\ + \left[\left(\frac{1}{P_{n, n+1}} \right) [P_{n+1}(n, 1, 1, 1)] \left(1 - \frac{d(n)}{n-1} \right) \right] \cdot P^D(n, 1, 1, 0) \\ \qquad \qquad \qquad (1 \leq n < N_{th}) \\ P^D(n, 1, 0, 0) \qquad \qquad \qquad (N_{th} \leq n < N_{max}) \end{cases} \quad (10)$$

• $k=2$ 인 경우

$1 \leq n < N_{th}$ 일 때 호가 떠나지 않고 신규 호와 핸드오프 호가 모두 들어오는 경우($k_{Dep} = k = 0$)밖에 없다. 따라서 식 (11) 과 같이 정리된다.

$$P^D(n, 2) = P^D(n, 2, 0, 0) \quad (11)$$

• $k \neq 1, 2$ 인 경우

호의 개수가 감소한 경우나 또는 일어날 수 없는 사건인 경우이므로 $P^D(n, k) = 0$ 이 된다.

(2) 정상화될 확률

직전에 n 개의 호가 있었고 단위 시간동안 k 개의 호가 감소했을 때 분석 호가 정상화될 확률을 $P^U(n, k)$ 로 정의 하자(단, $k=1, \dots, n-1$). 분석 호가 정상화될 확률은 단위 시간 동안 들어온 호의 개수, 떠난 호의 개수(k_{Dep}), 그리고 떠난 호 중 저하된 호의 개수(k_d)에 의해 결정된다. 예를 들어 $n=14$ 일 때 호의 개수가 4개 감소하여 $n=10$ 으로 전이했으며 이때 각각의 저하된 호의 개수는 $d(14)=7, d(10)=4$ 로 결정되어 있다고 하자. 만약 새로 들어온 호가 없고 떠난 호만 4개였으며 그 중 저하된 호가 2개 있었다고 가정하면 다음 시점에서 정상 상태인 호는 $7-2=5$ 개, 저하된 호는 $7-2=5$ 개가 되어 5개의 호중 4개가 정상화되지 못하고 남아 있게 된다. 따라서 호의 정상화될 확률은 $1 - \frac{4}{5} = \frac{1}{5}$ 이 된다. 만약 신규 호가 1개 들어왔고 저하된 호 2개를 포함하여 5개의 호가 떠났다면 다음

시점에서 정상 상태인 호는 $7-3=4$ 개, 남아 있는 저하된 호는 $7-2=5$ 개이다. 새로운 한 개의 호는 저하되어 들어오므로 저하된 채로 남아 있어야 하는 호는 $4-1=3$ 이 되어, 저하된 채로 남아 있게 될 확률은 $\frac{3}{5}$ 이 된다. 호의 상승확률은 이것의 여사건의 확률이므로 $1 - \frac{3}{5} = \frac{2}{5}$ 가 된다.

직전 n 개 중 k_{Dep} 개의 호가 떠나서 최종적으로 k 개의 호가 감소했을 때 저하되어 있던 분석 호가 정상화될 확률을 $P^U(n, k, k_{Dep})$ 로 정의하자. $P^U(n, k, k_{Dep})$ 는 식 (12)와 같이 떠나간 호의 개수 중 저하된 호의 개수(k_d)에 대한 조건부 확률로 표현된다.

$$P^U(n, k, k_{Dep}) = \sum_{k_d=0}^{d(n)-1} P^U(n, k, k_{Dep} | k_d) \cdot P^U(n, k, k_{Dep}, k_d) \quad (12)$$

식 (12)에서 $P^U(n, k, k_{Dep} | k_d)$ 는 k_d 가 주어진 상태에서 분석 호가 정상화될 확률을 나타내며 분석 호가 저하된 상태로 남아있게 되는 확률의 여사건의 확률로 식 (13)과 같이 정리된다.

$$P^U(n, k, k_{Dep} | k_d) = \left(1 - \frac{\text{Max}[0, d(n-k) - (k_{Dep} - k)]}{d(n) - k_d} \right) \quad (13)$$

식 (13)의 분수식은 분석 호가 저하된 상태로 남아있게 되는 확률로서, 분모는 분석 호를 포함하여 저하 상태였던 호의 개수($d(n)$)에서 저하 상태로 떠난 호의 개수(k_d)를 제한 것으로 떠나지 않고 남아있는 저하 상태의 호의 개수를 나타낸다. 분자는 호의 개수가 $n-k$ 일 때 저하된 호의 개수($d(n-k)$)에서 새롭게 들어온 호의 개수($k_{Dep} - k$)를 제한 것으로 기존의 호 중에서 저하되어야 할 호의 개수를 나타낸다. 이때 분자가 0을 최대값으로 갖는 경우는 저하시켜야 할 호보다 새로 들어온 호의 개수가 더 많은 경우이다.

식 (12)에서 $P^U(n, k, k_{Dep}, k_d)$ 는 분석 호를 제외한 $n-1$ 개의 호 중 k_{Dep} 개의 호가 떠나고 그 중 k_d 개의 저하된 호가 포함되어 있을 확률로서 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P^U(n, k, k_{Dep}, k_d) = \frac{\binom{n-d(n)}{k_{Dep}-k_d} \binom{d(n)-1}{k_d}}{\binom{n-1}{k_{Dep}}} \quad (14)$$

위 식 (12)에 신규 호와 핸드오프 호가 발생할 수 있는 모든 경우의 확률을 곱하여 기대값을 계산하면 n 개의 호 중 k 개가 감소했을 때의 분석 호가 정상화될 확률을 다음

식 (15)와 같이 구할 수 있다.

$$P^U(n, k) = \begin{cases} \left[\left(\frac{1}{P_{n-k}} \right) P_{n-k}(n, k, 0, 0) \right] \cdot P^U(n, k, k) \\ + \left[\left(\frac{1}{P_{n-k}} \right) (P_{n-k}(n, k, 1, 0) + P_{n-k}(n, k, 0, 1)) \right] \cdot P^U(n, k, k+1) \\ + \left[\left(\frac{1}{P_{n-k}} \right) P_{n-k}(n, k, 1, 1) \right] \cdot P^U(n, k, k+2) & (1 \leq n < N_{th}) \\ \left(\frac{1}{P_{n-k}} \right) (P_{n-k}(n, k, 0) \cdot P^U(n, k, k) + P_{n-k}(n, k, 1) \cdot P^U(n, k, k+1)) & (N_{th} \leq n < N_{max}) \\ [1 - p^{Dep}] P^{Dep}(n-1, k) \cdot P^U(n, k, k) & (n = N_{max}) \end{cases} \quad (15)$$

모든 결과를 종합하여 각 시스템 상태에서 전이할 수 있는 모든 경우에 대한 전이 확률을 도출하면 식 (16)과 같이 정리된다.

$$\begin{cases} P_{(U, n)(U, n+k)} = P_{n, n+k} \cdot (1 - P^D(n, k)) \\ P_{(U, n)(D, n+k)} = P_{n, n+k} \cdot P^D(n, k) \\ P_{(D, n)(U, n-k)} = P_{n, n-k} \cdot P^U(n, k) \\ P_{(D, n)(D, n-k)} = P_{n, n-k} \cdot (1 - P^U(n, k)) \end{cases} \quad (16)$$

3.2.3 상태 전이 행렬

$$P = \left[\begin{array}{c|c} A & Q \\ \hline 1 & 0 \end{array} \right] \quad (17)$$

$$Q = \left[\begin{array}{c|c} P^{UU} & P^{UD} \\ \hline P^{DU} & P^{DD} \end{array} \right] \quad (18)$$

P 는 $(2N_{max} - N_{min} + 1) \times (2N_{max} - N_{min} + 1)$ 차원을 갖는 상태 전이 행렬이다. Q 는 $(2N_{max} - N_{min}) \times (2N_{max} - N_{min})$ 의 substochastic 행렬로서 일시적(transient) 상태 간의 전이 확률을 나타내며 2차원 상태를 사전 편차식(lexicographical)으로 배열하여 1차원으로 전환시킨 것이다.

Q 는 다시 네 개의 submatrix로 구성되는데 P^{UU} 는 $(N_{max}) \times (N_{max})$ 차원으로 분석 호가 정상(U) 상태에서 정상(U) 상태로 전이될 확률을 나타내는 행렬이다. 이와 비슷한 형태로 P^{UD} 는 $(N_{max}) \times (N_{max} - N_{min})$, P^{DU} 는 $(N_{max} - N_{min}) \times (N_{max})$ 그리고 P^{DD} 는 $(N_{max} - N_{min}) \times (N_{max} - N_{min})$ 차원으로 분석 호가 주어진 처음 상태에서 다음 상태로 전이될 확률을 나타내는 행렬이다.

A 는 $(2N_{max} - N_{min})$ 의 열벡터로서 흡수 상태(absorbing)로의 전이 확률인 p^{Dep} 을 원소로 갖는다. 분석중인 호가 현재 셀을 떠나게 될 때 사건이 발생할 때 흡수 상태로 전

이된다.

3.3 Transient 분석을 통한 DPR 값의 계산

평균 DPR 값을 구하기 위해서는 임의의 시점에 분석 호가 도착하여 분석 호의 초기 상태가 주어지고 떠나기 전까지 중 저하 상태에 머무는 평균 시간을 구해야 한다.

3.3.1 저하 상태에 머무는 평균 시간

저하 상태에 머무르는 평균 시간을 구하는 것은 단위 시간 간격으로 상태가 전이되는 DTMC에서는 분석 호가 저하상태를 방문하게 되는 평균 횟수를 구하는 것과 동일한 문제가 된다. 각 상태를 방문하는 평균 횟수는 Q 가 주어졌을 때 근원 행렬(fundamental matrix) M 을 통해 구할 수 있다. M 은 다음과 같이 정의된다.

$$M = [I - Q]^{-1} \quad (19)$$

M 의 각 원소 m_{ij} 는 초기에 $i=(s, n)$ 상태에 있었을 때 흡수 상태로 가기 전까지 $j=(s', n')$ 상태를 방문한 평균 횟수로 정의된다(Trivedi, 2002).

$$\begin{aligned} DPR_{(s, n)} &= \frac{\sum_{n' \in N} m_{(s, n)(D, n')}}{\sum_{s' \in S} \sum_{n' \in N} m_{(s, n)(s', n')}} \\ &= \frac{\sum_{n' \in N} m_{(s, n)(D, n')}}{\frac{1}{p^{Dep}}} \\ &= p^{Dep} \cdot \sum_{n' \in N} m_{(s, n)(D, n')} \end{aligned} \quad (20)$$

단, $S = \{U, D\}$, $N = \{1, \dots, N_{max}\}$

식 (20)에서 $m_{(s, n), (s', n')}$ 의 형태는 실제 계산에서는 다음 식 (21)과 같이 변형된다.

$$m_{(s, n), (s', n')} = m_{i, j} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } j &= \left\{ \begin{array}{l} \left(n - N_{max} \right) + N_{min} \quad (s=U) \\ \left(n - N_{max} \right) + N_{min} \quad (s=D) \end{array} \right. , \\ j &= \left\{ \begin{array}{l} \left(n' - N_{max} \right) + N_{min} \quad (s'=U) \\ \left(n' - N_{max} \right) + N_{min} \quad (s'=D) \end{array} \right. \end{aligned}$$

3.3.2 초기 상태 확률

최종적인 호 저하 시간 비율을 구하기 위해서는 임의의 시점에서 나타날 수 있는 초기 상태를 모두 고려해야 하기 때문에 시스템의 정상 상태(steady state) 확률을 구해야 한다. 이를 위해 먼저 셀 내의 호의 개수뿐만 아니라 이차원 마코프 체인을 식 (22), (23)과 같이 구성하여 시스템

의 호의 개수의 분포에 대한 정상 상태 확률 벡터(π)를 구한다.

$$\pi = \pi \cdot R \tag{22}$$

단, $R = [r_{n, n \pm k}]$

$$r_{n, n \pm k} = \begin{cases} \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 P^{NC}(i) \cdot P^{HC}(j) \cdot P^{Dep}(n, i+j \mp k) & (0 \leq n \leq N_{th} - 1) \\ \sum_{j=0}^1 P^{HC(j)} \cdot P^{Dep}(n, j \mp k) & (N_{th} \leq n < N_{max}) \\ P^{Dep}(n, k) & (n = N_{max}) \end{cases} \tag{23}$$

임의의 시점에서 분석 호가 도착했을 때 분석 호가 가지는 초기 상태 확률은 시스템에 있는 호의 개수에 의해서 다음과 같이 결정된다.

$$\pi_{(U, n)} = \begin{cases} \pi_{n-1} & (0 \leq n-1 < N_{min}) \\ 0 & (N_{min} \leq n-1 < N_{max}) \end{cases} \tag{24}$$

$$\pi_{(D, n)} = \begin{cases} 0 & (0 \leq n-1 < N_{min}) \\ \pi_{n-1} & (N_{min} \leq n-1 < N_{max}) \end{cases} \tag{25}$$

식 (20)에 식 (24), (25)에서 각각의 초기 상태에 있게 될 확률을 곱하여 더해지면 식 (26)과 같이 시스템의 평균 호 저하 시간 비율을 최종적으로 도출할 수 있다.

$$DPR = \sum_{s \in S} \sum_{n=1}^{N_{max}} DPR_{(s, n)} \cdot \pi_{(s, n)} \tag{26}$$

신규 호의 차단 확률(NCB : New Call Blocking probability)과 핸드오프 호의 차단 확률(HDP : Handoff Dropping Probability)은 식 (22), (23)에서 얻은 일차원 마코프 체인의 정상 상태 확률벡터를 이용하여 식 (27)과 같이 구할 수 있다.

$$NCB = \sum_{n=N_{th}}^{N_{max}} \pi_n, \quad HDP = \pi_{N_{max}} \tag{27}$$

4. 실험 예제

본 장에서는 위에서 제시한 DPR 추정 방법을 예제 시스템에 적용하여 실제 전이행렬을 구성하고 입력부하와 호 수락 제어 정책의 임계값(threshold)의 변화에 따른 DPR 값의 변화를 도시하였다. 시스템의 용량은 $C=50$, $C=100$ 인 두 경우를 고려하였고 대역폭은 $b_{max} = 10$, $b_{min} = 5$ 를 적용하였다. $p^{Dep} = \frac{1}{500}$ 이고, 핸드오프 호와 신규 호의 발생비

율은 1:2로 가정하였다. 여기서 입력부하(Load)는 $\frac{p^{NC} + p^{HC}}{p^{Dep}}$

로 정의되며 이것은 하나의 호가 서비스 받는 기간 동안 ($1/p^{Dep}$) 시스템에 들어오는 호들의 평균 개수를 의미한다.

Figure 3과 Figure 4는 시스템의 입력부하가 증가함에 따라서 DPR 값이 증가하고 있음을 보여준다. 이것은 단위 시간동안에 호가 들어올 확률이 클수록 전체 시스템내의 호의 개수는 많아지고 정해진 용량에서 더 많은 호를 수용하기 위해서 시스템 내의 호가 저하되어 있는 기간이 길어지게 되는 것으로 설명된다. 또한 동일한 입력부하에서는 호 수락 제어 정책의 임계값이 클수록 DPR 값이 커짐을 볼 수 있는데 이것은 임계값이 커질수록 신규 호의 차단확률이 감소되어 더 많은 신규 호가 시스템으로 들어오기 때문이다.

Figure 3에서 입력부하가 20일 때 DPR 값은 0.5243임을 확인할 수 있다. 이것은 사용자가 서비스받는 기간동안 평균적으로 약 52% 동안은 저하된 상태로 서비스를 받게 된다는 것을 의미한다.

대역폭의 시스템의 총용량을 두 배로 증가시킨 Figure 4의 경우에는 동일한 입력부하에 대하여 DPR 값이 0.2121로 개선되었음을 알 수 있다.

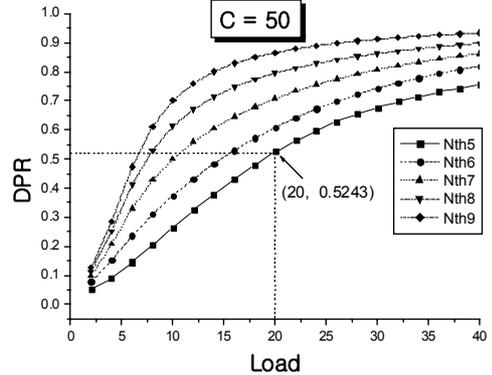


Figure 3. Degradation period ratio(C=50).

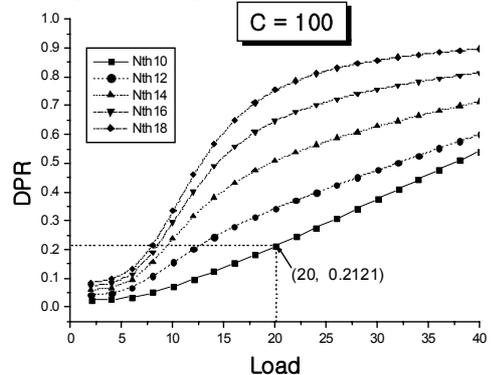


Figure 4. Degradation period ratio(C=100).

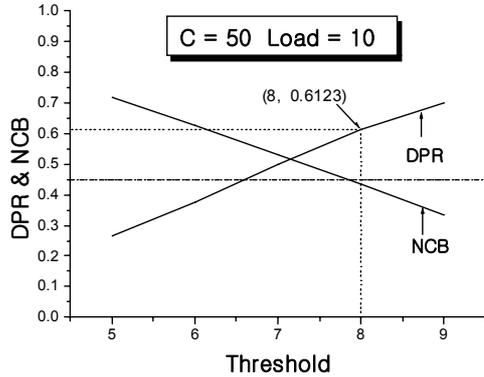


Figure 5. DPR & NCB(C=50).

Figure 5와 Figure 6은 입력부하를 고정한 후 호 수락 제어 정책의 임계값을 변화시키면서 QoS 척도인 신규 호 차단 확률(NCB : New Call Blocking probability)과 DPR의 변화를 도사한 것이다. 임계값이 증가할수록 신규 호의 차단 확률은 감소하며, 호 저하 시간 비율은 증가하여 두 값이 임계값의 증가에 대하여 상충되는 관계가 있음을 알 수 있다. 이러한 사실은 정해진 시스템 용량과 입력부하에서 최적의 호 수락 제어 정책을 수립하는데 이용될 수 있을 것이다. 예를 들어 Figure 5와 같이 시스템 용량이 50, 입력부하가 10인 경우 신규 호 차단 확률을 0.45 이하로 제한하였을 때 호 수락 제어 정책의 최적 임계값은 8이 되며 이 때의 DPR은 0.6123이 됨을 알 수 있다. Figure 6과 같이 시스템 용량이 100이고 입력부하가 15인 경우 신규 호 차단 확률을 0.2 이하로 제한하였을 때 호 수락 제어 정책의 최적 임계값은 16이 되며 이 때의 DPR은 0.5253이 됨을 알 수 있다.

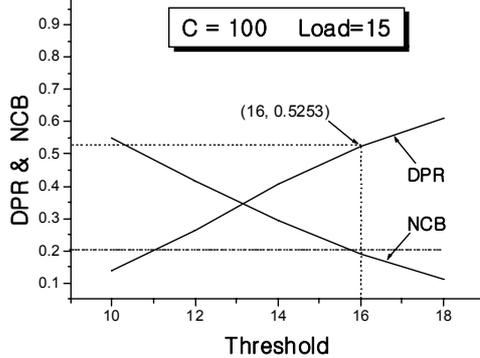


Figure 6. DPR & NCB(C=100).

5. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 적응형 구조를 갖는 이동통신망에서 제시된 QoS 척도인 호 저하 시간 비율(DPR : Degradation Period

Ratio)에 대한 현실적인 추정 방법을 제시하였다. 즉, 분석 호의 상태 변화는 직전 시점에서의 분석 호의 상태와 시스템 내의 호의 개수에 의존한다는 성질을 이용하여 두 값을 상태 변수로 하는 이차원의 이산 시간 마코프 체인을 구성하였고, 각 상태로의 전이 확률을 계산하여 주어진 입력부하에서 시스템 전체의 평균 호 저하 시간 비율을 계산하는 방법을 제시하였다.

실험 예제를 통하여 신규 호 차단 확률(NCB : New Call Blocking probability)과 DPR 값이 호 수락 제어 정책의 임계값의 증가에 대해 상충되는(tradeoff) 관계가 있음을 알 수 있었다. 따라서 NCB나 DPR에 대한 QoS 기준이 정해졌을 때 이를 만족시키는 임계값을 구하여 호 수락 제어 정책에 반영할 수 있게 된다.

본 연구에서는 하나의 클래스만을 고려하였으나 멀티미디어 서비스를 고려하여 멀티 클래스와 한 클래스에서 제공할 수 있는 대역폭이 다양할 때의 추정방법에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 한다.

참고문헌

Bharghavan, V., Lee, K., Lu, S., Ha, S., Li, J., and Dwyer, D. (1998), The Timely Adaptive Resource Management Architecture. *IEEE Personal Communications Magazine*, 5(8), 20-31.

Brown, K. and Christianson, L. (2000), Bandwidth Adaptation of Audio Streams for Mobile Hosts, *Proceedings. ISCC 2000. Fifth IEEE Symposium on Computers and Communications*, 314-319.

Jain, R. and Knightly, E.W. (1999), A Framework for Design and Evaluation of Admission Control Algorithms in Multi-Service Mobile Networks, *INFOCOM '99. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, 3, 1027-1035.

Kwon, T., Choi, Y., Bisdikian, C., and Naghshineh, M. (1998), Call Admission Control for Adaptive Multimedia in Wireless/Mobile Networks, *Proceedings of ACM Workshop on Wireless Mobile Multimedia*, 111-116.

Kwon, T., Choi, Y., Bisdikian, C., and Naghshineh, M. (1999), Measurement-based Call Admission Control for Adaptive Multimedia in Wireless/Mobile Networks, *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2, 540- 544.

Kwon, T., Park, I., Choi Y., and Das, S. (1999), Bandwidth Adaptation Algorithms with Multi-Objectives for Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks, *Proceeding of ACM Workshop on Wireless/Mobile Multimedia*, 51-58.

Kwon, T., Kim S., Choi, Y., and Naghshineh, M. (2000), Threshold-type Call Admission Control in Wireless/Mobile Multimedia Networks Using Prioritised Adaptive Framework, *Electronics Letters*, 36(9), 852-854.

Naghshineh, M. and Willebeek-LeMair, M. (1997), End-to-End QoS Provisioning in Multimedia Wireless/Mobile Networks Using an Adaptive Framework, *IEEE Communi-*

- cations Magazine*, **35**(11), 72-81.
- Ross, S. M. (2000), *Introduction to Probability Models*, 7th Ed., Academic Press, San Diego.
- Trivedi, K. S. (2002), *Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, 392-396.
- Wang, J., Li, M., Yang, X., and Huang, Z.(2001), Utility-based Call Admission Control for Adaptive Mobile Services, *Proceedings of International Conference on Computer Networks and Mobile Computing*, 91-96.
- Xiao, Y., Chen, C.L.P., and Wang, Y. (2000), Quality of Service Provisioning Framework for Multimedia Traffic in Wireless/Mobile Networks, *Proceedings of Ninth International Conference on Computer Communications and Networks*, 644-648.
- Xiao, Y., Chen, C.L.P., and Wang, Y. (2001), Fair Bandwidth Allocation for Multi-class of Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks, *Vehicular Technology Conference, IEEE VTS 53rd*, **3**, 2081-2085.
- Yeh, C-H. (2001), Scalable, Adaptive, and Reliable Resource Management in High-speed and Mobile Networks, *Proceedings. Tenth International Conference on Computer Communications and Networks*, 182-189.
- Zhao, P. and Zhang, H. M. (2001), A New CAC Algorithm for Adaptive Service in Mobile Network, *Proceedings of 2001 International Conferences on Info-tech and Info-net*, **2**, 199-204.