
CDMA 시스템의 채널 최적화

Channel Optimization in CDMA Systems

노철우*, 김경민*, 이광의*
신라대학교 컴퓨터정보공학부*, 동의대학교 멀티미디어공학과**

Cheul-Woo Ro(cwro@silla.ac.kr)*, Kyung-Min Kim(cybermin@silla.ac.kr)*,
Kwang-Eui Lee(kelee@deu.ac.kr)**

요약

CDMA 시스템에서 핸드오프 호를 최소화하는 것은 사용자 만족도 평가에 매우 중요한 요인이다. 본 논문에서는 셀의 영역을 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역으로 분할하고, 각각의 영역에서 서로 다른 가드채널 수를 갖게 함으로서 핸드오프 호를 최소화할 수 있음을 보인다. 이를 위하여 SRN을 기반으로 하여 정규영역과 소프트 핸드오프 영역으로 분할된 셀을 모델링하고, 성능 분석을 수행한다.

■ 중심어 : | 호 수락제어 | 채널 할당 | 추계적 페트리네트 |

Abstract

In a CDMA system, minimizing handoff calls is an important factor for user satisfaction. In this paper, we divide the cell area into two regions: normal region and soft handoff region. And, we show that differentiating the guard channel numbers in those two regions make handoff calls minimized. We develop an SRN based cell model consists of normal and soft handoff region and analyze the performance of the model.

■ keyword : | Call Admission Control | Channel Allocation | Stochastic Reward Nets |

1. 서론

셀 기반의 통신 시스템에서 통신서비스 영역은 셀(cell)이라 불리는 작은 영역들로 구분되어 있으며, 각 셀 영역에 포함된 이동단말(MS: mobile station)은 셀의 중심에 위치한 기지국(BS: base station)을 통하여 통신 서비스를 받게 된다. 셀 기반의 시스템에서 각 셀은 동시통화 수에 대한 상한 즉, 채널 용량을 갖게 된다. 이에 따라 현재 셀의 통화량이 상한보다 크다면 이 셀에서는 새로운 호(call)에 대하여 서비스를 개시할 수 없게

되며, 요청된 호는 차단(block)된다. 셀 기반의 CDMA 통신 시스템에서의 채널용량은 간섭에 의하여 제한된다 [1]. 이때, 동시통화 수의 증가에 따라 사용자의 백그라운드 잡음이 증가하므로 현재 통화량인 유효로드(EL: effective load)에 따라 요청된 호가 차단 또는 승인된다.

호의 차단확률을 고려할 때 요청된 호는 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 현재 셀에서 신규로 발생한 호이며, 이를 신규 호라 한다. 두 번째는 이동단말이 통화 중에 현재의 셀을 이탈하여, 이웃 셀로 이동하는 경우 발생하는 호의 요청이다. 이때 기존 셀에서 이동단말에

할당되어 있던 채널자원은 시스템에 돌려지며, 이동단말은 새로운 셀로부터 채널자원을 할당받아야 한다. 이 과정을 핸드오프 과정이라 하며, 이때 요청되는 호를 핸드오프 호라 한다.

사용자 만족도 측면에서 핸드오프 호의 차단(이를 분실이라 한다)은 신규 호의 차단보다 더 치명적이다. 따라서 신규 호의 차단확률을 높이고, 핸드오프 호의 분실확률을 줄임으로서 사용자 만족도를 증가시킬 수 있다. 이때, 사용자의 만족도 계산을 위한 척도로서 신규 호의 차단확률과 핸드오프 호의 분실확률을 함께 고려한 *GoS*(Grade of Service)가 주로 사용된다[2].

핸드오프 호의 분실확률을 줄이기 위한 전형적인 방법은 핸드오프 호를 위하여 미리 정한 수 만큼의 채널을 예약하는 가드 채널 방식[3][4]과 핸드오프 호의 큐잉을 허용하는 큐잉방식[5]이 대표적이다.

CDMA 시스템에서는 셀 경계 지역에서 이동단말이 서비스를 받고 있는 기지국과 접속을 계속 유지하면서 새로 할당된 기지국과 접속하여 두 개 이상의 기지국으로부터 동시에 서비스를 받는 소프트 핸드오프 기법을 제공한다. 소프트 핸드오프 기법의 적용으로 기존의 핸드오프를 수행할 때 나타나는 통화의 일시적인 중단이 없게 되고 핑퐁(ping pong) 현상이 해결되어 핸드오프 호의 분실확률을 줄일 수 있다[6].

본 논문에서는 셀의 영역을 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역으로 분할 한 후 각 영역에서 서로 다른 가드 채널 수를 할당하여, 동일한 환경에서의 *GoS* 값을 낮추고자 한다. 이를 위해 SPN(Stochastic Petri Net)의 확장형인 SRN(Stochastic Reward Net)을 이용하여 호 수락정책 모델을 개발한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II에서 모델링 및 성능 분석 도구인 SRN에 관하여 기술하고, III에서는 시스템의 이동성 모델과 이에 따른 호 수락정책을 제안하고, IV에서 제안된 정책을 SRN을 이용하여 모델링하여 이를 계산한다. V에서는 수치결과를 보이고, 마지막으로 VI에서 결론을 맺는다.

II. SRN

모델링 도구로 잘 알려진 SPN[7]은 모델 규격을 명세화할 수 있는 다양한 그래픽 기능을 가지고 있으며 대응되는 연속시간 마르코프 체인(CTMC:Continuous Time Markov Chain)의 해에 의해 페트리 넷 모델의 해를 구할 수 있다. SPN은 각 천이에 발사시간을 할당한 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 발사 가능한 무형(vanishing) 마킹과 시간천이들의 마킹인 유형(tangible) 마킹으로 구성된다. GSPN에 마킹중속, 다중금지 아크, 가드함수 등의 모델링 기능을 강화하여 복잡한 시스템을 간결한 모델로 모델링할 수 있게 해준 모델이 SRN이다. SRN에서 각 유형 마킹은 하나 이상의 보상률(reward rate)을 배정 받을 수 있다. 시간천이의 발사율, 다수의 입출력 아크 그리고 하나의 마킹에 대한 보상률과 같은 파라미터는 SRN에서 장소에 있는 토큰 수에 대한 함수로 기술된다. SRN에서 모든 출력 값은 보상률 함수의 기대값으로 표현된다. 시스템의 성능지표 값을 얻기 위해서는 SRN 모델에 적당한 보상률 값을 배정하여 구할 수 있다. SRN 모델의 해를 구하기 위해 SRN 소프트웨어 도구인 SPNP[8]를 사용한다. SRN은 SPNP에 의해 마르코프 보상 모델(Markov Reward Model)로 변환되며, 마르코프 보상 모델의 성능분석으로 SRN에서 지정한 성능지표를 구하게 된다. 즉 SRN 모델은 다음 단계에 의하여 해석적-수치적으로 해를 구할 수 있다.

첫째, 모델로부터 도달성 그래프가 생성되며 둘째, 도달성 그래프는 마르코프 보상 모델로 변환된다. 셋째, 마르코프 보상 모델은 수치적으로 해를 구하며, 마지막으로 구해진 해의 기대값으로 성능지표를 계산한다.

III. 호 수락정책

3.1 이동성 모델

CDMA 시스템에서는 각 셀은 이웃 셀과 교차되고, 두 셀의 교차 영역이 소프트 핸드오프 영역이 된다. 따라서 하나의 셀을 고려하면 각 셀은 [그림 1]과 같이 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역으로 나누어진다. 소프트 핸드오프 영역은 이웃 셀과의 교차영역으로 이 영역에서 이동단말은 관련된 셀로부터 모두 서비스를 받을 수 있다.

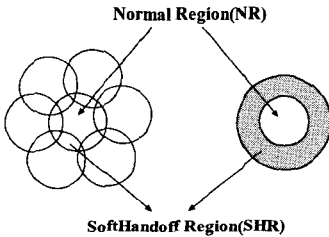


그림 1. CDMA 시스템의 영역 구분

[그림 1]과 같이 영역이 구분이 되면 신규 호는 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역에서 발생되고 핸드오프 호는 소프트 핸드오프 영역에서 발생된다. 본 논문에서는 핸드오프 호를 위한 가드채널을 할당하기 위해 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역에서 발생하는 신규 호에 대해 각각 다른 가드채널 수를 할당한다.

3.2 유효로드 계산에 의한 호 수락정책

[그림 1]에서 핸드오프 호는 이동단말이 정규 영역에서 소프트 핸드오프 영역으로 이동하는 경우와 이웃 셀에서 대상 셀로 이동한 경우 즉, 소프트 핸드오프 영역으로 이동하는 경우에 발생된다. [그림 2]는 핸드오프 호의 수락 제어 절차를 보여준다.

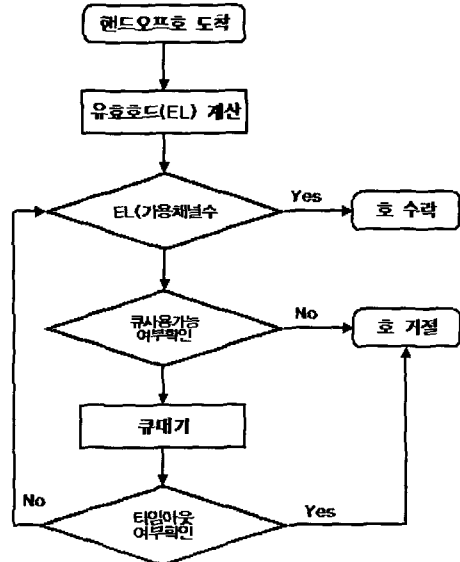


그림 2. 핸드오프 호 수락정책

핸드오프 호가 발생되면 대상 셀은 유효로드(EL)를 계산하고, 유효로드 수가 가용채널 수(N)보다 작으면 호를 수락한다.

호가 수락되지 않으면 요청된 호는 큐에 저장된다. 이때, 큐의 여유 공간이 없으면 요청된 호는 분실된다. 큐에 저장된 호는 타이머가 할당되어, 타임아웃이 발생하기 전까지 큐에서 대기한다. 대기하고 있는 호는 주기적으로 유효로드를 계산하여, 유효로드가 가용채널 수보다 작은 경우 호가 수락된다. 그렇지 않은 경우 대기하고 있는 호에 타임아웃이 발생하면 요청된 호는 분실된다.

신규 호는 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역에서 각각 발생된다. 핸드오프 호를 위하여 가드채널이 할당됨으로 신규 호는 유효로드가 가드채널 수보다 많은 경우에만 수락되고 그렇지 않은 경우는 요청이 차단된다.

가드채널을 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역에 각각 g_n 과 g_h 로 다르게 할당하면, 발생하는 영역에 따라 수락정책을 달라진다. [그림 3]은 신규 호의 수락 제어 절차를 보여준다.

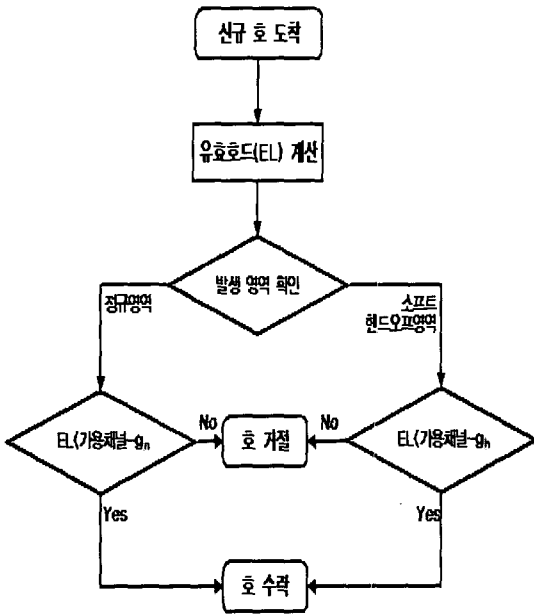


그림 3. 신규 호 수락정책

IV. 시스템 모델

[그림 4]는 소프트 핸드오프를 고려한 호 수락제어 SRN 모델이다.

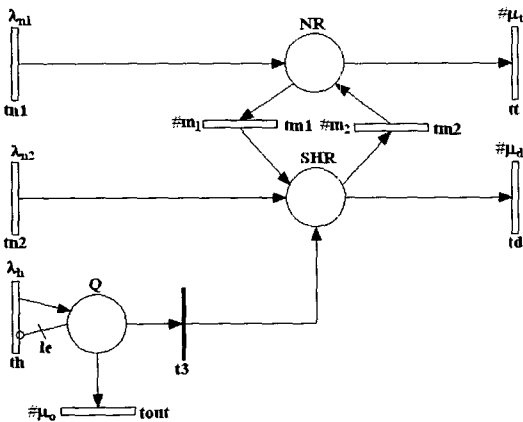


그림 4. 소프트 핸드오프를 고려한 호 수락제어 SRN 모델

장소 NR과 SHR의 토큰 수는 각각 정규 영역과 소프

트 핸드오프 영역에서 사용 중인 채널 수를 나타낸다. 따라서 셀 내에서 실제로 사용되고 있는 유효호드는 식 (1)로 계산된다[9].

$$EL = N_1 + \alpha N_2 \tag{1}$$

여기서 N_1 은 NR에 있는 토큰의 수이고, N_2 는 SHR에 있는 토큰의 수이고 α 는 전체 셀 영역에 대한 소프트 핸드오프 영역의 비율로 식 (2)와 같다[10].

$$\alpha = \frac{\text{the area of SHR}}{\text{the area of cell}} \tag{2}$$

천이 tn_1 과 tn_2 는 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역에서 각각 발생하는 신규 호의 발생을 나타낸다. 신규 호의 발생률을 λ_n 이라고 하면 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역의 발생률은 각각 $(1-\alpha)\lambda_n$ 와 $\alpha\lambda_n$ 이 되고, λ_n 과 λ_n 로 나타낸다.

정규 영역과 소프트 핸드오프 영역에서 발생하는 신규 호에 대해 핸드오프 호를 고려하여 가드채널을 각각 g_n 과 g_h 로 모델링하면, 신규 호의 발생을 나타내는 천이 tn_1 과 tn_2 의 발사 조건은 [표 1]과 같다.

표 1. 신규 호를 위한 발사 조건 함수

천이 tn_1 의 발사 조건 함수
$if (\#("NR") + \alpha * \#(SHR) <= N - g_n) return(1); else return(0);$
천이 tn_2 의 발사 조건 함수
$if (\#("NR") + \alpha * \#(SHR) <= N - g_h) return(1); else return(0);$

천이 tn_1 과 tn_2 는 가입자가 정규 영역에서 소프트 핸드오프 영역으로 이동하는 경우와 소프트 핸드오프 영역에서 정규 영역으로 이동하는 경우를 모델링하고 각각의 도착률은 m_1 과 m_2 이다.

천이 th 는 도착률이 λ_h 인 포아송 분포를 따르는 핸드오프 호의 발생을 나타낸다. 천이 th 가 발사되어 핸드오프 호가 발생하면 장소 Q에 놓이게 되고, 가용 채널이 있으면 즉시 천이 t_3 이 [표 2]의 발사 조건에 의해 소프트 핸드오프 영역으로 발사된다.

표 2. 핸드오프 호를 위한 발사 조건 함수

천이 t_2 의 발사 조건 함수 $if \#("NR") + \alpha * \#(SHR) < N) return(1); else return(0);$

핸드오프 호는 유효로드 수가 전체 가용 채널 수 N 보다 크면 발사되지 않고 장소 Q 에 대기하게 된다. 만약 천이 t_{old} 에 의해 타임아웃이 발생하게 되면 핸드오프 호는 분실되고 이때, 타임아웃 발생률은 μ_o 이다. 또한, 천이 h 의 다중금지 아크에 의해 큐의 크기 l_e 보다 크게 되면 핸드오프 호는 분실된다.

천이 h 는 정규 영역에서 호의 정상적인 종료율 나타내고 천이 h 는 소프트 핸드오프 영역에서의 정상적인 종료율과 이 영역을 벗어나는 핸드오프를 나타낸다. 서비스 시간에 해당하는 천이 발사율은 각각 μ_t 와 μ_d 이고, 이는 SRN의 마킹 종속(#으로 표현)으로 해당 장소에 있는 토큰의 수와 서비스율의 곱으로 구해짐으로 할당된 채널 개수인 토큰 수에 따라 서비스 처리율이 달라진다. 정규 영역의 토큰 수 i , 소프트 핸드오프 영역의 토큰 수 j 그리고 핸드오프 큐의 토큰 수 k 라고 하면 각 상태 (i, j, k) 의 모든 상태공간은 식 (3)과 같이 정의된다.

$$S = \{s = (i, j, k) | 0 \leq i + j \leq N, 0 \leq k \leq l_e\} \quad (3)$$

여기서 토큰 수 i 와 j 는 해당 영역에서 채널을 할당 받은 신규 호와 핸드오프 호의 수를 의미하며, k 는 채널을 할당받지 못하고 대기 중인 핸드오프 호의 수를 의미한다.

[그림 5]는 $N=4, g_n=2, g_h=1, l_e=1$ 인 경우 [그림 4]의 SRN 모델로부터 생성되는 도달성 그래프와 동형인 CTMC를 보여준다[11].

상태 공간 S 에 관한 상태 천이율 $\Lambda_1, \Lambda_2, M_d$ 의 조건식은 식 (4), (5), (6)과 같다.

Λ_1 은 정규 영역에서 발생하는 신규 호의 발생률에 의한 상태 천이율을, Λ_2 는 소프트 핸드오프 영역에서 발생하는 상태 천이율을 나타내며 주어진 상태에서의 (i, j, k) 값, 즉 식 (4), (5), (6)의 주어진 조건식에 따라 해당 천이율을 갖게 된다. 예로, Λ_2 의 조건식 중, 큐에서 대기

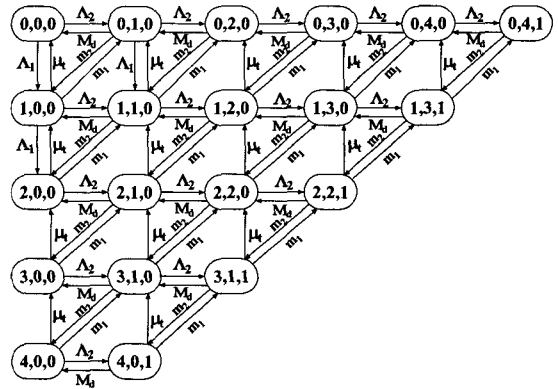


그림 5. SRN모델의 CTMC

중인 핸드오프 호가 없고, 현재 사용 중인 채널 수가 $N-g_h$ 보다 작은 경우 ($0 \leq i + j \leq N - g_h, k = 0$) 가용채널이 가드채널 이상 있으므로 정규영역과 소프트 핸드오프 영역에서 전부 호 발생이 가능하며 이는 $\lambda_{n2} + \lambda_h$ 의 천이율을 갖게 된다. 이와 마찬가지로 [그림 4]의 SRN 모델에서 생성되는 도달성 그래프와 이와 동형인 CTMC에 대한 상태 천이의 조건은 각각 식 (4), (5), (6)의 if 문으로 주어진다.

$$\Lambda_1 = \begin{cases} \lambda_{n1} & \text{if } 0 \leq i + j \leq N - g_n, k = 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\Lambda_2 = \begin{cases} \lambda_{n2} + \lambda_h & \text{if } 0 \leq i + j \leq N - g_h, k = 0 \\ \lambda_h & \text{if } N - g_h \leq i + j \leq N, k = 0 \\ \lambda_h & \text{if } i + j = N, 0 < k < l_e \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$M_d = \begin{cases} \mu_t & \text{if } 0 \leq i + j \leq N - g_h, k = 0 \\ \mu_t + \mu_d & \text{if } N - g_h \leq i + j \leq N, k = 0 \\ \mu_t + \mu_d + \mu_o & \text{if } i + j = N, 0 < k < l_e \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

V. 성능지표 및 수치결과

5.1 성능지표

본 논문에서는 신규호의 차단율과 핸드오프 호의 분실확률을 함께 고려한 GoS를 구하여 최적의 가드채널 g_n 과 g_h 를 구한다. GoS는 식 (7)로 구할 수 있다.

$$GoS = P_b + \omega P_d \quad (7)$$

여기서, P_b 는 신규 호의 차단 확률, P_d 는 핸드오프 호의 분실 확률이다. 또한 ω 는 핸드오프 호 분실과 신규 호 차단의 치명적인 정도의 비를 나타내는 가중치로 일반적으로 10이 활용된다[12].

신규 호 차단 확률 P_b 를 구하기 위해 그림 4의 SRN 모델에 보상률을 부여한다[13]. 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역의 보상률은 [표 3]과 같다.

표 3. 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역의 보상률

구분	계산식
정규영역 보상률 r_{NR}	$r_{NR} = \begin{cases} 1 & \text{if } \#EL < g_n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
핸드오프 영역 보상률 r_{SHR}	$r_{SHR} = \begin{cases} 1 & \text{if } \#EL < g_h \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

따라서 셀 전체의 신규 호의 차단 확률 P_b 는 식 (8)과 같다.

$$P_b = (1-a)r_{NR} + ar_{SHR} \quad (8)$$

핸드오프 호는 큐잉된 호가 타임 아웃되는 경우와 큐에 여유 공간이 없을 경우 호의 분실이 발생한다. 따라서 분실확률은 실제 발생한 핸드오프 호의 개수에 대해 타임 아웃된 호 개수의 비와 큐에 여유 공간이 없을 경우에 대한 확률의 합으로 식 (9)로 구해진다.

$$P_d = \frac{\Lambda_{tot}}{\Lambda_h} + P_{of} \quad (9)$$

Λ_{tot} 과 Λ_h 는 각각 타임아웃 천이 tot 과 핸드오프 천이 th 의 처리율로 실제 발생된 개수를 의미한다. P_{of} 는 큐가 가득 찬 확률이다.

5.2 수치결과

[표 4]는 GoS 를 구하기 위한 SRN 모델의 입력 변수이다[9]. 예로 정규영역서비스시간은 2분이고 서비스율은 1/2분=0.5회/분을 의미한다. 소프트 핸드오프 영역에서의 호 통화 시간은 가입자의 머무는 시간으로 1.5분(90초)를 데이터 값으로 정하였으며, 이의 역수인 1/1.5=0.65 (0.67)이 천이율이 된다.

정규 영역에서 소프트 핸드오프 영역이동률은 가입자

의 호를 지속하면서 영역 간의 이동 횟수를 의미하며 2분에 1번씩 즉, 분당 평균 0.5회 이동이 일어남을 의미한다.

표 4. 입력변수

입력 변수	값
소프트 핸드오프 영역비율 (a)	0.2
데이터 큐 크기 (l_e)	1
정규 영역 서비스율 (μ_r)	0.5 (2분)
소프트 핸드오프서비스율 (μ_d)	0.65 (1.5분)
타임아웃 비율 (μ_o)	4 (0.22분)
정규 영역에서 소프트 핸드오프 영역이동률 (m_h)	0.5 (2분)
소프트 핸드오프 영역에서 정규 영역이동률 (m_n)	0.1(10분)

[그림 6]은 정규 영역과 소프트 핸드오프 영역으로 나누고 각각의 영역에서 발생하는 신규 호에 대한 가드채널을 다르게 할당하여 GoS 를 최소화 하는 g_n 과 g_h 를 구하기 위한 GoS 의 변화를 보여 주고 있다. 실선은 각각 $N=10, \lambda_n=4, a=0.3$ 인 경우로 최적의 가드채널 수는 각각 $g_n=2, g_h=1$ 임을 보여주고, 점선은 $N=11, \lambda_n=7, a=0.2$ 인 경우로 최적의 가드채널 수가 $g_n=3, g_h=2$ 임을 보여준다. 즉 주어진 무선자원 및 트래픽 환경에 따라 영역별로 적절한 가드채널 수를 설정하여 줌으로써 영역 구분 없이 일정한 가드채널 수를 할당해 주는 것보다는 더 나은 GoS 를 구할 수 있음을 보여준다.

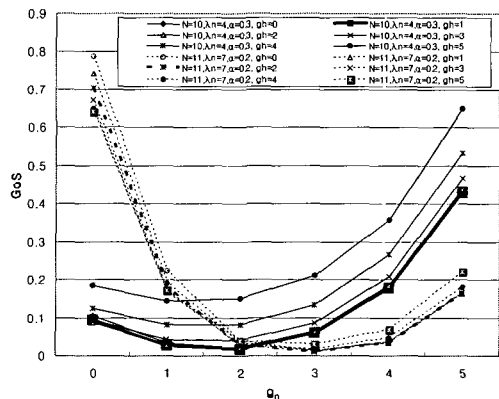


그림 6. g_n 과 g_h 에 따른 GoS

VI. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 셀을 정규영역과 핸드오프 영역으로 분할하고, 각 영역에서의 가드채널수를 달리 함으로서 CDMA 시스템에서의 사용자 만족도를 최적으로 하는 가드채널 수를 계산하였다. 이를 위하여 SRN을 이용하여 제안된 셀 모델을 모델링하였으며, 이를 기반으로 성능 평가를 수행하였다. 그 결과 가드채널수의 세분화가 사용자 만족도를 증가시킬 수 있음으로 실험적으로 증명하였다. 추후 이 결과를 이용한 호 수락제어 시스템의 구현에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, Jr., and C. E. Wheatley III, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.40, No.2, pp.303-312, 1991.
- [2] <http://www.etsi.org>
- [3] 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.35, No.3, pp.77-92, 1986.
- [4] S. Kowuri and V. Pandey, "A Call Admission Control (CAC) Algorithm for Providing Guaranteed QoS in Cellular Networks," *International Journal of Wireless Information Networks*, Vol.1, No.2, 2003.
- [5] Y. B. Lin and S. Mohan, "Queueing Priority Channel Assignment Strategies for PCS Handoff and Initial Access," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.43, No.3, pp.704-712, 1994.
- [6] TIA/EIA/IS-95, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System*, Telecommunications Industry Association, 1995.
- [7] A. A. Marsan and G. Balbo, "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 and K. S. Trivedi, *SPNP Users Manual, Version 6.0*, Technical report, Duke Univ., 1999.
- [9] 노철우, "추계적 페트리 네트를 이용한 무선망에서의 호 수락 제어 기법", *한국콘텐츠학회논문지*, 제3권, 제4호, pp.55-62, 2003.
- [10] Xiaomin Ma, Yonghuan Cao, Yun Lui, and K. S. Trivedi, "Modeling and Performance Analysis for Soft Handoff Schemes in CDMA Cellular Systems," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.55, No.2, pp.670-680, 2006.
- [11] M. Molly, "Performance analysis using stochastic Petri nets," *IEEE Trans. Computer*, Vol.31, pp.913-917, 1982.
- [12] K. Trivedi, "Loss Formulas and Their Application to Optimization for Cellular Networks," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.50, pp.664-673, 2001.
- [13] G. Ciardo, A. Blakemore, and 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, pp.145-191, 1993.

저자 소개

노철우(Cheul-Woo Ro)

중신회원



- 1980년 2월 : 서강대학교 물리학과(학사)
- 1982년 2월 : 동국대학교 전자계산학과(석사)
- 1995년 8월 : 서강대학교 전자계산학과(박사)

• 1991년~현재 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 정교수
<관심분야> : 이동통신 시스템, 통신 프로토콜 설계/검증/시험, 페트리 넷 모델링 및 성능, RFID, 임베디드 시스템

김경민(Kyung-Min Kim)

정회원



- 1993년 2월 : 신라대학교 전자계산학과(이학사)
- 2000년 8월 : 신라대학교 컴퓨터교육학과(교육학석사)
- 2005년~현재 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 박사과정

<관심분야> : 이동통신 시스템, 페트리 넷 모델링 및 성능, RFID, 임베디드 시스템

이광의(Kwang-Eui Lee)

정회원



- 1990년 2월 : 서강대학교 전자계산학과(공학사)
- 1992년 2월 : 서강대학교 전자계산학과(공학석사)
- 1997년 8월 : 서강대학교 전자계산학과(공학박사)

• 1997년 12월~2001년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
• 2001년 3월~현재 : 동의대학교 멀티미디어공학과 교수
<관심분야> : 계산이론, 멀티미디어통신