

# TDD/CDMA망에서의 업링크 트래픽을 위한 DiffServ 지원 스케줄러 설계

장 석 구<sup>†</sup> · 김 영 한<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문은 다양한 요구조건을 가진 멀티미디어 클래스를 지원하는 차세대 무선망에서 효율적으로 적용될 수 있는 무선 액세스망 스케줄러를 제안한다. 제안하는 스케줄러는 클래스 단위의 차등화된 서비스를 보장하면서 전송률을 높이고 패킷의 손실률을 낮출 수 있도록 설계되었다. 이를 적용하기 위한 무선망은 TDD/CDMA 시스템을 기반으로 하였고, 특정 클래스에 속하는 사용자들의 패킷을 효율적으로 스케줄링하기 위하여 사용자별 전송 슬롯을 프레임 단위 내에 할당하여 처리했다. 이를 통해 효율적인 슬롯 할당은 물론 서로 다른 QoS 요청을 만족시킬 수 있다. 본 논문은 또한 시뮬레이션을 이용해서 기존에 제안된 스케줄링 방안과의 성능 비교를 수행하는 것으로 제안된 스케줄링 알고리즘의 특성 및 장점을 고찰한다.

키워드 : 서비스품질, 스케줄러, 무선 네트워크, 차등화서비스

## A Design of DiffServ Supporting Scheduler for uplink traffics in TDD/CDMA Networks

Seog Ku Zang<sup>†</sup> · Young Han Kim<sup>††</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient scheduler well suited for the next-generation wireless networks that can support multimedia traffic having various requirements. The scheduler is designed to provide each of multimedia classes with differentiated services. In particular, the scheduler is intended to maximize throughput and minimize packet loss ratio. To apply the scheduler, we suppose that the wireless network is based on TDD/CDMA system. The scheduler assigns a packet in a dedicated uplink-slot to the user within a frame to operate scheduling of packets transmitted by the users belonging to the specific class in an efficient manner. Such a manner also enables the scheduler to meet different QoS requirements. The paper also includes performance comparison with other schemes and analysis of the proposed scheduling algorithm by using simulation. We also analyze the proposed scheme by using simulation. The simulation compares the proposed scheduling algorithm with previously proposed schemes in terms of the performance.

Key Words : QoS, Scheduler, Wireless Network, DiffServ

## 1. 서 론

무선 이동 통신의 급속한 성장에 따라 다양한 어플리케이션이 등장하고, 이들 상호간에 차별화된 서비스 품질에 대한 요구도 증가하고 있다. 데이터의 손실과 지연이 발생하지 않아야 하는 양질의 서비스를 필요로 경우가 있는가 하면 어느 정도 손실과 데이터 지연이 따르더라도 크게 문제가 되지 않는 응용서비스도 있다. 이들 서비스들은 전송률, 패킷 손실률, 전송지연 및 전송 비트 에러율 등의 요구조건으로 그 특성이

상호 구분되어질 수 있다. DiffServ[1] 기법은 개별적인 어플리케이션 플로우를 구별하지 않고 여러 플로우 집합인 클래스 단위로 패킷 전송을 차별화하는 차등서비스 기반기술이다. 이는 원래 유선망을 대상으로 한 QoS 정책으로 물리계층 및 링크계층에서보다 주로 네트워크계층에서의 차별화된 품질서비스를 고려하고 있다. 차세대 무선 통신망에서 DiffServ를 통한 중단간 다양한 품질서비스를 제공하기 위해서는 네트워크 계층에서 뿐만 아니라 무선 링크에서의 차등서비스 기반이 제공되어야 한다.

DiffServ가 지원되는 무선망으로 진입하는 트래픽들은 서비스 유형에 따라 DiffServ에서 정의한 긴급전송(Expedited Forwarding : EF), 보증전송(Assured Forwarding : AF) 또는 최선형 전송(Default : DE) PHB(Per-Hop Behavior) 클래스로

※ 본 논문은 중점연구소지원에 의해 이루어졌음.

† 정 회 원 : 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정

†† 종 신 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

논문접수 : 2005년 7월 5일, 심사완료 : 2005년 8월 18일

구분될 수 있다. 이들 클래스를 효율적으로 지원하려면 무선 링크 계층에서 무선 자원의 가용도와 클래스간 차등화된 서비스를 고려한 패킷 스케줄링 기법이 필요하다. DiffServ는 클래스 단위로 QoS를 제공하므로 개별 단말에 대하여 실시간의 서비스를 제공하는 것에 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제에 대하여 DiffServ에서는 새로운 사용자가 진입하고자 할 때 해당 클래스의 전체 서비스 계약 범위를 벗어나는 경우 호 수락제어(Call Admission Control)을 통하여 서비스를 제한하는 정책을 사용한다. 물론 이러한 정책이 개별 플로우에 대한 실시간 서비스를 보장할 수 있는 방안이 될 수는 없으나 DiffServ가 추구하는 바가 클래스별 차등화 서비스에 그 목적이 있기 때문에 이러한 차선의 기법을 통해 개별 플로우의 QoS를 제공한다.

DiffServ QoS 계약에 맞게 데이터를 전송하려면 예약 기반의 MAC 프로토콜이 필요한데 이는 시스템 가용성에 있어 상위계층에 영향을 미치는 요소로서 멀티플렉싱 효과를 높이고 효율적으로 자원을 활용하기 위해서 반드시 고려되어야 할 사항이다[2], [3]. 전송되는 트래픽의 가변성으로 인해 전통적인 음성기반 MAC 프로토콜[4], [5]은 차세대 무선망에는 부적합하다. 그러므로 의도하는 멀티미디어 트래픽의 요구조건에 쉽게 적용 가능한 MAC 프로토콜이 필요하다.

TDD/CDMA 시스템에서 제안된 패킷 기반의 스케줄링 기법으로는 WISPER(Wireless Multimedia Access Control Protocol with BER Scheduling)[6]와 FPLS(Fair Packet Loss Sharing)[7]가 있다. CDMA의 파워 제어 특성을 이용하도록 설계된 WISPER는 같거나 유사한 BER(Bit Error Rate) 요구 사항을 가진 패킷들을 동일한 타임 슬롯에 할당하는 스케줄링 기법을 사용한다. WISPER는 스케줄 되는 패킷이 모두 서로 다른 BER을 가지는 극단적인 상황에서는 무선 자원의 효율적인 분배를 기대하기 어렵게 된다. FPLS 스케줄러는 이러한 점을 개선하고자 서로 다른 요구 BER을 가진 패킷들의 패킷 손실 확률을 고려해 가면서 동일한 타임 슬롯에 채워 넣음으로써 자원 사용의 효율성을 추구하고 있다. 그러나 이 기법은 패킷 서비스의 공평성을 기하기 위하여 서비스 중인 모든 트래픽에 대한 자원 사용현황을 기록하는 버퍼를 유지해야 하는 면에서 확장성과 계산 복잡도를 증가시키는 문제를 안고 있다. 뿐만 아니라 자원 사용 요청이 적은 경우에도 첫 번째 슬롯부터 가능한 많은 코드를 스케줄링 하는 알고리즘의 특성 때문에 유휴슬롯이 남아 있음에도 불구하고 프레임의 앞쪽 슬롯에만 패킷을 할당함으로써 무선망 내의 상호 간섭을 증가시켜 통화품질을 저하시키는 역효과를 초래할 수 있다.

상기의 기법들은 요구 BER에 따라 패킷단위의 QoS를 제공하는 측면에서는 의미 있는 접근이라고 할 수 있으나 서로 다른 대역폭을 요구하는 클래스 단위의 DiffServ의 지원에 대한 고려가 없다. 본 논문에서는 차세대 무선 환경에서 중단간 클래스에 기반을 둔 DiffServ QoS를 만족시키면서 링크 프레임의 타임 슬롯에 전송될 패킷들을 효율적으로 할당해 주는 스케줄링 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 'DiffServ

지원 스케줄러'(Diffserv Supporting Scheduler : DSS)는 무선망의 부족한 자원을 낭비 없이 사용하기 위해서 자원 사용 요청에 대한 효율적인 스케줄링과 패킷 손실률을 최대한 줄이도록 하면서 클래스간 차등화된 서비스를 가능하게 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려한 시스템 모델을 소개하고, 3장에서는 제안한 스케줄링 알고리즘을 고찰하고 4장에서 시뮬레이션을 통한 성능실험을 수행한다. 끝으로, 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 무선 액세스 시스템 구조

본 논문에서는 무선 자원을 사용하고자 하는 모든 사용자들은 업 링크 주기에 맞춰 기지국에 자원사용에 대한 요청을 하는 것으로 가정한다. 기지국은 일정 타임 슬롯으로 구분된 하나의 프레임에 서비스 가능한 코드 슬롯의 총 개수를 이미 알고 있다고 가정한다. 수용된 트래픽 클래스와 요구된 QoS 특성은 Diffserv에 정의된 클래스를 따른다. EF클래스에 해당하는 데이터로는 주기적으로 발생하는 VoIP와 같은 데이터 스트림을 들 수 있는데 데이터 지연이 없고 최대속도가 보장되어야 한다. AF 클래스는 MPEG과 같은 실시간의 RT-VBR(Realtime Variable Bit Rate) 스트림과 FTP와 같은 최소한의 전송률을 요구하는 서비스를 들 수 있다. DE클래스로는 최선형 데이터 스트림으로 최소한의 서비스 레벨도 요구하지 않는다[8].

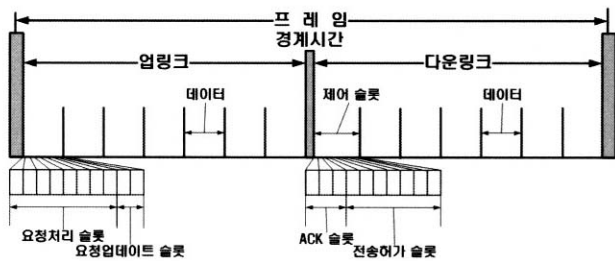
무선 링크는 시간을 일정 길이의 프레임으로 분할하고 이를 송수신용의 시간 슬롯으로 나눈 시분할/코드분할 다원접속(Time Division/Code Division Multiple Access : CDMA)의 하이브리드 시스템을 가정한다. 이 시스템은 시분할 이중화(Time Division Duplex : TDD) 모드로 작동하는데, 1개의 프레임 내부를 송신용과 수신용으로 분할하여 1개의 주파수 양방향 통신을 하는 방식으로 업링크와 다운링크간 비대칭 트래픽을 조정하기에 가장 적합한 기법이라 할 수 있다.

각 프레임은 여러 타임 슬롯으로 나뉜다. 각 사용자들에게 고유한 슈도-랜덤 노이즈(Pseudo-random Noise : PN)코드를 할당함으로써 타임 슬롯 내에 다원 접속이 실행된다. QoS 파라미터로는 무선링크상의 처리율과 패킷 손실률을 가정한다. 각 패킷은 서비스 지연시간 한계값을 갖고 있고 만약 이 지연시간 한계를 벗어난다면 이 패킷은 폐기되게 된다.

(그림 1)은 TDD TD/CDMA의 프레임구조를 나타낸다. 고정길이의 TDMA 프레임은 업 링크와 다운링크 채널 시간으로 나뉘고 이는 다시 제어와 데이터 전송 주기로 나뉘어진다. 제어 목적으로 할당되는 슬롯은 각기 제어 패킷들이 전달되는 제어용 미니슬롯으로 나뉜다. 기지국은 매 프레임 내 데이터나 제어 슬롯의 사용을 관리하고 단말기들에게 데이터 슬롯을 할당한다. 업링크 전송에서 요청 처리 슬롯(Request Access Slots)과 요청 업데이트 슬롯(Request Update Slots)은 단말기들이 패킷전송을 요청할 때 사용된다. 서로 다른 코드를 사용할 경우 동일한 요청 처리 슬롯을 사용할 수 있다. 요청 처리 슬롯은 슬롯화 된 ALOHA 랜덤 액세스 프로토콜

의 DS(Direct Sequence)-CDMA[9]가 사용된다. 전송 요청을 위해 전용 코드가 사용되는데 기지국이 이동 단말기들에게 이 코드를 브로드캐스팅 한다. 이동 단말이 요청을 전송하려면 코드 풀에서 임의의 코드와 전송을 위한 요청 처리 슬롯을 선택한다. 만약 여러 사용자가 전송 요청을 할 경우 하나의 요청 처리 슬롯에 대하여 중복된 요청이 발생할 수 있다. 이러한 충돌은 단지 요청 처리 슬롯에서만 발생한다. 대역폭의 낭비를 막기 위해 요청 슬롯은 패킷 슬롯보다 훨씬 짧은데 충돌은 요청 처리 슬롯에서만 발생한다. 충돌이 발생하여 타임 슬롯을 할당 받지 못하게 될 경우 다음 슬롯에 요청 과정을 반복한다. 모든 사용자는 하나의 프레임에 한 번의 요청을 한다.

비디오 트래픽의 경우 요청 처리 슬롯을 통해 시도하는데 요청을 수락한 후 요청 처리 슬롯은 요청 업데이트 슬롯으로 바뀐다. 요청 처리 슬롯은 패킷전송 충돌을 막기 위해 액티브 비디오 사용자에게 할당된다. 연결이 종료될 때, 요청 업데이트 슬롯에 종료요청을 표시하여 보낸다. 다운링크의 제어 슬롯은 요청 승인(Request Acknowledgment: ACK) 슬롯과 전송 허용(Transmission Permission: TP) 슬롯으로 구성된다. 이들은 다음 프레임의 업링크 전송 스케줄 결과를 전송하는데 사용되거나 전송이 허락된 사용자의 ID를 브로드캐스트 하기 위해 현재 프레임의 ACK 슬롯을 사용한다. 어느 타임 슬롯에 얼마나 많은 패킷을 전송할 지 알리는 데 TP슬롯을 사용한다.



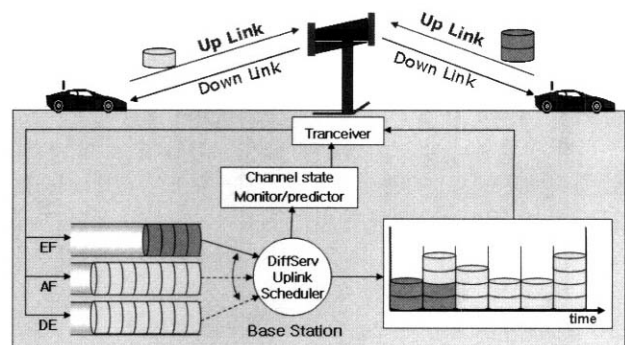
(그림 1) 무선 링크의 프레임 구조(업/다운 링크)

음성트래픽은 On-Off 음성 모델[10], [11], [12]을 사용한다. On 상태에서 패킷은 일정률로 생성된다. 사용자는 음성 상태가 off에서 On으로 바뀔 때 기지국으로 요청 메시지를 보낸다. 기지국은 사용자의 전송허가 여부를 판별하고 각 프레임에 하나의 패킷을 전송할 수 있도록 자동으로 자원을 할당한 후, 다운링크의 TP 슬롯을 통해 전송허가 여부를 알리게 된다. 이에 반해 Off상태로 전환될 때 사용자는 기지국으로 상태정보를 전달하지 않는다. 따라서 토크 스파트가 끝날 때 사용자가 보낼 수 있도록 예약된 하나의 패킷에 해당하는 자원이 낭비되지만 이를 통해 기지국은 사용자가 Off 상태인 것을 묵시적으로 알게 된다. 이후 토크 스파트가 끝난 자원은 패킷을 전송하려는 다른 사용자에게 예약된다. 다음 토크 스파트가 시작될 때 이 과정은 반복된다. 이는 패킷 예약 다원 접속 (Packet Reservation Multiple Access: PRMA)[13] 방식과 비슷하다.

비디오 트래픽에 대한 요청은 전송 초기에 데이터 사용자들처럼 첫 요청을 보내기 위해 요청 슬롯을 사용한다. 또한 자신의 버퍼에 얼마나 많은 패킷이 도착했는지를 기지국에 알린다. 기지국에 의해 요청이 받아들여지면 요청 슬롯은 요청 업데이트 슬롯으로 바뀌고 사용자들에게 PN코드가 할당된다. 이 요청 업데이트 슬롯을 이용하여 사용자는 이전 프레임에서 도착한 패킷의 변경된 숫자만을 보내 준다. 이러한 정보를 통하여 기지국은 자원을 할당하고 이를 TP슬롯에 담아 사용자에게 브로드캐스팅 한다. 연결을 끊고자 할 때 사용자는 기지국에 전송의 종료를 알리는 표시를 하기 위해 요청 업데이트 슬롯에 종료 요청을 보낸다.

### 3. Diffserv 지원 무선 액세스 스케줄러

패킷 스케줄러의 설계에는 대역폭, 사용자들의 수, 상이한 트래픽 클래스의 QoS 요구사항과 특성이 고려되어야 한다. (그림 2)는 각 단말기들의 전송 요청 메시지에 대하여 기지국에서 타임 슬롯을 할당하기 위한 스케줄링 구조를 나타내고 있다. 기지국에 수신된 요청 메시지는 트래픽 측정자에 의해 전송 요청 대역폭의 용량이 측정된 다음 분류자를 통해 패킷의 클래스와 우선순위에 따라 각각의 해당 클래스 큐에 분류되어 큐잉 된다. 각각의 클래스큐 내의 패킷들은 제안하는 스케줄링 알고리즘에 의해서 타임 슬롯이 할당된다. 부족한 무선자원을 최대한 효율적으로 사용하기 위해서는 우선순위에 따라 가용 자원을 최대한 사용할 수 있도록 패킷을 스케줄링 해야 한다. 제안한 스케줄러는 각 트래픽 클래스에 대하여 최대한의 처리율을 제공하는 것을 목적으로 하며 패킷의 손실률에 있어서 클래스간 차등화 한다. 이를 위하여 패킷의 우선순위 결정하여 해당 클래스 큐에 배치하는 과정과 각 클래스 큐에 배치된 패킷을 타임 슬롯에 할당하는 두 가지 단계를 거치게 된다.



(그림 2) 기지국의 스케줄링 구조

#### 3.1 우선순위의 계산

전송 요청을 하는 패킷의 수가 기지국에서 서비스할 수 있는 수보다 많아지면 하나의 프레임내 타임 슬롯에 할당될 수 있는 패킷들은 우선순위 규칙에 따라 선택되어야 할 것이다. 우선환경에서의 스케줄러는 실시간으로 도착하는 서로 다른

요구사항을 가진 패킷들을 스케줄링 하기 위해 서비스되는 패킷에 따라 가중치를 부여하고 기록을 유지할 수 있다. 그러나 무선 환경, 특히 TDD TD/CDMA 시스템에서는 동기화를 통해 업 링크의 특정 주기에 동시다발적으로 자원 사용 요청 메시지를 기지국에 보내며 이들이 보내는 요청 메시지를 통해 하나의 프레임에 전송되어야 할 패킷의 클래스와 해당 클래스별로 필요로 하는 대역폭의 총량, 타임아웃 시기, 패킷의 예상되는 손실률 등을 사전에 알리게 된다. 전송 순위는 이러한 전송 요청 메시지를 통해 결정하게 된다.

기지국은 이동 단말기들이 보낸 전송 요청 메시지를 받아들여 요청풀(Request Pool: RP)에 저장한다. RP는 우선순위가 결정되지 않은 전송요청 들을 저장하고 있는 장소이다. 즉, 클래스큐에 분류 저장되기 전의 모든 요청패킷들은 이곳에서 대기한다. 스케줄러는 우선순위를 계산하는 함수를 이용하여 우선순위 값을 결정한다. 우선순위 값은 다음 프레임에 자원 사용을 의뢰한 패킷의 전송 우선순위를 결정하는 데 사용된다. 우선순위 값이 결정된 패킷은 각각 자신이 속한 클래스별로 분류되어 해당 클래스큐에 저장된다. 제안한 스케줄러는 패킷의 손실률을 최대한 줄이기 위하여 우선순위를 계산할 때 다음 프레임에 스케줄 되지 않으면 폐기될 패킷들이 타임 슬롯을 할당받을 수 있도록 고려하고 있다. 또한 요청된 패킷들의 수를 반영하여 보다 많은 수의 패킷이 배치되어 있는 클래스큐를 우선순위가 높도록 비례적용 한다. 이동 단말기들이 가능한 최대의 전송률로 전송한다고 가정했을 때 각 클래스큐에 대한 우선순위 값에는 하나의 타임 슬롯에 이들이 전송할 수 있는 최대 개수가 고려되어 있다. 타임아웃까지 충분한 시간이 있는 패킷들은 후속되는 프레임 내에서 타임아웃 전에 전송하는데 필요한 슬롯을 확보할 수 있음을 의미한다. 이동 단말기로부터 전송요청을 받은 기지국은 다음 프레임에 스케줄 되지 않으면 폐기될 패킷들에 대한 정보를 가지고 있다. 할당될 자원이 없으면서 타임아웃 값이 0으로 되는 패킷들은 부득이하게 폐기되어야 한다. 트래픽이 별로 없는 경우에는 서비스를 요청한 패킷들 모두가 하나의 프레임에 스케줄 되겠지만 적시에 스케줄 되지 못한 패킷들은 폐기될 것이다. 스케줄 되지 않고 잔류하는 전송요청 패킷들은 타임 아웃 값을 조정된 뒤 다음 프레임의 스케줄 대상이 된다.

패킷 우선순위 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 터미널이 하나의 타임 슬롯에 보낼 수 있는 패킷의 최대 개수를  $TR_{max}$ 라고 하자. 클래스큐에 있는 패킷이 t시점으로부터 기다릴 수 있는 프레임의 수를  $TO_c(t)$ 라고 정의한다. t시점에서 클래스큐 c에 남아 있는 패킷의 수는  $PNum_c(t)$ 라고 한다.  $NUM_{TS}$ 는 프레임 내 타임 슬롯의 개수를 의미한다. t시점에 클래스 큐에 배치되는 패킷의 우선순위는 다음과 같다.

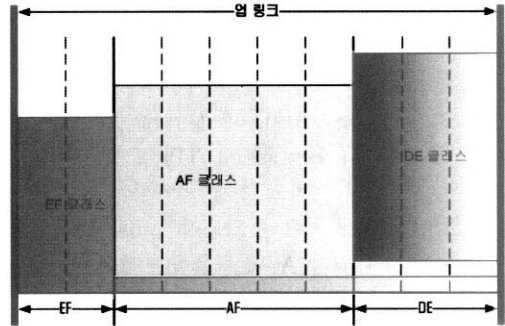
$$PR_c(t) = \frac{\left\lceil \frac{PNum_c(t)}{TR_{max}} \right\rceil}{TO_c(t)} \leq NUM_{TS} \text{ 이면 } \frac{\left\lceil \frac{PNum_c(t)}{TR_{max}} \right\rceil}{TO_c(t)} \text{ 이고,}$$

그렇지 않은 경우는  $NUM_{TS}$ 를 적용한다. 이는 타임 아웃 값  $TO_c(t)$ 가 작고 전송할 패킷의 수  $PNum_c(t)$ 가 많은 클레

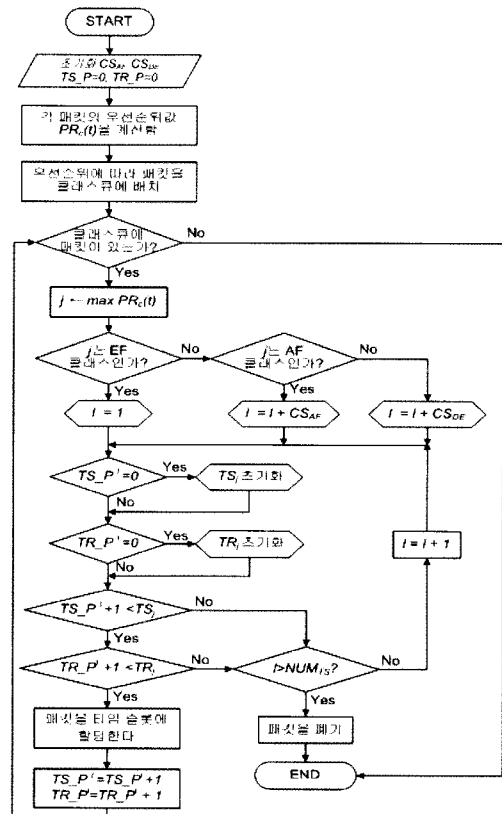
스는 높은 우선순위를 갖게 되지만 자신이 속해 있는 클래스에 따라 서로 다른  $TR_{max}$  값이 적용되므로 이 값이 큰 클래스일수록 우선순위가 낮아짐을 의미한다. 우선순위가 계산된 패킷들은 우선순위가 높은 순서대로 해당 클래스큐에 배치된다.

### 3.2 타임 슬롯의 할당

사용자의 요구조건을 만족시키면서 하나의 타임 슬롯에 최대한 많은 수의 패킷을 할당함으로써 무선 자원 활용도를 높이는 것이 본 스케줄러의 목적이다. 특히 타임 슬롯을 일정 크기로 구획을 나누고 클래스 간 차별화된 할당 정책을 적용함으로써 QoS를 보장하고자 한다. 타임 슬롯에 스케줄 되는 패킷들은 특정 서비스 클래스에 속한다. (그림 3)은 클래스별 스케줄 가능한 타임 슬롯의 구획도 예이다.



(그림 3) 클래스별로 구분된 타임 슬롯



(그림 4) DSS 스케줄링 알고리즘

DSS는 각 패킷들을 자신이 속하는 클래스의 해당 타임 슬롯의 공간에 할당한다. EF클래스는 자신을 포함한 AF 및 DE클래스 영역에 할당될 수 있다. AF클래스는 자신을 포함한 DE 클래스 공간에 자리를 확보할 수 있으며 DE클래스는 자신에게 할당된 타임 슬롯에만 스케줄 될 수 있다. 결국 EF, AF, DE 클래스 순으로 할당영역이 확보되며 셀 로드가 증가할 경우 패킷 손실률에서도 클래스간 차등화 된 서비스의 결과를 기대할 수 있다는 장점이 있다.

DSS는 요청된 패킷들이 다음 프레임에 스케줄 될 수 있는지를 판단하여 어떤 패킷이 어느 슬롯에 배치되어야 하고 그 숫자가 얼마가 되는지 결정해서 이동 터미널들에게 알려 주어야 한다. (그림 4)는 DSS의 슈도 알고리즘으로써 다음과 같이 패킷을 스케줄 한다.

$CA_s$ 를 각각의 클래스 영역의 시작 타임 슬롯의 번호라고 하자. 이들은 클래스 영역에 따라 서로 다른 3개의  $CA_s$  값을 갖는다. 또한 하나의 타임슬롯에 할당될 수 있는 패킷의 최대 개수  $TS_{max}$ 와 해당 타임 슬롯내에 하나의 이동 단말이 전송할 수 있는 패킷의 최대 개수를 의미하는  $TR_{max}$ 를 초기화 한다. 먼저 클래스 큐에 다음 프레임에 전송을 희망하는 패킷이 더 이상 남아 있지 않다면 패킷 스케줄을 종료하고 그렇지 않다면 클래스 큐에서 우선 순위가 가장 높은 패킷을 선정한다. 서로 다른 클래스 큐에 동일한 우선순위 값을 가진 패킷이 있을 때는 EF큐의 패킷이 AF큐의 것보다 우선하고 AF큐의 패킷이 DE큐의 것보다 우선하여 선택된다.  $l$ 을 업링크 타임 슬롯 각각에 부여된 고유번호라고 하자. 가장 높은 우선순위를 가진 패킷을  $l+lCA_s$  즉, 해당 패킷이 속한 클래스 영역의 첫 번째 슬롯으로 이동한다. 만약 EF 클래스에 속하는 패킷이 스케줄 대상에 없을 경우에는 AF 클래스의 패킷이 EF 클래스 영역에 할당될 수 있다. DE 클래스의 경우도 EF 나 AF 클래스 패킷의 자원 사용요청이 없는 경우 그들의 비어 있는 타임 슬롯을 사용할 수 있도록 함으로써 동적으로 자원 사용이 가능하도록 한다. 시작 지점의 첫 슬롯이 비어 있다면 이곳에 패킷을 할당하고 해당 클래스에 그 슬롯에 전송할 수 있는 최대 패킷의 수  $TS_{max}$ 를 초기화 한다. 또한 그 슬롯에서 해당 클래스를 서비스 받는 단말기들이 전송할 수 있는 최대 전송률  $TR_{max}$ 를 그 클래스에 부여된 값으로 저장한다. 만약 해당 타임 슬롯에 이미 다른 패킷들이 할당되어 있는 경우 그 숫자에 현재 패킷을 더한 값이  $TS_{max}$ 를 초과하지 않고 또  $TR_{max}$ 를 넘지 않는다면 현재의 슬롯에 패킷을 할당한다. 만약  $TS_{max}$ 나  $TR_{max}$ 를 초과한 경우는 다음 슬롯으로 이동하여 프레임의 마지막 슬롯에 이를 때까지 위의 과정을 반복한다. 이 과정에서 상위 클래스에 속하는 패킷이 하위 클래스의 영역에 할당되어야 할 경우에도  $TS_{max}$ 와  $TR_{max}$ 는 해당 클래스의 값을 유지되도록 하여 서비스에 있어서 차등화 시킨다. 스케줄 할 패킷이 더 이상 없거나 타임 슬롯의 마지막까지 도달하였으면 현재 프레임의 스케줄을 종료한다.

3.3 스케줄링 예

위의 알고리즘의 적용 예로서 표1은 각 터미널에서 기지국

으로 보낸 자원사용 요청이 들어 있는 RP이다. 이들이 보낸 요청 메시지에 현재 패킷의 클래스 유형과 타임 아웃값 ( $TO_c(t)$ ), 그리고 서비스를 받고자 하는 패킷의 개수 ( $PNum_c(t)$ )가 들어 있다. 기지국은 이를 통해 각 이동 단말기들이 한 번에 보낼 수 있는 최대 전송률( $TR$ )과 하나의 타임 슬롯에 할당할 수 있는 패킷의 최대 개수( $TS$ )를 결정한다. 우선순위 함수는 이러한 정보를 이용하여 전송 우선순위 값 ( $PR_c(t)$ )을 결정할 수 있다.

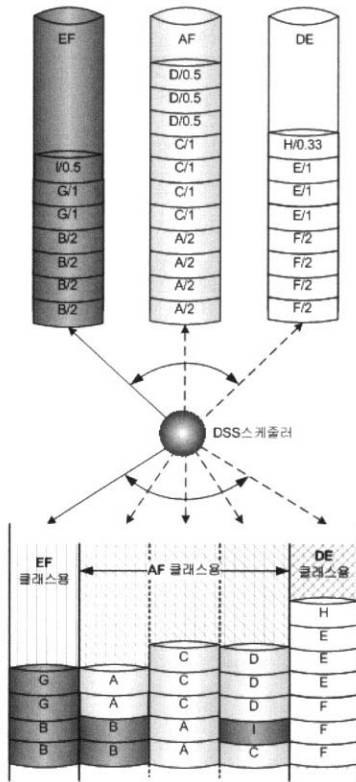
<표 1> 클래스큐에 배치되기 전의 패킷들이 있는 RP

클래스 \ 터미널		터미널								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
EF TR=2 TS=4	$TO_c(t)$		1					2		2
	$PNum_c(t)$		4					2		1
	$PR_c(t)$		2					1		0.5
AF TR=3 TS=5	$TO_c(t)$	1		2	3					
	$PNum_c(t)$	4		3	3					
	$PR_c(t)$	2		1	0.5					
DE TR=3 TS=7	$TO_c(t)$					1	1		3	
	$PNum_c(t)$					3	4		1	
	$PR_c(t)$					1	2		0.33	

<표 1>에는 9개의 단말기로부터 자원 사용 요청현황(열방향)과 28개에 달하는 패킷이 들어 있다. 서비스 클래스는 3가지 유형으로 EF-클래스, AF-클래스, DE-클래스로 나뉜다. 타임 아웃 값이 낮으면서 전송 요청량이 많은 경우 높은 우선순위를 얻게 되는 것을 관찰할 수 있다. (그림 5)는 클래스 유형별 전송 우선순위 값에 따라 각 클래스 큐에 배치되어 있는 패킷들을 나타내고 있다. 원통의 아래쪽이 큐의 머리 부분이고 위쪽이 꼬리 부분이다. 원통 안의 원반은 패킷을 의미하고 가운데 썩어진 B/2라는 표기는 단말기 B로부터 요청된 패킷으로 우선순위 값이 2라는 뜻이다. 우선 순위 값의 계산은 전송한 수식에 따라 산출된 것이다. 스케줄러는 각 큐에 전송할 패킷들이 존재하고 이들의 우선순위가 동일할 때는 EF큐→AF큐→DE큐의 순으로 패킷을 할당한다.

스케줄을 시작할 때 모든 데이터 레코드 가운데 가장 높은 우선순위를 가진 대상이 결정된다. EF 클래스 큐의 B와 AF 클래스 큐의 A, 그리고 DE 클래스 큐의 F는 모두 동일한 우선순위 값을 가지고 있지만 EF 클래스 큐의 B가 첫 번째 스케줄 대상이 된다. 스케줄러는 EF 클래스 큐에 속하는 패킷 B를 타임 슬롯의 첫 번째 구역 첫 번째 슬롯인  $l=J$  슬롯의 비어 있는 곳에 적재하게 된다. 이때 이 패킷과 동일한 슬롯에 적재되는 패킷들의 이동 단말기들이 전송할 수 있는 최대 전송률  $TR_{max}$ 는 모두 2라는 값을 가지게 되고 해당 슬롯에는  $TS_{max}=4$  즉, 최대 4개까지의 패킷 할당이 허용된다. 처음 2개의 패킷 B는 EF 클래스 영역에 할당이 된다. 나머지 2개의 패킷 B는 AF영역의 첫째 타임 슬롯에 할당되는데, 이 타임 슬롯에 적재할 수 있는 패킷의 최대개수  $TS_{max}=4$ 가 된다. 다음 우선순위에 해당하는 패킷인 A는 AF클래스에 속하므로 이 클래스에 속한 패킷이 할당되는 영역은 2번째 슬롯부터 시작이다. 이곳엔 EF클래스의 B가 2개 적재되면서  $TS_{max}=4$

로 초기화 되어 있다. 그러므로  $(P^l=(2+1)) \leq (TS_{max}=4)$ 을 만족하는 선까지 나머지 패킷 2개를 더 채울 수 있다. 그리고 남은 패킷 2개는 AF클래스의 2번째인  $l=3$ 의 위치에 적재한다. 이때 이 슬롯의  $TS_{max}=5, TR_{max}=3$ 이 된다. 남은 2개의 패킷을 할당한다. 다음 순번인 DE 클래스 큐의 F의 스케줄 시작 위치는  $l=1+DE_3$ 이인  $l=5$ 이다. 5번째 타임 슬롯의  $TS_{max}=7, TR_{max}=3$ 으로 설정된다.  $TR_{max}=3$ 이므로 클래스 큐에 배치된 4개의 F패킷 가운데 3개만 적재될 수 있다. 이 때 하나의 패킷 손실이 발생한다.



(그림 5) 우선순위에 클래스큐의 배치된 패킷과 스케줄러에 의해 타임 슬롯에 할당된 패킷

클래스 큐에서 우선순위 값이 1인 패킷을 대상으로 다시 타임 슬롯을 할당한다. 스케줄러는 EF 클래스 큐의 아직 비어 있는 첫 번째 슬롯을 2개의 G 패킷에게 할당한다. AF 클래스 큐의 C에게 자리를 할당하기 위하여 스케줄러는 AF영역의 첫 번째부터 자리를 찾기 시작하여  $l=3$ 슬롯에서 빈자리를 찾고 최대 전송률인 3개를  $TS_{max}$ 인 5가 되는 만큼 적재하고 다음 슬롯에 나머지 1개를 할당한다. 다음 차레인 DE 클래스 큐의 E를 타임 슬롯의 E 클래스 영역에 할당한다.  $TR_{max}=3$ 이고 현재의  $TS_{max}=3$ 이므로 3개 모두 적재 가능하다. 다음 스케줄 대상인 EF 클래스 큐의 I는 EF 클래스큐의 첫 번째 슬롯부터 빈 자리를 찾는다. 그러나 EF 클래스용 타임 슬롯은 이미 우선순위가 높은 패킷들로 채워져 있기 때문에 AF클래스용 5번째 타임 슬롯의 C패킷 위에 적재된다. 이어서 D패킷을 3개 적재하고  $TS_{max}=5$ 로 수정한다. 끝으로 DE 클래스의 H패킷을 DE클래스 영역의 타임 슬롯에 할당한다.

이로써 서비스를 요청한 클래스 큐의 모든 패킷에 대한 할당을 종료한다.

만약 클래스 큐에 서비스를 요청한 패킷들이 타임 슬롯을 할당받지 못한 채 잔류한다면 이 패킷은 자신의 타임아웃 값을 1 감소시킨다. 큐에 패킷이 잔류한다는 것은 패킷의 타임아웃값이 아직 유효함을 의미하고 이 시간 동안 단말은 요청 패킷을 더 이상 보내지 않는다. 이들에 대한 타임아웃 값이 감소됨으로써 그에 따른 우선순위 값도 상향조절 된다. 타임아웃값이 지나서까지 스케줄 되지 못한 패킷들은 폐기되고 단말은 다시 요청 패킷을 기지국에 전송한다.

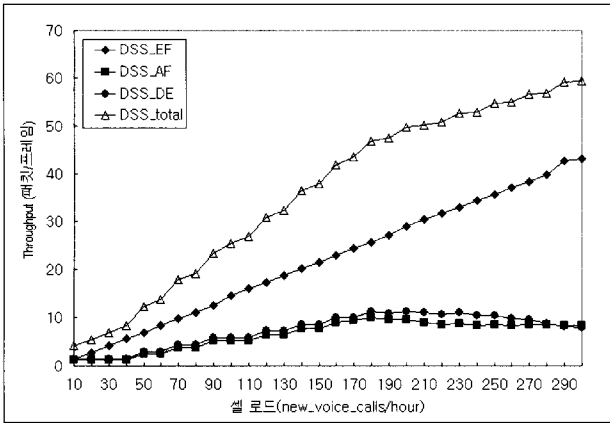
#### 4. 성능 분석 및 평가

프로토콜의 성능을 평가하기 위해 EF 클래스로는 음성 채팅 트래픽(버스트 트래픽)을, AF 클래스에 해당하는 CBR 비디오 트래픽 그리고 DE클래스에 해당하는 CBR 오디오 트래픽 모델을 각각 적용한다. 시뮬레이션에 적용한 시스템에서는 패킷의 손실은 스케줄링 때에만 발생한다고 가정한다. 즉, 무선 구간에서는 발생하지 않는다. 모든 이동 단말기들은 특정 서비스 클래스에 대해 일률적으로 최대 전송률이 적용된다. 3개의 클래스마다 적용되는 개별적인 주요 매개변수들은 <표 2>와 같이 정한다.

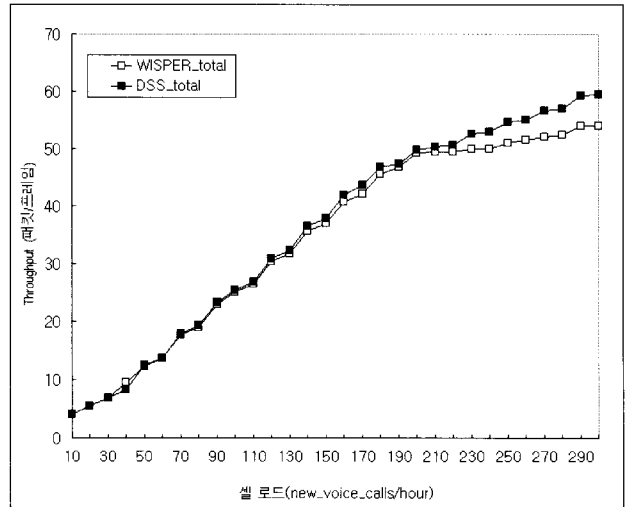
<표 2> 시뮬레이션 환경과 시스템 파라미터들

매개변수	클래스		
	EF	AF	DE
	Voice Chat	CBR_Audio	CBR_Video
최대 BER	10-6	10-5	10-4
최대 패킷수(패킷/슬롯)	8	10	15
타임아웃 값(프레임)	2	3	6
최대 전송률(패킷/슬롯)	1	4	6

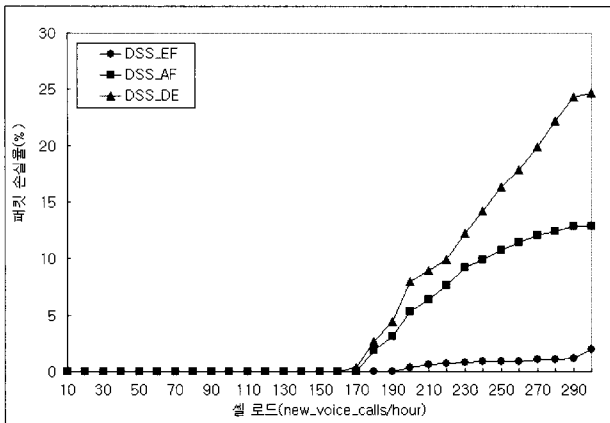
하나의 프레임의 크기는 16msec로 하고 업링크 밴드를 10개의 타임 슬롯으로 나눈다. 이들 타임 슬롯 가운데 프레임의 시작 지점으로부터 2개는 EF 클래스, 5개는 AF클래스, 3개는 DE클래스로 구분한다. 각 클래스에 대해 하나의 타임 슬롯에서 각 터미널이 전송할 수 있는 최대전송률은 CDMA 시스템 용량 표현[14]에 따른다. 시뮬레이션에서는 스트레스 테스트 즉, 셀 로드를 단계적으로 증가시켜 가는 방법을 이용하여 DSS 스케줄러의 성능을 평가하고자 한다. 상이한 트래픽 클래스에 대해 새로운 이동 터미널의 도착률은 시뮬레이션 시간 동안 지속적으로 유지된다. 본 시뮬레이션에서 사용되는 새로운 이동 터미널의 상대적인 도착률은 EF 트래픽이 70%, AF 및 DE 트래픽은 각각 15%이다. 본 시뮬레이션의 주요 목적은 서로 다른 트래픽 로드 아래 주어지는 데이터 처리량과 그에 따른 패킷 손실률을 특성화 시키는 것이다. 여러 유형의 트래픽이 섞여서 전송되는 상황에서 수용할 수 없는 패킷 손실률과 패킷 지연 등의 결과로 이어지는 입력 로드 값을 도출하는데 본 실험의 의미가 있다. 또한 WISPER와 본 논문이 제안하는 스케줄러의 성능을 비교한다.



(그림 6) 스케줄러의 처리량



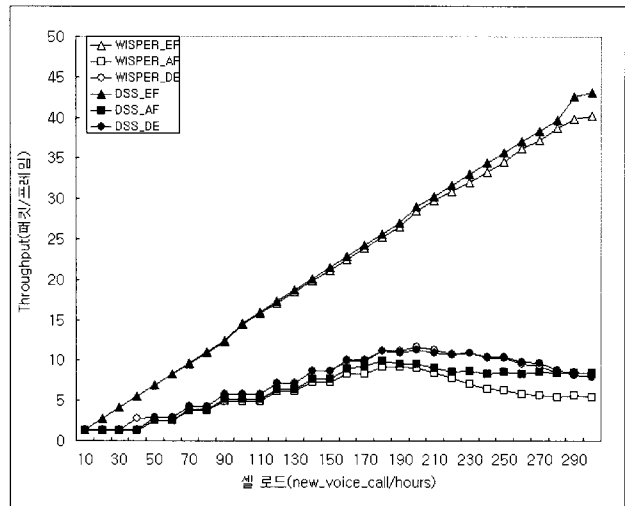
(그림 8) 스케줄러의 총 패킷 처리량 비교



(그림 7) 스케줄러의 패킷 손실률

(그림 6)과 (그림 7)은 제안된 스케줄러 성능 결과를 보여 주고 있다. (그림 6)은 3개의 클래스 EF, AF, DE에 대한 스케줄러의 처리량을 나타내고 있다. 가장 높은 값을 보이는 곡선은 시뮬레이션 되는 무선 셀 내에서 이동 단말기들이 전송하는 3개 클래스에 대한 서비스 총량이다. AF 클래스나 DE 클래스가 그들의 구획된 셀 범위 내에서만 스케줄 될 수 있도록 제한되는데 비해 EF 클래스는 영역의 제한 없이 스케줄 될 수 있다. 처리율에 있어 클래스간 차등화된 효과는 이러한 특성에 기인한다. 또한 EF 클래스 패킷의 숫자가 많아질수록 이들이 많은 슬롯을 차지하게 되므로 AF와 DE클래스에 속하는 패킷들은 상대적으로 할당될 기회를 얻지 못하여 폐기 되는 양이 늘어나게 된다. (그림 7)은 이러한 특성을 보여주고 있다. 3개의 트래픽 클래스에 대한 평균 패킷 손실률이 클래스 차등화의 결과로 이어지고 있다.

(그림 8)은 DSS와 WISPER의 모든 클래스에 대한 총 패킷 처리량을 비교한 것이다. 셀 로드가 증가할수록 DSS의 성능이 WISPER의 처리량보다 높아진다. BER이 같거나 비슷한 슬롯에 패킷을 할당하는 WISPER와 달리 DSS는 할당될 패킷이 서로 다른 BER을 가지고 있더라도 타임 슬롯의 공간이 비어 있다면 클래스 영역에 차등하여 슬롯을 할당받을 수 있기 때문에 전체 처리량을 높일 수 있도록 해 준다. EF 클래스의 패킷들의 수량의 증가는 슬롯 당 적재할 수 있는 패킷



(그림 9) 스케줄러의 클래스별 처리량 비교

의 수를 높여주는 결과로 이어지고 보다 많은 패킷들이 이 자리에 할당될 수 있다. (그림 9)는 각 클래스별 처리량을 비교해 본 그림이다. DSS는 클래스별로 비교했을 때 WISPER 보다 비슷하거나 나은 성능을 보이고 있다.

DSS 스케줄러는 플로우 집합인 클래스 단위로 차별화 되도록 각 클래스 큐에 대한 우선순위 값을 조정함으로써 성능 개선의 효과를 기대할 수 있다. DiffServ를 지원할 수 있도록 각 클래스에 속해진 패킷들은 개별적으로 취급되는 것이 아니라 클래스 전체의 서비스 등급에 따라 조절된다.

### 5. 결 론

본 논문에서 제안한 DSS는 DiffServ 환경에서 요청되는 다양한 서비스 클래스들의 특성과 요구조건들을 만족시킬 수 있는 방식이다. 제안된 스케줄러를 통하여 무선망의 부족한 자원을 효율적으로 활용할 수 있도록 처리량을 증대시키고 그에 따른 손실률을 최소화할 수 있다. 패킷들은 다양한

등급으로 나뉘고 이들의 요청에 대하여 각 프레임마다 우선순위를 부여하여 이들을 분류하는 클래스 큐에 배치한 후 우선순위에 따라 스케줄러에 의해 타임 슬롯에 할당된다. 타임 슬롯은 이들 클래스를 위한 전용 구역으로 나뉘져 있는데 패킷들은 하위 레벨 클래스의 영역이 상위 레벨의 클래스의 영역에 할당될 수 없다. 패킷의 타임 아웃 값과 하나의 타임 슬롯에 적재할 수 있는 패킷의 최대 수, 그리고 각 이동 터미널의 전송률을 고려하여 패킷의 전송 순서가 결정된다.

시뮬레이션을 통하여 살펴본 각 클래스 별 처리량과 손실률에 대하여 제안한 스케줄러는 WISPER의 성능을 개선하고 있다. 전체적인 처리량과 패킷 손실률에서도 향상된 결과를 보이고 있다. 그리고 제안한 알고리즘 상에서 설정한 각 클래스별 구획을 어떻게 구분하느냐에 따라 전체 처리량과 패킷 손실률에 영향을 미칠 것이다. 이러한 설정의 최적화 연구가 계속되어야 할 것이다. 또한 이동성을 지원하는 DSS 스케줄러에 대한 연구가 현재 진행 중이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Blake, D. Black, M. Carlson, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, December, 1998.
- [2] A. Kanjanavastit and H. Mehrpour, "Packet reservation multiple access for multimedia traffic," ICON 2002. 10th IEEE Int. Conf. Networks, pp.162-166, Aug., 2002.
- [3] E. Hossain and V. K. Bhargava, "Link-level traffic scheduling for providing predictive QoS in wireless multimedia networks," IEEE Trans. Multimedia, Vol.6, Issue1, pp.199-217, Feb., 2004.
- [4] D. J. Goodman, R. A. Valenzuela, K. T. Gayliard, and B. Ramamurthim, "Packet reservation multiple access for local wireless communications," IEEE Trans. Commun., Vol.37, pp.885-890, Aug., 1989.
- [5] Z. Zhang and Y.-J. Liu, "Performance analysis of multiple access protocols for CDMA cellular and personal communication services," in Proc. IEEE INFOCOM'93, Vol.3, pp.1214-1221, 1993.
- [6] I. F. Akyildiz, D. A. Levine, and I. Joe, "A Slotted CDMA Protocol with BER Scheduling for Wireless Multimedia Networks," IEEE/ACM Trans. Net., Vol.7, No.2, pp.146-158, Apr., 1999.
- [7] V. Huang and W. Zhuang, "QoS-Oriented Packet Scheduling for Wireless Multimedia CDMA Communications," IEEE Trans. Mobile Computing, Vol.03, No.1, pp.73-85, Jan., 2004.
- [8] H. Fattah and C. Leung, "An overview of scheduling algorithms in wireless multimedia networks," IEEE Wireless Communications, pp.76-83, Oct., 2002.
- [9] Z. Liu, M.E. Zarki, M. J. Karol, and K. Y. Eng, "A demand-assignment access control for multi-code DS-SS-CDMA wireless packet(ATM) networks," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications ICC'96, June, 1996.
- [10] P. T. Brady, "A Model for Generating On-Off Speech Patterns in Two-way Conversation," Bell Sys. Tech. J., Vol.48, pp.2445-72, Sept., 1969.
- [11] M. Schwartz, "Information Transmission, Modulation, and Noise," 4th ED., New York: McGraw-Hill, 1990.
- [12] ETSI, "Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS (UMTS 30.03 v.3.1.0)," Sophia-Antipolis, Cedex, France, Nov., 1997.
- [13] D. J. Goodman, R. A. Valenzuela, K. T. Gayliard, and B. Ramamurthim, "Packet reservation multiple access for local wireless communications," IEEE Trans. Commun., Vol.37, pp.885-890, Aug., 1989.
- [14] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, and C. E. Wheatley III, "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.40, pp.303-312, May, 1991.

## 장 석 구



e-mail : zang@dcn.ssu.ac.kr

1994년 독일 아헨대학교 컴퓨터과학과 수료

1997년 한양대학교 산업대학원 전자계산학과(공학석사)

2001년 독일 본대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사수료

2003년 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 박사수료

1998년~2001년 독일 본대학교 컴퓨터과학과 제4연구소 연구원

2003년~현재 숭실대학교, 안양대학교, 강남대학교 외래강사

관심분야: 인터넷 네트워킹, 무선이동통신망

## 김 영 한



email : yhkim@dcn.ssu.ac.kr

1984년 서울대학교 전자공학과(공학사)

1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1987년~1994년 디지털정보통신연구소 데이터통신연구부장

1994년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수, 통신학회

인터넷연구회 위원장, VoIP포럼 차세대기술분과위원장

관심분야: 컴퓨터네트워크, 인터넷 네트워킹, 이동 데이터 통신망 등