

論文2002-39TC-12-3

SRN 모델을 이용한 이동통신 시스템의 호 수락 제어 기법

(Call Admission Control Techniques of Mobile Communication System using SRN Models)

魯 哲 愚 *

(Cheul Woo Ro)

요 약

이동통신 시스템에서 핸드오프호 차단확률을 줄이기 위한 전형적인 방법은 핸드오프호를 위하여 미리 정한 채널수만큼의 채널을 예약하는 것이다. 예약 채널수를 결정하는 문제는 최적화 문제로 계산의 복잡도를 가중시킨다. 본 논문에서는 미리 채널을 예약하지 않고 핸드오프호 차단확률을 줄일 수 있는 호 수락 제어 기법을 제안한다. 제안한 호 수락 제어 기법은 신규호 도착에 따른 시스템 상태에 종속하는 gain을 새로운 성능지표로 정의하고, 신규호 도착 시 계산되는 gain 값에 의한 호 수락 결정을 수행한다. SRN은 추계적 페트리 네트의 확장형으로 모델에 적절한 reward를 부여함으로써 원하는 성능지표를 쉽게 계산할 수 있는 모델링 도구이다. 본 논문에서는 gain 계산에 의한 호 수락 제어를 수행할 수 있는 SRN 모델을 개발하고 성능분석을 수행한다. SRN 모델은 2 레벨의 계층 모델로 상위 계층은 멀티미디어 트래픽에서 QoS를 고려한 호 수락 제어와 채널 할당을 나타내는 상태 구조 모델이고 하위 계층은 주어지는 상위계층의 시스템 상태에 따른 gain 값 계산을 수행하는 모델이다.

Abstract

Conventional method to reduce the handoff call blocking probability(PBH) in mobile communication system is to reserve a predetermined number of channels only for handoff calls. To determine the number of reserved channels, an optimization problem, which is generally computationally heavily involved, must be solved. In this paper, we propose a call admission control (CAC) scheme that can be used to reduce the PBH without reserving channels in advance. For this, we define a new measure, gain, which depends on the state of the system upon the arrival of a new call. The proposed CAC decision rule relies on the gain computed when a new call arrives. SRN, an extended stochastic Petri nets, provides compact modeling facilities for system analysis can be calculated performance index by associating appropriate reward to the model. In this paper, we develop SRN models which can perform the CAC with gain. The SRN models are 2 level hierarchical models. The upper layer models are the structure state model representing the CAC and channel allocation methods considering QoS with multimedia traffic. The lower layer model is to compute the gain under the state of the upper layer models.

Keywords : call admission control, gain, mobile communication, SRN, Petri nets

* 正會員, 新羅大學校 컴퓨터情報工學部

(Division of Computer and Information Engineering,
Silla Univ.)

接受日字:2002年8月26日, 수정완료일:2002年11月13日

I. 서 론

핸드오프호(handoff call) 차단확률(blocking probability)을 낮추기 위해 사용되는 전형적인 방법은 신규

호(new call)를 수용할 수 있는 여유 채널이 있더라도 이것을 고의적으로 차단시키는 것이다. 이렇게 함으로써 신규호 차단확률은 커지지만 핸드오프호 차단확률을 낮출 수 있다^[1]. 이때, 어떤 신규호를 차단시키는 것이 최선일까?. 다시 말해 어떤 신규호를 차단시키면 핸드오프호 차단확률의 감소를 최대화하면서, 신규호 차단확률의 증가를 최소화할 수 있을 것인가?. 고정 채널 할당의 대표적인 방식인 guard 채널 방식이나 채널예약(reservation) 방식은 현재 남아있는 채널을 그 판단 기준으로 사용한다^[1, 2]. 즉, 남아있는 채널수가 어떤 기준(guard 또는 예약 채널수) 이하인 경우에 신규호를 차단 한다. 이것은 직관적으로 타당해 보이지만, 최선의 방법인지에 대해서는 정확한 근거를 제시하지는 못한다. 이 두 방식에서는 각각 최적의 guard 채널 과 예약 채널의 크기를 결정하기 위하여 다음과 같이 GoS 와 Revenue를 목적 함수(objective function)로 정의하였다^[2, 3].

$$GoS = P_n + aP_h \quad (1)$$

$$Revenue = \lambda_n(1 - P_n)(w - cP_f) \quad (2)$$

식 (1)에서 a 는 핸드오프호 차단에 대한 가중치로써, $a > 1$ 의 조건을 가지며 보통 $a \approx 10$ 을 권고한다. 식 (2)에서 w 는 신규호가 수락 되었을 때 Revenue의 증가량이고 c 는 호가 강제 종료(forced termination) 되었을 때 Revenue의 감소량으로 정의된다. 일반적으로 핸드오프호 차단이 신규호 차단 보다 서비스 손실을 크게 하므로 $c > w$ 를 만족하도록 설정한다. P_f 는 강제 종료 확률로써, 수락(admission)된 호가 호 duration 동안 핸드오프 차단에 의해 강제로 종료될 확률이다^[3].

GoS나 Revenue는 망 운용자가 운용중인 무선망의 서비스 등급(service grade)을 선택하는 하나의 구체적인 기준을 제공한다는 점에서 매우 가치가 있다. 즉, 망 운용자는 a 또는 c 와 w 를 선택함으로써 제공하는 망의 서비스 등급을 설정하게 된다. 그러나 이러한 정의는 결국 최적화(optimization) 문제를 풀어야 한다는 단점을 지닌다. 실제 호 수락 결정을 하기 위해서는 guard 채널 또는 예약 채널의 크기를 결정해야 하는데, 그러기 위해서는 위의 GoS 또는 Revenue를 목적 함수로 하는 최적화 문제^[4]를 풀어야 하기 때문이다. 호 도착율이 정적인 환경에서 이것은 특별한 문제가 되지 않는다. 많은 시간이 걸리더라도 일단 한번만 풀면 되기 때문이다. 그

러나 호 도착율이 동적으로 변화하는 환경에서는 적용하기 어려워진다.

이러한 문제점을 고려하여 본 논문에서는 무선 망에서 호 도착율이 동적으로 변하는 환경에 쉽게 적용할 수 있는 새로운 성능지표로써 gain을 정의하였으며, 이를 사용한 호 수락 제어 기법을 제안한다. 성능평가 모델 및 수치적 계산을 위하여 추계적 페트리 네트의 확장형인 SRN^[5]을 이용하여 gain 및 호 수락 제어를 수행할 수 있는 모델을 개발 하였으며, 개발된 모델을 이용하여 호 수락 제어 성능지표에 대한 수치계산을 수행하고 기존 성능지표와의 비교분석을 수행한다. 또한 고급 모델링 기법인 계층모델링 기법을 이용하여 동적인 호 수락제어의 시간 복잡도를 줄인다.

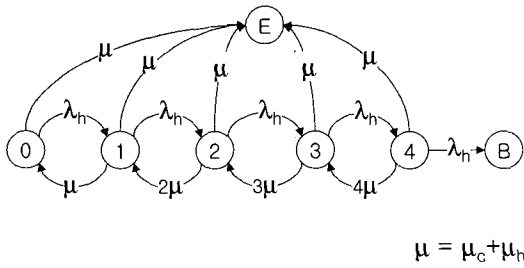
II. 호 수락 제어

1. Gain과 기본 모델

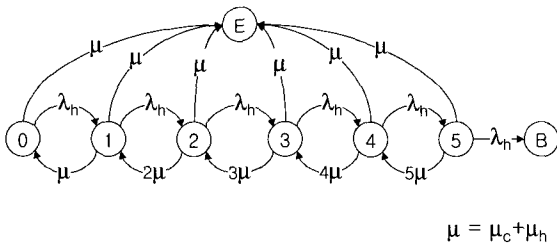
본 논문에서 제안하는 방안의 기본적인 idea는 신규호를 받아들였을 경우 그 호가 셀에 머무르는 동안 핸드오프호의 차단에 미치는 영향을 고려하는 것에서 시작한다.

다음과 같은 예를 고려하자. 셀의 전체 채널수 $C = 5$ 이고 신규호와 핸드오프호의 도착율은 각각 λ_n, λ_h 인 포아송 프로세스이고, 호 duration과 핸드오프 시간은 평균이 각각 $1/\mu_c, 1/\mu_h$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다. 신규호를 수락하는 경우, 이 신규호가 하나의 채널을 점유하고 있는 동안에 핸드오프호의 차단이 발생할 확률은 <그림 1(a)>와 같이 2개의 absorbing 상태를 가진 transient 마르코프 체인을 통하여 얻어질 수 있다. 이 모델은 상태 E, B 와 상태 n 으로 이루어진다. 상태 E 는 수락된 신규호가 채널을 점유하고 있는 동안 핸드오프호의 차단이 발생하지 않는 경우 absorb하는 상태이며 상태 B 는 핸드오프호의 차단이 발생하는 경우 absorb하는 상태이다. 상태 n 은 수락된 신규호를 제외한 나머지 호의 수가 n 인 상태로써, $n \leq C-1$ 을 만족한다.

앞의 가정에 의해 수락된 신규호가 무선 채널을 점유하는 시간은 평균 $1/(\mu_c + \mu_h)$ 인 지수분포를 따르므로 상태 n 에서 상태 E 로 천이하는 비율은 $\mu_c + \mu_h$ 이다. 상태 B 로의 천이는 핸드오프호가 발생하였을 때 가용한 채널이 부족한 경우 발생하므로, 점유된 채널수 $j = (n + 1)$ 가 C 에 있을 때 비율 λ_h 로 일어난다.



(a) 신규호 수락 경우



(b) 신규호 거절 경우

그림 1. 신규호를 위한 transient 마르코프 체인
Fig. 1. Transient markov chain for new call.

한편 신규호가 거절(reject)되는 경우는 <그림 1(b)>와 같은 transient 마르코프 체인을 통하여 얻어질 수 있다. 이때 차단된 신규호는 채널을 점유하지 않을 뿐 가상적으로는 셀에 존재하는 것처럼 모델링 되어야 한다. 왜냐하면, 이 신규호가 잠재적으로 셀에서 채널을 점유했을 시간이 모델링 되어야 하기 때문이다. 이 모델에서 셀의 상태 n 은 호의 수가 n 인 상태로써, $n \leq C$ 이며, 상태 E 와 B 는 <그림 1(a)>의 경우와 동일하다. 이러한 마르코프 체인에 대한 transient 시간분석은 Wei Wang 등이 제시한 방법을 따른다^[6]. 이 방법을 사용하여 초기상태 m 이 주어졌을 때 상태 E 또는 상태 B 로의 absorbing 확률을 구할 수 있다.

먼저 <그림 1(a)>의 신규호를 수락한 경우, 초기 상태 m 에서 상태 B 로 absorbing할 확률을 $p(m)$ 라하고 상태 E 로 absorbing할 확률을 $q(m)$ 라 하자. 즉, $p(m)$ 값은 초기 상태 m 에서 신규호를 수락하였을 때 그 호가 셀에 머무르는 동안 하나 이상의 핸드오프호가 차단될 확률이고 $q(m)$ 는 차단이 발생하지 않을 확률을 의미한다. 한편, <그림 1(b)>의 신규호를 차단한 경우, 초기 상태 m 에서 상태 B 로 absorbing할 확률을 $r(m)$ 라하고 상태 E 로 absorbing할 확률을 $s(m)$ 라 하자. $r(m)$ 값은

초기 상태가 m 에 있을 때 신규호를 차단한 경우에 그 호가 셀에 머물렀을 가상적인 시간 동안 하나 이상의 핸드오프호가 차단될 확률이고, $s(m)$ 값은 차단이 발생하지 않았을 확률이다. 이때, 확률의 정의에 의해 $p(m) + q(m) = 1$, 그리고 $r(m) + s(m) = 1$ 을 만족한다.

위의 결과를 사용하여 상태 m 에 있을 때 신규호를 차단함으로써 얻어질 수 있는 핸드오프호 차단에 대한 이득(gain) $g(m)$ 를 식 (3)과 같이 정의한다.

$$g(m) = p(m) - r(m) \quad \text{또는} \quad g(m) = s(m) - q(m) \quad (3)$$

위와 같이 정의된 gain은 다음과 같은 주목할 만한 물리적인 특성을 가진다. gain은 상태 m 에서 신규호를 수락한 경우 핸드오프호 차단이 발생할 확률 $p(m)$ 과 그 신규호를 차단한 경우 핸드오프호 차단이 발생할 확률 $r(m)$ 의 차이를 나타낸다. 따라서, gain이 큰 m 에서는 신규호를 차단 시켰을때 핸드오프호 차단확률의 감소량이 크지만 gain 값이 작은 상태에서는 신규호를 차단 시켜도 핸드오프호 차단확률이 별로 낮아지지 않는다.

2. 호 수락 정책

gain이 큰 상태들에서 신규호를 차단시킨다면 신규호 차단확률의 증가를 감수하더라도 핸드오프호 차단확률이 충분히 낮아지는 반면, gain이 작은 상태에서는 핸드오프호 차단확률의 감소에 비해 신규호의 차단 증가량이 상대적으로 크다. 이러한 gain의 특성을 바탕으로 본 논문에서는 다음과 같은 신규호 수락 결정방안을 제시한다.

현재 상태는 m 이고 신규호가 발생하였다고 가정하자.
 If $m \leq (C-1)$
 If $g(m) \leq G_r$
 accept it
 else
 reject it
 else
 reject it

위에서 첫 번째 If 문은 신규호를 받아들일 수 있는 여유 채널이 존재하는지를 검사한다. 만일 이 신규호에 할당할 수 있는 채널이 없다면 이를 차단한다. 반대로 이 신규호에 할당할 수 있는 채널이 있으면, 현재 상태인 m 의 gain 값 $g(m)$ 을 계산한다. $g(m)$ 이 미리 책정된

입계값 G_T 보다 작으면 신규호를 수락하고, 그렇지 않으면 신규호를 차단한다.

여기서 새로 정의된 gain 임계값 G_T 값은 망 운영자의 정책에 의해 선택되어야 하는 값으로써 핸드오프호에 대한 서비스 등급을 결정짓는다. G_T 값이 작을수록 신규호 차단확률은 증가하고 핸드오프호 차단확률은 낮아진다.

위 방법의 장점은 G_T 값이 주어진 경우 호 수락 결정이 길어도 단 한번의 선형 행렬 시스템의 계산에 의해 이루어진다는 점이다. 이에 반하여, revenue를 최적화하는 채널예약 방식의 경우는 처음 최적화 문제를 풀기 위한 시간이 필요하므로 동적 시스템에서 실시간 처리가 매우 어렵다.

III. SRN 모델링

1. 추계적 페트리 넷

모델링 도구로 잘 알려진 추계적 페트리 넷(Stochastic Petri Net: SPN)^[7]은 모델 규격을 명세화할 수 있는 다양한 그래픽 기능을 가지고 있으며 대응되는 연속시간 마르코프 체인(CTMC)의 해에 의해 페트리 넷 모델의 해를 구할 수 있다. 또한 추계적 페트리 넷 소프트웨어 도구인 SPNP^[8]는 페트리 넷 모델로부터 CTMC 및 CTMC의 해를 자동으로 생성하고 계산해 준다.

추계적 페트리 넷은 각 천이에 발사시간을 할당할 페트리 넷의 확장모델이다. 천이가 지수분포의 발사시간을 가지는 천이를 시간천이(timed transition)이라고 하고 0의 발사시간을 가지는 천이 즉 시간의 지체 없이 바로 발사되는 천이를 즉시천이(immediate transition)이라고 한다. GSPN(Generalized SPN)^[7]은 최소한 하나의 즉시천이가 발사가능한 vanishing 마킹과 시간천이들의 마킹인 tangible 마킹으로 구성된다. GSPN에 마킹종속, 다중금지 아크, guard 함수등의 모델링 기능을 강화하여 복잡한 시스템을 간결한 모델로 모델링할 수 있게 해준 모델이 Stochastic Reward Net(SRN)^[5]이다. SRN에서 각 tangible 마킹은 하나 이상의 reward rate를 배정받을 수 있다. 시간천이의 발사율, 다수의 입출력 아크 그리고 하나의 마킹에 대한 reward rate와 같은 파라미터는 SRN에서 장소에 있는 토큰 수에 대한 함수로 기술된다. SRN에서 모든 출력 값은 reward rate함수의 기대값으로 표현된다. 시스템의 성능지표값을 얻기 위해

서는 SRN 모델에 적당한 reward rate값을 배정하여 구할 수 있다. 본 논문에서는 성능분석을 위한 SRN 모델을 개발한다.

2. 계층 모델

대규모의 복잡한 시스템을 모델링 할 경우에는 CTMC의 상태공간이 너무 커져서 해를 구하기가 어려워지는 상태폭발 문제가 발생하게 된다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 추계적 페트리 넷 모델의 상태공간 문제를 잘 해결해 줄 수 있는 계층 모델링 기법^[10]을 이용한다. 이 기법에서는 시스템을 분리되어 모델링될 수 있는 여러 개의 서브시스템으로 나누고 이들 각각의 해를 구한 후 이를 통합하여 전체 시스템인 상위 계층 모델의 해를 구한다.

무선 망에서의 신규호와 핸드오프호의 채널할당 모델과 신규호의 발생시 호 제어를 위한 gain에 대한 모델은 다음 두 계층의 SRN 모델로 구성할 수 있다.

- 상위계층 모델: 셀에서의 신규호와 핸드오프호를 위한 호 수락 및 채널할당 SRN 모델
- 하위계층 모델: transient 마르코프 체인 분석을 위한 gain 계산용 SRN 모델

2.1 상위계층 모델

<그림 2>에서 장소 POOL은 셀 기지국에 있는 채널 풀을 나타내며 초기에 신규호와 핸드오프호를 위한 C개의 사용가능한 채널을 보유하고 있다. 천이 $tn1$ 과 $th1$ 은 신규호와 핸드오프호의 발생을 각각 나타낸다. 장소 $Pn1$ 에 있는 토큰의 수는 현재 채널을 점유하고 사용/서비스 중인 신규 및 핸드오프호의 개수를 나타낸다. 천이 $tmu1$ 은 호의 완료나 단말기가 현 셀 영역을 벗어나는 핸드오프를 나타낸다. 모델의 서비스 시간에 해당하는

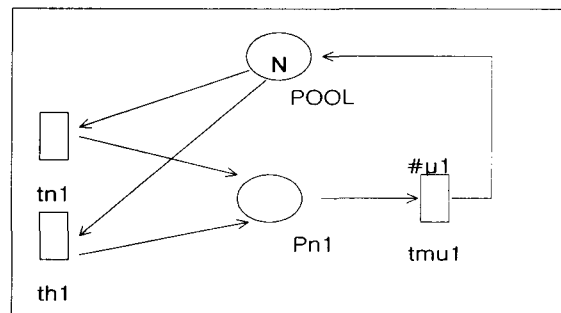


그림 2. 셀의 채널할당 SRN 모델
Fig. 2. Higher layer SRN model.

이 천이의 발사율은 SRN의 마킹중속(μ_1)으로 Pn1에 있는 토큰 수와 서비스율인 μ_1 의 곱으로 구해진다. 즉, 할당된 채널의 개수인 토큰 수에 따라 서비스 처리율은 달라진다. μ_1 은 호 완료율과 핸드오프율의 합으로 구해진다.

<그림 2>의 SRN 모델에서 POOL과 tn1 사이에 다중 아크를 사용함으로써 채널 예약방식에 대한 모델링을 수행할 수 있다. 기지국에서는 h개의 예약 채널을 핸드오프호를 위하여 예약하고 있으므로 tn1은 채널 풀에 h+1개 미만의 채널이 있으면 발사 불가능하게 되며 th1은 채널 풀에 한개 이상의 채널만 있으면 발사가능하다. 전자의 경우는 tn1에서 POOL까지의 h+1의 다중성을 갖는 다중아크에 의해 모델링 된다^[9].

2.2 하위계층 모델

핸드오프호의 발생, 채널 점유 등 모든 행동은 천이 발사에 의한 토큰 이동으로 모델링 된다. 장소 POOL에 있는 토큰 수는 해당 셀이 갖고 있는 채널수를 보여주며 이 장소에 토큰이 없는 경우 호가 발생하면 해당 호는 채널을 점유할 수 없으므로 차단하게 된다.

신규호가 하나의 채널을 점유하고 있는 과정은 우선 신규호는 장소 Pnew의 초기 토큰으로, 마르코프 체인의 상태 n은 장소 Pn1의 토큰 수로, 그리고 채널을 점유하고 있는 시간은 천이 tnew의 발사시간으로 모델링 된다. 천이 tnew의 발사는 상태 E로의 천이를 보여준다.

신규호가 하나의 채널을 Pnew에서 $1/\mu$ 시간동안 점유한 후 장소 PE로 tnew의 발사에 의하여 이동하게 되며 그 후 PE에서의 출력 천이가 존재하지 않으므로 더 이상의 토큰 이동이 없는 absorbing 상태를 만들게 된다. 즉 gain을 위한 상태 E를 모델링하게 된다.

상태 B는 핸드오프호의 차단이 발생하는 경우 absorbing하는 상태인데 이는 장소 PB로 모델링 된다. 핸드오프호의 발생은 상위 모델처럼 천이 th1에 의하여 모델링 되고 발생된 핸드오프호의 차단은 천이 t2와 POOL에서 t2로의 금지아크에 의하여 모델링 된다. 장소 POOL에 채널인 토큰이 있으면 천이 t1 발사하여 정상적인 핸드오프호의 처리를 수행하고 더 이상 토큰이 없는 경우 금지아크에 의하여 t2가 발사됨으로써 핸드오프호의 차단을 모델링 하게 된다. PB는 출력 천이가 없으므로 여기에 쌓인 토큰은 absorbing하게 된다.

2.3 도달성 그래프와 마르코프 체인

<그림 3>의 SRN 모델에 대한 transient 분석을 위하

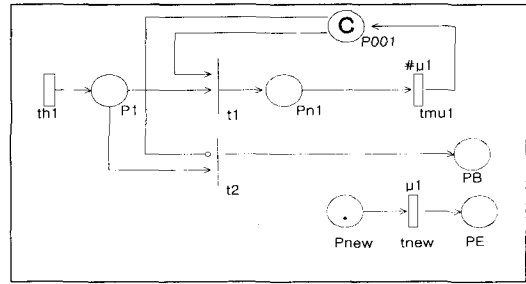


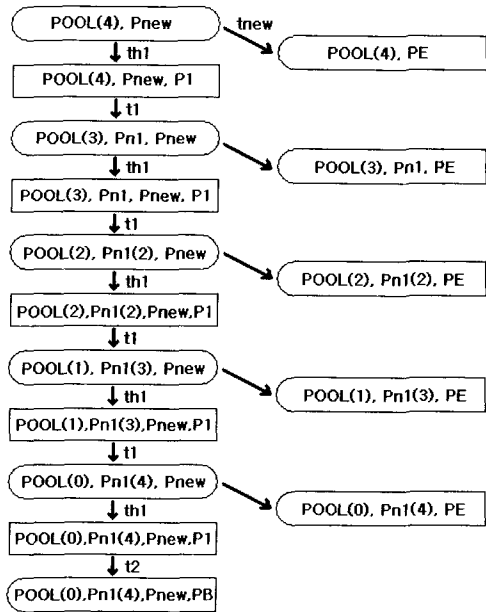
그림 3. Gain을 위한 하위계층 SRN 모델

Fig. 3. Lower layer SRN model.

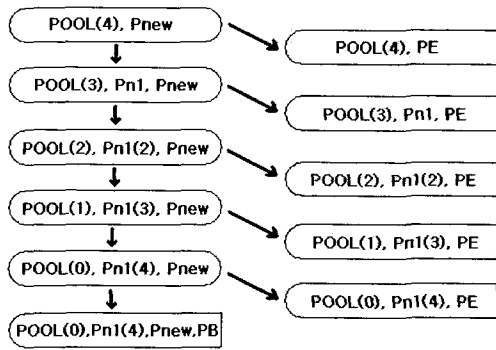
여 SPNP를 수행하면 다음 <그림 4>의 도달성 그래프(C-4)를 구할 수 있다. 도달성 그래프의 각 노드는 천이 발사에 의한 도달성 마킹을 보여주며 5개의 tangible 마킹(타원모양), 5개의 vanishing 마킹(직사각형모양)과 6개의 absorbing 마킹(좌측팔호, 우측 직선모양의 직사각형)이 생성됨을 알 수 있다. 이 중에서 vanishing 마킹은 즉시 천이인 t1 발사에 의하여 바로 다음 마킹인 tangible 마킹에 합쳐진다. 즉 5개의 tangible 마킹과 6개의 absorbing 마킹에 의한 도달성 그래프<그림 4(b)>가 완성되며 완성된 도달성 그래프는 노드를 마킹으로 갖는 마르코프 체인에 대응된다. 6개의 absorbing 마킹 중 PE를 포함하는 5개의 absorbing 마킹이 <그림 1a>의 마르코프 체인에서 E로 표현되며 PB를 포함하는 absorbing 마킹이 B로 그 외 나머지 tangible 마킹에서 Pn1의 토큰 수가 마르코프체인의 각 수로 표현된다. 즉 <그림 3>의 SRN 모델에 의하여 <그림 1>의 transient 마르코프 체인의 분석을 수행할 수 있음을 보여준다.

3. SRN에서의 호 수락 제어 기법 및 채널 할당 모델

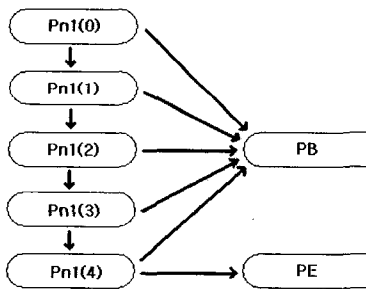
멀티미디어 이동통신의 트래픽 발생과 채널 할당은 <그림 5>의 SRN으로 모델링 할 수 있다. 음성 트래픽은 천이 tn1의 발사에 의하여 도착율 λ_{n1} 으로 발생하고 외부 셀로부터의 핸드오프호 도착은 천이 th1에 의하여 도착율 λ_{h1} 으로 발생한다. 데이터 패킷은 천이 tn2의 발사에 의하여 도착율 λ_{n2} 로 발생하고 데이터 패킷의 핸드오프호 도착은 천이 th2에 의하여 도착율 λ_{h2} 로 발생한다. 장소 Pn1, Pn2는 음성호와 데이터 호의 진행중인 호 수를 나타내며 장소에 있는 각 토큰은 점유하고 있는 채널을 나타낸다. 데이터 패킷은 호당 2개의 채널을 점유하고 있으며 호의 완료나 다른 셀로의 핸드오프시 m1과, m2의 비율로 점유하고 있는 채널을 음성호는 1개, 데이터 호는 2개의 채널을 채널 풀에 release 한다



(a) 도달성 그래프



(b) 축소된 도달성 그래프



(c) 마르코프 체인

그림 4. SRN 모델의 도달성 그래프
Fig. 4. Reachability graph of SRN model.

gain 값이 주어진 임계값 보다 작으면 신규호의 발생을 수락하고 값이 크면 거절하는 호 수락 제어 정책은

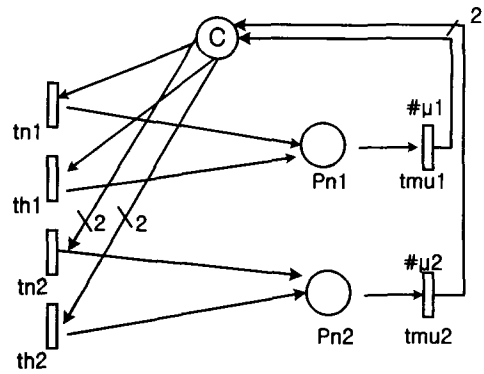


그림 5. 멀티미디어 트래픽의 채널할당 SRN 모델
Fig. 5. SRN model for multimedia traffic.

SRN 모델에서 enabling 함수를 이용하여 쉽게 실행할 수 있다. 상위계층 모델의 천이 tn1, tn2의 enabling 함수를 다음과 같이 선언한다.

```

enabling("tn1", E1); enabling_type E1()
    (if gain1 < G1T return (1) else return(0); )
enabling("tn2", E2); enabling_type E2()
    (if gain2 < G2T return (1) else return(0); )
    
```

gain 값은 상위계층 모델로부터 매개변수로 셀내 채널수 n과 현 상태에 진행 중인 호가 점유하고 있는 채널수, i 를 받은 하위계층 모델의 실행으로 구할 수 있다. 상위계층의 마킹상태는 초기 마킹 (C,0)에서 (C-1,1)... (i,j), (0,C)으로 상태천이에 의하여 변할 것이며 각 마킹 상태에서 매개변수의 값, 즉 셀내에서의 호 상태에 따라 gain 값은 동적으로 구해진다.

IV. 수치결과

1. 입력 파라미터

성능분석을 위해 사용되는 입력 데이터 및 파라미터는 다음 <표 2>와 같으며, 무선 망 안의 homogeneous 한 싱글 셀을 가정하고 신규호와 핸드오프호의 도착율은 각각 λ_n , λ_h 인 포아송 프로세스이고, 호 duration과 핸드오프 시간은 평균이 각각 $1/\mu_c$, $1/\mu_h$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다. 호 서비스 시간은 $1/\mu = 1/(\mu_c + \mu_h)$ 이 된다. C는 셀내의 전체 가용한 채널수를 의미하고 w1과 c1는 revenue의 파라미터, 그리고 GIT는 gain 임계값을 나타내며 첨자 사용시 1 = 음성, 2= 패킷 데이터를 의미한다. 핸드오프호의 발생을 λ_h 는 λ_n 에 종속하

며 $\lambda_h = (\mu_h / \mu_c) \times \lambda_n$ 의 값으로 한다[opt]. 또한 음성호는 호 당 채널을 1개, 패킷 데이터 호는 2개를 요구한다고 가정한다.

또한, 성능지표로 구해지는 호 차단확률은 신규호인 경우 gain 임계값에 의한 신규호의 거절 확률과 채널 풀의 채널 자원 부족에 의한 호 차단확률을 합친 것을 의미하며 핸드오프호인 경우는 채널 자원 부족에 의한 차단확률을 의미한다. 이들 성능지표는 SRN 모델에서 reward 기능을 부여함으로써 다음과 같이 쉽게 구할 수 있다.

```
reward_type PBN1()
    { if (EI() == 0) retrurn (1) else return(0);}
reward_type PBH1()
    { if (#(POOL) ==1) retrurn (1) else return(0);}
```

즉 SRN 모델의 도달성 분석에서 생성되는 마르코프 체인의 안정상태 확률에서 위 if 조건을 만족하는 상태에 reward 값으로 1을 부여함으로써 원하는 성능지표의 수치결과를 구할 수 있다^[5].

2. 음성 트래픽 성능분석

2.1 gain

음성호만을 고려한 경우인 <그림 2>의 상위 계층 SRN 모델의 상태 m 에 따른 하위계층 <그림 3>의 SRN 모델에서 구해지는 gain 값은 $C = 10, \lambda_n = 5.0, \mu_c = 1.0, \mu_h = 0.6$ 을 사용하였을 때 <그림 6>과 같이 얻어진다.

위의 결과는 gain이 채널 점유에 대한 증가함수이고 채널 점유가 최고치 일 때 gain 값이 급속도로 증가함을 보여준다. 한편, 이러한 결과는 채널예약 방식에서의 예약 채널수와 본 논문에서 제안된 방식의 G_T 값이 매

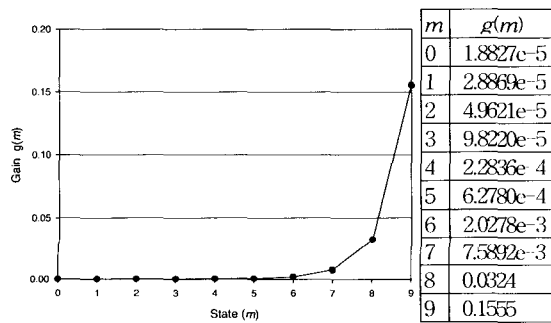


그림 6. 마르코프 체인의 각 상태에서의 gain 값
Fig. 6. Example of gain.

표 1. G_T 에 따른 호 차단확률
Table 1. Call blocking probabilities as function of G_T .

| G_T | PBN | PBH |
|-----------------------|--------------|--------------|
| 1.0 ~ 0.1555 | 1.838457e-02 | 1.838457e-02 |
| 0.1555 ~ 0.0324 | 4.417089e-02 | 6.974352e-03 |
| 0.0324 ~ 7.5892e-3 | 8.588898e-02 | 2.689634e-03 |
| 7.5892e-3 ~ 2.0278e-3 | 1.504521e-01 | 1.065827e-03 |
| 2.0278e-3 ~ 6.2780e-4 | 2.421754e-01 | 4.411694e-04 |

표 2. 채널예약 방식에서의 수치결과($C=10, \lambda_n=5.0, \mu_c=1.0, \mu_h=0.6$)
Table 2. Result of the channel reservation scheme($C=10, \lambda_n=5.0, \mu_c=1.0, \mu_h=0.6$).

| h | PBN | PBH | revenue |
|---|--------------|--------------|----------|
| 0 | 1.838457e-02 | 1.838457e-02 | 4.640332 |
| 1 | 4.417089e-02 | 6.974352e-03 | 4.679568 |
| 2 | 8.588898e-02 | 2.689634e-03 | 4.533735 |
| 3 | 1.504521e-01 | 1.065827e-03 | 4.234166 |
| 4 | 2.421754e-01 | 4.411694e-04 | 3.784110 |
| 5 | 3.613964e-01 | 1.949454e-04 | 3.191151 |
| 6 | 5.036728e-01 | 9.443477e-05 | 2.480933 |

우 밀접하게 연관된다. 예로 $0.1555 > G_T > 0.0324$ 이면, <그림 6>에서 gain이 G_T 보다 커서 신규호가 거절되는 상태는 state(9) 뿐이다. 이것은 채널예약 방식에서 예약 채널수가 1인 경우와 동일함을 알 수 있다. 반면에 $0.0324 > G_T > 7.5892e-3$ 이라면, 신규호가 거절되는 상태는 state(8) 과 state(9) 이며, 채널예약 방식에서 예약 채널수가 2인 경우와 동일해진다. 즉, G_T 값의 선택은 이에 상응하는 예약 채널수를 선택한 채널예약방식과 동일한 결과를 가져온다(음성호만을 고려한 경우).

위의 예에서 G_T 값의 변화에 따라 얻어지는 호 차단 확률의 변화는 <표 1>과 같다. PBN은 신규호 차단 확률, PBH는 핸드오프호 차단 확률을 나타낸다.

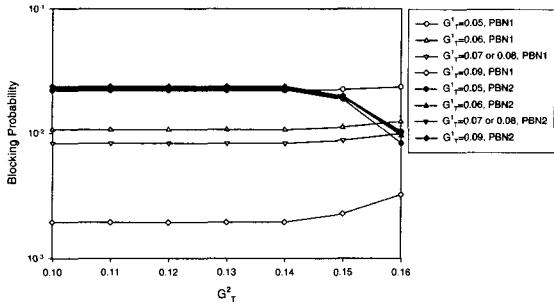
2.2 채널 예약 방식과의 비교

본 논문에서 제안하는 호 수락 제어 기법은 기본적으로 gain 임계값 G_T 값을 신규호 수락의 기준으로 사용한다. 이에 반하여 채널예약 방식은 revenue 값을 그 기준으로 사용한다. G_T 의 선택은 revenue함수에서 c 와 w 를 선택하는 것과 유사한 문제로서 경험적 결과를 필요로 한다.

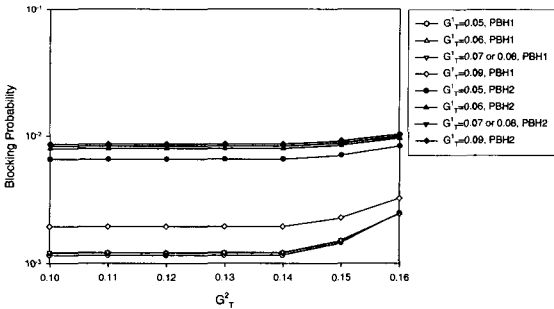
<그림 2>의 모델에 예약 채널을 위한 다중 아크를

표 3. gain 모델에서의 수치결과($C=10, \lambda_n=5.0, \mu_c=1.0, \mu_h=0.6$)
 Table 3. Result of the proposed scheme($C=10, \lambda_n=5.0, \mu_c=1.0, \mu_h=0.6$).

| G_T | PBN | PBH | revenue | 비고 |
|---------------------|--------------|--------------|----------|-----|
| 1.0 ~ 0.1555 | 1.838457e-02 | 1.838457e-02 | 4.640332 | h=0 |
| 0.1555 ~ 0.0324 | 4.417089e-02 | 6.974352e-03 | 4.679568 | h=1 |
| 0.0324 ~ 7.5892e-3 | 8.588898e-02 | 2.689634e-03 | 4.533735 | h=2 |
| 7.5892e-3~2.0278e-3 | 1.504521e-01 | 1.065827e-03 | 4.234166 | h=3 |
| 2.0278e-3~6.2780e-4 | 2.421754e-01 | 4.411694e-04 | 3.784110 | h=4 |



(a) PBN1, PBN2



(b) PBH1, PBH2

그림 7. G_T^1 과 G_T^2 변화에 따른 호 차단 확률
 Fig. 7. Call blocking probabilities as function of G_T^1 and G_T^2 .

사용하면 채널예약 방식을 모델링 할 수 있으며^[10] 예약 채널 크기에 따른 차단확률과 revenue의 값($w=1.0, c=5.0$)을 구해보면 <표 2>와 같다.

한편, <표 3>에서는 본 논문에서 제시한 방안에서 gain의 임계값 G_T 와 채널 예약 방식의 h 값과의 관계를 보여준다. G_T 값의 설정에 따라 h 값에 의한 성능지표의 수치결과가 같음을 알 수 있다.

3. 멀티미디어 트래픽 성능분석

3.1 G_T^1 따른 차단확률

<그림 3>의 음성호와 데이터 호를 같이 고려한 멀티미디어 트래픽 환경의 SRN 모델에서 gain 임계값 G_T^1 에 따른 호 차단확률은 <그림 7>과 같으며 G_T^1 값이 작아질수록 신규호 차단확률 PBN1과 PBN2는 커지며, 반대로 핸드오프호 차단확률 PBH1과 PBH2는 낮아짐을 알 수 있다. 이때, PBN1과 PBH1은 각각 음성 신규호와 음성 핸드오프호의 차단확률이고, PBN2와 PBH2는 데이터 신규호와 데이터 핸드오프호의 차단확률을 나타낸다.

<그림 7>은 $C = 10, \lambda_n^1 = 1.5, \lambda_n^2 = 1.0, \mu_1 = \mu_c^1 + \mu_h^1, \mu_2 = \mu_c^2 + \mu_h^2, \mu_c^1 = \mu_c^2 = 1.0, \mu_h^1 = \mu_h^2 = 0.6$ 을 사용하였을때, G_T^1 과 G_T^2 값 변화에 따라 얻어지는 음성 및 데이터 트래픽에 대한 신규호 차단확률(PBN1, PBN2)과 핸드오프호 차단확률(PBH1, PBH2)의 결과이다. <그림 7>과 같이 G_T^1 이 작을수록 음성 트래픽의 핸드오프호 차단확률 PBH1은 감소하고 신규호 차단확률 PBN1은 증가함을 알 수 있다. 또한 G_T^2 가 작을수록 PBH2는 감소하고 대신 PBN2는 증가한다. 이러한 모습은 본 논문에서 제안하는 gain이 가지는 속성에 기인한다. 그런데 <그림 7>에서 보면 G_T^2 가 커지면서 PBH1과 PBN1이 약간 증가함을 볼 수 있다. 이것은 G_T^2 가 커지면 데이터 트래픽의 신규호 수락이 더 많아져서 데이터 트래픽의 채널 점유율이 높아지고 그만큼 음성 트래픽이 차단될 확률이 증가하기 때문이다. 반대로 G_T^1 이 커지면 PBH2와 PBN2가 약간 증가함을 볼 수 있는데 앞의 설명과 동일하게 설명된다.

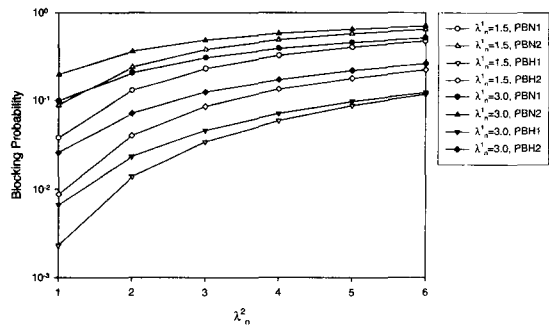


그림 8. 제공 트래픽에 따른 차단확률($C = 10, \mu_1 = \mu_2 = 1.6, G_T^1 = 0.1, G_T^2 = 0.2$)
 Fig. 8. Call blocking probabilities as function of traffic load.

<그림 8>은 제곱 트래픽에 따른 호 차단확률 특성으로 데이터 트래픽의 도착율 λ_n^2 이 증가함에 따라 호 차단 확률이 증가함을 보여주고 있다. 특히 데이터 트래픽의 신규호에 대한 차단확률(PBN2)이 가장 커짐을 알 수 있는데 이는 하나의 데이터 트래픽 호가 점유하는 채널수(2개)가 하나의 음성호가 점유하는 채널수(1개)보다 많아서 음성호에 비해 차단될 가능성이 높아지고, 데이터 트래픽 신규호에 대한 gain 임계값 G^2_T 를 G^1_T 의 두 배로 정한 것과, 데이터 패킷의 평균 서비스율인 1.6에 비하여 도착율이 1에서 6으로 상대적으로 커졌기 때문이다. PBHI의 수치결과가 가장 작은 것은 데이터호와는 달리 음성호, 특히 음성 핸드오프 호는 1개의 채널만 남아있어도 수락되므로 다른 호보다 차단될 가능성이 적은데다가, G^1_T 값에 기인하여 음성 신규호가 차단되는 대신 그만큼 음성 핸드오프 호가 더 수락될 가능성이 높아지기 때문이다. 이와 같이 호 도착율이 증가함에 따라 전체적으로 차단 확률이 증가하고 gain의 주어진 임계값에 종속하여 신규호의 차단확률이 핸드오프호의 차단확률보다 커짐을 알 수 있다.

V. 결 론

이동통신 시스템에서의 호 수락 제어를 위한 판단 기준으로 gain 임계값을 사용하였다. gain은 핸드오프호에 우선순위를 주기위하여 신규호 수락 결정시 사용할 수 있는 적절한 성능지표로 볼 수 있다. 채널예약방식의 예약 채널수와 본 논문에서 제안한 방식의 G_T 값이 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 음성 트래픽만을 고려하는 싱글 클래스인 경우는 적절한 G_T 값의 선택이 기존의 채널예약방식과 동일한 수치 결과를 나타냄을 확인하였다.

gain 계산에 의한 호 수락 제어를 수행할 수 있는 SRN 모델을 2 레벨의 계층 모델로 개발하고 성능분석을 수행하였다. 상위 계층 모델은 멀티미디어 트래픽의 발생과 호 수락 결정 및 채널 할당에 대한 모델을 개발하였으며 하위 계층 모델에서는 상위 계층의 시스템 상태에 따른 gain을 계산 할 수 있는 모델을 개발하여 상위계층에서 호 수락 결정을 할 수 있게 하였다.

본 논문에서 제안한 gain은 성능분석을 위한 새로운 지표로 사용될 수 있을 것이며 SRN 모델은 어려운 수치분석을 손쉽게 해 줄 수 있는 모델링 도구로 향후의

이동통신 시스템 모델링 및 성능분석에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] D. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. vt-35, no. 3, pp. 77~92, Aug. 1986.
- [2] Selma Boumerdassi and Andr-Luc Beylot, "Adaptive Channel Allocation for Wireless PCN," Mobile Networks and Applications, vol. 4, pp. 111~116, 1999.
- [3] C. Vargas, M.V. Hegde, and M. Naraghi-Pour, "Blocking Effects of Mobility and Reservations in Wireless Networks," Proc. of ICC'98, pp. 1612-1616, 1998.
- [4] G. Haring, R. Marie, R. Puigjaner, and K. S. Trivedi, "Loss formulae and their optimization for cellular networks", IEEE Trans. on VT, 50(3), 664-673, May 2001.
- [5] G. Ciardo, A. Blakemore, P. F. Chimento, et al, "Automated generation and analysis of Markov reward models using stochastic reward nets", Linear Algebra, Markov Chains, Queueing Models, IMA Volumes in Mathematics and its Applications(C. Meyer & R. J. Plemmons, Eds), Vol 48, 1993, pp 145~191.
- [6] W. Wang, H. Choi and Kishor S. Trivedi, "Analysis of Conditional MTTF of Fault-Tolerant System," Microelectronics & Reliability, V.38, N.3, 1998.
- [7] Ajmone-Marsan A., Balbo G., "A class of generalized stochastic Petri nets for the performance evaluation of multiprocessor systems", ACM Trans. Comp. Systems, Vol.2, No.2, pp. 93~122, 1984.
- [8] G.Ciardo, K.S.Trivedi, "SPNP Users Manual, Version 5.01", Technical report, Duke Univ.,

