한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회
2003년 5월 16일-17일 한동대학교(포항)

이동 통신망에서 적응형 구조의 호 저하 시간 비율 추정

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

정성환[1] 이세진[1] 홍정완[2] 이창훈[1]
[1]서울대학교 산업공학과 [2]한성대학교 산업및기계시스템공학부

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. We also calculate mean degradation period and 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.

1. 서론

1.1 연구 배경

무선/이동 통신시장의 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 무선/이동 통신망에서 구현하기 위해서는 다양한 서비스 클래스에 이전보다 더 큰 대역폭을 실시간으로 제공해 줄 수 있어야 한다. 아울러 사용자의 QoS를 보장하기 위해 무선/이동 통신망의 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.[M.Naghshineh(1997), V.Bharghavan(1998)] 기존의 비적응형(nonadaptive) 구조에서는 핸드오프호가 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 부화 기술(layered coding scheme)을 기반으로 하여 현재 서비스를 제공받고 있는 호의 대역폭 할당을 가변적으로 제어할 수 있게 된다.[Chi-Hsiang Yeh(2001), Brown, K(2000)] 즉, 현재 셀의 대역폭 이용 상황과 인접 셀로부터 핸드오프되거나 새롭게 발생하는 호들의 부하(traffic load)를 고려하여 서비스 중인 호들의 대역폭을 감소시키거나 증가시킬 수 있다. 따라서 사용 중인 호들의 대역폭을 저하(degrade)시킴으로써 얻어진 대역폭의 여유 용량을 새롭게 들어오는 핸드오프호에게 할당해 줌으로써 핸드오프호의 차단 확률(handoff dropping probability)를 0 에 가깝게 현저히 낮출 수 있게 된다. [M.Naghshineh (1997)]

그러므로 적응형 구조에서는 기존의 비적응형 구조에서 중요한 QoS 척도였던 핸드오프호의 차단 확률을 보장하는 것보다 사용자들이 겪는 호의 수준 저하와 연관된 QoS의 보장이 더 중요한 문제로 대두된다.

1.2 기존 연구 현황

고정형 구조에서의 대역폭 할당(resource allocation) 연구는 핸드오프호의 차단확률을 보장하는 제약조건 하에서 시스템의 효율성을 최대화할 수 있는 호 수락 제어 정책(CAC: call admission control)의 알고리즘을 찾는 방향으로 이루어져 왔다.[Jain, R. (1999)] 반면, 적응형 무선/이동 통신망에서는 호의 대역폭을 변경시키고 할당하는 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 호의 서비스 시간과 저하시간(degradation period)의 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. Yang Xiao. et al (2001)은 대역폭의 저하 시간과 함께 저하 정도(degradation degree)까지 반영한 DD(degradation degree), DR(degradation ratio)을 새로운 QoS 척도로 제시하고 측정기반(measurement based)하에서 호 수락 제어 정책과 호와 서비스 클래스간의 형평성(fairness)을 보장하는 대역폭 할당 알고리즘을 제시하였다. Jianfeng 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 논문에서는 기존에 QoS 척도로 제시된 호 저하 시간 비율(DPR)을 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 회수에 대한 확률분포를 구하였다. 그 후 각 전이 사건마다 자신의 호가 저하 될 확률을 상수값(P_D)으로 두고, K번의 전이가 일어날 때 호가 저하되는 회수의 분포가 $B(K, P_D)$ 인 이항분포를 따른다고 가정하였다. 그러나 모든 호가 대역폭 할당 알고리즘에 의해 제어되고 있는 상황에서 직전에 저하된 호가 다음 전이 사건발생 시 다시 저하를 경험하게 될 확률은 0 이거나 직전보다 현저히 작은 확률 값을 갖게 되므로 매 시점마다 호 저하 확률을 상수로 둔 것은 무리한 가정이었다. 이 점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 이전 분석호의 상태와 셀 내에 있는 호의 개수에 의해서 분석호가 저하 또는 정상화되는 확률을 직접 계산하였다. 또한 분석호의 다음 전이 상태가 현재 분석호와 시스템의 상태에 종속된다는 특성을 반영하여 현재 분석호와 셀 내에 있는 호의 개수를 상태 벡터로 하며 분석호가 서비스를 받고 떠나는 때가 흡수상태(absorbing state)가 되는 이차원 이산 마코프 체인(discrete markov chain)으로 시스템을 모델링하여 DPR을 추정한다.

2. 모델 설명 및 가정

본 연구에서는 고정 채널 할당 정책(FCA: fixed channel assignment)하에서 한 셀에서 사용가능한 대역폭 용량이 C로 정해져 있으며 시스템은 하나의 멀티미디어 클래스만을 서비스한다고 가정하였다. 또한 다른 주변 셀들과의 정보 교환없이 이미 계산된 트래픽 부하를 입력으로 하여 하나의 대상 셀만을 분석하는 독립 셀 분석 방법(isolated cell approach)을 사용하였다. 호 수락 제어 정책은 임계값 정책(Threshold CAC)을 채택하였는데, 이것은 현재 셀 내의 호의 개수가 임계값인 N_{th} 이상이 되면 신규호는 차단시키고, 핸드오프 되어 오는 호만을 받아들임으로써 핸드오프호에 우선권을 주는 정책이다.

$B=\{b_{min}, b_{max}\}$ 는 호가 할당받을 수 있는 대역폭의 집합으로 본 연구에서는 최소값과 최대값 2개의 대역폭만을 취할 수 있다고 가정하였다.

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.

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

셀 내 호의 개수가 $n > N_{min}$ 일 때, 새로운 호를 수용하기 위해서는 하나 이상을 저하시켜야만 여유 대역폭을 얻을 수 있다. 이 때, 대역폭 할당 알고리즘은 호들의 대역폭 변화 회수를 최소화하기 위해 새로 들어오는 호들을 우선적으로 저하시킨다. 그 후에도 대역폭 용량이 부족할 때 기존의 시스템에 있는 호들 중 할당 대역폭을 저하시킬 호들을 동일한 가중치를 두고 선택하게 된다.

시스템의 상태 벡터 $S=(s, n)$ 에서 s는 분석 대상이 되는 호의 상태를 나타내며 $s \in$ { U: 정상 상태 , D: 저하 상태} 가 된다. n 은 분석호를 포함하여 셀 내에 있는 호의 개수를 나타내며 $n \in \{1, \cdots, N_{max}\}$ 가 된다. 실제 시스템 상황에서는 신규호나 핸드오프호가 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 모니터할 때, 단위 시간 동안 신규호나 핸드오프호의 발생은 각각 p^{NC}, p^{HC}의 확률을 갖는 베르누이(Bernoulli) 과정을 따른다고 가정하였다. 그리고 단위 시간동안 하나의 호가 떠날 확률을 p^{Dep} 로 정의하면 호의 지속시간(sojourn time)의 분포는 평균이 $\frac{1}{p^{Dep}}$ 기하분포를 따르게 되며, 셀 내의 호의 개수가 n일 때, 단위 시간 동안 시스템을 떠날 호의 개수는 (n, p^{Dep}) 의 모수를 갖는 이항분포(Binomial)를 따르게 된다. 시스템 내의 호의 개수가 변화되면 대역폭 할당 알고리즘에 의하여 분석호의 상태가 변화하며 이 때의 상태 변화 확률을 계산할 수 있다. 이렇게 함으로써 시스템 상황을 단위 시간 간격으로 상태 전이가 발생하는 마코프 체인으로 모델링 할 수 있게 된다.

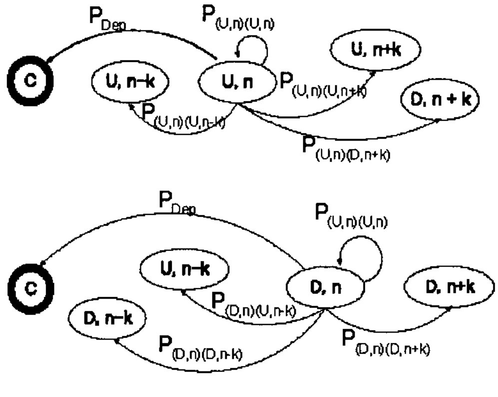
3. DPR의 추정 방법

3.1 상태전이도

앞서 정의한 시스템 상태 벡터의 상태전이는 (그림 1)과 같이 분석호의 현재 상태에 따라 정상 상태와 저하상태의 두 가지 경우로 나눌 수 있다.

1) 분석호가 정상 상태(U) 인 경우

셀 내의 호의 개수가 증가하면 여유용량이 줄어들게 되어 분석호가 저하되거나 유지되는 확률이 존재한다. 호의 개수가 감소하면 여유용량이 늘어나므로, 분석 호는 정상인 현재 상태를 유지하게 된다.



(그림 1) 상태전이도

2) 분석호가 저하 상태(D)인 경우

셀 내의 호의 개수가 증가하면 여유용량이 줄어들어 저하되어 있는 분석호가 정상화될 확률은 없고 단지 현재 상태를 유지한다. 반면 호의 개수가 감소하면 여유용량이 늘어나게 되어 분석호가 정상화되거나 현재 상태를 유지할 확률값이 존재한다.

3.2 상태 전이 행렬의 구성

상태전이 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

$$P^{Dep}(n,x) - \binom{n}{x} (p^{Dep})^x (1-p^{Dep})^{n\ \ x} \quad (x \geq 0) \tag{2}$$

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

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

식 (2)는 n개의 호 중에서 x개가 떠날 확률로 이항분포가 된다. 식 (3)과(4)는 단위 시간 동안 신규호와 핸드오프호가 발생할 확률값을 각각 나타낸다.
상태전이확률은 (시스템의 호의 개수가 변화될 확률)×(분석호의 상태가 변화될 확률)로 구성된다.

3.2.1 호의 개수가 변화될 확률

단위시간동안 시스템의 호의 개수가 n에서 $n+k$로 전이할 확률을 $P_{n,n+k}$로 정의하자. (단, $k \geq 0$)
단위 시간동안 들어온 신규호와 핸드오프호의 개수를 각각 i와 j라 하자. (단 $i, j = 0, 1$) 이 때 k가 증가한 호의 개수를 나타낼 때는 $k_{Dep} - i+j-k$, 감소한 호의 개수를 나타내면 $k_{Dep} - i+j+k$의 관계가 성립된다. 처음 n개의 호가 있었고 단위 시간동안 신규호와 핸드오프호가 각각 i, j개 들어오고 분석호를 제외한 k_{Dep}개의 호가 떠나서 호의 개수가 k개 만큼 변화되었을 때 확률은 식 (5)(6) 과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

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

$$P_{n,n+k} = \begin{cases} \sum_{i=0}^{1}\sum_{j=0}^{1} P_{n+k}(n,k,i,j) & (1 < n < N_{th} \quad 1) \\ \sum_{j=0}^{1} P_{n+k}(n,k,j) & (N_{th} < n < N_{max}) \\ [1 \quad p^{Dep}]\, P^{Dep}(n \quad 1, k) & (n = N_{max}) \end{cases} \tag{7}$$

식 (7)은 단위 시간 동안 신규호나 핸드오프호가 들어올 수 있는 모든 경우의 수를 고려하여 전확률 공식에 대입한 것이다.

3.2.2 분석호의 상태 변화 확률

분석호의 상태가 변화될 확률은 분석호가 저하될 확률(degrade probability)과 정상화될 확률(upgrade probability)로 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 n일 때 저하된 호의 개수를 $d(n)$이라 하자. $d(n)$은 다음 식 (8)을 만족하는 최소의 양의 정수를 찾음으로 결정할 수 있다.

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

1) 저하 확률

직전에 n개의 호가 있었고 단위 시간동안 k개의 호가 증가했을 때 분석호가 저하될 확률을 $P^D(n,k)$로 정의하자.

먼저 k_{Dep}, k_d가 정해졌을 때, 정상상태에 있는 분석호가 저하될 확률은 식 (9)와 같이 나타내 진다.

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

식 (9)에서 분모는 분석호를 포함하여 정상 상태였던 호의 개수($n-d(n)$)에서 정상상태에서 떠난 호의 개수 ($k_{Dep}-k_d$)을 제한 것으로 떠나지 않고 남아있는 정상 상태의 호의 개수를 나타낸다. 분모의 최대값이 1이 될 때는 정상인 호가 분석호 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 저하시켜야할 호의 개수를 나타낸다. 분자의 최대값이 0 이 되는 경우는 $d(n+k) \leq N_{min}$ 으로서 여유용량이 충분하여 호를 저하시킬 필요가 없는 경우와 추가적으로 저하시킬 호보다 새롭게 들어온 호의 개수가 많거나 같은 경우 즉, $d(n+k)-d(n) \leq (k+k_{Dep})$ 로서 이 때 분석호는 저하되지 않으며 새롭게 들어온 호 중에서 선택적으로 저하되게 된다.

- $k-1$인 경우

$N_{th} \leq n < N_{max}$ 일 때는 떠난 호가 없고 핸드오프호가 들어온 경우밖에 없으므로 $k_{Dep} - k_d - 0$이 된다.
$1 \leq n < N_{th}$ 일 때는 떠난 호가 없고 신규호와 핸드오프호 중 하나가 들어 온 경우($k_{Dep} - k_d - 0$) 와 한 개의 호가 떠나고 신규호와 핸드오프호 모두 들어 온 경우로 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 위의 각 경우가 발생할 확률을 계산하여 기대값의 형태로 구할 수 있다.

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

- $k-2$인 경우

$1 \leq n < N_{th}$ 일 때 호가 떠나지 않고 신규호와 핸드오프호가 모두 들어오는 경우($k_{Dep} - k - 0$) 밖에 없다. 따

라서 식 (11) 과 같이 정리 된다.

$$P^D(n,2) = P^D(n,2,0,0) \tag{11}$$

- $k \neq 1, 2$인 경우

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

2) 정상화될 확률

직전에 n개의 호가 있었고 단위 시간동안 k개의 호가 감소했을 때 분석호가 정상화될 확률을 $P^U(n,k)$로 정의하자.(단, $k = 1, \cdots, n-1$)

분석호가 상승될 확률은 단위 시간 동안 들어온 호의 개수, 떠난 호의 개수, 그리고 떠난 호 중 저하된 호의 개수에 의해 결정된다. 예를 들어 $n = 14$일 때 호의 개수가 4개가 감소하여 $n = 10$으로 전이했다고 가정하자. 이 때 각각의 저하된 호의 개수는 $d(14) = 7$, $d(10) = 4$ 으로 결정되어 있다. 만약 새로 들어온 호가 없고 떠난 호만 4개였으며 그 중 저하된 호가 2개 있었다고 가정하면 다음 시점에서 정상 상태인 호는 7-2=5개, 저하된 호는 7-2=5개가 되어 5개의 호중 4개가 상승하지 못하고 남아 있게 된다. 따라서 호의 상승확률은 1-4/5=1/5 이 된다. 만약 신규호가 1개 들어 왔고 저하된 호 2개를 포함하여 5개의 호가 떠났다면 다음 시점에서 정상 상태인 호는 7-3=4개, 남아 있는 저하된 호는 7-2=5개이다. 새로운 한 개의 호는 저하되어 들어오므로 저하된 채로 남아 있어야 하는 호는 4-1=3이 되어, 저하된 채로 남아 있게 될 확률은 3/5이 된다. 호의 상승확률은 이것의 여사건의 확률이므로 1-3/5=2/5 가 된다.

직전 n개 중 k_{Dep}개의 호가 떠나서 최종적으로 k개의 호가 감소했을 때 저하되어 있던 분석호가의 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.

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

식 (12)에서 $P_U(n,k,k_{Dep}|k_d)$ 는 k_d 가 주어진 상태에서 분석호가 상승될 확률을 나타내며 분석호가 저하된 상태로 남아있게 되는 확률의 여사건의 확률로 식 (13)과 같이 정리된다.

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

식 (13)의 분수식은 분석호가 저하된 상태로 남아있게 되는 확률로서, 분모는 분석호를 포함하여 저하 상태였던 호의 개수($d(n)$)에서 저하상태로 떠난 호의 개수 (k_d)을 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 저하 되어야할 호의 개수를 나타낸다. 이 때 분자가 0을 최대값으로 갖는 경우는 저하시켜야할 호보다 새로들어온 호의 개수가 더 많은 경우이다.

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

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

위 식 (12)에 신규호와 핸드오프호가 발생할 수 있는 모든 경우의 확률을 곱하여 기대값을 계산하면 n개의 호 중 k개가 감소했을 때의 분석호가 상승될 확률을 다음 식(15)와 같이 구할 수 있다.

$$P^U(n,k) = \begin{cases} \left(\frac{1}{P_{n,n-k}}\right)\sum_{i=0}\sum_{j=0} P_{n,n-k}(n,k,i,j) \cdot P^U(n,k,i+j+k) & (1 < n < N_{th}) \\ \left(\frac{1}{P_{n,n-k}}\right)\sum_{j=0} P_{n,n-k}(n,k,j) \cdot P^U(n,k,j+k) & (N_{th} < n < N_{max}) \\ (1-p^{Dep})p^{Dep}(n-1,k) \cdot P^U(n,k,k) & (n = N_{max}) \end{cases} \tag{15}$$

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

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

3.2.3 상태 전이 행렬

$$P = \left[\begin{array}{c|c} C & Q \\ \hline I & 0 \end{array}\right] \tag{17}$$

P 는 $(2N_{max}-N_{min}+1) \times (2N_{max}-N_{min}+1)$ 차원을 갖는 상태전이 행렬이다.

Q는 $(2N_{max}-N_{min}) \times (2N_{max}-N_{min})$ 의 substochastic 행렬로서 일시적(transient) 상태간의 전이 확률을 나타내며 2차원 상태를 사전 편찬식(lexicographical)으로 배열하여 1차원으로 전환시킨 것이다.

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

Q는 다시 네 개의 submatrix로 구성되는데 P^{UU}는 $(N_{max}) \times (N_{max})$ 차원으로 분석호가 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 분석호가 주

어진 처음 상태에서 다음 상태로 전이될 확률을 나타내는 행렬이다.

C는 $(2N_{\max}-N_{\min})$ 의 열벡터로서 흡수상태(absorbing) 상태로의 전이 확률인 p^{Dep} 을 원소로 갖는다. 분석중인 호가 현재 셀을 떠나게 될 때 사건이 발생할 때 흡수상태로 전이된다.

3.3. Transient 분석을 통한 DPR 값의 계산

평균 DPR값을 구하기 위해서는 임의의 시점에 분석호가 도착하여 분석호의 초기 상태가 주어졌을 때 떠나기 전까지 평균시간과 그 중 저하 상태에 머무르는 평균 시간을 구해야 한다.

3.3.1 저하 상태에 머무르는 평균 시간

저하 상태에 머무르는 평균 시간을 구하는 것은 단위 시간 간격으로 상태가 전이되는 DTMC에서는 분석호가 저하상태를 방문하게 되는 평균회수를 구하는 것과 동일한 문제가 된다.

각 상태를 방문하는 평균 회수는 Q가 주어졌을 때 Fundamental Matrix M 을 통해 구할 수 있다. M은 다음과 같이 정의된다.

$$M=[I-Q]^{-1} \tag{19}$$

M의 각 원소 m_{ij}는 초기에 $i=(s,n)$ 상태에 있었을 때 흡수 상태로 가기 전까지 $j=(s',n')$ 상태를 방문한 평균 횟수로 정의된다. [Kishor.S , pp392-396, 2002]

$$DPR_{(s,n)}=\frac{\sum_{n\in N} m_{(s,n)(D,n')}}{\sum_{s\in S}\sum_{n\in N} m_{(s,n)(s',n')}} \tag{20}$$

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

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

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

단, $i=\begin{cases} n & (s=U) \\ (n-N_{\max})+N_{\min} & (s=D) \end{cases}$

$j=\begin{cases} n' & (s'=U) \\ (n'-N_{\max})+N_{\min} & (s'=D) \end{cases}$

3.3.2 초기 상태 확률

최종적인 호 저하 시간 비율을 구하기 위해서는 임의의 시점에서의 초기 상태를 모두 고려해야 하기 때문에 시스템의 정상 상태 확률(Steady State Probability)을 구해야 한다. 이를 위해 먼저 셀 내의 호의 개수로만 이루어진 일차원 마코프 체인을 식 (22)(23)와 같이 구성하여 시스템의 호의 개수의 분포에 대한 정상 상태 확률 벡터 (π) 를 구한다.

$$\pi=\pi\cdot R \text{ 단, } R=[r_{n,n+k}] \tag{22}$$

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

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

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

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

식 (20)과 (24)(25)이용해 최종적인 시스템의 평균 호 저하 시간 비율을 도출해 보면 식(26)과 같이 된다.

$$DPR=\beta\cdot DPR^{N_{th}(-)}+(1-\beta)\cdot DPR^{N_{th}(+)} \tag{26}$$

단,

$$DPR^{N_{th}(-)}=\frac{\sum_{s\in S}\sum_{n=1}^{N_{th}} DPR_{(s,n)}\cdot\pi_{(s,n)}}{\sum_{s\in S}\sum_{n=1}^{N_{th}}\pi_{(s,n)}} \tag{27}$$

$$DPR^{N_{th}(+)}=\frac{\sum_{n=N_{th}+1}^{N_{\max}} DPR_{(D,n)}\cdot\pi_{(D,n)}}{\sum_{n=N_{th}+1}^{N_{\max}}\pi_{(D,n)}} \tag{28}$$

$$\alpha=\frac{p^{HC}}{p^{NC}+p^{HC}},\ \beta=\frac{\alpha+(1-\alpha)(1-NCB)}{\alpha+(1-\alpha)(1-NCB)+\alpha(1-HDP)} \tag{29}$$

$$NCB=\sum_{n=N_{th}}^{N_{\max}}\pi_n,\quad HDP=\pi_{N_{\max}} \tag{30}$$

식 (26)은 제어변수인 임계값(N_{th})를 기준으로 사용자의 발생 비율이 다르게 나타나므로 식(27)(28)(29)(30) 의 식을 이용하여 초기 사용자 발생 비율만큼의 가중치를 곱하여 DPR값의 가중 평균을 계산한 것이다. 이 때 식(30)에서 NCB , HDP는 각각 신규호와 핸드오프호의 차단확률을 나타낸다.

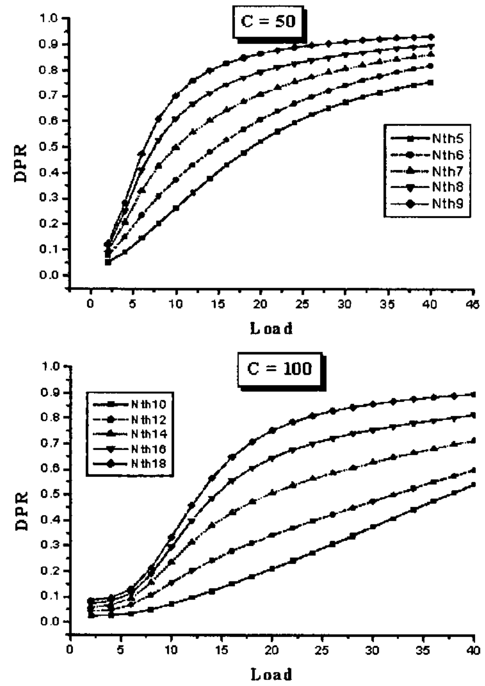
4. 실험예제

본 장에서는 위에서 제시한 DPR 추정 방법을 예제 시스템에 적용하여 실제 전이행렬을 구성하고 호 수락 제어 정책의 임계값(Threshold)의 변화에 따른 DPR 값의 변화를 도시하였다.

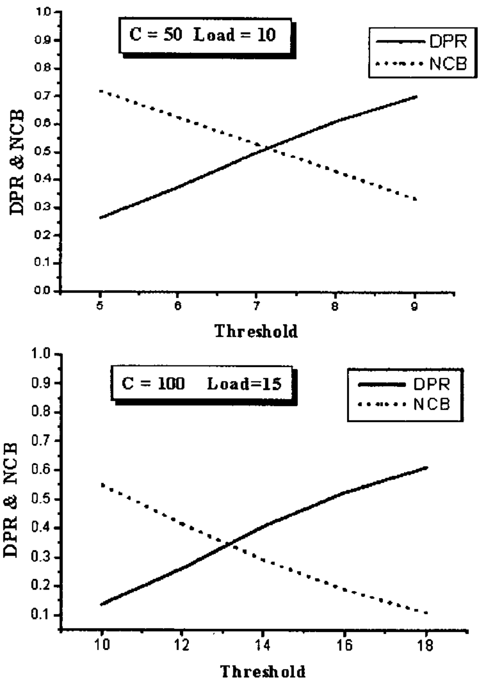
시스템의 용량은 $C=50$, $C=100$ 인 두 경우를 고려하였고 대역폭은 $b_{\max}=10$, $b_{\min}=5$ 를 적용하였다. 또한 $p^{Dep}=\frac{1}{500}$ 로, 핸드오프호와 신규호의 발생비율 $a=\frac{1}{3}$ 로 가정하였다. 여기서 $Load=\frac{p^{NC}+p^{HC}}{p^{Dep}}$ 로 정의된다.

5. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 적응형 구조를 갖는 이동 통신망에서 제시된 QoS 척도인 호 저하 시간 비율(DPR)에 대한 현실적인 추정 방법을 제시하였다. 즉, 분석호의 상태변화는 이전 시점에서의 분석호의 상태와 시스템내의 호의 개수에 의존한다는 성질을 이용하여 두 값을 상태변수로하는 이차원의 이산 시간 마코프 체인을 구성하였고, 각 상태로의 전이 확률을 계산하여 주어진 입력부하에서 시스템 전체의 평균 DPR 값을 계산하는 방법을



(그림 2) Traffic Load 에 따른 DPR값의 변화



(그림 3) 임계값에 따른 DPR & NCB의 변화

제시하였다.

실험 예제를 통하여 신규호 차단 확률값(NCB :New Call Blocking probability)과 DPR 값이 호 수락 제어 정책(CAC)의 임계값의 증가에 대해 상충되는(tradeoff) 관계가 있음을 알 수 있었다. 따라서 NCB 와 DPR 의 가중치가 정해졌을 때 QoS 를 만족시키는 임계값을 구하여 CAC 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 이루어 져야 한다.

참고 문헌

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

Chi-Hsiang Yeh "Scalable, adaptive, and reliable resource management in high-speed and mobile networks", Computer Communications and Networks, 2001. Proceedings. Tenth International Conference on, 2001, Page(s): 182-189

David G. Luenberger, "Introduction to Dynamic systems Theory, Model, and Applications", John Wiley & Sons, New York, 1979

Kishor S. Trivedi, " Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications", John Wiley & Sons, New York, 2002

M.Naghshineh and M. Willebeek-LeMair, "End-to-End QoS Provisioning in Multimedia Wireless/Mobile Networks Using an Adaptive Framework", IEEE Communications Magazine, Vol. 35, NO.11, pp72-81, Nov.1997

Peng Zhao; Huimin Zhang, "A new CAC algorithm for adaptive service in mobile network" 2001. Proceedings of 2001 International Conferences on Info-tech and Info-net, vol. 2 pp 199 204, Beijing, 2001

Ross S. M, "Introduction to Probability Models 7th ed.", Academic Press, San Diego, 2000

Taekyoung Kwon, Sooyeon Kim, Yanghee Choi,Naghshineh,M. "Threshold-type call admission control in wireless/ mobile multimedia networks using prioritised adaptive framework", Electronics Letters , Volume: 36 Issue: 9 , 27 April 2000 Page(s): 852 -854

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

T.Kwon, Y. Choi, C. Bisdikian, M. Naghshineh, "Measure Ment-based Call Admission Control for Adaptive Multimedia in Wireless/Mobile Networks", Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, vol.2 pp 540 544, New Orleans, Sep.1999

T. Kwon, I. Park, Y. Choi and S. Das, "Bandwidth Adaptation Algorithms with Multi-Objectives for Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks", Proceeding of ACMWorkshop on Wireless/Mobile Multimedia, pp 51-58, Seattle, Aug. 1999

V.Bharghavan, K. Lee, S.Lu, S. Ha, J. Li, and D. Dwyer, " The Timely Adaptive Resource Management Architecture. " IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 5, NO.8, Aug. 1998

Yang Xiao; Chen, C.L.P.; Yan Wang "Fair Bandwidth Allocation for Multi-class of Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks" Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd , Volume: 3 , 2001 Page(s): 2081 -2085

Y. Xiao, C. L. P. Chen, and Y. Wang, "Quality of Service Provisioning Framework for Multimedia Traffic in Wireless/Mobile Networks", Proceedings of Ninth International Conference on Computer Communications and Networks, pp 644 648, Las Vegas, Oct. 2000

Jain, R.; Knightly, E.W. "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. Proceedings. IEEE , Volume: 3, 1999
Page(s): 1027-1035 vol.3

Jianfeng Wang; Ming Li; Xuejun Yang; Zailu Huang, "Utility-based call admission control for adaptive mobile services"
Computer Networks and Mobile Computing, 2001. Proceedings. 2001 International Conference on , 2001 Page(s): 91 -96