

## 무선에서 QoS를 지원하기 위한 스케줄링 알고리즘

김지범, 손경호, 김영동 (연세대학교)

### I. 서론

최근 통계에 따르면 현재 셀룰러 이동 통신 사용자는 전 세계적으로 수십 억 명에 달하고 있으며, 증가량도 매년 7%에 이른다고 한다. 무선 이동통신은 단순히 편하다는 것 이상의 의미를 지니고 있다. 범지구적인 관점에서 살펴보면 보다 많은 사람들이 무선 기술을 이용하여 인터넷에 접속하려 하고 있다. 따라서 우리가 오늘날 World Wide Web - 스트리밍 서비스, 단문 메시지, 전자상거래, P2P- 을 이용하여 얻는 모든 이득들이 무선으로 확장되고 있는 상황이다.

무선 데이터 서비스의 급격한 증가와 함께 멀티미디어 서비스에 대한 요구도 함께 증가하고 있다. 서로 다른 지연, 손실률, 성능 조건을 가진 다양한 트래픽의 출현은 단 한가지의 쓸모 있는 서비스보다 여러 다른 수준의 서비스를 지원하는데 있어서 충분한 네트워크의 필요성을 요구한다. 따라서 미래의 무선 네트워크는 다른 QoS(Quality of Service)를 갖는 다양한 종류의 트래픽을 지원할 수 있어야 한다.

무선 네트워크는 유선 네트워크와 다르게 사용 가능한 자원이 한정 되어있고 한정된 자원을

여러 사용자가 나누어 써야 하기 때문에 스케줄링을 통한 자원의 효율적인 분배가 매우 중요하다. 유선 네트워크에서는 기존에 많은 스케줄링 알고리즘들이 개발되었지만 무선 채널 상태에 대한 고려가 없이 만들어져 무선 네트워크에 알맞은 스케줄링 알고리즘들이 최근 새롭게 등장하고 있는 상황이다.

본 논문에서는 QoS를 보장하기 위한 여러 형태의 무선 네트워크에서의 스케줄링 방법에 대해 조사하였다. II장에서는 무선 환경에서 스케줄러를 디자인하는데 있어서 몇몇의 문제점과 이슈들에 대해 살펴본다. 그 다음 III장에서는 TDMA, CDMA 네트워크에서 제안된 스케줄링 방법을 검토하였고 IV장에서는 차세대 스케줄링 알고리즘을 위한 자원할당 기법에 대해 살펴보았다. V장에서는 차세대 스케줄링 알고리즘이 고려해야할 새로운 기술들에 대하여 조사하였다.

### II. 무선 네트워크 모델과 이슈

#### 1. 무선 네트워크 모델

우리는 <그림 1>과 같은 셀(cell) 구조의 무선

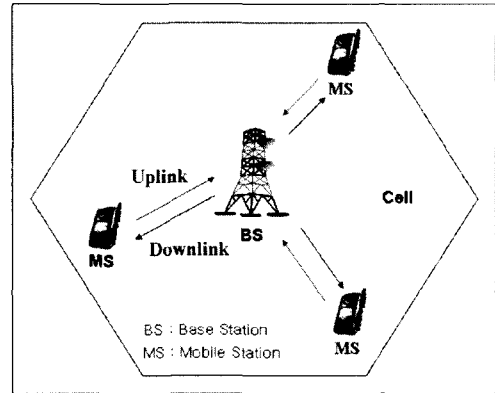
네트워크를 가정한다. 이 구조에서는 서비스 구역이 셀로 나뉘고 각각의 셀에는 기지국이 있다. 셀 내의 단말기(Mobile Station)는 기지국을 통해서만 통신을 한다. 기지국은 무선 네트워크를 통해 연결된다. 단말기와 기지국 사이의 통신은 세션(Session)으로 정의하자. 기지국은 상향링크(Uplink)와 하향링크(Downlink) 모두에서 패킷 전송을 스케줄링 해준다. 대부분의 하향링크 패킷은 기지국의 큐(Queue)에 놓여진다. 그러므로 기지국은 하향링크 큐에 관한 모든 정보를 알고 이를 스케줄링에 이용한다. 반면에 상향링크의 경우, 단말기는 필요하다면 전송요청과 큐 상태를 기지국으로 보낼 수 있다. 기지국은 이러한 요청들과 관련된 자료에 기초를 둔 상향링크 스케줄링을 수행한다.

## 2. 무선 채널 모델

본 논문에서 언급되는 대부분의 스케줄링 알고리즘은 이 절에서 언급하는 무선 채널 모델을 사용한다. 스케줄링 알고리즘에 자주 쓰이는 무선 채널 모델은 두개의 상태[Error free("good"), Error-prone("bad")]로 표현할 수 있는 Discrete Time Markov Chain이다. 이 모델은 어떤 특정한 전이 확률행렬(Transition Probability Matrix)에 따라 두개의 상태를 이동한다. 좋은 상태에서 무선 채널은 오류가 없다고 가정하고 만약 채널이 나쁜 상태에 있다면 채널로 전송된 패킷은 오류가 생길 가능성이 있다. 한편 기지국과 각각의 단말기들 사이의 무선 채널은 서로 독립적이다.

## 3. 무선 스케줄링의 큰 이슈들

### 가) 무선 채널의 다양성



〈그림 1〉 셀 구조의 무선 네트워크 모델

무선 네트워크와 유선 네트워크의 가장 큰 차이는 전송 채널의 다양성이다. 전송매체의 품질이 좋은 유선 네트워크는 패킷 오류율이 아주 낮다. 반면 무선 채널은 연속된 오류와 시간에 따라 변화하는 채널 용량(Capacity)의 결과를 가져오는 시간과 장소 의존적인 신호 감쇄(Attenuation), 페이딩(Fading), 간섭(Interference)에 영향을 받는다. 그 결과로, 무선 채널의 용량은 매우 큰 다양성을 가진다. 또한 무선 채널 용량은 시간뿐만 아니라 장소 의존적이므로 어떤 단말기와는 오류 없이 통신할 수 있으나 동시에 다른 단말기와는 전혀 통신할 수 없을 수도 있다. 더욱이 단말기는 이동할 수 있기 때문에 전송 채널은 더욱 다양해진다.

### 나) 공정성(Fairness)

유선 네트워크에서 스케줄링 공정성은 보통 세션에 특정 전송율을 제공하고 다른 세션들이 간섭하는 것을 막음으로서 보장된다. 그러나 무선 네트워크의 공정성 이슈는 좀 더 복잡하다. 무선 네트워크에서 패킷은 특정 서비스 방법이나 공정성 지침에 따라서 무선 채널로 전송을

하는데 유선에서의 스케줄링 방법을 사용할 경우 채널 상태를 전혀 고려하지 않은 채 전송되므로 만일 무선 채널 상황이 나쁠 경우 패킷은 오류가 생기게 된다. 그러므로 관련된 세션은 일시적으로 전송 대역폭(Bandwidth)을 잃는다. 공정성을 보장받기 위해, 세션은 자신의 링크가 회복되었을 때 앞에서 발생한 손실을 보상받는다. 하지만 얼마나 보상받아야 하는지를 결정하기란 쉽지 않다. 특히 무선 환경에서는 공정성의 보장에 대한 정의와 목표는 더욱 어렵다. 짧은 기간이든 긴 기간이든 공정성의 보장은 스케줄링 정책에 많은 영향을 준다.

#### 다) QoS(Quality of Service)

무선 네트워크에서는 다른 QoS 특성을 가진 다양한 종류의 트래픽을 지원해야 한다. 그러므로 QoS를 분류하고 보장하는 것이 꼭 필요하다. 이 목적을 달성하기 위해, QoS를 지원할 수 있는 방법이 스케줄링 알고리즘에 추가되어야 한다. 물론 무선 네트워크의 채널 상태는 자주 변하므로 채널을 사용하는 세션에 따라 QoS를 보장해주기란 쉬운 일이 아니다. 하지만 무선 스케줄링 방법에서도 어느 정도 이상의 QoS는 보장해주어야 한다.

#### 라) 데이터 전송율(Throughput)과 사용 효율(Utilization)

무선 네트워크에서 가장 중요한 자원은 대역폭이다. 효율적인 무선 스케줄링 알고리즘은 채널에 오류가 있을 때 불필요한 전송을 최소화해 무선 자원을 효율적으로 사용해야 한다. 또한 동시에 서비스를 효과적으로 전달하고 무선 채널의 이용도를 최대화해야 한다.

#### 마) 파워 제한(Power Constraint)과 평이성(Simplicity)

셀 구조의 무선 네트워크에서 스케줄링 알고리즘은 일반적으로 기지국에서 동작된다. 그러므로 패킷 서비스의 순서를 계산하기 위해 요구되는 전기적 파워는 크게 고민할 필요가 없다. 그러나 단말기는 파워 한계가 있다. 좋은 스케줄링 알고리즘은 스케줄링에 관련된 제어 메시지의 수를 최소화 시키는 방향으로 디자인되어야 한다. 또한 스케줄링 알고리즘은 엄격한 시간 요구사항을 가지는 실시간 멀티미디어 트래픽을 빠른 시간 안에 실행시켜야 하므로 너무 복잡해서는 안 된다. 위에서 언급한 다섯 가지 특성들은 무선 네트워크에 적합한 효율적인 스케줄링 알고리즘을 개발하는데 큰 걸림돌이 되고 있다.

### III. 기존의 무선 스케줄링 알고리즘

#### 1. TDMA 스케줄링

TDMA 네트워크에서는 주어진 시간에 단정한 세션만이 전송할 수 있다. 이 절에서 우리는 무선 TDMA 네트워크를 위해 개발된 스케줄링 알고리즘에 대해 살펴보고자 한다..

#### 가) CSDPS(Channel State Dependent Packet Scheduling)

CSDPS는 가장 간단한 무선 스케줄링 기법으로 무선 채널 상태를 측정해 채널 상태가 좋으면 Round-Robin, Longest Queue First (LQF), Earliest Timestamp First (ETF) 방법 중 한 가지 방법을 선택해 스케줄링을 하고 채널이 나쁘면 전송을 미루는 방법이다. CSDPS는 채널 상태

를 고려한 최초의 무선 스케줄링 기법이기는 하지만 전송이 연기되는 세션에 대해서 보상을 해주는 방법이 없으므로 채널 상태가 안 좋은 곳의 세션이 고갈되는 단점이 있다.

#### 나) IWFQ(Idealized Wireless Fair Queueing)

IWFQ는 WFQ를 기반으로 만들어진 무선 스케줄링 기법으로 각 세션은 에러가 없을 때(Error-free)의 큐 크기와 현재의 큐 크기를 비교해 leading, lagging, sync 세 가지로 나뉘며 각 세션의 finish time을 계산해 가장 작은 값을 갖는 세션을 먼저 스케줄링 해 주는 방법이다<sup>11)</sup>.

여기서 leading 세션은 에러가 없을 때의 큐 크기보다 현재의 큐 크기가 작음을 의미하고 lagging 세션은 현재의 큐 크기가 크다는 것을 의미하며 sync 세션은 두 큐의 크기가 같음을 의미한다.

WFQ와의 차이점은 보내야 할 패킷의 채널 상태가 나쁠 경우 전송을 미루고 finish time이 그 다음으로 작은 패킷을 전송한다는 것이다. 전송이 미뤄진 패킷은 채널 상태가 좋아질 경우 finish time이 가장 작기 때문에 전송 시 우선권을 갖게 되며 전송이 미뤄진 세션에 대한 보상을 위해 lagging bound와 leading bound가 정해져 있다. IWFQ는 CSDPS에 비해 공정성과 QoS면에서 발전된 면이 있지만 lagging 세션의 모든 lag된 패킷이 전송될 때 까지 leading 세션은 스케줄링 되지 못하므로 leading 세션의 서비스 질이 갑자기 떨어지는 단점이 있다.

#### 다) CIF-Q(Channel-Condition-Independent Fair Queueing)

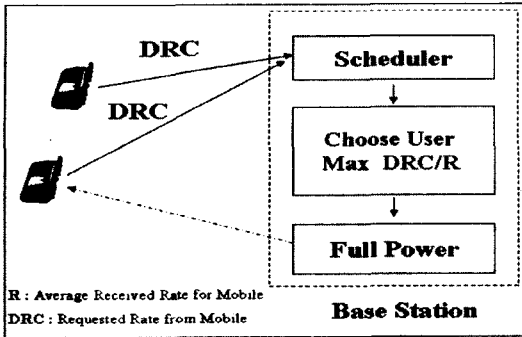
CIF-Q는 IWFQ와 비슷한 무선 스케줄링 방법으로 IWFQ처럼 에러가 없을 때(Error-free)에

받는 서비스 양과 현재 서비스 받는 양을 비교해 세션을 leading, lagging, 또는 satisfied 세 가지로 나눈다<sup>12)</sup>. CIF-Q와 IWFQ와의 가장 큰 차이점은 에러가 없는 가상의 시스템을 S, 에러가 나는 실제 시스템을 S'라고 한다면 virtual time이 S'에서만 업데이트 된다는 것이다. 모든 도착하는 패킷은 S와 S'모두로 들어가며 서비스 순서는 S'에서 Start-Time Fair Queueing(STFQ)을 통해 결정된다.

Leading 세션은 lagging 세션의 보상을 위해 0과 1사이의 값인  $\alpha$ 를 이용하여 lagging 세션에게 줄 자원의 양을 결정한다. CIF-Q에서는 가 leading 세션의 단계적 능력축소를 지원하지 않으므로 lead와 lag bound는 필요하지 않다. IWFQ와 비교해서 CIF-Q는 lagging되는 세션에 대해서 보상하는 비율을 정했다는 점에서 장점이 있다. 하지만 IWFQ와 마찬가지로 현재 시스템과 에러가 없을 때의 시스템을 비교해야 하므로 시스템의 복잡도가 높아진다는 단점이 있다.

#### 라) SBFA(Server-Based Fairness Approach)

SBFA에서는 대역폭의 어느 정도를 LTFS(Long-Term Fairness Session)라는 가상 세션에 할당한다<sup>13)</sup>. LTFS는 채널 상태가 나빠서 lagging되는 세션을 보상하기 위해 사용된다. 어떤 세션이 채널 상태가 좋으면 전송을 하고 채널 상태가 나쁘면 LTFS 세션의 큐로 들어가게 된다. LTFS 세션의 가장 앞 슬롯이 전송하기로 선택되고 슬롯의 원래 세션이 채널이 좋다면 전송을 시작한다. LTFS 역시 예약된 대역폭에 의해 보상이 결정되기 때문에 lead, lag bound는 필요 없다. 이 방법을 사용하면 장기간 공정성은 보장되나, 단기간 공정성은 보장할 수 없다.



(그림 2) HDR 시스템에서의 PF 스케줄러

#### 마) PF(Proportional Fairness) Scheduling

PF 스케줄러는 CDMA 1x EV-DO(HDR) 시스템에서 처음으로 도입된 스케줄러로 채널의 변화에 능동적으로 대응하면서 공정성을 보장할 수 있는 방법이다 [4]. HDR 시스템은 한 시간 슬롯(Time Slot)에 한명의 사용자를 최대 파워로 전송하기 때문에 TDMA 방식의 스케줄러를 사용한다. 만일 N명의 사용자가 있을 때 i번째 사용자의 슬롯 t에 대해서 PF 스케줄러는 <그림 2>와 같이 매 순간마다  $DRC_i(t)/R_i(t)$  값을 계산해 이 값이 가장 큰 단말기를 스케줄링해준다. 스케줄링이 끝나면 각 사용자 i에 대해서  $R_i(t)$  값 즉  $R_i(t+1) = (1-1/t_c) * R_i(t) + 1/t_c * i$  (i번째 사용자의 현재전송속도)를 계산해 평균적으로 전송한 전송 속도를 갱신 한다. 만일 현재 서비스를 받지 못하는 사용자는 현재 전송 속도가 0이 된다. 여기서  $DRC_i(t)$ 는 t번째 슬롯에 i번째 사용자가 요청한 전송 속도이고  $R_i(t)$ 는 t번째 슬롯에 평균적으로 단말기가 받은 전송 속도이다.

$R_i(t)$  값을 갱신할 때  $t_c$  값은 보통 1000 (슬롯) 값을 사용한다.  $R_i(t)$  값이 빨리 변할수록 사용자들에게 데이터를 받을 기회가 빨리 공평하게 돌아가게 되므로,  $t_c$  값은 사용자들이 데이터를

받을 것이라고 보장하는 시간과 관련이 있다. 즉  $t_c$  값이 1000 슬롯이면 각각의 사용자들은 적어도 1000 슬롯 이내에는 기지국으로부터 데이터를 전송받게 될 것이다. PF 스케줄러는 높은 전송속도를 가진 사용자에게 우선권을 주므로 기지국이 같은 시간동안 더 많은 데이터를 전송할 수 있으므로 일반적인 Round Robin 스케줄러에 비해 전송 데이터 량 면에서 장점이 있고 서비스를 못 받는 사용자의 우선권이 올라가므로 공정성면에서도 장점을 가지고 있다.

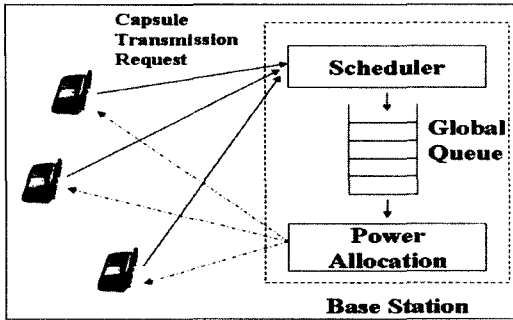
## 2. CDMA 스케줄링

우리는 이제 CDMA 네트워크에서 사용되는 스케줄러에 대해 알아보고자 한다.

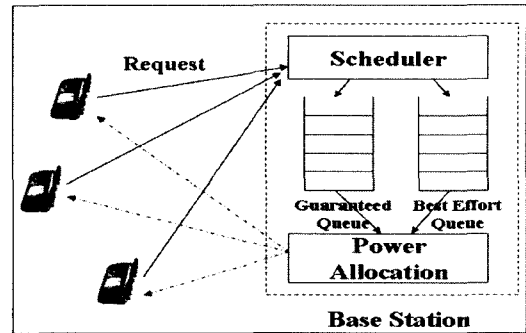
CDMA는 TDMA나 FDMA에 비해 소프트 시스템 용량 (Soft System Capacity), 소프트 핸드오프, 간단한 주파수 설정, 다중 경로 검색에 강한 주파수 다이버시티(Diversity) 등의 많은 장점을 가진 다중 접속 방법 중 하나이다. 단점 중 하나는 정확한 파워 제어가 필요하다는 점이다. 정확한 파워 제어가 이루어지지 않을 경우 제대로 신호를 검출할 수 없는 문제가 생긴다. 새로운 세션이 열리게 되면 기존에 있던 세션들의 신호 대 간섭비(SIR: Signal to Interference Ratio)가 높아지고, 이는 각 세션들이 원하는 신호 대 간섭비의 경계를 침범할 위험이 높아짐을 의미한다. 따라서 CDMA 시스템에서는 많은 단말기에 패킷을 전송할 때, 적절한 파워 제어 기법을 사용해야 하고 스케줄러를 디자인 할 때 파워 제어 기법을 고려하여 디자인해야 한다.

#### 가) PGPS(Packet-by-Packet GPS)

CDMA에서의 PGPS 스케줄링 기법은



<그림 3> SCDMA 스케줄러



<그림 4> DRS 스케줄러

TDMA와 다르게 동시에 여러 세션의 전송이 가능하다. PGPS는 TDMA에서의 GPS 스케줄링 기법처럼 각 세션의 virtual finish time을 계산해 그 값이 가장 작은 세션부터 스케줄링을 해준다<sup>5)</sup>. 하지만 TDMA에서와 다르게 각 세션 마다의 Power Index를 계산해 스케줄링한 세션의 Power Index값의 합이 1을 넘지 않을 때 까지 한꺼번에 여러 세션에 대해 스케줄링을 해준다.

여기에서 Power Index,  $g_i$  란 어떤 세션  $i$ 에 대하여  $g_i = \frac{\gamma_i}{\gamma_i G_i}$  를 계산한 값이고  $\gamma_i$ 와  $G_i$ 는 각각 세션  $i$ 의 신호 대 간섭 비(SIR)와 확산 계수(Spreading Factor)값을 의미한다.

#### 나) SCDMA(Scheduled CDMA)

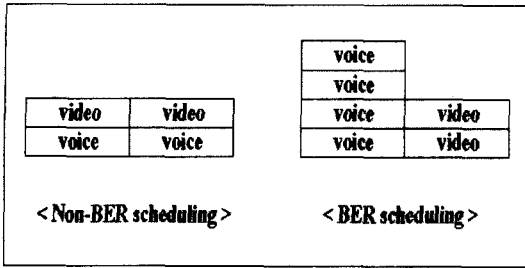
SCDMA는 CDMA와 TDMA를 동시에 사용하는 Hybrid CDMA/TDMA 스케줄링 기법으로 <그림 3>처럼 데이터들은 하나 혹은 그 이상의 패킷이 수용된 캡슐이라는 고정된 크기의 단위를 통해 전달된다<sup>6)</sup>. 한 셀 내에 있는 모든 단말기는 캡슐 크기가 동일하고 상향링크(Uplink) 스케줄링의 경우, 전송할 패킷이 있다면 단말기는 CTR(Capsule Transmission Request)을 기지국에 보낸다. 기지국은 받은 CTR을 우선순위와 지연 등을 고려해 분류한 후 global 큐로 보

낸다. 매 시간 슬롯마다 스케줄러는 그 시간 슬롯에 전송이 가능한 CTR을 선택한 후 global 큐의 가장 앞에서부터 전송을 시작한다. 단 전송 가능한 CTR의 Power index값을 계산해 Power index의 합이 1을 넘지 않도록 한다. 그 후에 기지국은 MS에게 전송할 시간과 파워를 전송 허용 요청(Transmission Permission Request)을 통해 알려준다.

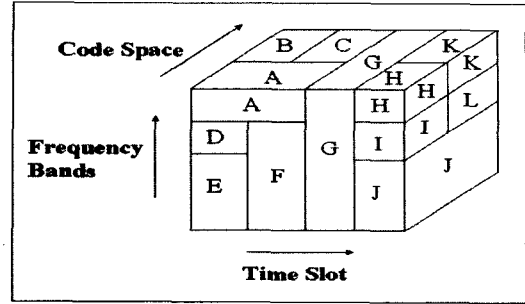
#### 다) DRS(Dynamic Resource Scheduling)

DRS[7]는 <그림 4>와 같이 W-CDMA 시스템에서 사용하도록 만들어진 스케줄러로 SCDMA와 동작은 비슷하지만 SCDMA에서 사용하는 TDMA 방식을 없앤 점이 다르다.

DRS에서 단말기는 보낼 패킷이 있을 때 기지국에게 요청을 보낸다. 기지국이 요청을 받으면 Classifier가 트래픽을 guaranteed 큐와 best effort 큐로 분류한다. CBR, VBR과 같은 real time 트래픽은 guaranteed 큐에 넣어서 안정된 전송을 보장하고 UBR같은 best effort 트래픽은 best effort 큐에 넣는다. 스케줄러는 먼저 guaranteed 큐에 있는 패킷부터 power index의 합이 1을 넘지 않는 한 동시에 전송을 해준다. SCDMA와 DRS 스케줄러 모두 CDMA의 파



<그림 5> BER 스케줄링의 장점



<그림 6> TFC 슬라이스 기법

위 제어 방법을 사용하기는 하지만 지연 한계 (Delay Bound)를 보장하지 못하는 단점이 있다.

**라) WISPER (Wireless Multimedia Access Control Protocol with BER scheduling)**

WISPER[8]는 CDMA의 파워 제어 특성을 이용하도록 만들어 졌다. 또한 전송하는 채널의 BER(Bit Error Rate)이 주어진 값 이하로 되도록 전송하는 패킷수를 조정해 특정 트래픽의 BER이 만족되도록 설계되었다. 스케줄러는 먼저  $\phi = P(t)/(R(t) * M)$ 를 계산해 우선순위를 정한다. 여기서  $P(t)$ 는 현재 남아 있는 패킷 수,  $R(t)$ 는 시간 초과(Timeout) 되기까지 현재 남아 있는 프레임 수, 은 단말기가 최대로 전송 가능한 전송 속도를 의미한다. WISPER에서는 패킷이 배치(Batch)단위로 도착한다고 가정하였고 한 배치안의 패킷은 같은 시간 초과 값을 갖는다고 가정하였다. 스케줄러는 위에서 언급한 우선순위 함수를 이용해 우선순위 값이 큰 배치부터 스케줄링을 해주며 한 슬롯에 보다 많은 패킷을 전송하도록 BER 스케줄링 방법을 사용한다. BER 스케줄링이란 한 시간 슬롯에 같은 BER 요구 값을 갖는 패킷을 스케줄링 해주는 방법을 말한다.

<그림5>에서는 BER 스케줄링 통해 얻을 수 있는 이득의 예를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 BER 스케줄링 방법을 사용하면 트래픽의 BER 요구값을 만족시키면서 동시에 보다 많은 패킷을 전송할 수 있는 장점이 있다.

**IV. 차세대 스케줄링 알고리즘을 위한 무선 자원 할당 기법**

무선 네트워크는 유선 네트워크와 달리 사용할 수 있는 자원이 한정적이기 때문에 스케줄링을 할 때 사용자의 QoS에 알맞게 자원을 할당하는 것이 중요하다. 이번 장에서는 무선 자원을 효율적으로 나누고 할당하는 방법에 대해서 살펴보고자 한다.

**1. 시간-주파수-코드 슬라이스 기법 (Time-Frequency-Code Slice)**

TFC(시간-주파수-코드) 슬라이스기법<sup>10)</sup>이란 무선 자원을 시간-주파수-코드 3차원으로 나누는 방법이다. TFC 슬라이스 기법을 사용하면 차세대 시스템에서 다양한 사용자에게 각기 다른 전송 속도를 가장 효율적으로 보장할 수 있

다. TFC 슬라이스 기법을 사용할 경우 무선 자원을 스케줄링 해줄 때 사용자의 QoS에 알맞은 자원을 효과적으로 할당할 수 있다. <그림 6>에서 보듯이 E, G, J처럼 고속의 전송 속도를 요구하는 사용자에게는 많은 TFC 슬라이스 자원을 할당하고 D, H, I처럼 저속의 전송 속도를 요구하는 사용자에게는 적은 TFC 슬라이스 자원을 할당할 수 있다.

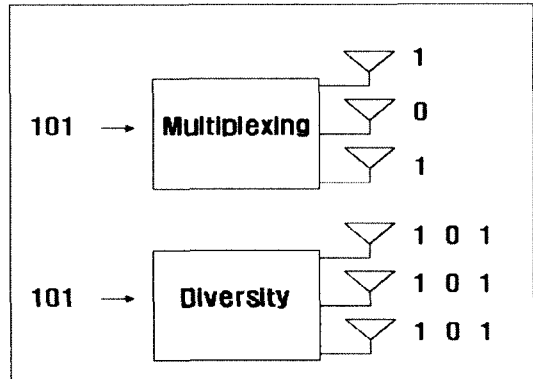
즉 무선 자원의 효율적인 배분이 가능하다. 여기서 TFC 슬라이스의 크기가 크다는 것은 전송 속도가 높다는 것을 의미한다. TFC 슬라이스 기법은 TDMA, CDMA, FDMA가 혼합되어있는 Hybrid 시스템에서도 사용 가능하므로 차세대 스케줄링 알고리즘을 개발할 때 효과적으로 사용할 수 있는 자원할당 기법이다.

## V. 차세대 스케줄링 알고리즘이 고려해야 할 새로운 기술들

차세대 무선 이동 통신 시스템에서는 사용자들의 QoS를 보장하기 위해 여러 가지 새로운 기술들이 도입되고 있고 또한 그에 알맞은 스케줄링 알고리즘이 요구되고 있다. 여기에서는 차세대 스케줄링 알고리즘이 고려해야 할 물리계층(Physical Layer)의 새로운 기술들에 대하여 조사하였다.

### 1. MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술

MIMO란 송신단과 수신단에 여러 개의 안테나를 달아서 시스템의 용량을 늘리고 신뢰성을 높이는 방법이다. MIMO에서 데이터를 전송할 때에는 <그림7>과 같이 크게 다이버시티



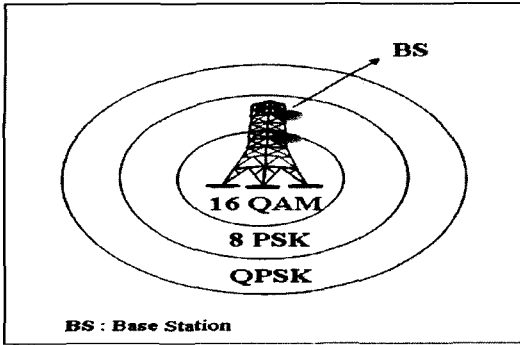
<그림 7> MIMO에서 다이버시티 기법과 다중화 기법의 차이

(Diversity) 기법과 다중화(Multiplexing) 기법이 있다. 다이버시티 기법은 안테나 마다 동일한 데이터를 전송하는 방법이고 다중화 기법은 안테나 마다 다른 데이터를 전송하는 방법이다. 다이버시티 기법을 사용하면 다이버시티 이득(Diversity Gain)을 얻을 수 있으므로 BER이 낮아지고 다중화 기법을 사용할 경우 전송할 수 있는 데이터량이 증가하므로 전송율이 올라가는 장점이 있다. MIMO를 사용하면 각 안테나 마다 여러 개의 서로 다른 무선 채널이 존재하고 채널의 상태가 모두 다르므로 스케줄러는 어떤 데이터를 어떤 안테나로 보낼지 결정을 해야 된다.

### 2. AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기술

AMC란 무선 채널 상황에 알맞게 변조 방법 및 코딩 방법을 바꿔주는 방법을 말한다. 채널 상황이 좋으면 64 QAM같은 고차 변조(High Order Modulation)와 높은 Code Rate(Ex: 3/4 터보 코드)을 가진 코딩 방법을 사용하고 채널 상황이 나쁘면 QPSK같은 저차 변조에 낮은





〈그림 8〉 AMC의 적용 예

Code Rate(Ex: 1/2 터보 코드)을 가진 코딩 방법을 사용한다.

AMC를 사용하면 무선 채널 상황이 좋은 곳의 사용자가 높은 전송 속도로 보낼 수 있으므로 셀내의 평균적인 전송율이 올라가는 장점이 있다. 또한 CDMA 시스템에서 AMC를 사용할 경우 무선 채널 상황이 안 좋은 사용자에게 파워를 올려주는 방법보다 간섭을 줄일 수 있으므로 효과적이다.

스케줄러는 AMC를 사용할 경우 단말기로부터 피드백(Feedback)받은 채널 정보를 이용해 어느 정도의 변조 방법과 코딩 방법을 사용할지 결정해야 한다. <그림 8>은 AMC의 한 예를 보여주고 있다.

## VI. 결론

무선 네트워크에서의 멀티미디어 트래픽과 인터넷 서비스의 발달로 인해 QoS를 보장하는 스케줄링 알고리즘에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. QoS의 보장은 지연과 전송율과 공정성을 동시에 보장하는 것을 뜻한다. 이 논문에서는 무선 네트워크에서 제안된 다양한 스케줄링 알고리즘에 대해 간단히 살펴보았다. 특히

TDMA와 CDMA에서 제안된 스케줄링 방법의 특징 및 장단점을 살펴보았고 효과적인 무선 자원 할당 기법인 TFC 슬라이스 기법에 대해 알아보았다. 또한 차세대 스케줄링 알고리즘이 고려해야 할 기술들에 대해서 알아보았다.

현재 차세대 무선 네트워크에서 MIMO와 AMC를 고려한 스케줄링 알고리즘에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

## 참고문헌

- [1] S.Lu and V. Bharthgavan, "Fair Scheduling in wireless packet networks," IEEE/ACM Trans. Networking, vol.7, no. 4, pp 473-489, 1999.
- [2] T.S.Ng, I.Stoica, and H. Zhang, "Packet fair queuing algorithms for wireless networks with location dependent errors," in Proc. INFOCOM98, pp. 1103- 1111. Mar. 1998.
- [3] P.Ramanathan and P.Agrawal, "Adapting packet fair queuing algorithms to wireless networks," in ACM/IEEE MOBICOM' 98, Dallas, TX, pp. 1-9
- [4] A. Jalali, R. Padovani, R. Pankaj, "Data Throughput of CDMA-HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System," in VTC2000, pp 1854-1858
- [5] M. A. Arad and A. Leon-Garcia, "A Generalized Processor Sharing Approach to Time Scheduling in Hybrid CDMA/TDMA," IEEE INFOCOM, vol 3, pp. 1164-1171, Mar. 1998.
- [6] 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. 913-917, Oct. 1996.
- [7] O. Gurbuz and H. Owen, "Dynamic Resource Scheduling Strategies for QOS in W-CDMA," IEEE Global Telecommunications Conf., vol. 1, pp. 183-187,

Dec. 1999.

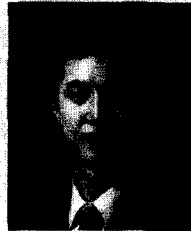
- [8] I.F. Akyildiz, D.A. Levine, and I.Joe, "A Slotted CDMA Protocol with BER Scheduling for Wireless Multimedia Networks," *IEEE/ACM Trans. Net.* vol. 7, no. 2, pp. 146-158, Apr. 1999.
- [9] Mark J. Karol, Zygmunt J. Haas, Clark B. Woodworth, Richard D. Gitlin, "Time-Frequency-Code Slicing: Efficiently Allocating the Communications Spectrum to Multirate Users," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no.4, pp. 818 -826, Nov. 1997.

**저자소개**



**김 지 범**

2003년 연세대학교 기계전자공학부 학사  
 2003년 - 현재 연세대학교 전기 전자 공학과 석사과정  
 주관심분야 무선 스케줄링, MIMO, 4세대 이동통신



**손 경 호**

2002년 연세대학교 기계전자공학부 학사  
 2002년 - 현재 연세대학교 전기 전자 공학과 석사과정  
 주관심분야 무선 스케줄링, 인터넷 QoS, 4세대 이동통신



**김 영 용**

1991년 서울대학교 전자공학과 학사  
 1993년 서울대학교 전자 공학과 석사  
 2000년 Univ. of Texas at Austin 전자전산공학과 박사  
 1998년 - 2000년 Telcordia Technologies Research Scientist  
 2000년 - 현재 연세대학교 전기전자공학과 조교수  
 주관심분야 무선 스케줄링, 멀티캐스팅, Ad Hoc 네트워크, 4세대 이동통신