

HSDPA 시스템에서 선택적 지연 기반의 N-채널 SAW ARQ

정회원 박형주*, 종신회원 임재성**

An N-Channel Stop and Wait ARQ based on Selective Packet Delay Strategy in HSDPA Systems

Hyung-Ju Park* *Regular Members*, Jae-sung Lim** *Lifelong Members*

요약

본 논문에서는 N-채널 SAW(Stop and Wait) ARQ 재전송 기법을 채택하고 있는 HSDPA 시스템에서 HS-DSCH 채널의 성능 향상을 목적으로 선택적 패킷 지연(SPD : Selective Packet Delay) 기법을 제안한다. SPD 기법은 무선 채널 상태에 따라 적응적으로 패킷 전송을 제어하는 방법으로 채널 상태가 나쁜 경우에는 해당 패킷 전송을 일정시간 동안 강제 지연하고 대신에 해당 타임 슬롯을 채널 상태가 양호한 다른 사용자에게 할당해 주는 기법이다. 따라서 제안하는 기법은 버스트 에러 환경에서 연속적인 패킷 손실로 인해 발생하게 되는 긴 재전송 지연을 효과적으로 줄일 수 있는 특징을 가진다. 또한 SPD 기법에 효율적으로 적용될 수 있는 SPD-LDPF(Long Delayed Packet First)와 SPD-DCRR(Deficit Compensated Round Robin)의 두 종류의 패킷 스케줄링 기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과, 제안한 기법은 패킷 평균지연 특성, 처리량 성능, 그리고 사용자간 공평성에서 모두 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

Key Words : HSDPA, N-Channel Stop and Wait, Selective Packet Delay

ABSTRACT

In this paper, we propose a SPD(Selective Packet Delay) scheme to improve the performance of High-Speed Downlink Shared Channel(HS-DSCH) employing N-Channel Stop and Wait retransmission scheme in High Speed Downlink Packet Access(HSDPA) system. The proposed SPD coordinates packet transmissions according to the channel condition. When the channel condition is bad, packet transmission is forcedly delayed, and the designated time slot is set over to other users in good channel condition. Hence, the SPD is able to reduce the average transmission delay for packet transmission under the burst error environments. In addition, we propose two packet scheduling schemes called SPD-LDPF(Long Delayed Packet First) and SPD-DCRR(Deficit Compensated Round Robin) that are effectively combined with the SPD scheme. Simulation results show that the proposed scheme has better performance in terms of delay, throughput and fairness.

1. 서론

최근 멀티미디어나 스트리밍 서비스와 같은 고속의 전송을 필요로 하는 데이터 위주의 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 서비스는 QoS 보

장과 동시에 고속전송을 요구한다. 또한 무선 인터넷 서비스의 보급이 활발해지면서 이동통신망에서 하향링크 고속화는 더욱 절실하게 되었다. 기존의 GSM, IS-95와 같은 2세대 시스템은 최고 64kbps의 전송 속도를 가지며 IMT-2000과 같은 3세대 시스

* 휴림 인터랙티브(hyungju@hurim.net),
논문번호 : KICS2005-03-125, 접수일자 : 2005년 3월 28일

** 아주대학교 정보통신공학과(jaslim@ajou.ac.kr)

템은 최고 2Mbps의 전송 속도를 가진다^[1]. 그러나 위와 같은 기존의 시스템들은 고속의 패킷 데이터 전송 속도를 충분히 만족시키지 못한다. 따라서 고속전송의 요구사항을 만족하기 위한 많은 기술들이 개발되어 왔다. 그 중에서 IMT-2000 표준인 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)의 기술을 향상시킨 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)는 고속의 전송을 지원하는 기술로 3GPP Release 5에 표준화 되었다. 3.5 세대 시스템이라 불리는 HSDPA는 UMTS와 동일한 주파수 대역을 통해 10Mbps의 높은 전송 속도를 지원하는 하향링크 기술이다^[1].

HSDPA에 채택된 고속 하향링크 기술로는 AMC (Adaptive Modulation and Coding), fast scheduling 그리고 HARQ(Hybrid-ARQ)가 있다. HARQ 기법은 N-채널 SAW(Stop and Wait) ARQ와 물리계층의 채널 코딩을 결합하는 구조이다. 특히 데이터 패킷의 전송 블록 단위인 TTI(Transmission Time Interval)가 UMTS 시스템에 비해 매우 짧고 또한 N-채널 SAW HARQ 기능이 RNC가 아닌 Node-B에 위치한다. 이러한 점들은 HSDPA 시스템의 처리량 성능을 크게 향상시키는 동시에 평균 전송지연을 크게 줄이는 주된 요소가 된다^[2].

논문 [3]에는 HSDPA 시스템에서의 N-채널 동기식 SAW ARQ 기법이 제안되어 있다. 이 기법은 단일 채널 SAW ARQ가 가지는 채널 낭비 문제점을 극복하기 위해 제안되었다. 즉 RTT(Round Trip Time)에 따른 송신측의 전송 제한으로 발생하는 아이들 슬롯을 줄이고 그로 인한 프로세스 낭비를 막기 위해 N개의 SAW ARQ 프로세스를 사용하는 방법이다. 또한 동기식 SAW ARQ와 함께 비동기식 SAW ARQ 기법도 제안하고 있는데 이는 일정한 전송 규칙 때문에 생기는 동기식 SAW ARQ의 한계를 해결하기 위한 것이다^[3,4]. 따라서 비동기식 SAW ARQ는 동기식에 비해 적응적인 전송이 가능하다.

하지만 무선 채널 환경에서는 패킷 전송속도가 고속으로 빨라지고 또한 재전송 주기가 짧아질수록 버스트한 에러 패턴을 보이며 재전송 실패의 반복으로 누적되는 전송 지연이 발생하게 된다. 따라서 연속적으로 에러가 발생하는 구간에서는 계속해서 재전송을 시도하기 보다는 강제 지연을 선택하여 전송 지연을 줄일 수 있는, 즉 채널 상태에 따라 패킷 전송 시간을 적응적으로 조절할 수 있는 전송 방식이 요구된다.

이를 위하여 본 논문에서는 연속적으로 에러가 발생하는 버스트 채널 환경에서 채널 상태에 따라 패킷 전송 여부를 결정하는 선택적 패킷 지연(SPD: Selective Packet Delay) 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 물리계층에서 예측한 채널 상태 정보를 이용하여 적응적으로 패킷 전송을 제어하는데, 이에 필요한 하향링크의 채널 상태정보는 UE(User Equipment)에서 측정하여 상향링크를 통해 Node-B에 전달된다^[4]. 채널 예측 기법의 정확도는 SPD 기법의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소가 되는데 본 논문에서는 지금까지 연구되고 있는 다양한 채널 예측기법^[5] 중 [4]를 이용하는 것으로 가정한다.

본 논문에서는 SPD 기법에 쉽게 적용될 수 있는 두 종류의 스케줄링 기법을 제안한다. SPD-LDPF (Long Delayed Packet First)는 평균 전송지연을 최소화하기 위한 방안으로 재전송 패킷을 포함하여 큐에 가장 오래 대기한 패킷을 우선으로 전송하는 기법이며 SPD-DCRR(Deficit Compensated Round Robin)는 사용자간 공평성(fairness)을 위해서 제안된 기법이다. 제안하는 SPD 기법의 성능 평가를 위하여 시뮬레이션을 통해 HSDPA 시스템의 비동기식 N-채널 SAW ARQ방식과 비교하였으며 그 결과, 제안하는 기법이 기존 방식보다 우수한 성능 향상을 보임을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 HSDPA 시스템의 개념과 기존의 N-채널 SAW ARQ 기법을 간략히 설명한다. 그리고 III장에서는 제안하는 SPD 기법과 2 종류의 패킷 스케줄링 기법을 기술하고 IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안하는 기법의 성능을 비교·평가하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. HSDPA 시스템에서의 N-채널 SAW ARQ 기법

UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network)는 RNC(Radio Network Controller)와 Node-B로 구성되며 하나의 RNC는 여러 개의 Node-B를 제어하는 구조를 가진다. RNC는 무선자원 할당, MAC 및 링크 계층 프로토콜 등의 다양한 기능을 수행하는데 특별히 여러 Node-B들로부터 수신된 정보를 종합적으로 이용할 수 있기 때문에 매우 효율적인 무선자원관리가 가능하다. 하지만 RNC와 Node-B 사이에 정의된 Iub 인터페이스에서 발생하는 매우 긴 시간 지연으로 RTT 값이 200msec 이상

이 되는 단점이 있다⁶⁾. 이렇게 긴 RTT는 데이터 전송 중 에러가 발생했을 때 재전송으로 인하여 평균 지연시간을 크게 증가시키고 동시에 상위 계층에 존재하는 TCP의 타임 아웃의 원인이 되어 특히 고속 패킷 데이터의 전송 시에는 치명적인 문제를 야기한다⁷⁾.

HSDPA 시스템에서는 패킷 데이터의 빠른 전송을 목적으로 HS-DSCH(High Speed Downlink Shared Channel)을 제안하고 있다⁸⁾. HS-DSCH는 고속 패킷 전용 채널로 UMTS DSCH의 5배에 해당하는 최대 10Mbps의 전송속도를 지원하며 UMTS에서 정의한 10msec인 TTI를 2msec로 줄여 무선 채널 특성의 변화에 신속하게 대응할 수 있도록 하고 있다. HSDPA 시스템에서는 AMC, H-ARQ 그리고 link adaptation과 같은 물리 계층 기능들은 물론 MAC 프로토콜의 일부 기능이 RNC가 아닌 Node-B에 위치한다.

Node-B의 프로토콜 계층을 MAC-hs 부계층(sub-layer)이라고 하며 프로토콜 구조상 MAC 계층의 가장 하부에 위치한다. MAC 계층의 상위에 위치한 RLC 계층은 UMTS와의 상호 호환성을 위해 동작 상에 큰 변화는 없으며 AM(Acknowledgement Mode) 또는 UM(Unacknowledgement Mode)만 사용된다^{6,7)}. 이처럼 HSDPA 시스템에서는 재전송 기능 및 패킷 스케줄링 기능이 Node B에 위치하기 때문에 약 10msec 정도의 매우 작은 RTT 값으로 매우 빠른 재전송을 수행할 수 있으며^{9,10)} 또한 패킷 스케줄러는 각 UE(User Equipment)의 채널 상태를 고려하여 정교하게 스케줄링 가능하게 된다.

HSDPA 시스템의 주요 채널과 기본 동작 원리는 다음과 같다. HSDPA의 HS-DSCH은 HS-PDSCH(High Speed Physical Downlink Shared Channel)과 HS-SCCH(High Speed Shared Control Channel)의 2개의 채널로 구성된다¹⁰⁾. HS-PDSCH는 SF(Spreading Factor) 16을 이용하여 UE에게 사용자 데이터를 전송하고 HS-SCCH은 제어 채널로 transport format, HARQ, 그리고 AMC에 필요한 제어 정보들을 전달하는 역할을 수행한다. 하향링크에 대한 피드백 정보를 전송하는 채널은 HS-DPCCH(High Speed Dedicated Physical Control Channel)로 NACK 정보와 CQI(Channel Quality Indicator)로 구성되며 이러한 정보는 UE가 무선 채널 상에서 수행하는 품질 측정 보고(quality measurement report) 기능을 의미한다. 또한 각 active 터미널 대해 하나의 HS-DPCCH만 존재한다^{10,11)}.

HSDPA에서는 재전송 방식으로 물리 계층의 채널 코딩과 결합한 HARQ 기법을 채택하고 있다⁵⁾. 기존의 무선 패킷 전송 시스템인 UMTS는 약 0.1%의 매우 낮은 FER(Frame Error Rate)을 요구한다. 낮은 FER을 만족시키기 위해서는 매우 많은 전력이 소모된다. 하지만 HSDPA에서는 요구된 FER을 10%로 정도로 설정하기 때문에 목표치 SIR(Signal-to-Interference Ratio) 값을 낮출 수 있는 장점이 있다. 물론 이렇게 높은 FER는 HARQ를 이용하여 극복된다. 이를 위해 HARQ에서는 단순 재전송만이 아니라 CC(Chase Combining) 또는 IR(Incremental Redundancy)과 같은 하이브리드 재전송 방식을 사용하여 처음 수신된 패킷과 재전송된 패킷을 조합하여 수신 단에서 효율적으로 디코딩을 수행하여 성능을 높이고 있다. HARQ 적용에 의해 발생하는 전력 마진을 이용하여 16QAM과 같은 높은 전송 효율을 같은 모뎀기술을 적용할 수 있게 되었다¹⁰⁾.

한편 HSDPA 시스템에서의 패킷 재전송 전략은 N-채널 SAW ARQ를 이용한다⁹⁾. 이 기법은 N 개의 SAW 프로세스를 독립적으로 두는 방법으로 기존의 단일 채널 SAW ARQ 기법의 문제점을 해결하기 위해 Release 5에 제안되었다⁶⁾. 단일 채널 SAW ARQ 기법은 가장 간단한 재전송 방법으로 송신측은 TTI에 의해 정해지는 일정크기의 데이터 블록을 전송하게 되는데 현재의 블록이 성공적으로 전송된 경우에는 계속해서 다음 블록을 전송하게 된다⁶⁾. 따라서 이러한 기법은 현재의 블록이 성공적으로 전송되었다는 응답정보를 받기 전까지의 RTT 만큼 아이들 슬롯이 발생하며 이로 인해 시스템 성능이 저하된다⁹⁾. 따라서 HSDPA에서는 다수 개의 SAW ARQ를 병렬로 사용하여 각 SAW 프로세스를 독립적으로 수행하게 함으로써 위와 같은 한계를 극복하고 있다¹²⁾.

N-채널 SAW ARQ 기법은 처음 전송된 초기 전송 패킷과 재전송 패킷 사이의 시간 관계에 따라 2 가지 기법으로 구분된다. 하나는 동기식 SAW ARQ이며 다른 하나는 비동기식 SAW ARQ이다.

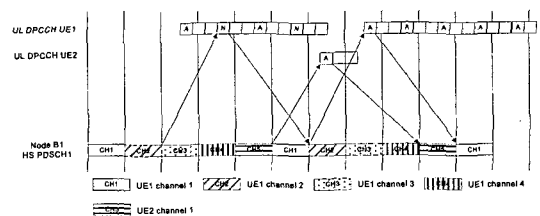


그림 1. 동기식 N-채널 SAW ARQ 구조

그림 1은 동기식 SAW ARQ의 예를 보여주고 있다. 동기식 기법은 특정 수신측에 대하여 해당 패킷을 주기적으로 전송하는 기법으로 최초의 패킷 전송 이후에 재전송이 일정한 시간 주기를 두고 일어난다^[12]. 그림에서 UE1은 4개의 SAW ARQ 프로세스를 사용하고 있으며 UE2는 하나를 사용하고 있다. UE1의 CH1은 첫 번째 전송과 두 번째 그리고 세 번째 전송이 동일한 간격으로 발생한다. CH2 또한 첫 번째 패킷의 전송 실패가 일어나고 다음 재전송까지 일정한 시간을 기다려야 한다. 따라서 이 기법은 구현상 용이한 장점이 있지만 채널 상태에 따라 적응적으로 스케줄링을 할 수 없기 때문에 특정 사용자의 채널상태가 나쁜 경우에는 송신 패킷이 집중되어 손실될 수 있으며 다중 사용자 다이버시티(multi-user diversity) 이득 또한 얻을 수 없다^[12].

그림 2는 비동기식 SAW ARQ의 모습을 보이고 있다. 비동기식 ARQ에서는 여러 난 패킷에 대한 재전송 주기가 일정하지 않다. 즉 각 채널에 대한 최초의 패킷과 재전송 패킷 사이의 주기는 불규칙하다. 동기식 SAW ARQ는 모든 사용자의 전송 주기는 동일하였지만 비동기식 SAW ARQ에서는 사용자마다 자기 다른 주기를 가지며 이로 인해 유연한 스케줄링이 가능하다.

그림 2를 보면 Node-B로부터 UE1과 UE2로 전송되는 패킷의 전송 순서를 보이고 있다. 그림 1과 마찬가지로 UE1은 4개의 SAW ARQ 프로세스를 사용하고 있으며 UE2는 하나를 사용하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 UE1의 CH1과 UE2의 CH5는 동기식과 달리 각 전송마다 다른 주기로 전송되는 것을 알 수 있다. 하지만 채널 상태가 나쁜 경우에는 패킷 에러가 발생하게 되며 이 때문에 재전송으로 인한 지연이 매우 커지게 된다^[13]. 예를 들어, UE1에게 보내진 패킷이 손실된다면 수신측으로부터 NACK을 수신해야 되고 따라서 몇 개의 타임 슬롯 후에 손실된 패킷은 재전송 된다^[8]. 또한 버스트 에러 환경에서는 UE1의 패킷에 연속적인 손실이 발생하게 되고 따라서 UE2는 몇 개의 타임 슬롯 후

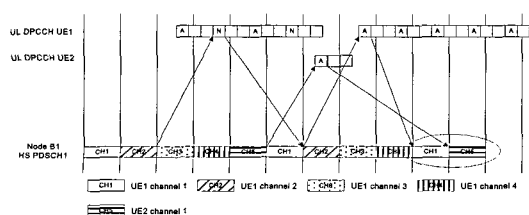


그림 2. 비동기식 N-채널 SAW ARQ 구조

에 자신의 패킷을 전송할 기회를 갖게 된다. 이렇게 특정 사용자의 환경으로 인해 다른 사용자들이 서비스 받지 못하고 지연되는 결과가 나타날 수 있다. 이러한 현상은 특히 버스트 에러가 발생하는 채널 환경에서 더욱 큰 문제가 된다^[14]. 따라서 이러한 재전송으로 인한 긴 지연시간을 줄이기 위한 N-채널 SAW ARQ 기법이 필요하다.

III. 제안하는 Selective Packet Delay 기법

N-채널 SAW ARQ에서의 재전송으로 인한 지연 시간이 증가하는 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 SPD 기법을 제안한다. 특정 UE의 채널상태가 좋지 못한 경우에는 해당 UE로 패킷을 전송하더라도 무선 채널에서 에러가 발생하여 재전송되어야 하기 때문에 재전송 절차로 인한 긴 지연이 발생된다. 따라서 제안하는 SPD 기법에서는 물리계층으로부터 전달되는 채널상태의 예측된 정보를 이용하여 각 UE가 처해 있는 무선 채널상태를 반영하여 패킷 전송을 제어하는 방법으로 채널 상태가 나쁜 경우에는 해당 패킷을 송신하는 대신 TTI 단위로 강제 지연시키고 대신에 해당 타임 슬롯을 채널 상태가 우수한 다른 UE에게 양보하는 방식이다. SPD는 패킷 손실이 연속적으로 발생하는 버스트 에러 환경에서 HSDPA의 N-채널 SAW 기법의 성능을 향상할 수 있는 방법이다.

그림 3은 제안하는 SPD 기법의 동작원리를 나타내고 있다. Node-B의 송신측에서는 상향 링크로 전달되는 해당 UE의 하향 링크 채널상태 정보를 기반으로 패킷 송신 제어를 하게 된다. 그림에서 보면 CH2의 상태가 나쁜 것을 알고 CH2의 패킷 전송을 TTI 만큼 지연하였으며 원래의 CH2의 타임 슬롯은 CH3가 사용하고 또한 동일한 이유 때문에 CH5가 먼저 전송하고 CH4는 TTI 만큼 지연된 것을 알 수 있다. 비동기식과 같이 각 패킷 전송 사이의 주기는

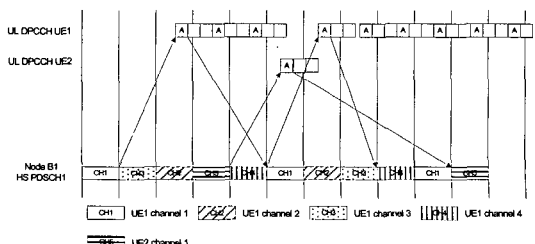


그림 3. Selective Packet Delay 기법 구조

일정하지 않다. 제안하는 SPD 기법을 실제 시스템에 적용하기 위해서는 채널상태 예측 기법의 신뢰도가 무엇보다도 중요하다. 만약 채널상태 예측 정보가 정확하다면 손실되는 패킷 없이 전송이 가능하다. 하지만 채널상태 예측정보가 정확하지 못하면 불필요한 재전송을 유발하거나 또는 무선링크 유틸리티를 떨어뜨리고 결국 시스템의 성능 저하를 초래하게 된다.

본 논문에서는 SPD 기법을 기반으로 하는 SPD-LDPF와 SPD-DCRR의 2 종류의 스케줄링 기법을 제안한다. 그림 4는 SPD-LDPF 기법의 동작을 보이는 플로우 차트인데 큐에 가장 오래 대기한 패킷에 우선권을 부여하여 스케줄링 하는 방법이다. SPD-LDPF 기법의 동작은 크게 패킷을 스케줄링 하는 과정과 전송하기 전 채널 상태를 예측하는 과정으로 크게 나누어진다. 그림에서 보면 먼저, RLC 계층으로부터 수신되는 새로운 패킷과 MAC 계층에서의 재전송 요구로 대기하고 있는 패킷은 각각 도착 큐와 재전송 큐에 저장된다. 만약 재전송 큐에 패킷이 존재하면 송신부는 도착 큐에 있는 패킷을 강제 지연시킴으로써 해서 오래 지연된 패킷에게 높은 우선순위를 부여해 준다. 이렇게 전송해야 할 패킷이 결정되면 그 패킷을 전송하기 전에 할당된 채널 상태를 예측한다. 만약 그 채널 상태가 나쁘다면 다른 사용자가 사용하지 않는 다른 타임 슬롯의 존재 여부를 찾는다. 만약 양호한 다른 타임 슬롯이 존재한다면 그 슬롯을 이용하여 자신의 패킷을 전송하게 되고 자신에게 할당되었던 타임 슬롯은 다른 사용자에게 양도한다. 하지만 만약 자신의 채널과 다른 모든 아이들 타임 슬롯의 상태가 좋지 않음

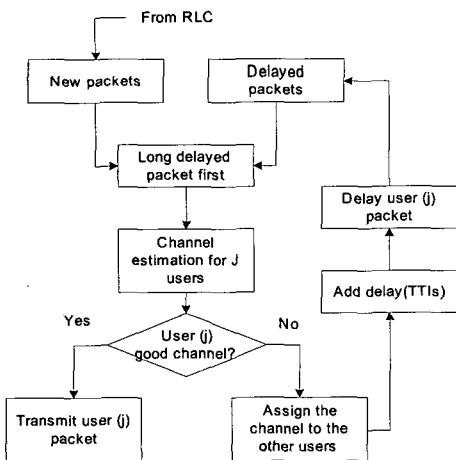


그림 4. SPD-LDPF 기법의 동작 원리

경우에는 해당 패킷은 전송 되지 않고 TTI 단위로 지연되어 재전송 큐에서 다시 대기한다. SPD-LDPF 기법은 시스템의 전체 처리량을 높이고 또한 사용자들의 전체 평균 지연 시간을 줄일 수 있다.

논문에서 두 번째 제안하는 SPD-DCRR 기법은 사용자간에 형평성을 유지하는 것을 목적으로 제안된 기법이다. 만약 채널 상태가 나쁜 사용자는 채널 상태가 좋은 사용자에 비해 상대적으로 불리한 전송 기회를 갖게 되고 이로 인하여 사용자간 불균형이 발생하기 때문이다. SPD-LDPF의 경우 전체 처리량을 증가시키고 평균 지연시간을 단축할 수 있지만 사용자간 채널 환경이 다른 경우에 형평성을 만족하지 못하게 된다. SPD-DCRR 기법은 RR (Round Robin) 방식에 기반한 스케줄링 방식으로 무선채널 상태 정보와 DC(Deficit Count)를 통해 사용자간 공평성을 유지한다. 이를 위하여 SPD-DCRR 기법은 DC 변수를 이용하여 상대적으로 불리한 위치에 있는 사용자에게 우선적으로 기회를 부여한다. DCRR 모듈은 각 사용자의 DC 변수의 최근 값을 기억하고 있으며, DC 값이 가장 큰 사용자부터 서비스 되며, 사용자의 DC 값이 0인 경우 DC 값이 0 보다 큰 다른 사용자에게 순서를 양보하게 된다.

그림 5는 SPD-DCRR 기법의 동작원리를 보이고 있다. 만약 사용자 j에게 보낼 패킷이 존재한다면 먼저 사용자 j에 할당할 타임 슬롯의 무선 채널상태를 예측한 후, 채널상태가 좋은 경우에는 사용자 j의 DC 값을 보고 0 보다 크다면 DC 값이 0이 될

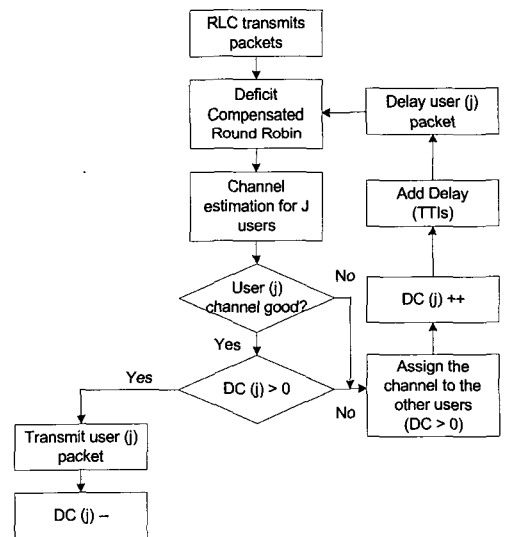


그림 5. SPD-DCRR 기법의 동작 원리

때까지 선점하여 패킷을 전송하게 되고, 매번 패킷을 전송할 때마다 사용자 j의 DC 값을 1씩 감소한다. 하지만 만약 채널 상태가 좋지 못하다면 1만큼 DC값을 증가시키고 그 패킷은 지연시킨다. 즉 이 기법은 자신이 보내야 할 타임 슬롯에 매번 패킷을 전송한 경우에는 DC 값이 0이 되고, 자신이 보내야 할 기회에 패킷을 전송하지 못한 경우에는 DC 값이 1씩 증가하게 된다. 특정 사용자에게 매핑 되는 DC 변수의 값이 클수록 무선 채널의 상태로 인하여 자신에게 부여된 전송 기회를 충분히 이용하지 못했다는 것을 의미한다. 따라서 스케줄링 시에 무선 채널상태가 양호한 사용자들 중에서 DC 값이 가장 큰 사용자에게 우선권을 줌으로써 사용자간에 공평성을 보장하게 된다. SPD-DCRR 기법은 SPD-LDPF와 비교해서 전체 처리량 성능과 평균 지연시간 특성은 상대적으로 떨어지지만 무선 채널특성이 다른 환경에 있는 사용자들 간에도 어느 정도 공평성을 만족할 수 있다는 이점을 가진다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

제안하는 기법의 성능평가를 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저HSDPA 무선 채널 모델은 논문 [15]에서 제안한 two state Markov 모델을 사용하였다. 논문 [15]에서 무선 채널의 에러 패턴은 first-order Markov로 그리고 다중경로 페이딩은 레일레이 페이딩으로 가정하고 있는데 블록 전송의 연속적인 성공 확률을 p로 그리고 연속적인 실패 확률을 q로 하여 two-state Markov chain으로 근사화 하고 있다. 이는 짧은 단위로 빠르게 변하는 HSDPA 시스템의 무선 채널 상태를 반영하였으며 에러 특성 또한 HSDPA의 채널 특성을 포함하고 있다. 표 1은 시뮬레이션에서 이용한 파라미터의 값

표 1. 시뮬레이션 변수

Parameters	Value
Data Rate	1.8Mbps
Traffic	FTP
BLER(%)	0~20%
TTI	2ms
Block Size	3630bits
Channel Estimation Probability	80%~100%
$f_d T$	0.037, 0.37
UE Speed	4km/h, 40km/h
N-Channel HARQ	2
Number of User	4
Number of Retransmission	4

들을 나타내고 있다. 표에서 N-Channel HARQ는 기존의 SAW ARQ와 제안한 기법에서 사용하고 있는 parallel SAW 채널수를 의미한다. 그리고 BLER (0~20%)에 따른 에러 분포는 빠르게 변하는 HSDPA의 채널 특성을 반영하였으며 그 특성을 이용하여 얻어진 Markov p, q값을 통해 버스트한 패턴을 구현하였다. 채널 예측 방법은 [4]에서 언급한 CQI feedback 값을 통해 수행되며, 본 시뮬레이션에서는 정확한 채널 예측을 가정하고 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과를 언급하기에 앞서 two-state Markov chain의 p, q 값을 도출하기 위해 필요한 변수들^[15]에 대해 설명한다.

$$P_E = \frac{1-p}{2-p-q} \tag{1}$$

식 (1)은 프레임 에러 (frame error)가 발생 되었을 때의 steady-state 확률을 나타내고 있으며 Fading margin F를 갖는 Rayleigh fading channel에서 평균 FER은 식 (2)와 같다.

$$P_E = 1 - e^{-1/F} \tag{2}$$

Markov parameter q는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$q = 1 - \frac{Q(\theta, \rho\theta) - Q(\rho\theta, \theta)}{e^{1/F} - 1}, \quad \theta = \sqrt{\frac{2/F}{1-\rho^2}} \tag{3}$$

식 (3)에서 $\rho = J_0(2\pi f_d T)$ 는 페이딩 채널에서 도플러 주파수 f_d 와 packet duration T초 만큼 떨어진 연속적인 샘플들의 Gaussian correlation coefficient이다. 그리고 파라미터 $f_d T$ 는 페이딩에서 correlation을 설명하는 normalized Doppler bandwidth이다. 또한 $J_0(\cdot)$ 는 first kind, zero order인 Bessel function이고 $Q(\cdot, \cdot)$ 는 Marcum Q function이다. 그 식들은 아래와 같다.

$$f_d = \frac{v}{\lambda} = v \cdot \frac{f}{c} \tag{4}$$

$$J_0(x) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(-1)^l}{2^{2l} (l!)^2} x^{2l} \tag{5}$$

$$Q(x, y) = \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2+w^2}{2}} I_0(xw) w dw \tag{6}$$

위에서 I_0 는 first kind, zero order인 Modified Bessel function이며 식(7)과 같다.

$$I_0(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{1}{2^{2l} (l!)^2} t^{2l} \quad (7)$$

따라서 위의 식 (2)와 (3)을 통해 q 값을 도출하며 그 값을 식 (1)에 대입하여 p 값을 구할 수 있다.

한편 제안하는 기법의 성능 평가 기준으로 시스템 전체 처리량, 평균 지연 시간 그리고 사용자간 공평성을 비교하였다. 특히 무선 환경에서는 사용자의 채널 환경이 시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 즉 채널 상태가 좋은 사용자는 전송률이 증가하여 시스템 성능이 향상하지만 반대로 채널 상태가 좋지 못한 사용자는 재전송으로 인한 지연 때문에 시스템 성능이 크게 떨어진다^[4]. 또한 이는 사용자간 공평성을 보장되지 못하는 큰 원인이 된다.

본 논문에서는 사용자간의 공평성을 평가하기 위해 일반적으로 사용되는 공평성 수식 [16]을 이용하여 식 (8)의 공평성 함수(F)를 정의하였다.

$$F = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \frac{R_i}{\gamma_i} \right)^2}{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i}{\gamma_i} \right)^2} \quad (8)$$

식 (8)에서 R_i/γ_i 값은 Normalized Transmission Rate 값으로 R_i 는 성공적으로 수신된 패킷의 평균 전송률을 의미하며 γ_i 는 weight factor로 두 개의 normalized factor인 p_i 와 q_i 로 구성되어 있으며 식(9)와 같다. 이 식에서 n은 사용자 수이며 α_i 는 사용자 i에 대한 TTI 단위의 데이터 블록 에러 레이트(BLER) 값이며(0~20%) p_i 와 q_i 는 각각 무선 채널 모델에서 good state와 bad state에 머무를 확률을 나타낸다.

$$\gamma_i = \alpha_i q_i + (1 - \alpha_i) p_i \quad (9)$$

식 (8)에서 여러 사용자가 공평하게 패킷을 전송하게 되면 F값은 1에 가까운 값이 되고 반면에 공평성이 떨어지면 F값은 0에 가까운 값이 된다.

그림 6은 BLER 변화에 따른 평균 지연시간의 변화를 보이고 있다. 이는 하나의 패킷이 성공적으로 도달할 때까지 걸리는 평균 지연 시간을 의미한다. 본 시뮬레이션에서 N-채널 수는 2, 최대 재전송 횟수는 4번, 단말속도는 4km/h 그리고 $f_d T$ 값은

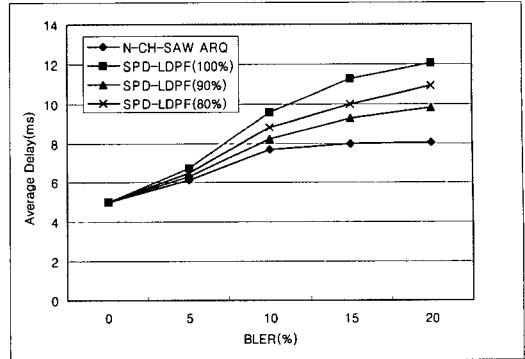


그림 6. BLER 증가에 따른 평균지연 특성 비교

0.037으로 설정하였다. SPD-LDPF 기법에 이용되는 하향링크 무선채널에 대한 예측정보의 정확도는 80%, 90%, 100%로 가중하였다. 언급하였듯이 최대 재전송 수는 3번으로 제한되어 있기 때문에 채널 상태가 좋지 못한 상황에서 기존의 N-채널 SAW는 계속해서 재전송을 하게 되고 재전송 횟수 내에 전송되지 못한 패킷은 버리게 된다. 그로 인해 average delay와 전체 throughput 성능을 저하시키게 된다. 그림에서는 N-채널 SAW ARQ와 SPD-LDPF 기법의 평균 지연시간의 결과를 보이고 있는데 BLER이증가함에 따라 기존 N-채널 SAW ARQ에 비하여 SPD-LDPF의 성능이 크게 우수함을 알 수 있다. 만약 최대 재전송 횟수의 제한을 배제할 경우에는 N-채널 SAW ARQ의 지연시간은 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 한편 SPD-LDPF의 지연 특성은 채널상태 예측정보의 정확도에 따라 민감한 것을 알 수 있다. 따라서 SPD 기법의 우수한 성능을 확보하기 위해서는 정확한 채널 예측기법이 필요하다.

그림 7은 그림 6의 시뮬레이션과 동일한 환경에서 얻은 BLER의 변화에 따른 시스템 전체 처리량

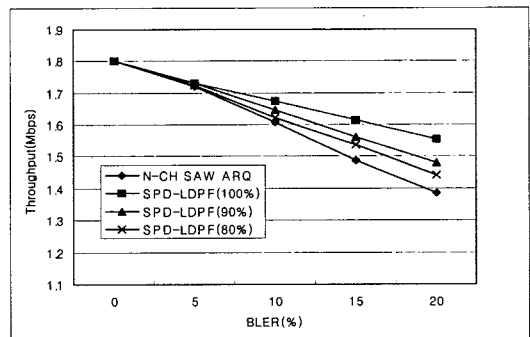


그림 7. BLER 증가에 따른 처리량 성능 비교

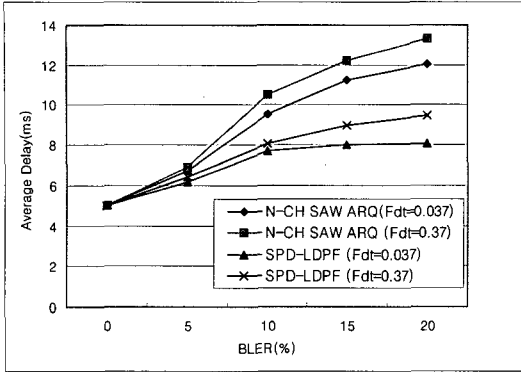


그림 8. 페이딩 채널 변화에 따른 평균지연 특성비교

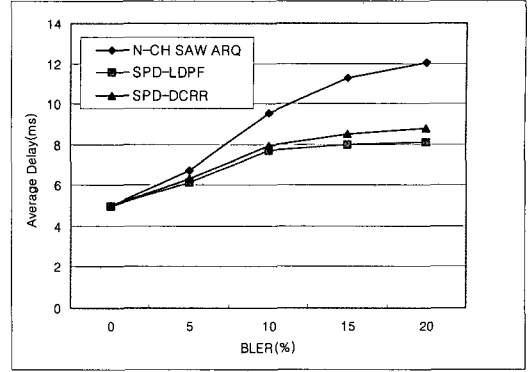


그림 10. SPD-LDPF 와 SPD-DCRR의 평균지연 특성비교

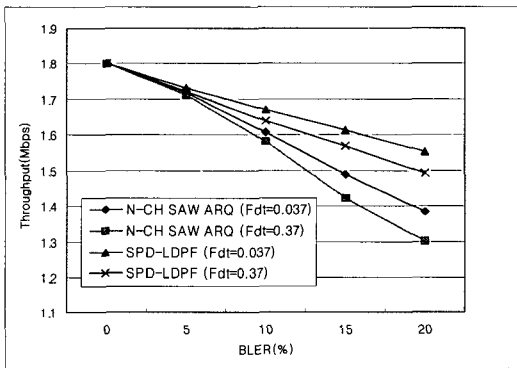


그림 9. 페이딩 채널 변화에 따른 처리량 성능비교

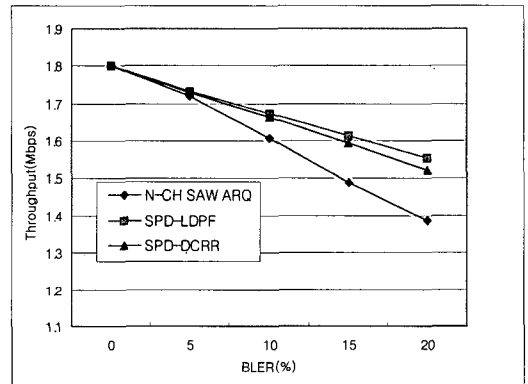


그림 11. SPD-LDPF 와 SPD-DCRR의 처리량 성능 비교

성능을 보이는 결과이다. 특히 버스트 에러 환경에서는 연속적인 패킷 전송에러로 인해 재전송이 자주 발생하기 때문에 기존 N-채널 SAW ARQ는 처리량 성능이 SPD-LDPF 기법에 비해 크게 떨어지고 채널 유틸리티 또한 낮게 된다.

그림 8과 9는 다른 페이딩 채널 환경에서 BLER 변화에 따른 평균지연 특성과 처리량의 결과를 나타내고 있다. 하향링크의 채널상태 예측은 100% 정확한 것으로 가정하였다. 여기서 $f_d T = 0.037$ 은 이동속도가 4km/H인 경우로 슬로우 페이딩 환경을 의미하며 $f_d T = 0.37$ 은 이동속도가 40km/H로 페스트 페이딩을 의미하며 T는 HSDPA TTI 값이 2ms 이다.

시뮬레이션 결과, 특히 슬로우 페이딩 환경에서 제안하는 SPD-LDPF 기법이 기존의 N-채널 SAW ARQ에 비해 강한 특성을 나타내었다. 이는 SPD-LDPF 기법은 채널 상태가 나쁜 사용자의 해당 패킷을 지연하고 사용하지 않는 타임 슬롯을 다른 사용자가 사용 가능하도록 할당하기 때문에 처리량 및 평균 지연 성능이 개선되는 현상을 보인다.

그림 10과 11은 기존 N-채널 SAW ARQ와 SPD-LDPF 그리고 SPD-DCRR을 슬로우 페이딩 환경에서 비교한 결과로 채널 예측 정확도는 100%로 가정하여 시뮬레이션 하였다. 이 그림을 통해 알 수 있듯이 SPD-DCRR은 사용자들 간에 공평성을 고려하여 채널을 배정하기 때문에 SPD-LDPF에 비해 평균지연 특성 및 처리량 성능에서 약간 떨어짐을 알 수 있다.

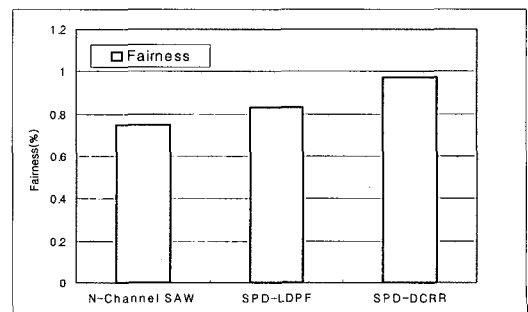


그림 12. N-채널 SAW ARQ, SPD-LDPF, SPD-DCRR 기법의 사용자간 공평성 비교

그림 12는 제안하는 SPD-LDPF 및 SPD-DCRR 기법의 공평성을 N-채널 SAW ARQ 기법과 비교한 그림으로 식 (1)을 이용하여 분석한 결과이다. 이 그림은 사용자들끼리 서로 다른 BLER 환경에서 얼마만큼의 공평성을 보장할 수 있는지 보이고 있다. 본 시뮬레이션에서 사용자들을 크게 5%의 BLER과 10%의 BLER의 두 그룹으로 나누고 각 그룹에서 사용자의 동일하게 설정하였다. 그림의 결과에서 공평성 값이 1에 가까울수록 여러 사용자들이 공평하게 전송 기회를 가졌다는 의미를 나타낸다. 특별히 공평성을 고려하여 제한하는 SPD-DCRR의 특성이 다른 두 종류의 방식에 비하여 우수한 특성을 보임을 알 수 있으며 또한 SPD-LDPF의 경우에도 기존 N-채널 SAW ARQ에 비하여 우수함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 HSPDA 시스템 HS-DSCH의 성능 향상을 위해 무선채널 예측 정보를 이용한 선택적 패킷 지연 기법을 제안하였다. SPD는 무선채널 환경에서 N-채널 SAW ARQ이 가지는 채널 낭비와 긴 재전송 지연 등의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 UE로부터 올라오는 하향링크의 채널 정보를 이용하여 사용자의 채널상태를 미리 예측함으로써 채널상태에 따라 사용자간에 적응적인 스케줄링이 가능하도록 하는 기법이다. HSDPA 시스템에서 SPD 기법의 적용 결과, 기존 N-채널 SAW ARQ에 비해 평균 전송지연 특성과 처리량 측면에서 모두 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 SPD-DCRR 기법은 SPD-LDPF나 N-채널 SAW ARQ에 비하여 무선 채널 상태가 서로 다른 사용자간에도 공평성을 유지할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] T. E. Kolding and K. I. Pedersen, "High Speed Downlink Packet Access WCDMA Evolution", *IEEE Vehicular Technology Society News*, Vol. 50, No. 1, pp.4-10, February 2003.

[2] T. E. Kolding and F. Frederiksen and P. E. Mogensen, "Performance Aspects of WCDMA Systems with High Speed Downlink Packet Access", *VTC 2002 Fall*, Vol. 1, pp.477-481,

September 2002.

[3] A. Das, F. Khan and S. Nanda, "A²IR: An Asynchronous and Adaptive Hybrid ARQ Scheme", *VTC 2001 Spring*, Vol. 1, pp.628-632, May 2001.

[4] N. Fukui, "Study of Channel Quality Feedback in UMTS HSDPA", *PIMRC 2003*, Vol. 1, pp.336-340, September 2003.

[5] K. Balachandran, S. R. Kadaba and S. Nanda, "Channel Quality Estimation and Rate Adaptation for Cellular Mobile Radio", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 17, pp.1244-1256, July 1999.

[6] 3GPP TR 25.950, "Technical Specification Group Radio Access Network; High Speed Downlink Packet Access; Overall Description Stage2"

[7] J. Peisa and E. Englund, "TCP Performance over HS-DSCH", *VTC Spring 2002*, Vol. 2, pp.987-991, May 2002.

[8] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, 2002.

[9] 3GPP TR 25.848, "Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access".

[10] S. Parkvall, E. Dahlman, P. Frenger, P. Beming and M. Persson, "The Evolution of WCDMA Towards Higher Speed Downlink Packet Data Access", *VTC 2001 Spring*, Vol. 3, pp.2287-2291, May 2001.

[11] R. C. Qiu, W. Zhu and Y. Q. Zhang, "Third-Generation and Beyond(3.5G) Wireless Network and Its Applications", *ISCAS 2002*, Vol. 1, pp.I-41-I-44, May 2002.

[12] A. Das, F. Khan, A. Sampath and H. J. Su, "Adaptive, Asynchronous Incremental Redundancy (A²IR) Redundancy with Fixed Transmission Time Intervals(TTI) for HSDPA", *The 13th IEEE International Symposium*, Vol. 3, pp. 1083-1087, September 2002.

[13] 박형주, 임재성, "HSDPA에서 Selective Delay를 이용한 HS-DSCH 성능 향상 방안", *한국통신학회 하계학술대회*, 2004

- [14] Hyung-ju Park, Jae-Sung Lim, "A Modified N-Channel Stop and Wait ARQ using Selective Packet Delay Strategy for HSDPA Systems", *CIC* 2004.
- [15] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, "On the Accuracy of a First Order Markov Model for Data Transmission on Fading Channels", *ICUPC TOKYO*, pp.211-215, November 1995.
- [16] Y. Chen and L. Li, "A Wireless Packet Dropping Algorithm Considering Fairness and Channel Condition", *ICCCAS 2004*, Vol. 1, pp.369-373, June 2004.
- [17] G. Manuel and M. Rinne, "Analysis of the transmission window for the delay performance of the High Speed Downlink Packet Access Protocol", *IEEE SoftCOM*, October 2003.
- [18] G. Manuel and M. Rinne, "Performance of the Medium Access Control Protocol for the High Speed Downlink Packet Access", *IASTED international conference on Communication Systems and Networks*, September 2003.

박 형 주 (Hyung-Ju Park)

정회원



2003년 2월 신라대학교 멀티미디어 공학과 졸업
 2005년 2월 아주대학교 정보통신공학과 석사
 <관심분야> 이동통신

임 재 성 (Jae-Sung Lim)

중신회원



1983년 2월 아주대학교 전자공학과 졸업
 1985년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
 1994년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
 1985년~1988년 대우통신종합연

구소 전임연구원

1988년~1995년 디지콤정보통신연구소 책임연구원
 1995년~1998년 SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원
 1998년~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 부교수
 <관심분야> 이동통신, 무선인터넷