

UMTS의 DSCH를 위한 개선된 패킷 스케줄링 알고리즘

조 현 준*

요 약

최근들어 UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)는 3세대 무선망의 표준으로 인식되고 있고 DSCH(Down-link Shared Channel)는 UMTS에서 매우 효율적인 다중화 방안으로 고려되고 있다. 그러므로 UMTS에서의 DSCH를 위한 효과적인 패킷스케줄링 알고리즘 개발에 대한 연구가 필수적이다. 본 논문은 UMTS의 DSCH를 위한 개선된 패킷스케줄링 알고리즘에 대하여 기술한다. 이 알고리즘은 최대 링크 이용율을 위하여 이동호스트의 채널상태를 고려하며, 동시에 장기적으로 공정성을 얻기 위해 3등급 트래픽에서의 지연 한계치와 4등급 트래픽의 처리율을 함께 이용한다. 알고리즘의 타당성을 보이기 위하여 PARSEC을 이용한 모의실험을 수행하였다. 모의실험 결과는 이 알고리즘이 무선링크 이용율과 공정성 두 가지 측면에서 적절한 타협(trade-off)을 통하여 개선된 결과를 얻을 수 있음을 보여준다.

An Improved Packet Scheduling Algorithm for DSCH of UMTS

Hyunjoon Cho[†]

ABSTRACT

UMTS(Universal Mobile Telecommunications System) is recently recognized as a standard for 3rd generation of wireless networks and DSCH(Down-link Shared Channel) is considered as a very effective multiplexing method in UMTS. So, it is inevitable to develop an effective packet scheduling algorithms for DSCH in UMTS. This paper describes an improved packet scheduling algorithm for DSCH of UMTS. The algorithm takes consideration in channel state for each mobile terminal to maximize link utilization, delay threshold for class 3 traffic and throughput for class 4 to get long term fairness. To verify the algorithm, we programmed a simulator using PARSEC simulation tool and got some simulation results by it. The simulation results show that the algorithm has reasonable characteristics in both of link utilization and fairness by trade-off.

키워드 : 패킷스케줄링(Packet Scheduling), DSCH, UMTS

1. 서 론

최근 무선 이동 통신망 기술이 빠른 속도로 발전함에 따라, 가까운 미래에 무선 이동망 상에서 멀티미디어 서비스들이 보편화될 것으로 예상되고 있다. 멀티미디어 서비스의 다양한 통신 서비스 품질에 대한 사용자들의 요구를 충족시키기 위해서는 요구되는 통신 서비스품질(Quality of Service : QoS) 보장에 대한 연구가 필수적이며, 현재 국내외적으로 서비스품질 관리 연구가 매우 활발히 이루어지고 있다. 패킷 스케줄링(packet scheduling)은 주어진 대역폭을 효과적으로 활용하여 요구된 트래픽 특성을 보장하는 기능으로, QoS 기술 중에 중요한 한 부분이다[1].

UMTS의 Wide-band CDMA(WCDMA)는 이동 인터넷 서비스를 사용자들에게 제공할 수 있는 3세대 무선통신 표준으로 빠르게 발전하고 있다. 2002년 봄에 발표된 WCDMA

release 5에서는 패킷 데이터에 대한 지원이 IMT-2000 요구사항인 2Mbps를 넘어 최고 데이터율 10Mbps까지 가능하다. 또한 패킷 데이터 전송을 위한 새로운 전송 채널인 HS-DSCH(High Speed-Downlink Shared Channel)가 소개되었다[2].

DSCH는 다운링크 전송용량의 한계를 극복하기 위한 방안으로 도입되었으며, 높은 전송율의 버스트(burst) 트래픽에 대해 무선링크의 전송채널을 효과적으로 다중화하는 장점이 있다. DSCH는 스케줄링 때에 선택 가능한 다수의 터미널 베이어 중에서 전송데이터가 있는 버스티 트래픽에게 대역폭을 할당할 수 있기 때문에 다수의 터미널은 DSCH를 공유하며, 통계적 다중화를 이용하여 높은 채널 이용율을 얻을 수 있다. 버스티 하지 않은 트래픽의 패킷 전송은 DCH(Dedicated Channel)를 이용하는데, 이는 WCDMA의 코드 트리에서 높은 확산 요소(spreading factor)를 이용하고 따라서 적은 코드 트리를 이용한다[2-4].

채널의 이용율을 최대화하기 위해서는 각 터미널에 대한

* 2002년도 전주대학교 해외파견 연구비 지원에 의한 것임.

† 종신회원 : 전주대학교 정보기술공학부 교수

논문접수 : 2003년 10월 27일, 심사완료 : 2004년 10월 19일

채널상태를 고려한 패킷 스케줄링이 요구된다. 그러나 양호한 채널상태를 갖는 터미널 흐름에 높은 우선순위를 할당하게 되면 높은 이용 율을 얻을 수 있지만, 채널상태가 상대적으로 나쁜 터미널은 계속적으로 전송을 하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 공정성(fairness)이 나빠질 수 있다. 그러므로 이용 율과 공정성 두 가지 고려사항에 대한 절충이 필요하다[1, 4].

일반적으로 DSCH 상에서 전송되기에 적합할 것으로 생각되는 트래픽은 UMTS에서 규정한 트래픽 등급 중에서 등급 3 트래픽에 해당하는 상호작용(interactive) 서비스와 등급 4 트래픽인 백그라운드(background) 서비스이다. 상호작용 트래픽은 사용자로부터 왕복시간 지연(round-trip delay)에 대한 요구가 있으며, 백그라운드 서비스의 경우에는 지연에 대한 요구가 존재하지 않는다. 본 논문은 상호작용 트래픽에서의 지연에 대한 요구조건을 이용하여 공정성과 이용 율에서도 비교적 좋은 결과를 낳는 알고리즘을 제안하고자 한다. 또한 4등급 트래픽에서는 채널상태와 처리율을 모두 고려한 우선순위 값을 이용한 패킷 스케줄링 방법에 대하여 기술한다.

제한한 스케줄링 알고리즘의 타당성을 검토하기 위하여 모의실험을 이용하였다. 모의실험을 위한 도구로는 병렬 사건-구동 모의실험(parallel event-driven simulation) 언어인 PARSEC[8]을 이용하였다.

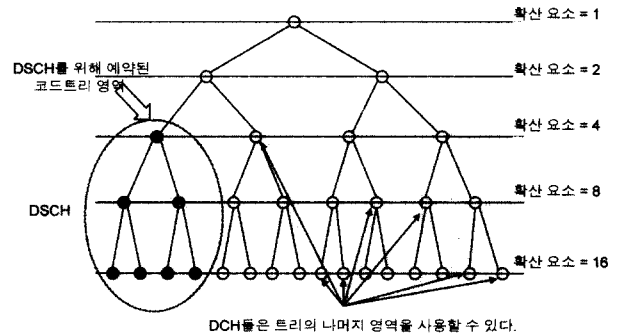
논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어 2장에서는 관련연구로 DSCH 소개와 무선망에서의 기존 패킷 스케줄링 알고리즘에 대하여 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 기술하고, 4장에서는 타당성 검증을 위하여 모의실험 결과 및 검토를 기술하였다. 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 DSCH

UMTS WCDMA 다운링크에서는 기지국은 제한된 전송 전력과 제한된 수의 직교 채널화 코드(orthogonal channelization codes)만이 가용하기 때문에 이 두 가지 자원을 효율적으로 관리하는 것이 매우 중요하다. 사용자 데이터는 전용 채널(dedicated channels : DCHs)을 이용하여 전송될 수 있다. DCH를 이용할 경우에는 전송 연결이 이루어지는 동안 채널이 전용되기 때문에 제한된 채널 코드 수 만큼의 사용자만 수용할 수 있다. 또한 버스티한 특성을 갖는 흐름의 경우에는 데이터 트래픽의 변화가 심하기 때문에 낮은 트래픽이 유지되는 구간에서는 높은 채널 이용율을 얻을 수 없다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 나타난 방식이 DSCH이다. 이 방식은 하나의 코드에 다수의 버스티한 흐름을 할당하고, 효율적인 다중화 방식을 이용하여 높은 채널 이용율을 얻는

방법이다[2-4]. 따라서 효과적인 다중화 방법이 필수적으로 요구된다. DSCH를 위한 코드트리 할당의 예[4]가 다음(그림 1)에 나타나 있다.



(그림 1) DSCH에 대한 코드트리 할당의 예

이 예에서는 확산 요소(spreading factor)가 16인 코드들로 이루어진 코드 자원이 나타나 있다. 코드 중에서 일정한 대역폭 예약을 요구하는 흐름들에게는 DCH 방식의 코드 할당을 하고, 그렇지 않은 버스티한 속성을 갖는 흐름들에게는 DSCH 방식의 코드 할당을 이용하여 코드를 공유하도록 한다.

각 흐름은 버스티한 특성이 있기 때문에 시간에 따라 요구되는 전송율이 변한다. 사용자들 사이에 공유되는 코드 자원 할당은 2ms마다 이루어지는데 이를 DSCH TTI(Transmission Time Interval) 이라 한다. 각 TTI 시작 지점에서 각 흐름이 요구하는 전송율, 지연과 흐름에 대응되는 터미널의 채널상태를 고려하여 다중화해야 한다[6-8].

다음 <표 1>은 UMTS에서 표준화된 트래픽 특성에서 따른 4가지 트래픽 등급이다[8].

<표 1> UMTS의 트래픽 등급

등급	트래픽 명	트래픽 예	QoS 관련 요구사항
1	conversational	Voice, Video conferencing	low delay, low jitter
2	stream	Real-time video	low jitter
3	interactive	Web browsing, telnet,	round-trip delay time, low BER
4	background	ftp, e-mail	low BER

4가지 등급 중에서 DSCH에서 효과적으로 다중화 될 수 있는 특징을 갖는 것은 지연에 덜 민감하고, 낮은 지터(jitter) 특성에 대한 요구가 없는 3등급과 4등급 트래픽이다. 3등급인 상호작용(interactive) 트래픽은 왕복시간(round-trip time)에 대한 지연과 에러 율(Basic Error Rate : BER)에 대한 요구가 있으며, 백그라운드(background) 트래픽은 단지 에러 율에 대한 요구만이 존재한다.

2.2 무선망에서의 기존 패킷 스케줄링 연구

만약 모든 사용자들이 무선망에서 동일한 상태의 채널을

갖는다면 할당된 대역폭은 전적으로 스케줄러(scheduler)가 사용자들에게 할당할 시간에 따라 대응될 것이다. 이 경우 단순한 라운드 로빈 정책을 이용하여 모든 사용자들에게 채널을 공유하도록 할 수 있다. 그러나 실제로 라디오 채널 상태는 페이딩과 간섭에 의하여 시간에 따라 변화하며, 터미널 위치나 이동성, 라디오 전파 환경의 변화 등에 따라 서로 다른 전파상태를 갖게 된다. 그러므로 가장 좋은 라디오 전파상태를 갖는 트래픽 흐름에게 채널을 할당함으로써 코드 이용율을 최대화할 수 있다. 이 경우 채널의 상태가 상대적으로 나빠서 제외된 흐름들에 대해서는 이후 다시 채널 상태가 좋아지면 보상받을 수 있다.

스케줄링 알고리즘은 패킷 레벨에서 대역폭 할당과 다중화를 위한 기능을 제공한다. QoS를 제공하기 위해서 고안된 많은 스케줄링 알고리즘들은 우선망에서 주로 개발되었다. 그러나 이 알고리즘들은 가변적인 무선링크의 용량이나 위치에 따른 채널상태 등을 고려하지 않았기 때문에 무선망에 직접 적용할 수 없다.

Yaxin[1]은 광대역 무선망에서 QoS를 위하여 요구되는 스케줄링 알고리즘들에 대하여 소개하고, 이들의 장단점을 비교 분석하였다. CSDPS, CSDPS+CBQ, IWFQ, CIF-Q, SBFA, I-DSDPS 등의 알고리즘이 소개되어 있는데, 이들은 라운드 로빈을 기반으로 하며 링크상태를 고려하여 링크상태가 좋아서 전송이 가능한 데이터 흐름에 우선적으로 채널을 할당하고, 차폐가 되었음에도 채널상태가 나빠 전송이 불가능한 데이터 흐름은 차후에 상태가 좋아지면 기회를 주는 방식으로 무선링크의 이용율을 높이는 방안들로 기회 균등 측면에서 불이익을 보상하는 방법에서 차이가 있다.

Shahzad Ali Malik[4]는 UMTS의 DSCH에서 이용율을 높이면서도 공평성을 개선할 수 있는 방안으로 Fair Resource Scheduling(FRS)을 제안했는데 이는 흐름의 우선순위, 링크의 상태, 여러 흐름간의 공평성을 고려한 확장된 라운드 로빈 스케줄링이다. FRS에서 각 흐름이 가중치를 갖는 Weighted Fair Queuing(WFQ)를 기반으로 한다. 가중치는 각 흐름이 차지하게 되는 대역폭의 정도를 결정하게 된다. 각 흐름은 전송되는 율에 따라 기본적인 라운드 로빈 방식을 기준으로 할 때에 비해, 앞섬(leading), 뒤짐(lagging), 정시(in-sync) 등 3가지 상태로 결정된다. 적당한 시간 간격을 두고 흐름의 상태는 계속적으로 갱신 유지된다. 공평성을 지원하기 위해서 뒤짐 상태 흐름은 향후 자신의 링크 상태가 개선되면 더 많은 스케줄링 시간을 할당함으로써 보상받게 된다. 만약 모든 뒤짐 상태의 흐름들의 링크 상태가 나쁘고 앞섬 상태 또는 정시 상태 흐름만이 좋은 링크 상태일 경우에는 다시 앞섬 또는 정시 상태의 흐름이 전송될 수 있다. 이렇게 함으로써 대역폭의 이용율을 최대화할 수 있다. 이 방안의 문제점은 뒤짐 상태에 대한 제한이 없기 때문에 뒤짐 상태의 흐름은 무선링크가 한가해지거나 링크의 상

태가 좋아져야만 한다. 따라서 무선링크가 바뀐 경우 계속적으로 채널상태가 좋지 않은 흐름은 공평성을 얻을 수 없는 문제가 있다. 또한 DSCH에서 서비스되는 등급별 트래픽 특성을 고려하지 않았기 때문에 일반적인 반면에 정해진 환경에서의 최적의 결과를 얻기 어렵고 생각된다.

3. 개선된 DSCH 패킷 스케줄링

본 논문에서 제안하는 패킷 스케줄링 방안은 3등급 서비스의 경우 사용자로부터 왕복지연 시간(round-trip delay)에 대한 요구가 있음을 이용하여 남은 지연 가능시간을 한계치로 하는 새로운 패킷 스케줄링 기법을 제안한다. 이 방안은 채널상태가 상대적으로 나쁜 흐름의 경우, 요구된 왕복지연 시간을 고려한 허용 지연시간까지 채널상태가 좋아질 것을 기대하며 기다리다 상대적으로 채널상태가 좋아지면 전송을 시도한다. 만약 왕복지연시간으로부터 얻은 한계 시점까지도 채널상태가 좋아지지 않으면 그때에 우선적으로 전송을 시도한다. 이 방법은 3등급 트래픽을 위해서는 공평성을 고려하면서도 높은 이용율을 얻을 수 있는 방법이다.

호 수락 제어(call admission control)을 통해 결정된 서비스 흐름의 최대 왕복지연 요구를 이용하여 공평성을 확보하면서 최대 링크 처리량을 얻을 수 있는 방안이다. 이를 위해서는 호 수락 제어에서 결정된 지연요구를 수신터미널이 포함된 셀의 기지국에서 알아야 한다. 기지국에서는 각 흐름의 데이터블록에 대해서 다음과 같은 접근시간(excess time)을 구한다.

$$E_i = i \text{ 흐름의 허용지연} - \text{해당 패킷의 근원지로부터 현재까지의 전송지연}$$

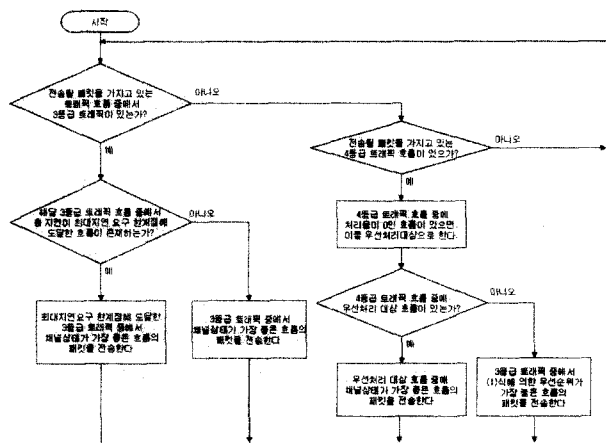
E_i 중에서 가장 작은 값이 지연한계치 이하가 되면 흐름 i 의 패킷을 전송한다. 이 조건을 만족하는 흐름이 없을 경우에는 채널상태우선 방안을 이용하여 전송한다.

이러한 방법으로 3등급 트래픽의 지연 요구조건을 충족하면서도, 지연에 여유가 있는 경우에 채널상태를 우선적으로 고려하여 전송 패킷을 선택하는 알고리즘을 이용하여 DSCH의 처리량을 최대화하였다. 알고리즘을 처리 단계로 표현하면 다음과 같다.

- 단계 1:** 현재 전송될 패킷을 가지고 있는 트래픽 흐름에 대하여 E_i 를 계산한다.
- 단계 2:** E_i 중에서 가장 작은 값을 찾아 그 값이 지연허용한계치보다 작은가를 판단한다. 만약 작다면 해당 흐름의 패킷을 전송하고, 단계 1로 간다. 그렇지 않으면 단계 3으로 간다.
- 단계 3:** 현재 전송될 패킷을 가지고 있는 등급 트래픽 흐름 중에서 채널상태가 가장 좋은 흐름의 패킷을 전송한다. 그리고 단계 1로 간다.

한편, 등급 4 트래픽은 사용자로부터 서비스 처리율이나

지연에 대한 요구가 없고 등급 3 트래픽이 없을 경우에만 패킷을 전송할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 3등급 트래픽이 4등급 트래픽보다 절대적으로 높은 우선순위를 두었다. 또한, 기존의 스케줄링 방안들은 공평성을 얻기 위해서 기지국 내에서 지역적으로 얻을 수 있는 패킷의 지연 정보를 주로 이용하여 공평성을 확보하고자 하였다. 4등급 트래픽은 지연에 대한 요구가 없고, 근본적으로 공평성이란 서비스 처리량으로 계산될 수 있으므로 본 논문에서는 링크상태와 서비스 처리율을 동시에 고려한 패킷 스케줄링 방안을 제안한다.



(그림 2) DSCH를 위한 제안된 패킷 스케줄링 순서도

우선 가능한 한 최대 이용율을 얻을 수 있는 채널상태를 이용한 스케줄링을 기본적인 처리 방법으로 한다. 이러한 처리는 시간이 흐르면서 점차 링크상태가 좋은 데이터 흐름과 그렇지 못한 흐름 간에 처리율에서의 차이를 발생시킨다. 따라서 데이터 흐름의 채널상태에 따른 처리량의 차이를 줄일 수 있는 있어야 공평성을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 링크상태와 처리량을 동시에 고려하여 링크상태에 비례하고 처리량에 반비례하는 우선순위 값을 이용하여 스케줄링한다.

$$\text{우선 순위값} = \text{채널상태} / \text{흐름 처리율} \quad (1)$$

$$\text{흐름 처리율} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{t} \quad (M_i : \text{흐름의 } i\text{-번째 전송된 메시지의 크기, } t : \text{현재까지 흐름의 서비스 시간})$$

데이터 흐름이 처음 생성되면 흐름 처리율이 0이므로, 이러한 흐름에 대해서는 식 (1)로 계산이 불가능하며, 다른 어떤 흐름보다 높은 우선순위를 부여해야 한다. 만약 흐름 처리율이 0인 대상이 여러 개인 경우에는 가장 채널상태가 좋은 흐름이 전송될 것이다.

4등급 트래픽 흐름을 위한 새로운 처리방안을 단계별로 나타내면 다음과 같다.

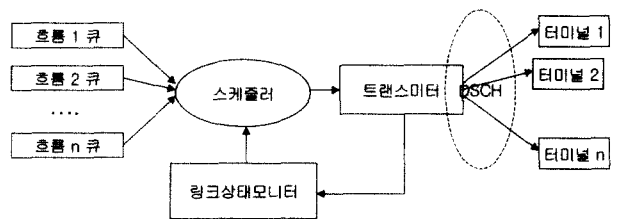
- 단계 1: 전송될 패킷을 가지고 있는 4등급 트래픽 흐름이 있으면, 단계 2로 간다. 만약 그렇지 않으면 첫 단계로 간다.
- 단계 2: 4등급 트래픽 흐름 중에서 처리율이 0인 흐름이 있으면, 이들을 우선처리 대상 흐름으로 결정한다.
- 단계 3: 우선처리 대상 흐름이 있으면 이들 중 채널상태가 가장 좋은 흐름의 패킷을 전송하고 첫 단계로 돌아간다. 만약 우선처리 대상 흐름이 없다면 단계 4로 간다.
- 단계 4: 모든 트래픽 흐름 중에서 식 (1)에 의한 우선순위 값이 가장 큰 흐름의 패킷을 전송한다. 첫 단계로 돌아간다.

이상에서 기술한 처리 단계를 모두 고려해서 UMTS에서 DSCH를 위한 제안된 패킷 스케줄링 알고리즘을 흐름도로 나타내면 다음 (그림 2)와 같다.

4. 모의실험 결과 및 검토

4.1 무선망 모델

무선망은 일반적으로 셀 구조로 이루어지고 다수의 터미널들이 셀들을 거쳐 이동하면서 통신이 이루어진다. 본 논문에서 고려하는 무선망 모델은 복수개의 셀로 이루어지며, 각 셀에서는 해당 셀의 기지국(base station)과 다수의 이동호스트(mobile host)가 무선링크를 통해서 통신하는 구조이다. 각 기지국은 이동 호스트에서 기지국으로는 업링크와 그 반대방향의 다운링크 상에서 발생하는 패킷전송의 스케줄링을 담당한다. 따라서 다운링크를 이용해서 전송되는 모든 패킷들은 해당 기지국에서 큐잉(queueing)되고, 사용 스케줄링 알고리즘에 의하여 각 이동호스트로 전송된다. 효과적인 다운링크 스케줄링을 위하여 기지국은 각 이동호스트로의 전송링크 상태에 대한 모든 정보를 가지고 있다. 이러한 무선망 모델을 고려할 때, 본 논문에서 다루고 있는 패킷 스케줄링 부분을 중심으로 흐름의 큐와 무선 채널 간의 관계를 모델로 나타낸 것이 (그림 3)이다.



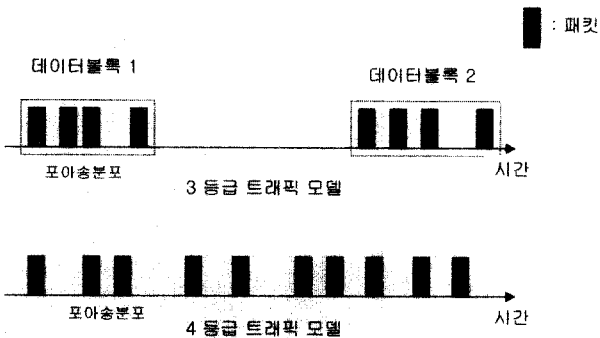
(그림 3) 패킷 스케줄링 기능 모델

4.2 트래픽 모델

UMTS에서 3등급 트래픽은 상호작용(interactive) 서비스에 적합한 트래픽 특성으로 대표적인 예는 웹서비스, 원격접속 서비스 등의 트래픽이다. 본 논문에서는 상호작용이 일어나는 평균 간격을 가지고 전송이 이루어지는 데이터 블록으로 모델링 한다. 이때 데이터 블록은 다수의 패킷으로 이루어지며 각 패킷들의 도착도 또한 평균을 갖는 포아송분포로 모델링하였다.

클래스 4 트래픽은 배후(background) 트래픽으로 대표적인 서비스 예는 전자우편이나 파일전송 서비스 등이다. 클래스 4 트래픽은 가장 우선순위가 낮은 트래픽으로 다른 클래스들의 요구가 없을 경우에만 자원을 사용할 수 있다. 이를 위해서 일정한 평균 도착율을 갖는 포아송 분포로 도착하는 패킷의 열로 모델링 하였다.

다음 (그림 4)는 본 논문에서 적용한 UMTS의 3등급과 4등급 트래픽에 대한 모델을 보여주고 있다.



(그림 4) 3, 4등급 트래픽 모델

4.3 모의실험을 위한 가정

- ① 서비스 흐름 도착은 포아송(poisson) 분포를 따른다. 흐름의 수명은 3등급 트래픽 흐름에서는 30초이며 4등급 트래픽 흐름에서는 6.75초이다. 또한 3등급 흐름과 4등급 흐름의 발생은 동일한 비율로 생성된다.
- ② 트래픽에서 고려한 패킷의 크기는 750byte(6Kbits)이다.
- ③ 3등급 트래픽에서 데이터 블록의 도착은 평균 5초 간격의 지수분포(exponential distribution)를 따른다. 데이터 블록의 크기는 평균 18Kbyte(144Kbits)이며 132Kbits에서 156Kbits 사이의 균일분포(uniform distribution)를 갖는다.
- ④ 3등급 데이터 블록을 이루는 패킷들은 평균 144Kbps의 속도로 포아송분포에 따라 패킷들이 도착한다.
- ⑤ 4등급 트래픽의 흐름은 64Kbps 전송율을 갖으며, 각 패킷의 도착은 평균 94msec 간격의 지수분포를 따른다.
- ⑥ HS-DSCH에서 코드할당이 이루어지는 TTI 간격은 표준에 따라 2msec이다.
- ⑦ HS-DSCH는 기존 DSCH와는 달리 16 확산요소를 고정적으로 사용하며, 최대 15개까지의 코드들을 이용할 수 있어서 이들을 조합하여 다양한 전송속도를 갖을 수 있다[6, 7]. 본 논문에서는 모의실험의 단순화를 위해서 HS-DSCH가 단일 코드만을 이용한다고 가정한다. 그러므로 무선링크 상태(SIR : Signal Interference Ratio)에 따른 이론적으로 가능한 전송율은 다음 <표 2>와 같다[5].
- ⑧ 각 흐름에 대한 무선링크의 상태 변화는 3가지 형태로

가정하였다. 상태변화에 따라 가장 낮은 전송율을 갖는 흐름은 120Kbps, 240Kbps, 360Kbps 중 균등분포로 전송율을 갖는다. 중간 전송율을 갖는 흐름은 240Kbps, 360Kbps, 480Kbps 중에서 마지막으로 가장 높은 전송율을 갖는 흐름은 360Kbps, 480Kbps, 720Kbps 중에서 균등분포로 전송율을 갖는다고 가정한다. 무선링크 상태 변화의 간격은 50에서 150msec 사이에서 균등분포를 갖는다.

<표 2> TFRC와 데이터율

TFRC(Transport Format and Resource Combination)	데이터율
QPSK, rate1/4	120Kbps
QPSK, rate1/2	240Kbps
QPSK, rate 3/4	360Kbps
16QAM, rate 1/2	480Kbps
16QAM, rate 3/4	720Kbps

4.4 모의실험 환경

모의실험은 병렬 사건구동 모의실험 도구인 PARSEC[9]을 이용하였다. 이 도구는 독립적인 다수의 개체들이 병렬적으로 메시지를 주고받으면서 동작하는 환경에 대한 모의실험 기능을 제공한다. 본 논문에서는 패킷 스케줄링 알고리즘에 따라 패킷 전송을 담당하는 2개의 셀과 흐름을 생성하는 흐름 생성자, 흐름의 트래픽 특성에 따라 패킷을 생성하는 트래픽 생성자 등을 독립적인 개체로 하여 (그림 2)의 모델을 모사하였다[8]. 서비스 흐름들은 2개의 셀 사이를 이동하며, 각 흐름에 대한 무선링크 상에서의 채널상태는 계속적으로 변화한다.

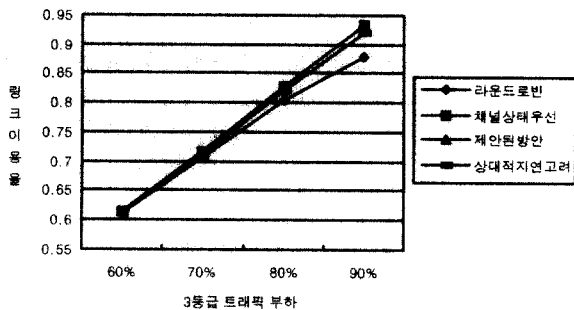
4.5 결과 및 검토

본 논문에서 제안한 DSCH 패킷 스케줄링을 위한 타당성을 알아보기 위하여 기존 연구에서 성능분석이 이루어진 2가지 방법, 즉 기회의 공평성만을 고려한 라운드로빈 방식과 링크의 이용율을 최대화하기 위한 링크상태우선 방식, 그리고 Shahzad[4]가 제안한 라운드로빈에 의한 전송에 대비해 계산한 패킷의 상대적 지연을 고려한 방안을 제안된 방안과 함께 모의 실험하여 그 결과를 비교 분석하였다.

각 트래픽 흐름의 수명을 30초로 가정하였기 때문에 모의 실험에서 결과를 위한 데이터는 안정상태에 도달하고 난 후인 60초 이후부터 300초까지의 기간 동안에 얻었다.

우선 3등급 서비스를 위한 패킷스케줄링의 특성을 알아보기 위하여 4등급 데이터흐름은 없이 3등급 서비스 흐름의 트래픽만을 생성시켜서 링크의 이용율을 알아보았다. 다음 (그림 5)는 3등급 트래픽에 대한 각 패킷스케줄링 방법의 무선링크의 이용율을 비교한 그림이다. 흐름의 도착율은 대역폭의 60%, 70%, 80%, 90%에 해당하는 트래픽을 생성하도

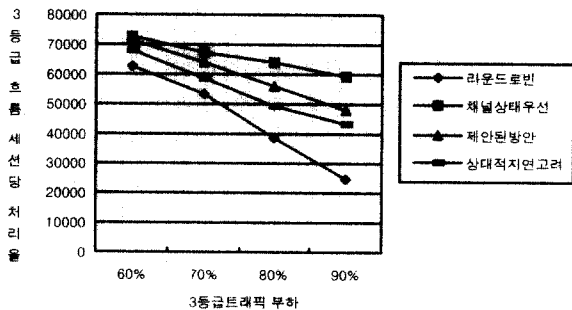
록 하였으며, 이용율은 무선링크 채널상태에 따른 평균값인 373Kbps를 기준으로 계산하였다.



(그림 5) 3등급 데이터 전송부하에 대한 무선링크 이용율

트래픽 부하가 비교적 높지 않은 80% 이하에서는 무선링크의 처리율이 비슷한 결과를 보이지만, 부하가 증가되어 폭주현상이 시작될 지점에서는 이미 알려진 것처럼 채널상태우선 방식이 가장 좋은 이용율을 보였으며, 본 연구에서 제안한 방식이 채널상태 우선방식에 근접한 성능을 나타내었고 상대적 지연을 고려한 방안, 그리고 라운드로빈 방식 순으로 이용율 나타내었다.

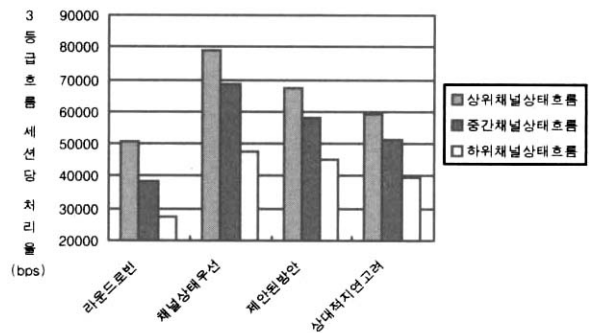
다음 (그림 6)은 (그림 5)와 동일한 환경에서 부하 80%의 3등급 트래픽 흐름에 대한 평균 세션 당 처리율을 나타낸 것이다. 3등급서비스는 한 서비스가 다수의 세션으로 이루어지고, 세션 데이터간 간격이 평균 5초 존재하므로, 트래픽 특성은 서비스 단위보다는 각 세션 단위로 이루어져야 한다. 부하가 증가함에 따라 패킷지연이 큐에서 생기게 되고, 따라서 한 세션당 처리율은 감소하게 되는데, 라운드로빈의 경우 부하 증가에 따라 처리율 감소가 가장 심하며, 상대적 지연을 고려한 방안이 다음으로 감소가 심하다. 제안된 방안이 채널상태우선 방안 다음으로 높은 처리율을 보이고 있다.



(그림 6) 3등급 트래픽에 대한 세션 당 평균 처리율

(그림 6)과 동일한 조건에서 공평성 특성을 알아보기 위하여 채널상태의 상위, 중간, 하위에 따른 세션당 처리율을 나타낸 것이 (그림 7)이다.

공평성의 정도는 각 서비스에 대한 처리율의 분산을 구하는 것이 일반적인 방법이나, 망 자원의 부족에 따라 트래픽의 지연이 누적될 경우에는 같은 등급의 트래픽들도 처리율이 계속 낮아지고, 이에 따라 분산 값이 커지는 결과를 낳는다. 본 연구에서는 공평성 특성을 무선채널 상태가 상위, 중간, 하위로 각기 다른 흐름의 그룹에 대한 평균 처리율을 비교함으로써 알아보았다. 상위채널상태 흐름이란 모의실험 가정에서 언급한 360K, 480K, 720K 범위에서 상태 변화하는 흐름의 그룹을 의미하며, 중간채널상태는 240K, 360K, 480Kbps 범위에서 그리고 하위채널상태는 120K, 240K, 360Kbps에서 변화함을 의미한다.



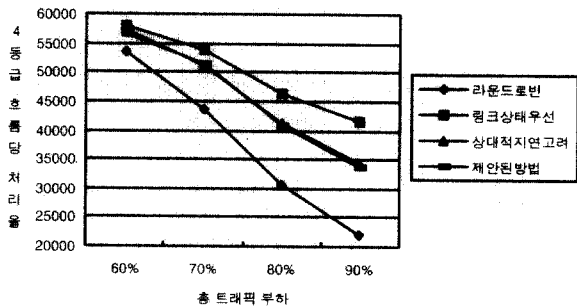
(그림 7) 4등급 트래픽의 흐름당 평균처리율

채널상태우선의 경우는 좋은 채널상태를 우선으로 하므로 좋은 상태를 갖는 흐름의 세션 처리율은 높지만 반대로 낮은 채널상태의 흐름들은 지연이 됨으로써 처리율이 감소된다. 이들 간의 처리율 차이가 작을수록 공평성이 더 좋다고 할 수 있다. 논문에서 제안한 방안은 채널상태우선에 비해 처리율은 낮지만 채널상태에 따른 처리율 차이가 보다 작기 때문에 높은 공평성을 확인할 수 있다. 상대적 지연고려 방안은 공평성은 제안된 방안과 유사하나 처리율이 약간 낮은 특성을 보여준다.

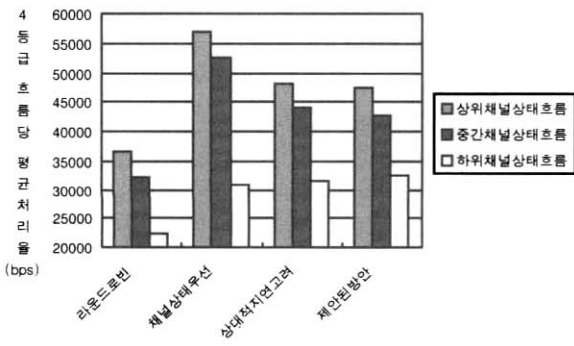
다음은 4등급 트래픽에 대한 패킷 스케줄링 특성을 모의 실험 하였다. 4등급 트래픽은 3등급 트래픽이 사용하고 남은 여분의 대역폭을 사용하기 때문에 3등급 트래픽의 특성에 따라 사용가능한 대역폭이 달라진다. 따라서 이들을 동일한 조건에서 비교하기 위해서 본 논문에서 제안한 3등급 트래픽을 위한 패킷스케줄링을 이용하는 조건에서 4등급 트래픽에 대한 실험을 수행하였다.

(그림 8)은 3등급과 4등급 트래픽이 2:1 비율로 총 트래픽 부하를 이루는 조건에서 4등급 데이터흐름을 위한 처리 결과를 나타낸 것이다. 제안된 방안은 채널상태우선보다는 처리율이 낮지만 상대적 지연을 고려한 방안과 비슷한 처리율을 나타냄을 알 수 있다. 이와 동일한 조건에서 채널상태에 따른 처리율을 나타낸 것이 다음 (그림 9)이다.

(그림 9)에서 보는 바와 같이 공평성은 제안된 방안이 상대적 지연을 고려한 방안보다 약간 좋음을 알 수 있다. 결과적으로 4등급 트래픽을 위한 패킷스케줄링 특성은 제안된 방안이 이용률 면에서 상대적 지연을 고려한 방안과 비슷하며, 공평성 측면에서는 약간 앞서는 특성을 보여준다. 특히 상대적 지연을 고려한 방안은 라운드 로빈에 의한 순서를 기준으로 기회가 박탈된 흐름의 보상하기 위한 시기를 다른 흐름이 전송할 패킷이 없거나, 해당 흐름의 링크상태가 좋아져서 선택되어야 하는데, 만약 망의 자원이 부족할 경우에 해당 흐름의 상태가 계속적으로 좋지 않으면, 기회를 잡을 수 없는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이를 해결하려면 지연 한계 값을 이용해야 하는데 4등급 서비스는 지연에 대한 요구가 없기 때문에 적절한 한계 값 결정이 쉽지 않다. 이에 반해 제안된 방안은 각 흐름의 채널상태와 처리율모두를 고려한 우선순위 값을 이용하므로 과다한 지연은 처리율을 떨어 뜨리고 결과적으로 우선순위 값을 증가시키게 되므로 좋은 공평성을 제공한다.



(그림 8) 총 트래픽 부하에 따른 4등급 흐름당 처리율

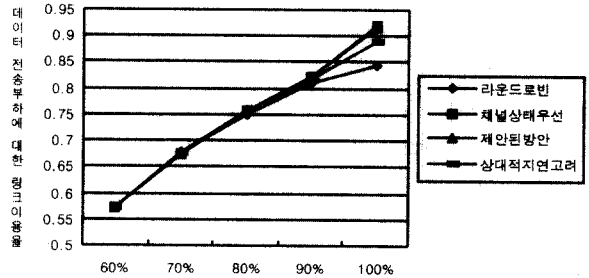


(그림 9) 4등급을 위한 패킷 스케줄링의 채널상태에 따른 처리율

지금까지는 3등급 또는 4등급 트래픽을 위한 패킷스케줄링 특성을 분리하여 알아보았다. 다음 (그림 10)은 3등급 트래픽과 4등급 트래픽이 2:1 비율로 총 부하를 생성하는 조건에서 패킷스케줄링 방안으로 모의실험 한 것이다.

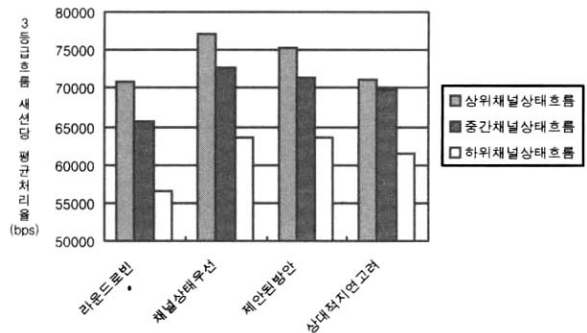
알려진 대로 링크상태우선 방안이 가장 높은 처리율을 보이며, 라운드로빈이 가장 낮은 처리율을 보인다. 제안된 방

안은 부하가 90% 이상인 지점에서 상대적 지연을 고려한 방안보다 더 나은 결과를 보여준다. 80% 이하의 부하에서는 대역폭에 여유가 있기 때문에 패킷스케줄링 방법에 따른 링크이용율의 차이는 거의 없다.

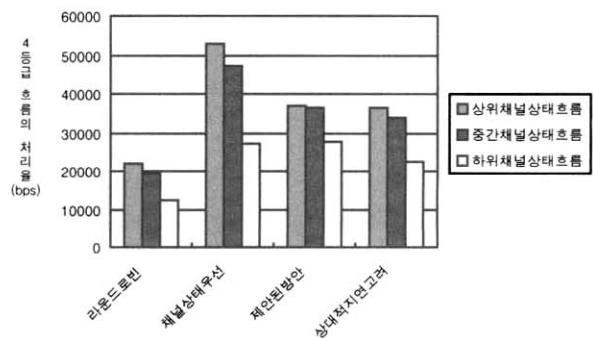


(그림 10) 전체 트래픽에 대한 링크 이용률

다음 (그림 11)과 (그림 12)는 동일한 조건에서 3등급과 4등급 흐름에 대한 공평성 특성을 나타낸 것이다.



(그림 11) 채널상태 서로 다른 3등급 흐름에 대한 평균 처리율



(그림 12) 채널상태 서로 다른 4등급 흐름에 대한 평균 처리율

(그림 11)과 (그림 12)에서 나타난 것과 같이 제안된 방안은 상대적 지연을 고려한 방안보다 약간 좋은 특성을 나타내고 있다. 부하 80%이지만 3등급은 4등급에 비해 절대적으로 높은 우선순위를 갖기 때문에 3등급의 입장에서는 자원이 여유가 있는 상황이다. 반면 4등급의 경우는 3등급 흐름이 사용하고 남은 대역폭만을 사용하기 때문에 3등급보다는

훨씬 부하가 높은 상황이기 때문에 제안된 방안의 공평성이 상대적으로 더 좋게 나타난다.

5. 결 론

본 논문은 3세대 무선망 표준인 UMTS의 DSCH 환경에 적합한 패킷스케줄링 방안을 제안한다. DSCH 환경에서는 고정 대역폭을 할당할 수 없기 때문에 3, 4등급 트래픽 흐름에 적합하다. 이를 착안하여 본 논문에서는 3, 4등급만을 위한 개선된 패킷 스케줄링 방법을 제안하였다. 본 스케줄링 방안은 채널 이용율이 높은 채널상태우선 방식의 장점을 살리기 위해서 채널상태우선 방식을 기반으로 하면서 지연에 대한 요구가 있는 3등급 트래픽을 위해서는 지연 한계 값을 이용하여 공평성을 제공한다. 또 지연 요구가 없는 4등급 트래픽을 위해서는 채널상태와 처리율을 고려한 패킷 스케줄링 방안을 이용함으로써 공평성을 확보하는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 스케줄링 방안의 타당성을 알아보기 위해서 기존의 라운드로빈 방안, 채널상태 우선고려 방안, 그리고 라운드로빈 순서를 기준으로 한 상대적인 지연을 고려한 방안과 본 논문이 제안한 지연과 처리율의 한계치를 고려한 공평성 확보방안 등 4가지 기본적인 패킷알고리즘 방안에 대하여 모의실험을 수행하였고, 그 결과 제안된 방안이 의도했던 대로 대역폭이 부족한 상황에서 상대적으로 좋은 특성을 나타냄을 확인하였다.

향후 연구로는 본 논문에서 제시한 스케줄링 방안에 대한 성능 최적화에 대한 연구가 계속되어야 한다. 또한 2등급 트래픽을 위한 DSCH 활용 방안에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Yaxin Cao, Victor O. K. Li, "Scheduling Algorithms in Broad-Band Wireless Networks," IEEE Proceedings of the IEEE, Vol.89, No.1, January, 2001.
 [2] Anders Furuskar, Stefan Parfan Parkvall, Magnus Persson

and Maria Samuelsson, "Performance of WCDMA High Speed Packet Data," VTC '2002 Spring, May, 2002.
 [3] Amit Mate, Claudia Caldera and Mika Rinne, "Performance of the Packet Traffic on the Downlink Shared Channel in a WCDMA cell," IEEE ICT 2001, June, 2001.
 [4] Shahzad Ali Malik and Zeghlache, "Improving Throughput and Fairness on the Downlink Shared Channel in UMTS WCDMA Networks," European Wireless Conference 2002, Feb., 2002.
 [5] Troels E. Kolding, Frank Frederiksen and Preben E. Mogensen, "Performance Aspects of WCDMA Systems with High Speed Downlink Packet Access(HSDPA)," *Proceedings, VTC*, Vol.1, pp.477-481, September, 2002.
 [6] H. Holma and A. Toskaka, Eds., WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, 2nd edition, 2002.
 [7] 3GPP(3rd Generation Partnership Project) Technical Specification 23.107 V5.5.0, "QoS Concept and Architecture," June, 2002.
 [8] 조현준, "UMTS의 DSCH를 위한 패킷 스케줄링 모의실험 모델," 전주대학교 공학기술융합연구소 학술논문집, 제8권 제 1호, Dec., 2002.
 [9] Richard A. Meyer, "PARSEC User Manual for PARSEC release 1.1," Sep., 1999, (<http://pcl.cs.ucla.edu>).

조 현 준



e-mail : chojh@jeonju.ac.kr

1985년 고려대학교 전자공학과(공학사)

1987년 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1995년 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1989년~1991년 (주)쌍용컴퓨터 시스템연구소 연구원

2002년~2003년 애리조나 주립대 컴퓨터과학 및 공학과(Department of Computer Science and Engineering at Arizona State University) Visiting scholar

1995년~현재 전주대학교 정보기술공학부 부교수

관심분야 : 통신망 프로토콜, 무선 인터넷 등