

# TDD/CDMA망에서 핸드오프를 지원하는 DiffServ 스케줄러 설계

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

## 요 약

본 논문에서는 핸드오프를 지원하는 DiffServ 스케줄러를 제안한다. 제안하는 스케줄러는 TDD/CDMA망의 이동 단말에게 다양한 요구조건을 가진 멀티미디어 서비스를 지원 해준다. TDD는 무선망에서 널리 사용되고 있는 양방향 통신방식으로 FDD와 달리 단일 주파수로 기지국과 단말기 간에 대칭적인 통신이 가능하여 무선 자원 활용도가 높은 장점이 있다. DiffServ는 개별 플로우 단위의 처리나 QoS를 지원하기 위한 별도의 신호 프로토콜을 요구하지 않으므로 상대적으로 간단하면서도 확장성이 향상된 QoS 지원 방안이다. 그러나 기존에 제안되어 있는 유선 망 스케줄러들은 무선 환경을 고려하고 있지 않기 때문에 무선망에서 바로 적용하기에는 부적합하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안된 DSS (DiffServ Supporting Scheduler)는 단말기가 기지국으로 패킷 전송을 요청하는 업링크 트래픽을 이용하여 서비스 클래스의 요구조건을 충족시키면서 한정된 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 한다. 그러나 DSS는 적용 범위를 무선 단말기가 서비스를 받고 있는 해당 지역으로 한정하고 있기 때문에 무선 단말기가 이동한 셀에서는 요구한 서비스 품질을 지속적으로 보장받을 수 없다. 따라서 DiffServ를 지원하는 TDD/CDMA 시스템에서 무선 단말의 이동시에도 차등화 된 서비스를 보장해주는 스케줄링 기법이 필요하다. 제안하는 기법은 무선 노드가 서비스 중에 셀을 이동함으로써 발생하는 핸드오프 시에도 QoS의 저하 없이 지속적인 서비스를 보장 받을 수 있도록 해준다.

키워드 : 서비스품질, 스케줄러, 무선 네트워크, 차등화서비스, 핸드오프

## A Design of Handoff-aware DiffServ Scheduler in TDD/CDMA Networks

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

### ABSTRACT

In this paper, we propose a handoff-aware DiffServ scheduler which intends to guarantee various QoS requirements of multimedia services for mobile nodes in TDD/CDMA based wireless networks. TDD is widely used duplexing mechanism in wireless communications. Unlike FDD, TDD allows a node to symmetrically communicate with a base station by using a single frequency band, resulting in high utilization of wireless resources. DiffServ is regarded as a relatively simple QoS support mechanism and thus it is easy to be extended. This is because DiffServ is not a per-flow based mechanisms and it does not require any signaling protocol. However, previously proposed DiffServ schedulers for wired networks can not be deployed directly into wireless networks since they do not consider properties of wireless networks. As a solution to the problem, DSS (DiffServ Supporting Scheduler) was proposed. DSS uses uplink channel, which is originally used for a node to require a base station to transmit packets, to support QoS efficiently. However, DSS does not consider handoff so that it can not support QoS for moving nodes from one cell to the other cell. Therefore, the proposed handoff support QoS mechanism is necessary for TDD/CDMA networks. The proposed scheme allows a mobile node to achieve seamless service without QoS degradation even for the handoff duration.

Key Words : QoS, Scheduler, Wireless Network, DiffServ, Hand-off

### 1. 서 론

무선 단말기를 통한 멀티미디어 이용자들은 해를 달리 하며 그 수가 증가하고 있고, 사용자들의 요구조건도 영상

에서 음성 및 인터넷 서핑에 이르기까지 다양화 되고 있다. 스트리밍 서비스, 단문 메시지, 전자상거래, P2P (Peer-to-Peer, 동등계층) 통신과 같은 웹을 이용한 응용들이 무선 모바일 환경으로 확장되고, 서비스 이용에 대한 요청도 그와 동시에 커지고 있다. 이들은 상이한 지연, 손실률, 성능조건을 가진 다양한 트래픽에 대하여 차별화된 서비스 품질을 필요로 한다. 그러므로 미래의 무선 네트워크는 다른 서비스 품질을 갖는 다양한 유형의 트래픽을 지원할 수 있어야 한다.

\* 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술 개발 사업의 지원에 의한 것임

† 정 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

\*\* 종 신 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

논문접수 : 2006년 12월 19일, 심사완료 : 2007년 8월 23일

많은 어플리케이션에 있어 특정 서비스 품질을 만족시키는 것은 매우 중요하다. 이러한 어플리케이션들의 사용요청은 모바일 환경에서도 급격히 늘어 가고 있다. 패킷들은 전송률, BER (Bit Error Rate, 비트 오류율), 전송지연 등의 다양한 특성과 고요한 요구조건에 따라 몇 개의 클래스로 구분될 수 있다. 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.

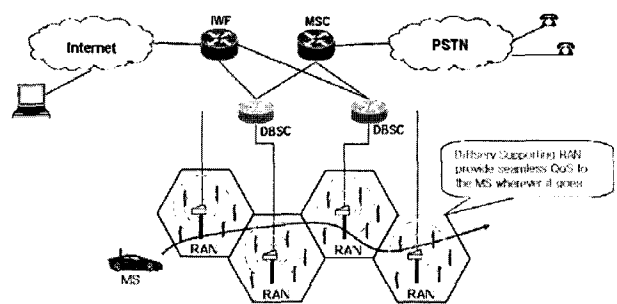
DiffServ[1] 기법은 개별적인 어플리케이션 플로우를 구별하지 않고 여러 플로우 집합인 클래스 단위로 패킷 전송을 차별화하는 차등서비스 기반기술이다. 이는 원래 유선망을 대상으로 한 QoS 정책으로 물리계층 및 링크계층에서보다 주로 네트워크계층에서의 차별화된 품질서비스를 고려하고 있다. 차세대 무선 통신망에서 DiffServ를 통한 종단간 다양한 품질서비스를 제공하기 위해서는 네트워크계층에서 뿐만 아니라 무선 링크에서의 차등서비스 기반이 제공되어야 한다. 현재 DiffServ에 관한 연구는 주로 유선망, 특히 링크계층과 물리계층을 고려하지 않은 전송 및 네트워크 계층위주로 이뤄지고 있다. 유선망과 무선망간 근본적인 특성의 차이로 인해 유선망에서의 트래픽 스케줄링 알고리즘을 무선망에 직접 적용하기 부적합하다. 유선망에는 없는 경로 손실 (path loss), 쉐이딩 (shading), 그리고 다중 경로 (multipath) 등의 현상은 무선망에서 패킷 스케줄링을 할 때 추가적으로 고려되어야 할 사항이기 때문이다. 그러므로 의도하는 멀티미디어 트래픽의 요구조건에 쉽게 적용 가능한 MAC 프로토콜이 필요하다.

최근 무선망, 특히 본 논문에서 제안하는 분야와 관련된 CDMA망에서의 스케줄링 기법으로는 크게 PGPS (Packet-by-packet GPS)[2], SCDMA (Scheduled CDMA)[3] 및 DRS (Dynamic resource scheduling)[4]로 구분할 수 있다. 멀티플 세션을 동시에 서비스하기 위해 제안된, CDMA를 위한 PGPS는 서로 다른 세션간에 상이한 전송률과 파워 인덱스를 보장하기 위해 동작한다. PGPS는 매 세션이 고정된 파워 인덱스 값을 가지는 것으로 가정하는데 파워 낭비의 원인으로 작용한다. 기지국이 단말기들의 전송을 스케줄링 하는 CDMA/TDMA 혼용기법인 SCDMA는 기지국과 단말기들 간 데이터 교환을 캡슐 (capsule)이라는 고정 길이 단위로 수행하는데 셀 안에 있는 모든 이동 단말기들은 동일한 길이의 캡슐을 가진다. SCDMA에서는 단말기들이 새로운 패킷을 전송할 때마다 업링크 스케줄링에 캡슐 전송 요청 (Capsule Transmission Request, CTR)을 기지국으로 보내면 기지국은 단말기들의 캡슐 전송 시기와 전력강도를 결정한다. TDMA측면을 고려하지 않은 SCDMA의 수정된 버전인 DRS는 최적화된 파워 할당과 코드 호핑을 통해 자원을 스케줄 하는 기법으로 SCDMA와 마찬가지로 전송 지연을 보장하지 않는다.

WISPER (A Slotted CDMA Protocol with BER Scheduling for Wireless Multimedia Networks)[5]와 FPLS (Fair Packet Loss Sharing)[6]는 TDD/CDMA망을 기반으로 하고 있는데 WISPER의 경우 무선 단말기들은 업링크 요청 슬롯에 전송요청을 하면 기지국의 스케줄러는 비슷한 BER을 요구하는 패킷들이 같은 타임 슬롯에 할당될 수 있도록 스케줄링 한다. 하나의 타임 슬롯에 할당되는 최대 패킷 수는 해당 타임 슬롯 내에서 가장 까다로운 BER 요구조건을 가진 패킷에 의해 결정되는데, 이는 완전히 다른 BER 요구조건을 가진 패킷들이 동일한 타임 슬롯에 할당되어야 할 때 슬롯이 비효율적으로 활용된다는 단점을 지니고 있다. FPLS에서는 요청 신호 수신 세기와 필요로 하는 지연 경계에 따라 패킷 스케줄링이 이루어진다. 모든 사용자들의 QoS 요구조건에 따라 패킷 손실이 분배되고 시스템에 의해 지원되는 사용자들의 수와 자원 활용도가 최대화 된다. 그러나 이 기법은 패킷 서비스의 공평성을 기하기 위하여 서비스 중인 모든 트래픽에 대한 자원 사용 현황을 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 유휴 슬롯이 남아 있음에도 불구하고 프레임의 앞쪽 슬롯에만 패킷을 할당함으로써 무선망 내의 상호 간섭을 증가시켜 통화품질을 저하시키고 결국 다른 자원할당량을 감소시킬 수 있다.

기존의 스케줄러들은 제한된 무선 자원의 효율적인 분배와 활용 면에서 우수한 점을 지니고 있으나 IP 멀티미디어 응용에 대한 플로우의 집합인 클래스 단위로 차등화된 서비스를 제공하지는 못한다. 최근 제안된 DSS (DiffServ supporting Scheduler)[7]는 이러한 요구사항을 반영하여 DiffServ를 지원하는 TDD/CDMA망에서 업링크 신호에 전송요청을 받아 서비스 클래스에 따라 타임 슬롯을 할당하는 기법을 적용하고 있다. DSS는 무선 단말의 이동성을 고려하고 있지 않기 때문에 인접한 셀로 이동할 경우 지속적으로 서비스 질을 보장받을 수 없다.

본 논문에서는 무선 단말기가 서비스 받고 있는 DiffServ가 지원되는 TDD/CDMA망의 하나의 셀에서 다른 셀로 이동하더라도 서비스 질을 보장받을 수 있는 DSS를 제안



(그림 1) TDD/CDMA 무선 액세스 망

한다. 제안하는 기법에 대한 성능 평가는 기존의 적합한 비교 대상이 없는 관계로 정적 할당 기법과 동적 할당기법의 두 가지 알고리즘을 적용한 시뮬레이션을 통하여 비교 평가 한다.

(그림 1)은 본 연구에서 가정하는 TDD/CDMA 무선 액세스 망이다. TDD/CDMA의 RAN (Radio Access Network)을 지원하는 DBSC (DiffServ supporting Base Station Center)는 이동 터미널로 하여금 하나의 셀에 있거나 이동 중에도 지속적인 QoS를 제공 받을 수 있도록 서비스해야 한다. DBSC는 MSC (Mobile Station Center)에 의해 PSTN (Public Switched Telephone Network)에 연결되거나 IWF (Inter Working Function)에 의해 인터넷에 연결될 수 있다.

4세대 무선멀티미디어 환경은 사용자들에게 무선링크 상에서 보다 높은 데이터율의 패킷화 된 전송을 가능하게 할 것이다. 멀티미디어 트래픽 흐름의 이질적인 특성으로 인해 음성기반의 종래 MAC 프로토콜은 멀티미디어 환경 특성에 부적합하므로 유연한 MAC 프로토콜이 요구된다. 패킷 레벨의 통계적 다중화를 위해서 패킷 스케줄링을 가진 MAC 프로토콜이 필요하다. DiffServ가 지원되는 무선 망으로 진입하는 트래픽들은 서비스 유형에 따라 DiffServ에서 정의한 EF-PHP, AF-PHP 또는 DE-PHB 클래스로 구분될 수 있다. 이들 클래스를 효율적으로 지원하려면 무선 링크 계층에서 무선 자원의 가용도와 클래스간 차등화된 서비스를 고려한 패킷 스케줄링 기법이 필요하다.

CDMA망에서는 목표로 하는 BER을 얻기 위해 매 세션의 적절한 SIR (Signal-to-Interference Ratio, 신호 대 간섭비)을 충족시키도록 단말기 측에서 발생시키는 총 잡음비가 충분히 작아져야 한다. 무선망에서 핸드오프 (Hand-off)를 할 경우 병복현상이 발생하게 되는데 IP 호환 이동 사용자에게 새로 이동한 네트워크에서 QoS를 보장하기 위해 이전 망에서와 동일한 자원량을 할당하는 것이 필요하다. AF 서비스의 경우는 동적으로 자원 사용량을 줄이는 것이 가능하지만 EF 서비스의 경우, 무선 자원이 충분치 않다면 적시에 자원 할당이 불가할 수도 있다. 이러한 까닭에 무선 이동 DiffServ망에서 폭넓은 QoS 요구조건을 만족시키기 위한 DiffServ 지원 스케줄링 알고리즘의 사용이 필요하다.

4G 시스템에서 중단간 다양한 품질을 보장하기 위해서는 무선 링크에서의 스케줄링 기법이 보완 되어야 한다. 본 논문에서는 4G 무선 환경에서 이동단말의 핸드오프 시에도 단대단 DiffServ QoS를 만족시켜 줄 뿐만 아니라 링크 프레임의 타임 슬롯에 전송될 패킷들을 효율적으로 할당해 주는 스케줄링 방식을 제안한다.

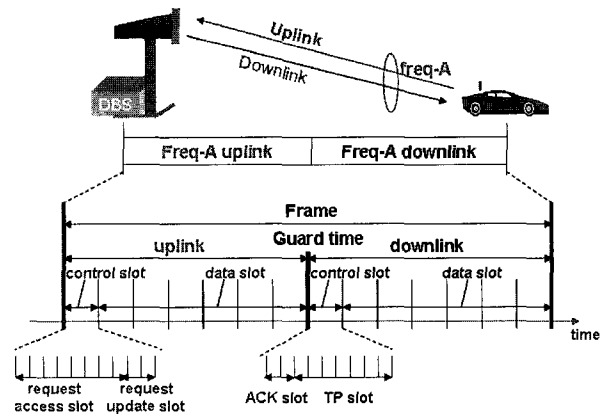
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려한 시스템 모델을 소개하고, 3장에서는 기 제안된 DSS의 동작원리에 대하여 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 핸드오프를 지원하는 DSS 알고리즘을 고찰하고 5장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 비교평가 결과를 분석하고, 6장에서 결론을 맺는다.

## 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 양방향 (Time Division Duplex: TDD) 모드로 작동하는데, 1개의 프레임 내부를 송신용과 수신용으로 분할하여 1개의 주파수로 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 지연 시간 한계값을 갖고 있고 만약 이 지연시간 한계를 벗어난다면 이 패킷은 폐기되게 된다.

(그림 2)는 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



(그림 2) TDD/CDMA 프레임 구조

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 프로토콜의 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.

음성트래픽은 On-Off 음성 모델[10]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 다원접속 (Packet Reservation Multiple Access: PRMA)[11] 방식과 비슷하다.

비디오 트래픽에 대한 요청은 전송 초기에 데이터 사용자들처럼 첫 요청을 보내기 위해 요청 슬롯을 사용한다. 또한 자신의 버퍼에 얼마나 많은 패킷이 도착했는지를 기

지국에 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 보내준다. 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. DSS (DiffServ Supporting Scheduler)

차세대 무선 환경에서 중단간 클래스에 기반을 둔 DiffServ QoS를 만족시키면서 링크 프레임의 타임 슬롯에 전송될 패킷들을 효율적으로 할당해 주는 스케줄링 기법으로 사용자의 요구조건을 만족시키면서 하나의 타임 슬롯에 최대한 많은 수의 패킷을 할당함으로써 무선 자원 활용도를 높이는 것이 DSS 스케줄러의 목적이다.

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. 이때 패킷 우선순위는 1)작은 타임 아웃 값을 가진 패킷 2)전송량이 큰 패킷 3 작은 전송률을 요하는 패킷 순으로 적용된다.

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. DSS는 각 트래픽 클래스에 대하여 최대한의 처리율을 제공하도록 동작하며 패킷의 손실률에 있어서 클래스간 차등화 한다. 이를 위하여 패킷의 우선순위를 결정하여 해당 클래스 큐에 배치하는 과정과 각 클래스 큐에 배치된 패킷을 타임 슬롯에 할당하는 두 가지 단계를 거치게 된다.

기지국은 이동 단말기들이 보낸 전송 요청 메시지를 받아 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 비례 적용 한다. 이동 단말기들이 가능한 최대의 전송률로 전송한다고 가정했을 때 각 클래스큐에 대한 우선순위 값에는



대 개수를  $TR_i$ 라고 하자. 단말기의 이동으로 인해 지연된 시간을  $HTO_c(t)$ 고 한다. 클래스큐에 있는 패킷이  $t$ 시점으로부터 지연 가능한 프레임의 수를  $TO_c(t)$ 라고 정의한다.  $t$ 시점에서 클래스큐  $c$ 에 남아 있는 패킷의 수는  $PNum_c(t)$ 라고 한다.  $NUM_{TS}$ 는 하나의 프레임 내에 구분된 타임 슬롯의 개수를 의미한다.  $t$ 시점에 클래스큐에 배치되는 패킷의 우선순위  $PR_c(t)$ 는 식 1과 같이 계산 된다.

타임 아웃 값  $TO_c(t)$ 가 작고 전송할 패킷의 수  $PNum_c(t)$ 가 많은 클래스는 높은 우선순위를 가지게 되지만 자신이 속해 있는 클래스에 따라 서로 다른  $TR$ 값이 적용되므로 이 값이 큰 클래스, 즉 낮은 QoS의 클래스일수록 우선순위가 낮아짐을 의미한다.  $HTO_c(t)$  값에 의해 핸드오프를 요하는 패킷들은 그렇지 않은 패킷들보다 높은 우선순위를 갖게 된다. 우선순위가 계산된 패킷들은 우선순위가 높은 순서대로 해당 클래스큐에 배치된다.

패킷 우선순위 함수는 패킷우선순위를 반영하여 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$PR_c(t) = \frac{\left\lfloor \frac{PNum_c(t)}{TR_i} \right\rfloor}{TO_c(t) - HTO_c(t)} \leq NUM_{TS} \quad (식 1)$$

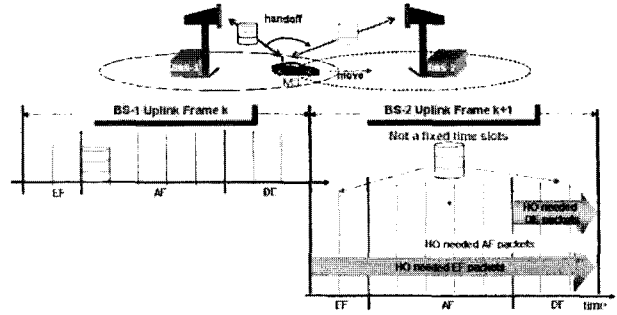
$$\rightarrow \frac{\left\lfloor \frac{PNum_c(t)}{TR_i} \right\rfloor}{TO_c(t) - HTO_c(t)}$$

그렇지 않은 경우  $NUM_{TS}$

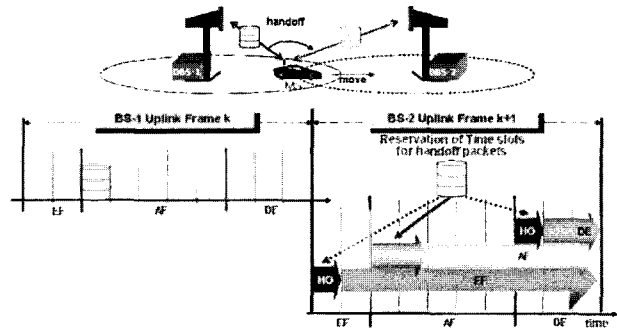
무선 단말기가 하나의 셀에서 다른 셀로 이동하면서 발생하는 핸드오프 지연 시간을 고려하여 기존의 DSS에 적용한 패킷의 우선순위 계산 함수가 변경되어야 하고 이에 따라 이동한 셀의 업링크 스케줄링에 이를 반영하여야 하는데 우선순위 값에 따라 클래스큐에 배치되는 과정과 핸드오프를 효율적으로 지원하기 위하여 동적할당 기법과 정적 할당기법으로 나누어 고찰해 보고자 한다.

동적 할당기법은 우선순위 값에 따라 기존의 DSS 기법을 적용하여 핸드오프 패킷의 서비스 품질을 보장할 수 있다. 핸드오프 패킷들을 위하여 특별히 타임 슬롯을 예약할 필요가 없다. 핸드오프로 인해 지연된 타임 아웃 값의 손실분을 우선순위 계산시 보상을 받아 클래스큐에 보다 빠른 위치에 배치될 수 있도록 한다. (그림 5-a)는 핸드오프 패킷을 위한 동적 할당기법을 설명하고 있다. 이 기법에서는 핸드오프 패킷을 대비하여 여분의 타임 슬롯을 확보하고 있지 않는다. 기존 셀에서 패킷을 업링크 하고자 하는 다른 터미널처럼 해당 클래스영역의 타임 슬롯을 할당받기 위해 시도한다.

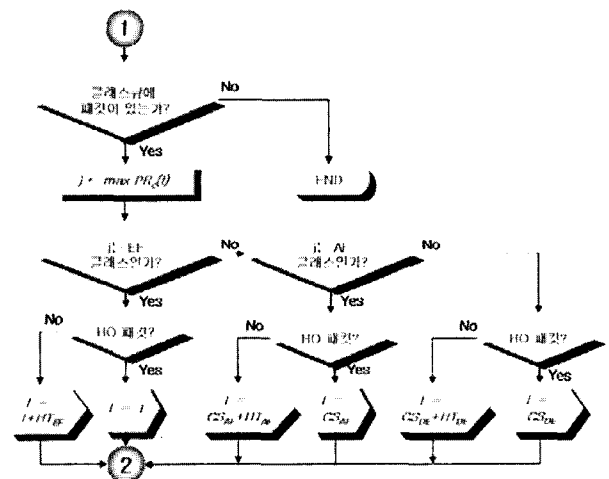
CS를 각각의 클래스 영역의 시작 타임 슬롯의 번호라고 하자. 3개의 클래스 영역에 대해 첫 번째의 EF 클래스를 제외한 나머지 2개의 클래스 시작 번호를  $CS_{AF}$ ,  $CS_{DE}$  라



(그림 5-a) 핸드오프 패킷을 위한 동적 할당기법

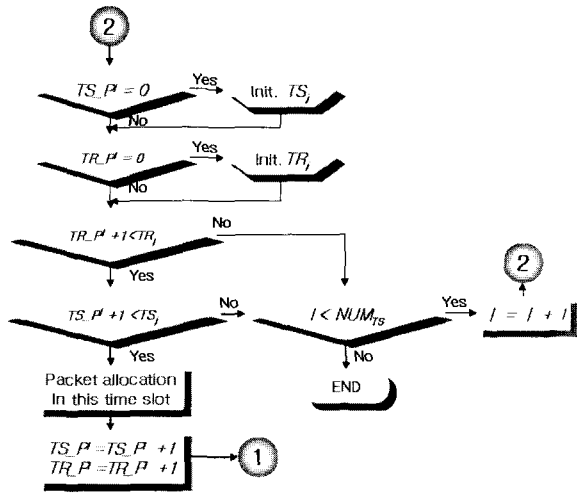


(그림 5-b) 핸드오프 패킷에 대한 정적 할당기법



(그림 6) 핸드오프 패킷에 대한 클래스영역 지정

고 한다. (그림 5-b)는 핸드오프 패킷에 대한 정적 할당기법을 설명하고 있다. 이동 터미널이 서비스 중에 단말기가 현재 서비스 중인 셀에서 다른 셀로 이동할 때, 이동한 셀에서는 이동 터미널이 핸드오프로 인해 발생한 지연시간을 우선순위 값의 계산에 반영한다. 해당 클래스영역별로 핸드오프용 패킷을 위한 타임 슬롯이 구분되어 있고 이들 타임 슬롯에는 일반 패킷들에게는 할당되지 아니한다. (그림 6)은 핸드오프 패킷에 대한 클래스영역을 지정하는 처리과정을 보여주고 있다. 각 클래스영역에서 핸드오프를 위한 타임 슬롯들은 각 클래스영역의 시작 포인트이므로 스케줄을 시작하면서 이들의 값을 각각 초기화 한다.



(그림 7) 핸드오프 패킷에 대한 타임 슬롯 할당

$TS_P^i$ 은 타임 슬롯  $i$ 에 할당되는 패킷의 개수를 계산하고,  $TR_P^i$ 은 하나의 단말기가 타임 슬롯  $i$ 에 전송할 수 있는 패킷의 개수를 계산하는 변수인데 스케줄링 초기시 이 변수들을 각각 0으로 초기화 한다. 우선순위  $PR_c(t)$ 가 계산된 요청풀의 패킷들은 우선순위가 높은 패킷부터 해당 클래스큐에 배치된다. 우선순위 값이 같을 경우에는 EF 클래스큐, AF클래스큐, DE클래스큐 순으로 패킷을 스케줄링 한다.

(그림 7)은 핸드오프한 단말기가 전송한 패킷을 타임 슬롯에 할당하는 과정이다.  $i$ 번째 슬롯에 할당된 패킷의 총 개수를  $TS_P^i$ 이라고 할 때 현재 스케줄 대상으로 선택된 패킷  $j$ 에게 타임 슬롯을 할당되는 시점에 이 값이 0이면  $j$ 보다 앞서 할당된 패킷이 없고  $j$ 가 이 타임 슬롯에 최초로 할당되는 것을 의미한다.  $i$ 번째 타임 슬롯에 대하여  $j$ 는 자신의 서비스 클래스에 해당하는 패킷의 개수를 기입한다. 이어서  $i$ 번째 타임 슬롯에 하나의 단말이 전송할 수 있는 패킷의 수를 초기화 한다. 동일한 단말이 보낸 패킷이 아직 타임 슬롯  $i$ 에 없다면  $j$ 가 속한 클래스의 전송률을  $TR_j^i$  값으로 초기화 한다.

현재 패킷  $j$ 를  $i$ 번째 타임 슬롯에 할당할 경우  $j$ 의 전송률을 초과하지 않고 또 타임 슬롯의 용량을 초과하지 않는다면 패킷  $j$ 를  $i$ 번째 타임 슬롯에 할당하고  $i$ 번째 타임 슬롯의  $TS^i$  값과  $TR^i$  값을 증가 시킨다. 만약 현재 패킷  $j$ 를  $i$ 번째 타임 슬롯에 할당하여  $TR^i$ 과  $TS^i$  값을 초과하는 경우 타임 슬롯의 마지막이 아니라면 다음 슬롯에 할당할 수 있는지 위의 과정을 반복한다. 만약 더 이상 클래스큐에 할당 대상 패킷이 없거나  $i$ 번째 타임 슬롯의  $TR^i$ 이나  $TS^i$  값이 초과된 상태에서 타임 슬롯의 끝까지 할당 되었으면 현재 프레임에 대한 스케줄링을 종료한다.

### 5. 성능 분석 및 평가

입력 트래픽 모델로 음성 트래픽을 EF 클래스로, CBR

<표 1> 스피치 동적 모델의 수치

조건	평균시간 (s)
통화 길이	180.0
기본 토크 스파트	1.000
기본 갭	1.350
미니스파트	0.275
미니갭	0.050

(constant bit rate) 디지털 오디오 트래픽을 AF 클래스로, CBR 디지털 비디오 트래픽을 DE클래스로 가정한다. 시뮬레이션에서는 스트레스 테스트 즉, 셀 로드를 단계적으로 증가시켜 가는 방법을 이용하여 성능을 평가한다. 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. 먼저 트래픽 모델에 대하여 살펴보기로 한다.

음성 트래픽 모델은 통화에서 스피치 패킷을 생성하는데 사용되는데 3가지 상황의 마코브 모델 (Markov Model)에 기반을 두고 있다[12]. 이 모델에서는 스피치 소스가 토크 스파트 (talk spurt)와 갭 (gap)의 패킷을 생성한다. 이들 패킷은 통화에서 말하기, 쉬기 및 듣기 등의 동작을 나타내는 것이다. 토크 스파트 내에는 미니 스파트와 미니 갭이 있는데, 연속적인 통화 가운데 들어 있는 짧은 휴지 (休止) 간격을 표현한다.

이 모델은 추가로 통화의 길이를 가정하는데, 모든 스파트와 갭은 지수 분포적인 길이 (exponentially distributed durations)를 갖고 있고 스파트와 갭의 모든 길이는 통계적으로 상호 무관하다. 음성 트래픽을 이용하는 이동 단말기가 통화 중 미니 스파트 시간을 16.5 Kb/s로 생성하는 보코더 (vocoder)를 사용한다고 가정한다. 표 1은 모델에 사용한 수치 값이다.

이 모델에서 사용한 CBR 비디오 트래픽 모델은 연속 비트 스트림을 생성한다. 전송시간은 평균이 180.0초인 지수 분포형이라 가정한다. 고정 비트율은 220 kb/s로 가정한다. CBR 디지털 오디오 트래픽 모델은 디지털 FM 스테레오 오디오의 연속 비트 스트림을 생성한다. 매개변수는 128 kb/s의 고정 비트율[13]이고 360초의 오디오 콜 평균 홀딩 타임은 지수 분포에서 얻어 진다.

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>과 같이 정한다. 트래픽 소스는 기존의 EF, AF, DE클래스에 3개의 트래픽을 추가한다. 본 실험에서는 추가 트래픽에 대해서는 핸드오프로 인해 발생하는 1프레임의 지연을 가정하여 (식 1)에서와 같이 우선순위 값에  $HTO_c(t)$  값을 타임아웃 값에 반영함으로써 이를 보장한다.

〈표 2〉 시뮬레이션 가정과 시스템 파라미터들

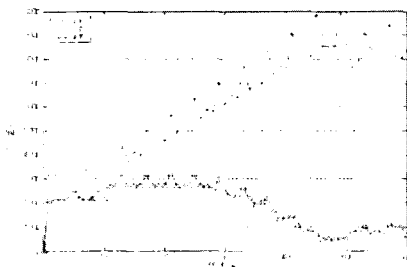
매개변수	클래스	EF	AF	DE
		VoIP	CBR_Audio	CBR_Video
최대 BER		10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>
최대 패킷수 (패킷/슬롯)		15	10	8
타임아웃 값 (프레임)		2	3	6
최대 전송률 (패킷/슬롯)		1	4	6

〈표 3〉 트래픽의 상대적 도착률

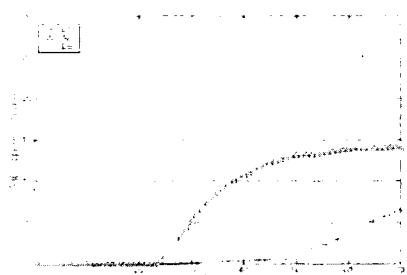
트래픽 클래스	퍼센트
H_EF 트래픽	14%
EF 트래픽	56%
H_AF 트래픽	3%
AF 트래픽	12%
H_DE 트래픽	3%
DE 트래픽	12%

이 값은 핸드오프 대상 클래스가 핸드오프로 인해 지연된 1프레임 동안 전송이 지연된 타임아웃 값을 보상해 주는 의미를 지닌다. 각 클래스별로 적용되는  $HTO_d(t)$  값은 1로 한다. 즉, 한 프레임 분의 지연이 발생하는 것으로 가정한다. 셀 내에서 서비스 중인 기존 트래픽의 약 20%를 핸드오프로 인해 유입되는 트래픽으로 가정한다.[14] 이에 따라 각 클래스의 트래픽 소스의 상대적 도착률은 <표 3>과 같다.

동적 할당 기법에서는 핸드오프에 대해 특별히 예약된 클래스영역 없이 DSS 기법의 우선순위에 따라 타임 슬롯을 할당한다. 즉 사전에 타임 슬롯을 예약하지 않고 DSS에서 할당하는 규칙에 따른다. 그림 8은 핸드오프 상황에서 동적 할당기법을 적용한 경우의 처리량에 대한 결과이다. 3개의 클래스에 대해 55초 동안의 서비스 추이를 관찰



(그림 8) 핸드오프 상황에서 동적 할당기법 적용시 처리량



(그림 9) 핸드오프 상황에서 동적할당기법 적용시 패킷손실률

한 결과이다.

핸드오프는 EF 클래스에 대해서만 적용하였는데 핸드오프 상황이 되면 지연이 발생하여 순간적으로 처리량이 줄어들었다가 핸드오프 이후에 이에 대한 보상으로 처리량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 25초 지점까지는 대역폭의 여유가 있어 3개의 클래스가 자신들의 SLA에 맞는 서비스를 받는다. 그러나 25초 이후 여유 대역폭이 감소함에 따라 우선순위가 다른 클래스간에 경쟁이 발생한다. 이 시점부터 (그림 8)에 나타난 것처럼 지속적인 서비스를 받는 EF와 달리 AF와 DE는 서서히 처리량이 떨어진다. 약 50초 지점에 이르러서 AF와 DE 패킷들은 거의 서비스가 이뤄지지 않게 되는데 이때 EF도 예약된 양을 초과하는 지점이 되며 더 이상 처리량이 증가 하지 않고 그 위치에서 수렴하게 된다.

(그림 9)는 핸드오프 상황에서 동적 할당기법을 적용한 경우의 패킷손실률에 대한 시뮬레이션 결과이다. (그림 8)의 처리량의 추이에서 확인한 바대로 25초 지점까지는 거의 모든 요청에 대하여 서비스가 수행되지만 이후부터 EF의 증가와 더불어 AF와 DE는 패킷 손실이 점차 증가하게 된다. 이는 DSS의 특성에 의해 클래스간 차별화 된 정책이 적용되기 때문이다. AF가 DE 보다 높은 처리량을 보임에도 패킷 손실률이 큰 것은 패킷 생성량이 그만큼 많기 때문이다. 상기 시뮬레이션은 DSS의 특성을 보기 위하여 EF 클래스의 패킷에 대한 손실률 발생을 허용하고 있지만 실제로는 EF 클래스에 대해서는 정책적으로 손실이 발생하지 않도록 하고, 처리량에 있어서 AF 클래스나 DE 클래스에 대해서도 최소한의 대역폭을 할당받게 함으로써 이들 클래스에 대한 자원 고갈이 없도록 한다.

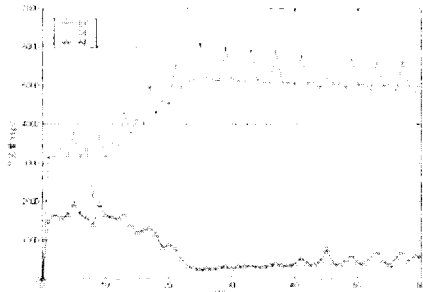
핸드오프를 고려하지 않았던 스케줄링 알고리즘에서 구분한 타임 슬롯을 재정의 하여 H\_EF, EF, H\_AF, AF, H\_DE, DE 등의 6개의 클래스영역으로 구분한다. 이들에 대한 타임 슬롯의 개수는 [표 3]과 같은 수로 각각 나눈다. 하나의 셀에서 서비스 되고 있는 전체 트래픽 가운데 핸드오프 트래픽을 위하여 20%의 대역폭을 핸드오프 전용으로 사전에 할당한다. 핸드오프에 관한 이러한 가정은 가입자들이 일시에 하나의 셀에 모여 전송을 요청하는 특별한 상황은 예외로 한다. 단말기들의 셀간 핸드오프를 지원하기 위하여 이를 위하여 기존 클래스영역을 다시 나누어 <표 3>에서 정의하는 수만큼 핸드오프용으로 타임 슬롯을 예약한다.

타임 슬롯의 20%를 고정 할당한다는 것은 핸드오프 패킷이 없을 경우에도 핸드오프용 타임 슬롯으로 정의된 클래스영역에는 다른 패킷을 할당하지 않는다는 의미를 가지고 있다. 이는 전송요청을 원하는 가입자가 많은 상황에서 핸드오프가 없음에도 불구하고 타임 슬롯을 비워둬야 하는 측면에서 낭비적일 수 있다. 동적인 기법과 달리 정적 할당기법에서는 시뮬레이션 시작 후 10초 시점에서부터 이미 처리량이 감소하기 시작한다. DE클래스의 경우 대략 20초가 되지 않아 더 이상 자원 할당을 받지 못하고 AF 클래스의 경우 약 20초 시점에서 처리량에 변화가 없다.

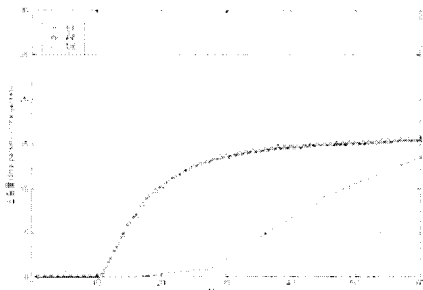


〈표 3〉 클래스영역의 타임 슬롯 개수

클래스영역	타임 슬롯 개수
H_EF 트래픽	1
EF 트래픽	1
H_AF 트래픽	2
AF 트래픽	3
H_DE 트래픽	1
DE 트래픽	2



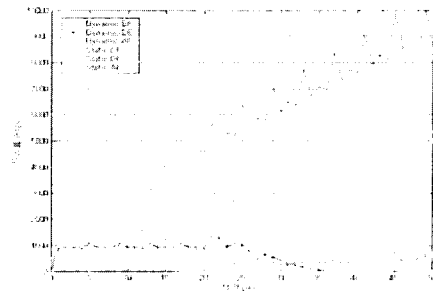
(그림 10) 핸드오프 상황에서 정적 할당기법 적용시 처리량



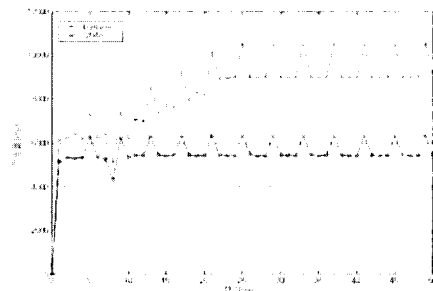
(그림 11) 핸드오프 상황에서 정적할당기법 적용시 패킷손실률

(그림 10)은 시뮬레이션을 통해 핸드오프 상황에서 정적 할당기법을 적용하여 3개의 클래스에 대한 처리량을 일정 시간동안 관찰한 결과이다. 동적 할당기법과 마찬가지로 핸드오프가 진행 중인 경우 처리량이 일시 떨어졌다가 새로운 셀로 이동하여 지연된 부분만큼 보상되는 메커니즘을 확인할 수 있다. 이러한 원인은 사용할 수 없는 고정 대역폭으로 인해 그에 해당하는 자원을 할당받지 못하는데 있다. EF 클래스의 경우에는 약 25초 시점에서 처리량이 고정적으로 수렴하는데 결국 EF를 보장하는 정책이 AF나 DE 클래스의 처리량에 영향을 미치는 것으로 분석할 수 있다.

(그림 11)은 핸드오프 상황에서 정적 할당기법을 적용하여 일정 시간 동안 패킷 손실률을 관찰한 결과이다. 상대적으로 할당할 공간이 적은 DE 클래스와 AF클래스의 경우 이미 시뮬레이션의 초기부터 서서히 패킷 손실률이 증가하기 시작한다. 그에 비해 EF 클래스는 자신의 허용한도가 넘는 대역폭에 대하여 서서히 패킷 손실을 발생시키다가 약 43초 정도에는 다른 클래스보다도 높은 패킷손실률을 보인다. 이는 DiffServ에서 정하는 클래스 그룹에 대해 계약된 용량을 초과할 경우에 가해지는 차등화 정책의 특성이라 설명할 수 있다. (그림 12)에서 보는 것과 같이 핸드오프를 고



(그림 12) 동적할당 기법과 정적할당 기법의 비교 (처리량)



(그림 13) 동적할당 기법과 정적할당 기법의 비교 (총처리량)

려한 상황에서 클래스별 차등화된 서비스를 제공함에 있어 동적할당 기법이 정적할당 기법보다 우수한 처리량을 보인다. 이들은 클래스영역에 따라 차등 적용되기 때문에  $dynamic\_EF > static\_EF > dynamic\_AF > static\_AF > dynamic\_DE > static\_DE$  순으로 처리량에 있어 차이를 나타낸다. 두 기법의 이러한 특성에 의해 패킷의 총처리량은 (그림 13)과 같이 동적 할당기법이 정적 할당기법보다 높은 결과로 나타난다.

## 6. 결 론

본 논문은 TDD/CDMA 망에서 핸드오프를 지원하는 DiffServ 무선 스케줄러에 관한 연구로서 무선 셀을 이동하는 단말기들을 고려하여 이들이 하나의 셀에서 다른 셀로 핸드오프 할 때에도 전송 품질을 떨어뜨리지 않고 지속적인 서비스를 제공할 수 있다.

핸드오프 시에도 서비스의 중단 없이 지속적인 품질을 제공하기 위하여 다음과 같은 기법을 적용한다. 서로 다른 서비스 품질을 요구하는 패킷들에 대하여 차등화 된 정책을 적용한 우선순위 함수를 통해 우선순위 값을 얻는다. 패킷들은 서비스 유형에 따라 각각 해당 클래스큐에 배치되는데 우선순위가 높을수록 큐에 먼저 들어가게 된다. 클래스큐에 배치되어 있는 패킷들을 대상으로 차등화 된 서비스를 제공할 수 있도록 각기 전용 클래스영역으로 분할되어 있는 타임 슬롯에 할당한다. 핸드오프를 요하는 패킷들에 대해서는 우선순위에 있어 핸드오프로 인해 지연된 시간을 보장하여 품질의 저하가 따르지 않도록 보상한다.

핸드오프 대상의 패킷들에게 타임 슬롯을 할당할 때 이들을 위해 타임 슬롯을 고정적으로 할당하여 그 타임 슬롯

에는 핸드오프 대상의 패킷만이 할당되도록 하는 방법과 그러한 구분 없이 타임 슬롯을 할당하는 방법을 각각 적용한다. 핸드오프를 고려한 상황에서 클래스별 차등화된 서비스를 제공함에 있어 동적할당 기법이 정적할당 기법보다 우수한 처리량을 보인다. 두 가지 스케줄링 기법에 대하여 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가한 결과 동적할당 기법과 달리 정적할당 기법에서는 해당클래스영역의 타임 슬롯이 비어 있음에도 불구하고 타임 슬롯을 필요로 하는 패킷들에게 할당하지 않기 때문에 동적할당 기법에 비해 상대적으로 처리량이 낮아진다.

시뮬레이션의 결과를 통하여 핸드오프 상황을 고려한 DSS에 대해 다음과 같이 결론지을 수 있다. "무선 DiffServ 망의 셀을 이동하는 단말기들에 대하여 그 성능의 저하 없이 핸드오프를 지원할 수 있고, 핸드오프 시에도 QoS에는 영향을 미치지 않는다."

### 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] M. A. Arad and A. Leon-Garcia, "A Generalized Processor Sharing Approach to Time Scheduling in Hybrid CDMA/TDMA," IEEE INFOCOM, Vol.3, pp.1164-71, Mar. 1998.

[3] M. A. Arad and A. Leon-Garcia, "Scheduled CDMA: A Hybrid Multiple Access for Wireless ATM Network," IEEE Pers., Indoor and Mobile Radio Commun. Conf., Vol. 3, pp. 913-17, Oct. 1996.

[4] O. Gurbuz and H. Owen, "Dynamic Resource Scheduling Strategies for QoS in W-CDMA," IEEE Global Telecommun. Conf., Vol.1, pp.183-87, Dec. 1999.

[5] 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.146-58, Apr. 1999.

[6] 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.

[7] 장석구, 김영한, "TDD/CDMA망에서의 DiffServ 지원 스케줄러 설계," 한국정보처리학회, 논문지C권 12-C권 제15호, 717 쪽, 2005.10.

[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-CDMA wireless packet(ATM) networks," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications ICC'96, June 1996.

[10] Gilbert Held, "Voice and Data Internetworking, 3/e,

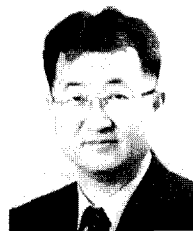
McGraw-Hill, 2002.

[11] 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.

[12] D. J. Goodman and S. X. Wei, "Efficiency of packet reservation multiple access," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 40, pp. 170-176, Feb. 1991.

[13] R. R. Roy, "Networking constraints in multimedia conferencing and the role of ATM networks," AT&T Tech. J., vol. 73, no. 4, pp. 97-108, July-Aug. 1994.

[14] H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS: radio access for third generation mobile communications, 3.ed. Chichester, Wiley, cop., 2004.



### 장 석 구

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

1994년 독일 아헨대학교 컴퓨터과학과 수료

1997년 한양대학교 산업대학원 전자계산학과 졸업(공학석사)

2001년 독일 본대학교 대학원

컴퓨터과학과 박사수료

2006년 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학박사)

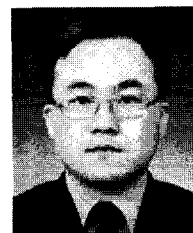
1998년~2001년 독일 본대학교 컴퓨터과학과 제4연구소 연구원

2003년~2006년 안양대, 숭실대 강사

2007년~현 재 숭실대 정보통신전자공학부 겸임교수,

(주)어스커뮤니케이션 기술연구소장

관심분야: 유비쿼터스 컴퓨팅



### 김 영 한

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

1984년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 한국과학기술원 전기 및

전자공학과 졸업(공학박사)

1987년~1994년 디지털정보통신연구소 데이터통신연구부장

1994년~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수, 통신학회

인터넷연구회 위원장, VoIP포럼 차세대기술분과위원장

관심분야: 유비쿼터스 네트워크, 애드혹 네트워크, 이동성관리 기술등