

---

# IEEE 802.16 망을 위한 무선 자원 관리 모델링

## Radio Resource Management Modeling in IEEE 802.16e Networks

---

노철우, 김경민  
신라대학교 컴퓨터정보공학부

Cheul-Woo Ro(cwro@silla.ac.kr), Kyung-Min Kim(sillamin@silla.ac.kr)

---

### 요약

본 논문에서는 접속 (connection)과 패킷의 두 레벨 (level)을 함께 고려하는 IEEE 802.16 망에서의 무선 자원 관리 큐잉 모델을 개발한다. 상위 레벨인 접속 레벨에서는 대역폭 가용여부와 서비스 클래스별 우선순위 큐를 사용하여 접속 수락제어를 모델링하고 하위 레벨인 패킷 전송은 서비스 클래스별 임계치와 현재 가용한 대역폭의 두 항목을 동시에 고려한 동적 대역폭 할당 방법을 모델링 한다. 계층 모델은 페트리 넷의 확장형인 SRN (Stochastic Reward Nets)을 이용하여 개발되며 802.16 서비스 클래스별 트래픽에 대한 대역폭 활용률과 처리율을 성능지표로 모델에 대한 수치결과를 구한다.

■ 중심어 : | IEEE 802.16 | 무선 자원 관리 | 대역폭 할당 | 페트리 넷 | SRN(Stochastic Reward Nets) |

### Abstract

In this paper, we develop radio resource management queueing model in IEEE 802.16 networks considering both connection and packet level. In the upper level connection, we model connection admission control depending on availability of bandwidth and priority queue in each service class. In the lower level packet, we model dynamic bandwidth allocation considering threshold and availability of bandwidth in each service class simultaneously. Hierarchical model is built using an extended Petri Nets, SRN (Stochastic Reward Nets). Bandwidth utilization and normal throughput as performance index for all service classes of traffic are calculated and numerical results are obtained.

■ keyword : | IEEE 802.16 | Radio Resource Management | Bandwidth Allocation | Petri Net | SRN(Stochastic Reward Nets) |

---

## 1. 서론

음성, 영상 및 인터넷 등 다양한 멀티미디어 서비스를 이동하는 사용자에게 시간과 장소의 제약 없이 제공하기 위한 접속 기술로 IEEE 802.16을 기반으로 하는 광대역 무선 접속기술 (Broadband wireless access)이 대두되고 있다[1]. 광대역 무선 접속 표준을 개발하기

위한 IEEE 802.16 워킹 그룹은 고정형 광대역 접속 시스템 규격 연구로 시작하여 이동형 표준 규격인 IEEE 802.16e로 발전하였다[2]. IEEE 802.16e는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 물리 계층으로 채택하여, 2~6GHz 인증 대역에서의 단말의 이동성을 지원한다. IEEE 802.16e는 상호 호환성 인증을 위한 WiMAX 포럼의 명칭으로부터 Mobile

WiMAX라고 불리고, 국내의 와이브로(WiBro) 규격과 호환한다. 와이브로는 IEEE 802.16을 기반으로 유선에서 제공되고 있는 인터넷 서비스를 시속 60km 이상 달리는 차량 등의 이동 환경에서도 노트북 PC나 휴대폰 등을 이용해 고속으로 무선인터넷에 접속할 수 있는 휴대인터넷 서비스이다.

IEEE 802.16 망이 기반이 되는 휴대 인터넷 서비스는 사용자의 다양한 QoS와 고속의 전송속도를 충족시킬 수 있는 무선 자원의 접속 수락제어(Connection Admission Control)와 대역폭 할당 기법이 필요하다. 기존 연구로는, 마르코프 기반 모델을 사용하는 패킷 레벨 큐잉분석이 소개되어, ARQ 기반 에러 제어 하에서 패킷 처리가 연구되었고[3], [4]에서는 광대역 무선 접속 망을 위한 접속 수락 제어 기법으로 사용 중인 접속 수를 제안해서 각 사용자의 QoS 서비스를 원하는 수준으로 유지시키는 방식이 제안되었다.

본 논문에서는 802.16 망의 접속 수락제어와 대역폭 할당을 접속 레벨과 패킷 레벨을 함께 고려하는 무선 자원 관리 모델을 개발한다. 접속 레벨은 패킷 레벨에서 사용 중인 대역폭을 고려하여 사용 가능한 대역폭 수를 계산하여 접속 수락을 결정하도록 모델링하고, 패킷 레벨은 각 서비스 클래스에 할당된 고정된 임계치에 가중치를 부여하는 가중 임계치 할당 방식을 모델링하고, 기존의 고정 임계치 할당 방식과 비교한다.

본 논문은 II장에서 IEEE 802.16 망에서 사용되는 서비스 클래스들을 소개하고, 본 논문에서 제안한 무선 자원 관리 기법인 접속 수락제어 기법과 동적 대역폭 할당 기법에 대하여 설명한다. III장에서 시스템 모델에 대하여 기술하고, IV장에서 성능지표의 수치 결과를 분석하고, V장에서 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.16 망

### 1. 서비스 클래스

IEEE 802.16 규격은 한 개의 기지국(Base Station)과 한 개 이상의 단말기(Subscriber Station)들이 상호 통신하는 점 대 다중점(Point-to-Multipoint) 망

구조와 기지국 없이 단말들이 상호 통신할 수 있는 그물(Mesh) 망 구조를 정의한다[5]. 기지국과 단말기 사이의 통신은 단말기에서 기지국으로 전송하는 상향링크와 기지국에서 단말로 전송하는 하향링크를 통해서 이루어진다. 단말기는 기지국에 상향링크에 대한 대역폭 요청 메커니즘을 사용한다. IEEE 802.16은 서로 다른 QoS 요구를 가지는 4종류의 서비스 클래스를 정의하고 있다[6][7].

UGS(Unsolicited Grant Service)는 주기적으로 고정 크기의 데이터를 발생시키는 실시간 스트림(예: E1/T1, VoIP without silence suppression)을 위해 설계되어 기지국이 해당 단말기에게 주기적인 간격으로 데이터를 전송할 수 있는 상향링크 자원을 할당하게 된다.

rtPS(Real-time Polling Service)는 주기적으로 가변적인 데이터를 발생시키는 실시간 스트림(예: MPEG)을 위해 설계되어 상향링크 자원할당은 UGS와 같이 주기적으로 상향링크 자원을 할당해주는 것이 아니라 기지국은 주기적으로 단일 폴링을 하여 단말기가 자원요청을 할 수 있도록 한다.

nrtPS(non-Real-Time Polling Service)는 최소 처리율을 요구하며 가변적인 크기의 데이터를 발생시키는 지연에 둔감한 데이터 스트림(예: FTP)을 스케줄링하기 위해 설계되어 rtPS와 유사한 방식을 채택하고 있으나 단말기는 rtPS와 달리 단일 폴링과 경쟁 폴링 두 가지 모두를 이용하여 자원요청을 할 수 있다.

BE(Best Effort Service)는 최소 서비스 레벨이 정해지지 않은 데이터 스트림(예: HTTP) 서비스를 위해 설계되어 nrtPS와 동일하게 모든 폴링을 이용하여 자신이 필요로 하는 자원을 요청할 수 있다.

### 2. 무선 자원 관리: 접속 수락제어와 대역폭 할당

IEEE 802.16 망은 서로 다른 QoS를 요구하는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 서비스를 제공해야 하므로 효율적인 무선 자원 관리 기법이 필요하다. 따라서, 접속 수락제어와 대역폭 할당은 802.16 망에서 주요 논의 사항이다. 접속 수락제어는 망에서 접속 수를 제한하는 것이고, 대역폭 할당은 진행 중이거나 새로이 발생하는 접속에 대하여 가용한 무선자원인 대역폭을 할당해 주는 것을 말

한다. 본 논문에서는 802.16 망에서 정의하는 서비스 클래스별 QoS를 만족하는 무선 자원관리를 위하여 접속과 패킷의 두 레벨을 함께 고려한다[6].

IEEE 802.16 망은 접속 지향적이기 때문에 단말기는 패킷을 전송하기 전에 4가지 서비스 클래스 중 하나의 서비스 클래스에 속하며 기지국과 접속되어져 있어야만 한다. 단말기가 기지국과 접속되기 위해 기지국에 접속요청을 보내면 기지국은 접속 요청에 대해 수락 여부를 결정하고, 접속 요청이 이루어지면 단말기는 패킷을 보내고 서비스를 받게 된다. 접속 수락제어는 상위 레벨인 접속 레벨에서 처리하고 대역폭 할당은 하위 레벨인 패킷 레벨에서 수행한다.

접속 수락제어는 접속 요청 시 가용 대역폭을 계산하여 가용 대역폭이 접속 요청이 속한 클래스의 최소 대역폭보다 큰 경우 접속 요청을 수락한다. 가용 대역폭은 패킷 레벨에서 사용하고 있는 대역폭에 따라 동적으로 변경된다. 접속 요청이 수락되면 서비스 클래스별로 분류된 큐에 들어가게 되며, 큐에 대한 우선순위를 부여하여 접속 수락제어와 함께 접속에 대한 서비스를 수행하게 된다. 큐의 우선 순위는 UGS, rtPS, nrtPS 서비스 순서이다. BE 서비스는 QoS에 대한 보장을 해주지 않아도 되므로 패킷 레벨에서 BE 서비스 요청 시 가용 대역폭을 조사하여 대역폭 할당여부를 결정한다.

수락된 접속에 대해 단말기는 패킷을 전송하고, 전송된 패킷은 패킷 레벨에서 대역폭을 할당받는다.

### III. 시스템 모델

#### 1. SRN(Stochastic Reward Nets)

모델링 도구로 잘 알려진 추계적 페트리 넷트는 모델 규격을 명세화할 수 있는 다양한 그래픽 기능을 가지고 있으며 대응되는 연속시간 마르코프 체인(CTMC: Continuous-Time Markov chain)의 해에 의해 페트리 넷트 모델의 해를 구할 수 있다. 추계적 페트리 넷트는 각 천이에 발사시간을 할당한 페트리 넷트의 확장 모델이다. 천이가 지수분포의 발사시간을 가지는 천이를 시간천이(timed transition)이라고 하고 0의 발사시간을 가지는 천이 즉 시간의 지체 없이 바로 발사되는 천

이를 즉시천이(immediate transition)이라고 한다. GSPN(Generalized SPN)[8]은 최소한 하나의 즉시천이가 발사 가능한 무형(vanishing) 마킹과 시간천이들의 마킹인 유형(tangible) 마킹으로 구성된다. GSPN에 마킹 종속, 다중 금지 아크, 가드 함수 등의 모델링 기능을 강화하여 복잡한 시스템을 간결한 모델로 모델링할 수 있게 해준 모델이 SRN이다[8]. SRN에서 각 유형 마킹은 하나 이상의 보상률(reward rate)을 배정받을 수 있다. 시간천이의 발사율, 다수의 입출력 아크 그리고 하나의 마킹에 대한 보상률과 같은 파라미터는 SRN에서 에 있는 토큰 수에 대한 함수로 기술된다. SRN에서 모든 출력 값은 보상률 함수의 기댓값으로 표현된다. 시스템의 성능지표 값을 얻기 위해서는 SRN 모델에 적당한 보상률 값을 배정하여 구할 수 있다. SRN 모델의 해를 구하기 위해 SRN 소프트웨어 도구인 SPNP(Stochastic Petri Net Package)[9]를 사용한다. SRN은 SPNP에 의해 마르코프 보상 모델(MRM: Markov Reward Model)로 변환되며, MRM의 성능분석으로 SRN에서 지정한 성능지표를 구하게 된다. 즉 SRN 모델은 다음 단계에 의하여 해석적-수치적으로 해를 구한다.

첫째, 모델로부터 도달성 그래프가 생성되며 둘째, 도달성 그래프는 MRM으로 변환된다. 셋째, MRM은 수치적으로 해를 구하며, 마지막으로 구해진 해의 기대값으로 성능지표를 계산한다.

#### 2. 접속 레벨 SRN 모델

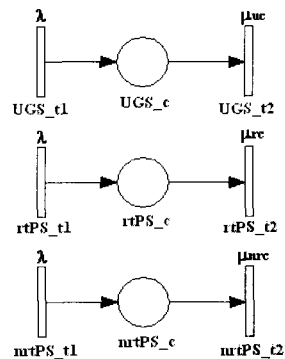


그림 1. 접속 수락제어 SRN 모델

[그림 1]은 접속 레벨의 접속 수락제어를 나타내는 SRN 모델이다. 장소  $i_c$  ( $i=UGS, rtPS, nrtPS, BE$ )는 서비스 클래스별 접속 큐를 나타내며 각 장소에 쌓인 토큰 수는 현재 진행 중인 접속 수를 나타낸다. 접속 수락제어는 천이  $i_{t1}$ 의 발사 조건 함수로 모델링 된다. 각 서비스는 서비스별로 접속을 위한 최소 대역폭 ( $b_i$ )을 갖게 된다. UGS 서비스는 사용 가능한 대역폭이 최소 대역폭 ( $b_{UGS}$ )보다 크면 접속은 수락된다. 실시간 서비스인 UGS 서비스를 위해 UGS 서비스의 최소 대역폭은 예약됨으로 rtPS와 nrtPS 서비스는 사용 가능한 대역폭에서 UGS 서비스의 최소 대역폭을 뺀 대역폭이 각 서비스의 최소 대역폭보다 크면 접속이 수락된다.

[표 1]은 접속에 대한 수락제어 알고리즘으로 모델에서는 각 서비스별 접속요청인 천이들에 대한 발사 조건 함수로 나타 내진다.

표 1. 접속 레벨 발사조건 함수

UGS의 발사조건 함수
if(avail >= b_UGS) return(1); else return(0);
rtPS의 발사조건 함수
if(avail - b_UGS >= b_rtPS) return(1); else return(0);
nrtPS의 발사조건 함수
if(avail - b_UGS >= b_nrtPS) return(1); else return(0);

[표 1]에서 *avail*은 사용 가능한 대역폭이고, 식 (1)로 계산된다. 식 (1)에서 *ongoing*은 각 서비스별로 현재 사용 중인 대역폭의 합이다. 각 서비스의 사용 중인 대역폭은 그림 2의 패킷 레벨에서 서비스 중인 패킷 수에 각 서비스의 최소 대역폭( $b_i$ )을 곱하여 계산한다. 사용 가능한 대역폭 *avail*은 전체 대역폭 *C*에서 사용 중인 대역폭을 빼면 된다.

$$\left\{ \begin{array}{l} ongoing = \sum_i (\#i \times b_i), (i = UGS, rtPS, nrtPS, BE) \\ avail = C - ongoing \end{array} \right. \quad (1)$$

### 3. 패킷 레벨 SRN 모델

[그림 2]는 패킷 레벨의 대역폭 할당을 모델링한 SRN 모델이다. 패킷 전송은 해당 서비스의 접속이 진

행되고 있는 상황에서 패킷이 발생(천이  $i_{t3}$  발사)되고 이에 대한 전송이 수행된다(천이  $i_{t4}$  발사). 접속 수행 하에서의 패킷 발생은 천이  $i_{t3}$ 의 발사 조건 함수로 모델링된다. 즉 그림 1의 접속 레벨에서 장소  $i_c$ 에 토큰이 있으면 *i* 서비스의 접속 수락을 나타낸다. 접속 수락 후 발생된 패킷에 대한 대역폭 할당은 즉시 천이  $i_{t21}$ 에 대한 발사조건 함수로 모델링할 수 있다. 발사조건 함수는 해당 서비스 별로 패킷 처리를 위해 필요한 최소 대역폭보다 크고 서비스별로 설정된 임계치보다 작은 경우에 대역폭이 할당된다.

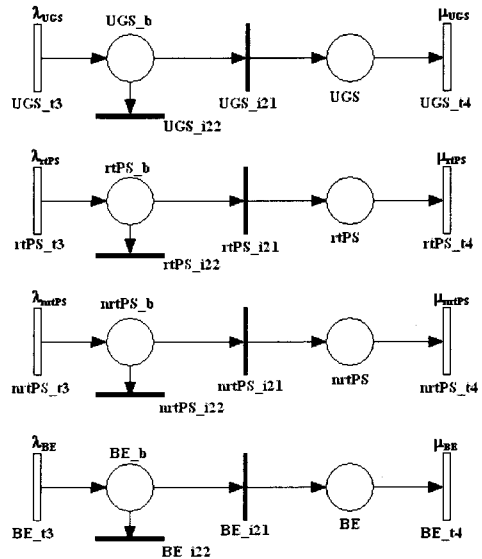


그림 2. 패킷 레벨 대역폭 할당 SRN 모델

#### • 고정 임계치 방식

기존 연구[6]인 고정 임계치 방식은 식 (2)와 같이 서비스별 대역폭 임계치 ( $t_i \times b_i$ )를 정해놓고 이들 임계치의 합이 전체 대역폭이 되는 방식이다.

$$\sum_i (\#i \times b_i) : C, \text{ where } C = \sum_i (t_i \times b_i) \quad (2)$$

#### • 가중 임계치 방식

본 논문에서는 서비스별 임계치의 값에 가중치를 부여하여 대역폭의 활용율을 높이는 가중 임계치 방식을

제안한다. 가중 임계치 방식에서는 임계치의 합이 전체 대역폭을 초과하지만 어느 한 시점에서 전체 할당된 대역폭은 전체 대역폭  $C$ 를 초과하지 않도록 하는 방식이다. 각 서비스들은 다른 서비스가 대역폭을 사용하지 않을 경우 고정 임계치보다 많은 대역폭을 사용할 수 있다. 이는 천이  $i_{j22}$ 의 발사 조건 함수로 나타낼 수 있다. 다음 식 (3)은 가중 임계치 방식을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \#ixb\_i: WT\_i, \sum_i WT\_i > C, \\ WT\_i = (t\_i + \alpha\_i) \times b\_i, \alpha\_i > 0 \end{aligned} \quad (3)$$

서비스 별로 각 접속은 최소 대역폭  $b_i = (2, 3, 3, 1)$  PDU를 가지며 서비스별 최대 대역폭은 고정 임계치인 경우 모든 서비스에 대해  $t_i = 2$ 로 설정하면 최대 대역폭은 4, 6, 6, 2 PDU가 된다. 가중 임계치인 경우 서비스 별 최대 대역폭은  $\alpha_i = (2, 1, 1, 1)$ 로 설정할 경우 8, 9, 9, 3 PDU가 된다. 하지만 동시에 가용한 대역폭은 전체 대역폭  $C$ 를 초과할 수 없다.

장소  $i_b$ 는 가용한 대역폭이 없어 대역폭 할당이 안 될 경우 패킷이 대기하는 큐를 나타내며 설정된 큐 크기를 초과하면(즉시 천이  $i_{j22}$  발사) 패킷은 손실된다.

패킷 레벨에서의 대역폭 할당 알고리즘으로 고정 임계치 방식과 가중 임계치 방식을 [그림 2]모델의 천이에 대한 발사 조건 함수로 [표 2]와 같이 처리한다. 두 방식의 차이는 임계치 값 (예,  $t_{rtPS}$ )을 어떻게 부여하느냐에 따라 달라진다.

표 2. 패킷 레벨 발사조건 함수

UGS	UGS_t3	if(#UGS_c) >= 0) return(1); else return(0);
	UGS_j21	if(#UGS(t_UGS && avail)=b_UGS) return(1); else return(0);
	UGS_j22	if(#UGS_b > q_UGS) return(1); else return(0);
rtPS	rtPS_t3	if(#rtPS_c) >= 0) return(1); else return(0);
	rtPS_j21	if(#rtPS(t_rtPS && avail)=b_rtPS) return(1); else return(0);
	rtPS_j22	if(#rtPS_b > q_rtPS) return(1); else return(0);
nrtPS	nrtPS_t3	if(#nrtPS_c) >= 0) return(1); else return(0);
	nrtPS_j21	if(#nrtPS(t_nrtPS && avail)=b_nrtPS) return(1); else return(0);
	nrtPS_j22	if(#nrtPS_b > q_nrtPS) return(1); else return(0);

BE	BE_j21	if( #EE < t_EE && avail) >= b_UGS + b_rtPS + b_nrtPS + b_BE - be_min) return(1); else return(0);
	BE_j21	if(#BE) > q_BE) return(1); else return(0);

BE 서비스인 경우는 접속 레벨의 접속 요청을 고려하지 않기 때문에  $BE\_t3$ 은 다른 서비스들과는 달리 발사조건 함수를 가지지 않는다. 여기서  $t_i$ 는 각 서비스가 사용할 수 있는 패킷 임계치를 나타내고,  $q_i$ 는 각 서비스 패킷 큐의 크기를 나타낸다.

#### IV. 성능지표 및 수치결과

##### 1. 입력 데이터

접속 요청은 평균 도착률  $\lambda$ 인 포아송 분포로 발생하고, 각 요청에 대한 서비스율은 서비스 클래스별로 평균이  $\mu_{uc}, \mu_{rc}, \mu_{nrc}$ 인 지수분포를 따른다. [표 3]은 성능지표를 계산하기 위한 SRN 모델의 접속 레벨 입력 변수이다.

표 3. 접속 레벨 입력 데이터

입력 변수	값	
전체 대역폭 (PDU)	C	18
최소 대역폭 (PDU)	b_UGS	2
	b_rtPS	3
	b_nrtPS	3
	b_be	1
패킷 큐 크기 (PDU)	q_UGS	2
	q_rtPS	2
	q_nrtPS	2
	q_be	4
접속 도착률	$\lambda$	0.5(2분)
접속 처리율	$\mu_{uc}$	0.75(1.3분)
	$\mu_{rc}$	0.6(1.6분)
	$\mu_{nrc}$	0.45(2.2분)

패킷 레벨에서 서비스 별 입력 데이터는 IEEE 802.16 TG3에서 권고한 트래픽 모델 및 소스[10]와 이를 바탕으로 트래픽 입력 변수를 구한 [11][12]의 데이터를 참조하여 구하였다.

표 4. 패킷 레벨 입력 데이터

	평균도착률 (pkts/sec)		패킷크기 (byte)	데이터 전송률	패킷 처리율 (pkts/sec)	
UGS	$\lambda_{UGS}$	17.561	66	8kbps	$\mu_{UGS}$	15.15
rtPS	$\lambda_{rtPS}$	126.30	188	0.19Mbps	$\mu_{rtPS}$	126.32
nrtPS	$\lambda_{nrtPS}$	126.30	188	0.19Mbps	$\mu_{nrtPS}$	126.32
BE	$\lambda_{BE}$	0.977	192	1.5kbps	$\mu_{BE}$	0.976

[표 4]는 이들로부터 구한 서비스별 평균 패킷 도착률과 처리율로 [그림 2] SRN 모델의 입력 데이터로 사용된다.

2. 성능지표

성능지표로 각 서비스에 대한 대역폭 활용률, 정규 처리율과 패킷 손실률을 정의한다. 서비스별 대역폭 활용률 ( $U_i$ )은 전체 대역폭에 대한  $i$  서비스의 대역폭 활용률로 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$U_i = \frac{\#i \times b_i}{C}, (i = UGS, rtPS, nrtPS, BE) \quad (4)$$

여기서,  $\#i$ 는 [그림 2]의  $UGS, rtPS, nrtPS$ 와  $BE$ 의 평균 토큰 수로 서비스 중인 패킷의 수이다.  $b_i$ 는 각 서비스에 할당된 최소 대역폭 수이다.

정규 처리율 ( $NT_i$ )은 패킷의 도착률에 대한 서비스 처리율의 비로 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$NT_i = \frac{rate(i_{t4})}{rate(i_{t3})}, (i = UGS, rtPS, nrtPS, BE) \quad (5)$$

$rate(i_{t3})$ 는  $i$ 서비스의 평균 패킷 도착률이고,  $rate(i_{t4})$ 는  $i$ 서비스의 평균 패킷 처리율을 나타낸다.

패킷 손실률은 가용 대역폭이 부족할 경우 처리되지 못하고 큐에 대기하게 되는데 이들 패킷 수가 큐 크기를 초과하게 되면 이들 패킷은 손실되게 된다. 이는 다음 식 (6)의 reward 함수로 구할 수 있다.

```
double Li() (if (#i_b == q_i) return (1);
else return(0); ) \quad (6)
```

3. 수치결과

기존 연구[6]인 고정 임계치 방식에서는 서비스 별

최대 대역폭인 임계치의 합이 전체 대역폭이 되는데, 본 논문에서는 서비스 별 임계치에 가중치를 부여하여 대역폭 활용률과 정규 처리율을 높이는 방식을 사용한다. [그림 1][그림 2]의 SRN 모델을 SRN 소프트웨어 도구인 SPNP를 사용하여 수행시킴으로 성능지표를 구한다.

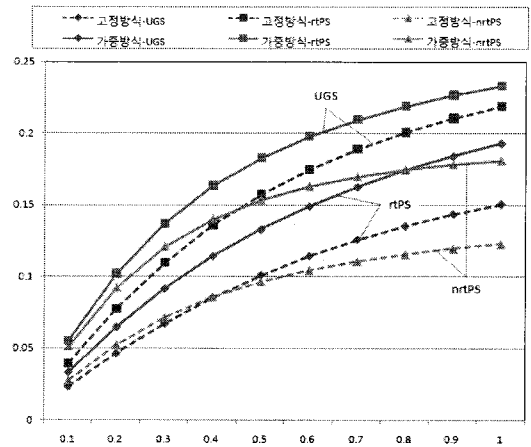


그림 3. 접속 도착률에 따른 대역폭 활용을 비교 (WT=(6,9,9,3))

[그림 3]은 접속 도착률에 따른 대역폭 활용율의 변화를 보여준다. 점선으로 표현되는 고정 임계치 방식보다 실선으로 표현되는 가중 임계치 방식이 서비스별 활용율이 높음을 보여준다.

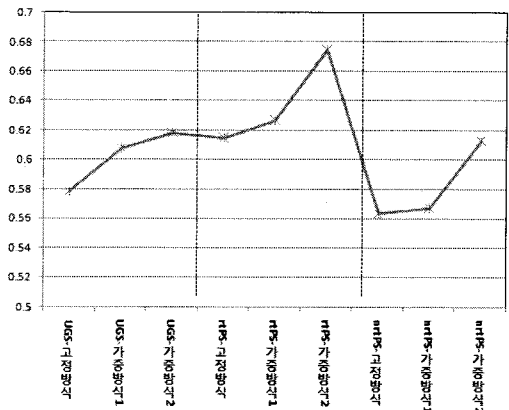


그림 4. 가중치에 따른 서비스 별 정규 처리율 비교

[그림 4]는 접속 도착률  $\lambda=0.5$ 일 때, 가중 방식1인 경우 ( $WT_i=(4, 9, 9, 3)$ )와 가중 방식2인 경우 ( $WT_i=(6, 9, 9, 3)$ )의 서비스별 가중치에 따른 정규 처리율을 보여준다. 가중치를 부여할수록 정규 처리율이 높아짐을 보여주고 rtPS서비스 정규 처리율이 다른 서비스 보다 높음을 보여준다.

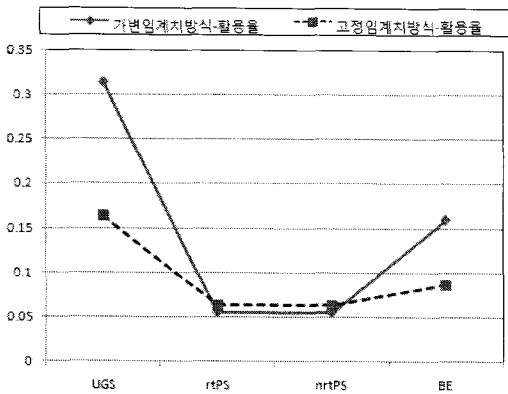


그림 5. 서비스 활용을 비교  
( $WT_i=(8,12,12,4)$ )

[그림 5]는  $\lambda=0.5$ 이고  $WT_i=(8,12,12,4)$ 인 경우의 서비스별 활용율을 보여준다. UGS 서비스는 실선으로 나타낸 가중 임계치방식의 활용율이 점선으로 나타낸 고정 임계치 방식의 활용율 보다 높으나 rtPS와 nrtPS에서는 상대적으로 낮아졌음을 알 수 있다.

## V. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 IEEE 802.16 망에서의 접속 수락제어와 대역폭 할당을 함께 고려한 큐잉 모델을 모델링 도구로 잘 알려져 있는 페트리 네트의 확장형인 SRN을 이용하여 개발하였다. SRN의 다양한 모델링 기능, 특히 천이의 발사조건 함수와 장소의 마킹 함수를 이용하여 접속 수락제어와 대역폭 할당을 동적으로 수행할 수 있게 하였다. 접속 수락제어는 접속 요청 시 패킷 레벨에서 사용 중인 대역폭을 계산하여, 산출된 가용 대역폭을 기준으로 접속 수락을 결정하고, 대역폭 할당은 접속

이 수락된 후 각 서비스 임계치에 가중치를 부여하는 가중 임계치 방식을 제안하였다. 제안된 방식을 해석적 분석대신 SRN 모델로 개발함으로써 기존의 고정 임계치 방식보다 성능지표의 효율이 높음을 보였다.

가중치에 대한 최적화 문제를 향후 연구과제로 수행하고자 한다.

## 참고 문헌

- [1] 유창완, 박명수, 이숙진, 임제성, "휴대 인터넷 시스템에서 다이버시티 부채널과 AMC 부채널의 자원 할당 정보 기반의 호 수락 제어 기법", JCCI2006, 2006(4).
- [2] 김형석, "IEEE 802.16 표준화 및 기술 동향", 전자공학회지, 제34권, 제3호, pp298-306, 2007.
- [3] M. Zorzi, "Packet dropping statistics of a data-link protocol for wireless local communications," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.52, No.1, pp.71-79, Jan. 2003.
- [4] G. Liu, W. Lang, W. Wu, Y. Ruan, X. Shen, and G. Zhu, "QoS-guaranteed call admission scheme for broadband multi-services mobile wireless networks," in Proc. IEEE ISCC'04, Vol.1, pp.454-459, June-July 2004.
- [5] C. Sarat and S. Anirudha, "An Efficient Call Admission Control for IEEE 802.16 Networks," IEEE Workshop on LANMAN 2007, 2007(6).
- [6] N. Dusit and H. Ekram, "A Queuing-Theoretic and Optimization-Based Model for Radio Resource Management in IEEE 802.16 Broadband Wireless Networks," IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS, Vol.55, No.11, 2006(11).
- [7] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks," IEEE 802.16 Standard, 2004.

- [8] 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.
- [9] G. Ciardo and K. S. Trivedi, SPNP Usrs Manual, Version 6.0, Technical report, Duke Univ., 1999.
- [10] IEEE 802.16.3c-01/30r1, "Traffic Model for 802.16 TG3 MAC/PHY Simulations," 2001.
- [11] 국광호, 김경희, 백장현, "휴대인터넷 무선자원 할당 연구", 한국경영과학회지, 제31권, 제3호, pp.145-154, 2006.
- [12] 김경희, 국광호, 임석구, 김경수, "휴대 인터넷에서 QoS를 고려한 스케줄링 방식 연구", 한국콘텐츠학회논문지, 제5권, 제1호, pp.89-99, 2000.

김 경 민(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

저 자 소 개

노 철 우(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