

데이터 서비스를 위주로 하는 이동통신 망에서의 주파수 소요량 산출 모델

김대극¹, 양은샘^{2*}, 김화중³

The Model of Estimating Spectrum Requirements in Mobile Networks with Data Traffic

Kim Dae-keuk¹, Yang Eun-Sam^{2*} and Kim Hwa-Jong³

요약 WiMax, WiBro 등의 무선망에서의 데이터 서비스들은 더 빠른 이동성 확보와 더 높은 데이터 전송 속도의 실현을 목표로 변화와 발전을 계속하고 있다. 이러한 서비스 진화에서는 무선 데이터 통신망에서 가입자의 트래픽 수요를 충족시키고 무선망 구축을 위한 정확한 주파수 소요량 예측이 무엇보다 중요하다. 따라서 본 논문에서는 기존 기술 연구의 문제점을 분석하여 데이터 서비스를 위주로 하는 이동 통신망의 주파수 소요량 산출시 고려해야 할 핵심 요소들을 제안하였다. 그것은 첫째 데이터 트래픽의 자기 유사성 특징, 둘째, QoS(Quality of Service)가 고려된 처리용량, 셋째, 기지국 부하율의 비균일 특성, 그리고 마지막으로 FA 증설구조이다. 또한 데이터 서비스를 위주로 하는 이동통신 망에서는 이러한 핵심 요소들을 적용하여 주파수 소요량 산출 표준 모델을 제안하였다.

Abstract Today, as various access technologies appear, for example WiMax, WiBro, the demand for spectrum is increasing rapidly. Spectrums are a national resource with scarcity value so that we need to allocate them effectively for the national economy and industry. Accordingly, In the paper, we proposed several factors and new model for estimating spectrum requirements of a next generation mobile network with multimedia data services. These are self-similarity characteristics of data traffic, engineered capacity considering QoS, structure of FA increase, asymmetry of data traffic between uplink and downlink, handoff traffic, and uneven traffic pattern among base stations. It can applied mobile WiMax or other wireless broadband systems in general.

Key Words : Estimating the Spectrum Requirements, Wireless Networks Service

1. 서론

무선 통신 기술은 이동통신에 기반 한 무선 인터넷 지원, 유/무선 통합, 통신/방송 통합, All IP 네트워크 구축, 유비쿼터스 실현 등 통합된 고속의 멀티미디어 데이터 서비스로 요구사항이 변모하면서 전송 속도의 향상과 그에 따르는 서비스의 영역의 변화를 반영하여 꾸준히 발전하여 왔다[4].

이러한 서비스의 발전에 따른 논의에서 항상 주요한 화제로 등장하던 주제는 어떠한 무선 환경에서 몇 개의 사업자에게 어느 정도의 주파수 할당이 가능한지에 대한 것이다. 즉, 주파수 선택 및 할당 또는 전체 소요 대역폭

산출과 관련된 연구가 선행되어야 했다. 따라서 본 논문에서는 이동 통신 기술의 서비스 특성에 대하여 살펴보고, 데이터 서비스를 위주로 하는 이동 통신망에서 소요 대역폭 산출을 위하여 사용되었던 기존의 방법들을 분석하고 이를 바탕으로 새롭게 고려되어야 할 핵심 요소들을 제안한다. 또한 제안된 핵심 요소들을 토대로 이동 통신망의 주파수 소요량 산출을 위한 표준 모델을 제안한다.

2. 데이터 서비스를 포함하는 이동통신망의 주파수 특성

¹한림성심대학 정보통신네트워크과

³강원대학교 컴퓨터정보통신공학과

접수일 09년 1월 7일

수정일 09년 2월5일

²한림대학교 컴퓨터공학과

*교신저자: 양은샘(yanges@hallym.ac.kr)

계재확정일 09년 2월 18일

2.1 WiMax

초기 IEEE 802.16d WiMax는 2~11GHz 대역의 주파수를 사용하고 도심 및 준 도심 지역에서 고정 수신 안테나와 가입자 장치를 이용하여 최대 75 Mbps의 전송 속도로 핵심망에 접속하기 위한 고정 무선 액세스(FWA, Fixed Wireless Access) 시스템으로서, 디지털 가입자 회선(DSL, Digital Subscriber Line) 및 케이블 모뎀이 무선으로 확장된 개념으로 사용되었다.

그 후, 고정 무선 액세스 방식의 고정된 이동성의 한계를 극복하기 위하여 IEEE 802.16e 표준이 제정되었으며 유무선을 통합한 광대역 무선 데이터 서비스를 위한 mobile WiMax로 발전되었다[7][8].

IEEE 802.16e mobile WiMax는 무선 인터페이스로 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 채택 하고 2.5, 3.3, 3.5 GHz 주파수 대역에서 5, 7, 8.75, 10MHz 채널 대역폭을 사용할 수 있도록 하였다. 가입자의 QoS를 만족시키기 위하여 서비스 카테고리들 BE(Best-Effort Service), nrtPS(Non-Real-Time Polling Service), ErtPS(Extended Real-Time Polling Service), rtPS(Real-Time Polling Service), UGS(Unsolicited Grant Service)로 세분화 하였다. 통화 중 가입자의 호 단절을 방지하기 위하여 핸드오프 방식으로 HHO(Hard HandOff), FBSS(Fast Base Station Switching), MDHO(Macro Diversity HandOver)를 적용하였다.

이러한 mobile WiMax 서비스는 초고속 인터넷 인프라가 아직 구축되지 않은 지역이나 서비스 구축 효과 대비 비용이 높은 지역에서의 새로운 대안 기술로도 분석된다. 이에 따라 케이블 네트워크 구축비용이 커지는 미국이나 중국 등 넓은 영토를 소유한 국가의 지방 및 도서 지역에서 활용도가 높을 것으로 기대되고 있다.

2.2 Mobile-Fi

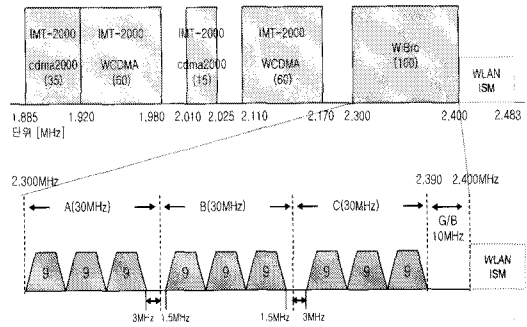
IEEE 802.20 MBWA(Mobile Broadband Wireless Access)라고도 불리는 Mobile Fi는 1.25MHz 주파수 대역폭을 여러 개 사용하여 고속 데이터 전송을 가능하게 하며, 최대 250Km/h 속도의 고속 이동을 지원하는 것이 특징이다. 표면적으로는 IEEE 802.16e와 IEEE 802.20이 진행되는 표준화는 비슷하게 보이나 몇 가지 차이점이 있다. IEEE 802.16e는 2~6 GHz 주파수 대역에서의 이동성 지원 기술이나, IEEE 802.20은 3.5GHz 이하의 주파수 대역에서의 서비스를 목표로 하고 있다. 또한 IEEE 802.16e는 중/저속의 PDA 또는 랩탑 사용자를 목표로 하고 있으나, IEEE 802.20은 250Km/h의 고속의 이동을 지원 하는 4세대 이동통신 기술을 목표로 하고 있다고 볼 수 있

다.

2.3 WiBro

WiBro(휴대인터넷)는 실내의 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)과 같은 유선 초고속 인터넷 서비스를 같은 수준의 품질과 비용으로 실외에서 이동 중에도 사용할 수 있도록 확장하는 개념이다[6][10].

[그림 1]은 WiBro의 주파수 위치를 나타낸 것으로 채널 대역폭은 채널 간 보호대역과 점유 대역폭을 포함하여 FA(Frequency Assignment) 단위당 10MHz이다. 전체 대역폭은 100MHz 총 9 FA 구조로 정부에서는 [그림 1]의 2.3GHz 주파수 대역을 세 개의 사업자에게 3FA씩 할당하여 주파수를 분배하였다[13].



[그림 1] WiBro의 주파수 위치

트래픽은 IP 기반 무선 데이터 서비스의 상/하향 비대칭 전송특성을 나타낸다. 다중화 방식은 하향 링크와 상향 링크를 시간으로 구분하고 비대칭 데이터 서비스를 고려하여 상대적으로 상/하향 전송 속도 및 용량 변경이 용이한 TDD(Time Division Duplexing) 방식을 사용한다. 다중접속 방식으로는 OFDMA 방식이 사용된다.

3. 주파수 소요량 산출 방법

주파수 산출 작업에 근간이 되는 대표적인 권고안으로는 IMT-2000의 소요 대역폭 산출을 위한 방법론인 ITU-R 권고안 M.1390과 ITU-R M.2023이다[1][2]. IMT-2000, WiBro 등 이동 통신에서 주파수 소요량을 산출한 많은 예제들이 있지만 결과적으로 이들의 주파수 소요량 산출은 기본적으로 ITU-R 권고안 M.1390을 바탕으로 하고 있다[1]. 그러나 ITU-R 권고안 M.1390을 비롯하여 지금까지의 관련 연구들은 대부분 기존 유선망에서 사용하던 방법을 기초로 하여 무선 대역폭을 산출했기

때문에, 데이터 서비스를 위주로 하는 이동 통신망에 그 연구 결과들을 그대로 적용하는 것은 여러 가지 문제점을 갖고 있다.

3.1 기존 주파수 소요량 산출 방법의 문제점

ITU-R에서는 얼랑-C 모형을 기반으로 IMT-2000의 필요 주파수 소요량을 산출하였다[2]. 배기수[10]에서는 ITU-R[1][2] 연구 방법론을 동일하게 적용하여 휴대인터넷의 적정 주파수 소요 대역폭을 산출하였다. 그러나 이들의 연구는 WINNER D6.2[9]에서 지적하였듯 데이터 트래픽 특성을 반영하지 않았기 때문에 정확한 대역폭 산출에 적합하지 않다[11]. WINNER D6.2에서는 ITU-R 권고안 M.1390의 주파수 산출 모형이 음성위주의 회선 교환방식을, 기초로 산출되었음을 지적하고 패킷 기반의 서비스를 위하여 데이터 트래픽의 특성을 20가지 분류로 나누고 각 트래픽 특성에 따른 QoS를 반영해야 함을 지적하였다[9].

Leland[3]를 비롯한 여러 연구에서 데이터 트래픽의 발생 과정을 분석한 결과 데이터 트래픽은 자기유사성(self-similarity)을 갖는다고 보고하였다[12]. 트래픽이 자기유사성을 갖는다는 의미는 과거 트래픽의 발생 정도가 현재 트래픽의 발생 정도에 영향을 미치게 된다는 것이다. 이것은 기존 통신망의 성능 분석에서 사용되었던 “트래픽이 포아송(Poisson) 과정에 따라 발생한다”는 가정이 잘못되었음을 의미한다[5]. 왜냐하면 포아송 과정을 갖는 확률 과정은 미래 사건의 발생이 과거에 영향을 받지 않는다는 것을 전제로 하기 때문이다. ITU-R 권고안에서도 트래픽이 포아송 과정에 따라 발생한다는 가정 하에 최번시 한 시간 동안의 트래픽인 BHCA(Busy Hour Call Attempt)가 전체 트래픽을 대표한다고 보고 용량을 설정하였다. 그러나 트래픽이 장기의존성을 갖는 경우에는 최번시 한 시간 동안의 트래픽(BHCA)이 전체 트래픽을 대표한다고 볼 수 없기 때문에 정확한 용량 증설 계획 모형으로는 한계가 있다. 따라서 트래픽이 장기의존성 또는 자기 유사성을 갖게 되면 큐(queue)의 길이 및 지연 등이 증가하여 기존 통신망의 성능 분석 결과가 틀릴 수도 있음을 의미한다[14][15].

음성 통신망의 경우 얼랑-B (Erlang-B) 공식을 통해 산출된 물리적 용량 대비 처리 용량의 비율은 66% (=13.2/20) 정도이며, 정용주[11]에서는 데이터 트래픽을 전송하는 이동 통신망의 처리 용량은 물리적인 용량의 25% 정도 수준이라 보고하고 있다. 따라서 ITU-R 권고안이나 기존연구에서처럼 물리적 용량인 평균 섹터 용량을 시스템 용량으로 이용하는 경우에는 QoS에 따른 처리 용량의 변화를 제대로 반영하지 못해 소요 자원을 과소

평가하게 된다.

각각의 무선 기지국들은 부하율이 서로 다르다. 기지국의 부하율이 비균일하다는 것은 주파수 효율이 일정하지 않다는 뜻으로 해석될 수 있다. 그러나 위의 [1][2][9][10] 연구들에서는 주파수 효율이 일정함을 가정하여 주파수 소요 대역폭을 산출하였기 때문에 기지국 부하율의 비균일 특성을 반영하지 못한 한계가 있다.

통화량이 많은 도심지역의 기지국에서는 주로 섹터 방식을 이용하여 multi-FA 방식을 사용하게 되며, 원활한 핸드오프를 위해서는 주변 기지국들의 FA수가 비슷하게 유지되어야 한다. 따라서 현재 이동 통신망에서는 핸드오프에 따른 통화 품질 저하를 우려해 일정 지역 내 FA 수를 같게 유지한다. 그러나 기존의 연구들에서는 FA 증설 구조를 반영하지 못했다. 따라서 주파수 소요량 산출 시 핸드오프 지역 내의 최번시 트래픽이 기지국 처리량 보다 커지게 되면 지역 내 모든 기지국에 대해 FA를 증설하는 방안을 도입하는 것이 현실에 가장 근접한 모형이라고 할 수 있다.

3.2 주파수 소요량 산출시 고려되어야 할 핵심 요소

3.1절을 근거로 본 논문에서는 데이터 서비스를 위주로 하는 차세대 이동통신망에서 가입자의 트래픽 수요를 충족시키기 위해 필요한 주파수 소요량을 산출할 때 고려해야 하는 핵심 요소 다섯 가지를 제안한다.

그것은 첫째, 데이터 트래픽의 자기 유사성 특징, 둘째, 데이터 트래픽의 QoS가 고려된 처리용량 설정, 셋째, 핸드오프 지역 내 기지국간 부하율의 비균일 특성 반영, 넷째, 핸드오프로 인한 통화 품질 저하를 감소시키고 이동 통신 사업자를 고려한 FA 증설구조이다. 이러한 요소들은 기존에 제시된 주파수 소요량 산출 방법에 대한 문제점들을 개선하기 위해 고려되어야 하는 핵심 요소들이다. 따라서 데이터 서비스를 위주로 하는 이동통신망에서의 주파수 소요량 산출을 위해서는 위에서 제시한 핵심 요소들에 대한 정확한 평가와 연구를 토대로 표준 모형을 제시해야 한다.

실제와 근접한 주파수 소요량 산출은 망 사업자에게 상당히 중요한 시사점을 제공해 준다. 특히, 유무선 통신 사업자의 입장에서는 신규 서비스의 사업성 확보가 가장 중요한 문제이며 이동통신 사업은 사업초기 막대한 망 인프라에 대한 투자가 필요하다. 이동통신망은 크게 가입자 전달망에 해당하는 기지국(BTS) 단위의 무선망과 기지국 제어기(BSC), 교환기(MSC) 그리고 라우터 등의 유선망으로 구분되는데, 이중 무선망 투자가 대략 80% 이

상을 차지하게 된다. 따라서 사업성 여부를 판단하기 위해서나 또는 이동통신망의 투자비를 정확하게 예측하기 위해서는 무선망 구축을 위한 정확한 주파수 소요량 예측이 무엇보다 중요하다. 또한 사업을 전개해나감에 따라 필요한 주파수 자원은 사업자가 제공하는 응용 서비스의 트래픽 특성에 따라 변화한다. 따라서 사업자는 정부로부터 할당 받은 주파수 자원이 한정되어 있기 때문에 기존의 음성 중심의 이동통신과는 달리 트래픽의 특성 및 QoS에 대해 면밀하게 관찰하고 분석해야 된다.

4. 핵심 요소를 바탕으로 한 주파수 소요량 산출 모델

3.2절을 토대로 이동 통신망의 주파수 소요량 산출을 위한 표준 모형을 제안한다.

- N : 지역 가입자 수
- h : 핸드오프(handoff) 트래픽 비율
- U : 상향 (uplink)를 의미
- D : 하향 (downlink)를 의미
- T_s(U), T_s(D) : 가입자당 상/하향 트래픽
- T(U), T(D) : 지역 내 상/하향 총 트래픽
- S : 지역 내 기지국의 총 섹터 수
- C_A(U), C_A(D) : 기지국 평균 섹터 용량
- r(U), r(D) : 기지국 점유율
(평균 섹터 용량과 평균 섹터 처리량 비율)
- C_Q(U), C_Q(D) : QoS가 고려된 기지국 처리 용량
- C(U), C(D) : 지역내 기지국의 상/하향 총 처리 용량
- m : 기지국 용량 여분(margin)
- A(U), A(D) : 지역 상/하향 가동률
- f : 용량증설 기준치

지역의 상/하향 총 트래픽은 지역 내 가입자 수, 가입자당 트래픽, 그리고 핸드오프 비율에 의해 결정되며 식 (4.1)과 같으며,

$$T(i) = N \cdot T_s(i) \cdot (1+h), \quad i=U,D \quad (4.1)$$

식 (4.2)은 지역 내 기지국의 총 처리 용량이다. 총 처리 용량은 QoS가 고려된 기지국 처리 용량 과 총 섹터수의 곱이다. 단, 만일 사업자가 기지국 용량 여분을 고려하는 경우에는 이를 반영한다. 기지국 용량 여분 m은 호 폭 주 및 장비 설치 기간 등의 불확실성에 대비하기 위해 용량의 일부를 여분으로 남겨둔 것을 의미한다.

$$C(i) = C_Q(i) \cdot S \cdot (1-m), \quad i=U,D \quad (4.2)$$

여기서, C_Q(i) = r(i) · C_A(i) 이다.

식 (4.1)과 식(4.2)로 부터, 지역 가동률 A(i)는 다음과 같이 표현된다.

$$A(i) = T(i)/C(i), \quad i=U,D \quad (4.3)$$

따라서, 해당 지역의 용량증설 결정 방법은 식 (4.4)과 같이 결정한다.

$$A(U) \geq f \text{ 또는 } A(D) \geq f \text{ 이면, 지역 FA 증설} \quad (4.4)$$

지역 내 트래픽 분포의 비균일 특성을 반영하면 f는 1 미만이고 용량 증설 기준치는 50%~70% 사이가 적절하다. 용량 증설 기준치는 이동 통신 사업자 마다 사업자 상황에 맞게 다르게 적용할 수 있다.

5. 실험 및 평가

본 장에서는 4장의 용량 증설 계획 표준 모델을 토대로 WiBro의 주파수 소요량 산출 모의실험 결과를 소개한다. 모의실험에서 이용한 WiBro 용량증설 계획 모형의 주요 파라미터는 표 1와 같으며 사업자 현황 및 의지에 따라 파라미터는 변경 가능하다. 평균 섹터 용량은 [6]에서 제시된 WiBro 평균 섹터 용량을 적용하였다. 현재까지 WiBro 서비스는 최선형(Best Effort) 형태의 트래픽만을 고려하므로 점유율을 100%로 설정하였다. 이에 따라 본 실험에서 평균 섹터 처리량과 평균 섹터 용량은 같다. 용량 여분과 핸드오프 트래픽 비율은 임의의 값을 설정하였고 용량증설 기준치는 70%로 설정하였다.

【표 1】 용량증설 계획 주요 파라미터

| | | |
|------------------|--------------------|------|
| 용량여분 (m : 0~99%) | | 0% |
| 핸드오프 트래픽 비율 (h) | | 30% |
| 평균 섹터 용량 (Mbps) | C _A (U) | 1.5 |
| | C _A (D) | 4.63 |
| 점유율 | r(U) | 100% |
| | r(D) | 100% |
| 평균 섹터 처리량 (Mbps) | C _Q (U) | 1.50 |
| | C _Q (D) | 4.63 |
| 용량증설 기준치 (f) | | 70% |

표 2의 수치는 인천 정도의 크기를 갖는 지역의 연도별 가입자 수, 가입자당 트래픽, 커버리지 기지국 수로 모

두 저자가 임의로 설정하였다. 모든 기지국은 3 섹터 기지국을 가정하였다.

[표 2] 가입자 및 커버리지 계획

| 구분 | Y | Y+1 | Y+2 | Y+3 | Y+4 | |
|----------------|--------|--------|--------|---------|---------|----|
| 가입자수 | 25,941 | 56,661 | 87,781 | 137,578 | 164,022 | |
| 가입자당 트래픽(Kbps) | 상향 | 4 | 6 | 7 | 12 | 14 |
| | 하향 | 20 | 24 | 28 | 33 | 39 |
| 커버리지 기지국수 | 300 | 350 | 380 | 400 | 450 | |
| FA당 섹터수 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |

[표 3] 용량증설 계획 모의실험 결과

| 구분 | Y | Y+1 | Y+2 | Y+3 | Y+4 | |
|--------------|----|------|------|------|-------|------|
| 초기 FA 수 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| 지역가동률 (%) | 상향 | 10.0 | 28.1 | 46.7 | 119.2 | 73.7 |
| | 하향 | 16.2 | 36.4 | 60.5 | 106.2 | 66.5 |
| 추가 필요 FA 개수 | 상향 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 하향 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 최종 FA 수 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | |
| 주파수 소요량(MHz) | 10 | 10 | 10 | 20 | 30 | |

표 1와 표 2을 토대로 한 용량증설 계획 모의실험 결과는 표 3와 같으며, Y+3년, Y+4년에 각각 FA 증설이 필요한 것으로 나타났다.

6. 결론

무선망에서의 데이터 서비스들은 궁극적으로 이동성을 보장받는 동시에 고속의 무선 데이터 서비스를 지원받는 것을 목적으로 한다. 이러한 서비스 진화에서는 무선 데이터 통신망에서 가입자의 트래픽 수요를 충족시키고 무선망 구축을 위한 이동 통신 사업자의 사업성 여부와 투자비를 정확하게 예측하기 위하여 정확한 주파수 소요량 예측이 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 데이터 서비스를 위주로 하는 이동 통신망의 주파수 소요량 산출 시 고려해야 할 핵심 요소들을 분석하였다. 그것은 첫째, 데이터 트래픽의 자기 유사성 특징, 둘째, 데이터 트래픽의 QoS가 고려된 처리 용량 설정, 셋째, 핸드오프 지역 내 기지국간 부하율의 비균일 특성 반영, 넷째, 핸드오프로 인한 통화 품질 저하를 감소시키고 이동 통신 사업자를 고려한 FA 증설구조이다. 또한 이러한 핵심 요소들을 적용한 주파수 소요량 산출 모형을 제안하였다.

참고 문헌

- [1] ITU-R(1999), Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements, ITU-R M.1390.
- [2] ITU-R(2000), Spectrum requirements for international mobile telecommunications-2000 (IMT-2000), ITU-R M.2023.
- [3] Leland, W. E. , M. Taquq, W. Willinger, and D. V. Wilson(1994), "On the self-similar nature of Ethernet traffic(extended version)," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 2, No. 1, pp. 1-13.
- [4] SK Telecom(2006), 이동통신 기술의 발전과정.
- [5] Stallings, W(1998). "High-Speed Networks; TCP/IP And ATM Design Principles", Prentice Hall.
- [6] TTA(2004), 휴대인터넷과 IMT-2000 표준과 활용: 2.3GHz 휴대인터넷 표준 - 링크 및 시스템 레벨 성능, TTA 정보통신표준기술교육.
- [7] WiMAX Forum(2006), Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum.
- [8] WiMAX Forum(2006), Mobile WiMAX - Part II: A Comparative Analysis, WiMAX Forum.
- [9] WINNER D6.2 v2.0 Information Society Technologies(2005), Methodology for estimating the spectrum requirement for "further developments of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000".
- [10] 배기수, 김택식(2003), "휴대인터넷 시스템 요구 대역폭 분석, 정보화기술 동향분석", 전자통신연구원.
- [11] Yong-Joo Chung, Chun-Hyun Paik, Hu-Gon Kim, Taek-Jin Choi, Won-Suk Yang, Heung-Suk Hwang (2003), Traffic Modeling and Performance Analysis of Mobile Multimedia Data Services, Journal of Korea Operations Research and Management Science Society, No.28, vol.2, pp.139-155.
- [12] 임석구(2005), "자기유사적인 데이터 트래픽 특성을 고려한 대역폭 할당", 한국콘텐츠학회논문지 vol.5 No.3.
- [13] 정보통신부(2004), WiBro(휴대인터넷)용 주파수할당 공고, 정보통신부공고 제2004-53호.
- [14] Grossglauser M., and Jean-Chrysostome Bolot(1999), "On the Relevance of Long-Range Dependence in Network Traffic," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 7. No. 5, pp. 629-640.
- [15] Willinger W., Vern Paxson and Murad S. Taquq(1998), "Self-Similarity and Heavy Tails: Structural Modeling of Network Traffic", Working Paper.

김 대 극(Dae-Keuk Kim)

[정회원]



- 1992년 2월 : 강원대학교 전자공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 강원대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 9월 : 강원대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한림성심대학 정보통신네트워크과 교수

<관심분야>

정보통신, 컴퓨터 통신망

양 은 샘(Eun-Sam Yang)

[정회원]



- 1991년 2월 : 강원대학교 전자공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 강원대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 9월 : 강원대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 한림대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

컴퓨터 통신망, 이동 통신망

김 화 중(Hwa-Jong Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 서울대학교 전자공학과(학사)
- 1984년 2월 : KAIST 전기 및 전자과 (공학석사)
- 1988년 2월 : KAIST 전기 및 전자과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

<관심분야>

컴퓨터 통신망, 통신 서비스 품질