

# cdma2000-type 네트워크의 역방향 링크에서의 다중 QoS 서비스 보장을 위한 자원 관리 기술: Modified Weighted G-Fair 스케줄러

정희원 기영민\*, 김은선\*, 김동구\*

## Uplink Resource Management Scheme for Multiple QoS Traffics in cdma2000 type Networks: Modified Weighted G-Fair Scheduler with RoT Filling

Young Min Ki\*, Eun Sun Kim\*, Dong Ku Kim\* *Regular Members*

### 요 약

cdma2000 1xEV-DO 네트워크의 역방향 링크에서와 같은 자율적 전송률 제어 (ARC, Autonomous data Rate Control) 구조는 다중 QoS 환경에서의 다양한 QoS 보장 및 RoT (Rise over Thermal) 제약 조건을 만족시키지 못하는 문제가 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 cdma2000 기반의 역방향 링크 시스템을 위한 자원 관리 기술로서, MWGF (Modified Weighted G-Fair) 스케줄러를 제안하고, 다중 QoS 서비스 환경에서 성능을 분석하였다. 제안된 스케줄러는 QoS 요구를 고려한 우선 순위를 제공할 뿐만 아니라 RoT-filling 기법을 이용해서 RoT 정규화를 보장함으로써 CDMA 시스템의 로딩 (loading)을 유지하는 구조로 설계되었다. 모의실험을 통하여, 제안된 스케줄러는 자율적 전송률 제어 구조에 비하여, 약 29 - 40 % 정도의 실시간 서비스의 전송 시간이 단축되는 것을 보였으며, 약 1.0 - 1.3 dB의 낮은 평균 수신 RoT 레벨을 유지하여 낮은 시스템 로딩을 제공함을 보였다. 이와 같은 낮은 시스템 로딩은 여분의 간섭량을 타 서비스 또는 타 셀에 제공하여 시스템 전체의 용량을 증가시킬 수 있게 된다.

### ABSTRACT

Autonomous data rate control scheme of current 1xEV-DO uplink networks can not support the various QoS requirements of heterogeneous traffics nor hold rise-over-thermal (RoT) constraints. In this paper, an uplink resource management scheme called the modified weighted g-fair (MWGF) scheduler with RoT filling is proposed and evaluated for heterogeneous traffics in cdma2000 type uplink networks. The proposed scheme belongs to a family of centralized resource management schemes and offers QoS guarantee by using priority metrics as well as lower system loading by holding RoT constraints using RoT filling method. With some case-study simulations, the proposed algorithms shows lower average delays of real time users compared to that of autonomous rate control by 29 - 40 %. It also shows the 1.0 - 1.3 dB lower received RoT level than autonomous rate control schemes, leading to lower network loading.

### I. 서론

3G/3.5G 이동통신 시스템에서는 고속, 고품질의 서비스를 제공하기 위하여, 무선 전송링크의 무선자

원을 효율적으로 관리하는 기술이 매우 중요하게 부각되었으며, 링크 적응화 (link adaptation) 및 채널 스케줄링 기술은 이와 같은 무선자원관리의 핵심 기술들이다. 이와 같은 기술로서 cdma2000

\* 연세대학교 전기전자공학과 이동통신 연구실(mellow@yonsei.ac.kr)  
논문번호 : 030566-1217, 접수일자 : 2003년 12월 18일

1xEV-DO 순방향링크에서는 적응형 변조 및 부호화 (AMC, Adaptive Modulation and Coding) 및 PF (Proportional Fairness) 스케줄링이 고속 데이터 전송을 위한 기술로서 쓰이고 있다[1]. 또한, [2][3][4]에서는 1xEV-DO 순방향 링크에서의 QoS 보장형 서비스를 위한 수정된 PF 형태의 스케줄러들이 제안되고 연구되어졌다.

CDMA 역방향 링크 시스템은 순방향 시스템과 달리 다양한 QoS 서비스의 보장 및 다중 접속 간섭의 정규화를 요구한다. 그러나 1xEV-DO 역방향 링크 시스템은 cdma2000 1x (IS-2000) 형태의 자율적 전송률 제어 (ARC, Autonomous data Rate Control)[5] 기술을 사용하고 있으며, 자율적 전송률 제어는 다중 QoS 환경에서의 QoS 보장 및 시스템의 간섭 제약 조건인 RoT (Rise over Thermal)을 만족시키지 못하는 단점이 있다. [6][7]에서는 자율적 전송률 제어와는 달리 cdma2000 역방향 링크를 위한 집중형 스케줄링 기술들이 제안되어졌다. [6]에서 제안된 WPF (Weighted Proportional Fairness) 스케줄러는 best-effort 서비스에 대한 스케줄링을 제공하여, 수율 (throughput)과 공평성 (fairness)간의 trade-off를 보였으며, [7]에서 제안된 DCWPF (Delay and Channel Weighted Proportional Fairness) 스케줄러는 민감형 서비스에 대한 QoS 보장을 지원하였다.

본 논문에서는 DCWPF 스케줄러에서의 기본 원리와 RoT-filling 기술을 이용하여, 다중 QoS 서비스 환경을 위한 MWGF (Modified Weighted G-Fair) 스케줄러를 제안하고, 모의실험을 통하여 성능을 분석하였으며, 자율적 전송률 제어 기술과의 비교 분석을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 1xEV-DO 네트워크에서의 자율적 전송률 제어 기술을 설명한 후, 제 3장에서는 제안된 MWGF 스케줄링 기술을 설명한다. 제 4장에서는 모의실험 및 결과를 보여주었으며, 제 5장에서는 결론과 향후 연구에 대하여 검토한다.

## II. cdma2000 1xEV-DO type의 역방향 링크의 분산형 데이터 전송률 제어

CDMA 역방향 링크 시스템의 설계에 있어 두 가지의 큰 시스템 제약 조건이 있다. 첫 번째는 각각의 이동 사용자의 전송 전력이 제한되어 있는 것

이며, 둘째는 기지국의 수신 간섭 수준이 제한되어서 운용되어야 하는 것이다. 기지국의 수신 간섭 수준은 RoT (Rise of Thermal) 값으로 표시하며, 시스템의 용량을 결정하는 중요한 요소로서, CDMA 네트워크에서는 RoT 기반의 AC (Admission Control) 방식을 사용하여 분석한다. 그러므로 이와 같은 제약 조건들은 CDMA 역방향 링크 시스템의 효율적인 패킷 전송 구조를 설계하는데 있어 반드시 고려되어야 한다.

### 1. 자율적 데이터 전송률 제어 방식 (ARC, Autonomous data Rate Control) (5)

1xEV-DO 및 cdma2000 1x 와 같은 3세대 시스템의 역방향 링크에서는 자율적 데이터 전송률 제어 방식을 사용하고 있다. 자율적인 전송률 제어에서 전송률은 각각의 이동 사용자 자신이 결정할 수 있으며, 전송할 데이터가 있는 사용자는 언제나라도 전송을 시도할 수 있다. 초기 접속 시 사용자는 가장 낮은 전송률 (lowest data rate)을 사용하여 전송을 시작한다. 이 후, 만약 기지국으로부터 *idle-RAB* (Reverse Activity Bit)를 수신하게 되면, 전송률을 한 단계 높게 된다. 반대로, 기지국으로부터 *busy-RAB*를 수신하게 되면, 전송률을 한 단계 낮추게 된다. 그러나 만약 전송률이 최고 전송률에 도달하여 전송률을 높일 수 없거나, 최저 전송률에 도달하여 전송률을 낮출 수 없는 경우는 전송률을 유지하게 된다. 또한, 전송률을 높이고자 하나, 단말의 최대 전송 전력에 도달하게 되면, 또한 전송률을 높이지 못하고 유지하게 된다. 이와 같은 자율적 전송률 제어 기술은 1xEV-DO 역방향 링크 MAC (Medium Access Control)의 핵심 기술로서 채택되어 사용되고 있다.

### 2. RoT (Rise over Thermal)과 RAB (Reverse Activity Bit)

CDMA 역방향 링크 시스템에서의 기지국의 수신 간섭 수준은 RoT를 사용하여 표현할 수 있다. RoT는 기지국의 총 수신 전력 대 열 잡음의 비율로서 식 (1)과 같이 얻어진다. 안정적인 시스템의 운영을 위하여, CDMA 시스템의 기지국은 항상 수신 RoT를 계산하여 역방향 링크 RoT 수준 정규화를 구현하여야 한다 [6][9].

$$RoT = \frac{\sum_i^{active\ in\ cell} P_{TX_i} L_i + \sum_k^{other\ cells} I_k + N_0 W}{N_0 W} \quad (1)$$

여기서,  $P_{TX,i}$ 는  $i$  번째 사용자의 전송 전력이며,  $L_i$ 는  $i$  번째 사용자의 채널 전송 손실이다.  $I_k$ 는  $k$  번째 셀로부터의 타 셀 간섭이며,  $N_0$ 는 열잡음이다.

기지국은 항상 RoT 수준을 계산하고 있으며, 식 (2)에 의하여 RAB를 결정하고, 정기적으로 방송 채널 (broadcast channel)을 이용하여 사용자들에게 송신하게 된다.

$$RAB = \begin{cases} idle, & \text{if } RoT < RoT_{setpoint} \\ busy, & \text{if } RoT > RoT_{setpoint} \end{cases} \quad (2)$$

여기서,  $RoT_{setpoint}$ 는 RAB 동작의 동작 경계값으로서, 일반적으로 시스템에서 이미 결정되어져 있는 RoT의 최대 제한 수준,  $RoT_{lim}$  보다 약간 작은 값으로 결정되게 된다.

### 3. 전송률 천이 확률 (Rate transition probability)

사용자가 기지국으로부터 RAB를 수신 받게 되면, 자신의 전송률을 높이거나 낮추어야 한다. 그림

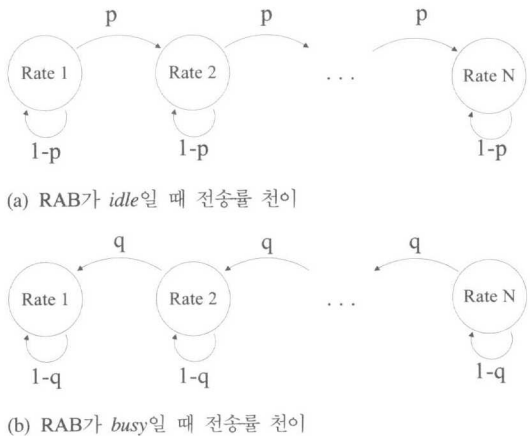


그림 1. 1xEV-DO 시스템의 자율적 전송률 제어 (N은 가능한 데이터 전송률의 개수)

1은 1xEV-DO 시스템의 자율적 전송률 제어 구조를 보여주고 있다. 이와 같은 자율적 전송률 제어에서는 두 개의 전송률 천이 확률 (rate transition probability),  $p$ 와  $q$ 을 정의한다. 그림 1 (a)에서 볼 수 있듯이, 만약 RAB가 idle이면, 이동 사용자는  $p$ 의 확률로서 전송률을 한 단계 높은 전송률로 높이게 된다. 마찬가지로 그림 1 (b)에서 볼 수 있듯이, 만약 RAB가 busy이면, 이동 사용자는  $q$ 의 확률로서 전송률을 한 단계 낮은 전송률로 낮추게 된다.

### III. 집중형 스케줄러 방식

역방향 링크 채널 스케줄링에는 두 가지 시스템 제한 요소가 고려되어야 한다. 각 사용자들의 전송 전력이 제한되어 있다는 것과 기지국의 수신 간섭 레벨이 제한되어 운용되어야 하는 것인데, 따라서 역방향 링크 스케줄러는 각 사용자의 우선 순위는 물론 각 사용자의 전력을 간섭 레벨 임계치 이내에서 어떻게 할당할 것인가를 결정해야 한다[6][7].

역방향 링크에서 기지국은 각 사용자들의 트래픽 큐 상태에 대해서는 전혀 알지 못하기 때문에, 사용자들이 기지국에 보내는 요구 전송률과 큐 상태 정보에 따라서 스케줄링과 전송률 및 전력 할당이 이루어져야 한다. 따라서 역방향 링크 스케줄링은 그림 2와 같이 세 단계로 이루어진다. 먼저 각 사용자는 사용자가 원하는 전송 데이터율을 기지국에 요구하고 동시에 자신의 큐 상태를 알려준다. 그러면 기지국에서는 스케줄링과 전송률 및 전력 할당의 두 가지 과정을 수행한다. 그러나, 이들 제한요소를 고려해서, 스케줄링과 전송률 및 전력 할당을 동시에 결정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 기지국은 먼저 스케줄링을 한 다음 우선 순위대로, 전송률 및 전력 할당을 결정해서, 각 사용자에게 트래픽을 전

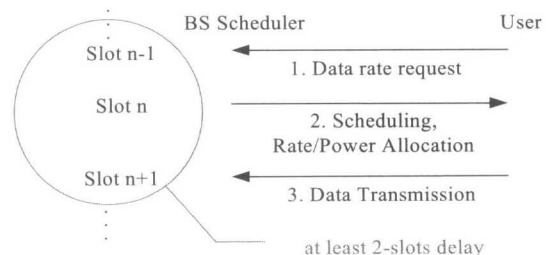


그림 2. 역방향 링크 스케줄링 구조

송하게 된다.

사용자가 전송을 요구할 때부터 데이터를 전송할 때까지 세 가지 단계를 거치기 때문에 역방향 링크 스케줄링은 적어도 2 슬롯 지연이 생긴다[7].

### 1. MWGF (Modified Weighted G-Fair) 스케줄링 알고리즘

[6]에서 제안된 cdma2000-type 역방향 링크의 WPF (Weighted Proportional Fairness) 스케줄러는 best-effort 서비스에 대한 스케줄링을 제공하여, 수율 (throughput) 및 공정성 (fairness) 간의 trade-off 를 보였다. [7]에서 제안된 DCWPF (Delay and Channel Weighted Proportional Fairness) 스케줄러는 지연 민감형 서비스에 대한 QoS 보장을 지원하였다. 본 논문에서는 이와 같은 스케줄러들을 기반으로 다중 QoS 환경에 적합한 MWGF (Modified Weighted G-Fair) 스케줄러를 제안하고 성능을 분석하였다. 식 (3)은 제안된 스케줄러의 우선 순위 함수이다.

$$P_i = (C_i) \left( \frac{D_i}{D_i^{req}} \right)^a \left( \frac{L_i}{L_i^{avg}} \right)^b \left( \frac{R_i^{req}}{R_i} \frac{h(R_i^{req})}{R_i^{req}} \right)^c \quad (3)$$

여기서,  $C_i$ 는  $i$  번째 사용자의 서비스 등급 인자로서, 예를 들어, gold, silver, bronze 등과 같은 형태로 부여될 수 있다.  $D_i/D_i^{req}$ 는 정규화된 전송 지연인자로서, 스케줄링에 전송 지연 시간을 반영하여 QoS를 보장하는 역할을 한다. 여기서,  $D_i$ 는 HOL (Head of Line) 지연 시간을 의미하며,  $D_i^{req}$ 는 서비스의 QoS 요구 조건에 따라 미리 설정되어져 있는 요구 지연 시간으로서, 정규화된 전송 지연 시간이 서비스 종류에 따라 차등적인 우선 순위를 줄 수 있도록 하는 역할을 한다.  $L_i/L_i^{avg}$ 는 정규화된 채널 손실 인자로서, 스케줄링에 좋은 채널을 선택할 수 있는 역할을 한다. 여기서,  $L_i$ 는  $i$  번째 사용자의 채널 손실이며,  $L_i^{avg}$ 는 평균 채널 값이다. 본 논문에서는 1xEV-DO의 역방향링크 파일럿 채널을 통하여, 역방향링크에 대한 이상적인 채널 추정 가능성이 있다고 가정하였다.  $(R_i^{req}/R_i) \cdot (h(R_i^{req})/R_i^{req})$ 는 G-Fair 인자로서,  $R_i^{req}/R_i$ 는 일반적인 PF (Proportional Fair) 인자

이다. 역방향링크에서의 사용자의 요구 전송률,  $R_i^{req}$ 는 순방향 링크와는 달리, 채널을 고려하지 않고, 단지 사용자의 버퍼 상태에 의하여 결정된다 [5].  $R_i$ 는  $i$  번째 사용자의 평균 서비스율이며,  $\overline{R_i^{req}}$ 는 평균 요구 전송률이다.  $h(x)$ 는 공정성에 관련된 함수로서, 만약  $h(x) = 1$  이면, 스케줄러는 사용자에 대한 수율에 대한 공정성과 요구 전송률에 대한 공정성도 동시에 제공하게 된다. 만약  $h(x) = x$  이면, G-Fair 인자는 일반적인 PF 인자와 동일하게 된다[9].  $a, b, c$ 는 각각의 인자에 대한 가중치 인덱스 (weight index)이다.

### 2. RoT-Filling 기법

사용자의 우선 순위가 결정되면, 기지국은 식 (4)을 사용하여, 사용자가 요구하는 요구 전송 전력,  $P_{TX,i}$ 을 결정한다.

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{i,req} = \frac{W_i}{R_i^{req}} \frac{P_{i,TX} L_i}{I_{total}} \quad (4)$$

여기서,  $E_b/N_0$ 는 비트 에너지 당 잡음의 비율이고,  $W$ 는 신호의 대역폭이고,  $L$ 은 경로 손실,  $I_{total}$ 은 총 간섭량이다

사용자의 요구 전송 전력이 계산된 후, 스케줄러는 이미 결정된 우선 순위 순으로 사용자들에게 전송률과 전송 전력을 할당하게 된다. 이와 같은 할당 과정 중, 스케줄러는 항상 식 (1)의 RoT에 대한 계산을 수행하여,  $RoT_{lim}$  을 넘지 않는 범위 내에서만 전력을 할당하게 된다. 본 논문에서는 MWGF 스케줄러에 다음과 같은 RoT-filling 방법을 적용하였다. 만약 계산된 RoT가  $RoT_{lim}$  을 초과하는 순간, 마지막으로 전력이 할당된 사용자의 전송률은, RoT가  $RoT_{lim}$  을 넘지 않게 될 때까지 가장 가까운 낮은 수준의 데이터 전송률로 낮추어져서 다시 할당하게 된다. 이와 같은 RoT-filling 과정이 모두 끝난 후, 사용자는 자신에게 할당받은 자원을 이용하여, 데이터 전송을 수행한다.

#### IV. 모의 실험 및 결과

##### 1. 모의 실험 시나리오: 다중 QoS 서비스 환경

모의 실험에서는 6명의 사용자가 셀 내에 균일하게 분포되어 있다고 가정하였다. 6번째 사용자를 제외한 5명의 사용자는 요구 서비스율이 64.3 kbps인 실시간 화상 전화 사용자라 가정되었다. 나머지 1명의 사용자는 비실시간 best-effort 사용자라 가정되었다. 실시간 사용자에게 트래픽은 매 슬롯마다 푸아송 (Poisson) 비트 도착으로 발생하며, 비실시간 트래픽은 1024 kbit의 패킷이 베르누리 (Bernoulli) 패킷 도착 모델에 의하여 평균 데이터 도착율을 만족시키며 도착한다고 가정하였다. 표 1은 사용자의 분포, 트래픽 형태 및 요구 전송 지연 시간을 보여 준다.

표 1. 사용자 분포, 트래픽 형태, 요구 전송지연시간

User Index	Distance from BS	Traffic type	Required delay
1	72.0 m	Real-time	25.0 msec/slot
2	996.9 m	Real-time	25.0 msec/slot
3	725.1 m	Real-time	25.0 msec/slot
4	129.6 m	Real-time	25.0 msec/slot
5	903.5 m	Real-time	25.0 msec/slot
6	541.4 m	Best-effort	5.0 sec/packet

셀 환경은 1.44 km 반경의 19 개의 원형 셀이 분포하는 것으로 가정하였으며, 실제적인 실험은 중심 셀에서만 이루어졌다. 이에 따라, 역방향링크 재사용 인자 (reuse factor)는 0.55로 가정되었다. 기타 시뮬레이션 파라미터들은 다음과 같다.

- 신호 밴드폭 (signal BW): 1.2288 MHz
- 목표 (target) Eb/No: 3.10 dB (for all users)
- 전송 전력 제한: 23.0 dBm (200 mW)
- 슬롯 크기: 1.67 msec (1xEV-DO)
- 전파 모델:  $28.6 + 35 \log_{10}(d_{meter})$  dB
- Log-normal with standard deviation, 8.9 dB
- Rayleigh fading: Doppler frequency, 10.0 Hz
- BS 안테나 이득 (antenna gain): 5.0 dB
- 열 잡음 밀도: -174.0 dBm/Hz

- RoT 제한 (RoT limit): 10.0 dB.

자율적 전송률 제어 (ARC, autonomous rate control) 구조와 제안된 스케줄러가 실험되었다. 자율적 전송률 제어 구조실험시에는  $RoT_{setpoint}$  가 10 dB일 때와 9dB일 때를 실험하였다. 전송률 천이 확률은  $p = q = 0.8$ 로 하였으며, 이 값은 여러 번의 실험을 통하여 얻은 준최적 값이다. MWGF 알고리즘은 알고리즘 1과 알고리즘 2의 두 가지로 실험되었다. 알고리즘 1에서는 G-Fair 인자를  $h(x) = x$ 로 설정하였으며, 이는 일반적인 PF 동등한 형태가 된다. 알고리즘 2에서는  $h(x) = 1$ 로 설정하였으며, 이에 따라 G-Fair 인자는  $(R_i^{req}/R_i) \cdot (1/\sqrt{R_i^{req}})$ 가 된다. 이와 같은 G-Fair 인자는 앞서 설명하였듯이, 수율과 요구 전송률에 대한 공평성을 모두 제공하게 된다. 가중치 인덱스 (weight index)는 각각  $a = 4.0$ ,  $b = 0.5$ ,  $c = 1.0$ 으로 설정되었으며, 이 값들은 여러 번의 실험을 통하여 얻은 준최적 값이다. 서비스 등급 인자,  $C_i$ 는 적용하지 않았다. 또한, 자율적 전송률 제어 및 스케줄링에서 표 2와 같이 9 개의 등급을 가지는 가능한 데이터 전송률 (available data rate)을 사용하였다.

표 2. 가능 전송 데이터율[5]

Level	Data Rate [kbps]
1	0 (NULL)
2	9.6
3	19.2
4	38.4
5	76.8
6	153.6
7	307.2
8	614.4
9	1,024

##### 2. 전송 지연 및 수율 성능

표 3은 모의 실험을 통해 얻은 전송 지연 및 수율 성능을 보여 주는 표이다. 자율적 전송률 제어 구조 (ARC)에서는  $RoT_{setpoint}$ 을 9 dB로 조절하면, 10 dB로 했을 때보다 실시간 서비스의 평균 전

송 지연이 약 31 % 증가하고 Best-effort 서비스의 평균 전송 시간은 약 243 % 정도 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은  $RoT_{setpoint}$  을 낮게 설정함으로써 시스템의 용량이 줄어들었기 때문에 나타나는 현상이다. 제안된 MWGF 스케줄링 시스템에서는 자율적 전송률 제어에 비해 실시간 서비스의 전송 지연 시간이 약 4 - 8 msec 정도 줄어든 것을 볼 수 있다. 그러나 Best-effort 서비스의 수율 및 전송 지연 성능이 약간 저하한 것을 볼 수 있다. 이것은 제안된 MWGF 알고리즘에서는 서비스 종류에 따른 차등화가 고려되었기 때문이다. 또한, 알고리즘 2는 알고리즘 1에 비해 실시간 서비스에 대해서는 우수한 전송 지연 성능을 보이며, Best-effort 서비스에 대해서는 수율 및 전송 지연 성능이 약간 감소하는 것을 볼 수 있다.

표 3. 평균 전송 시간 및 평균 수율 (R: 실시간 서비스, NR: Best-effort 서비스)

	Av.delay (R)	Av.throughput (NR)	Av.delay (NR)
ARC (10dB setpoint)	14.4 msec/slot	144.0 kbps	45.6 msec/packet
ARC (9dB setpoint)	18.8 msec/slot	144.0 kbps	156.4 msec/packet
Algorithm 1	10.2 msec/slot	143.6 kbps	1.9 sec/packet
Algorithm 2	10.1 msec/slot	143.5 kbps	2.1 sec/packet

그림 3은 자율적 전송률 제어 구조에서의 실시간 서비스의 전송 지연 아웃티지 확률을 보여주고 있다. 전송 지연 아웃티지 확률은 전송 지연 시간이 특정 값을 초과할 확률을 의미한다. 자율적 전송률 제어에서는 평균 지연 시간이 14.4 msec임에도 불구하고, 약 60 msec에서  $10^{-2}$  의 실시간 서비스의 아웃티지를 얻을 수 있다. 이와 같은 결과는 실시간 서비스의 QoS 보장을 위하여 충분히 작은 평균 지연 시간이지만, QoS 보장에 적합하지 못할 정도로 지연 시간의 분산 (variance)이 큰 것을 의미한다.

그림 4와 그림 5는 제안된 알고리즘 1과 알고리즘 2에서의 실시간 서비스의 지연 시간 아웃티지 확률을 보여주고 있다. 두 개의 그림 모두에서, 약 20 msec에서  $10^{-2}$  의 실시간 서비스의 아웃티지

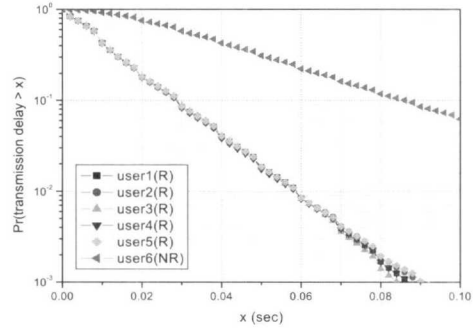


그림 3. 자율적 전송률 제어에서의 실시간 서비스의 전송 지연 아웃티지 확률 ( $RoT_{setpoint}=10.0$  dB,  $p = q = 0.8$ )

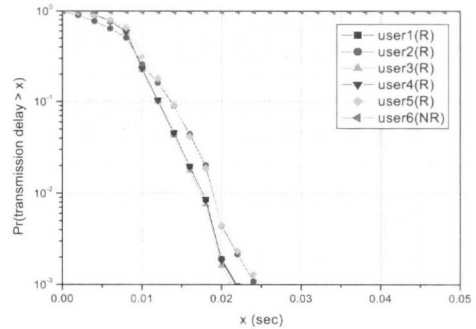


그림 4. 제안된 알고리즘 1에서의 실시간 서비스의 전송 지연 아웃티지 확률 ( $a = 4.0$ ,  $b = 0.5$ ,  $c = 1.0$ )

를 얻을 수 있다. 물론, 제안된 알고리즘은 자율적 전송률 제어 방식에 비하여 Best-effort 서비스의 성능이 나쁜 것을 표 3에서 볼 수 있었다. 이와 같은 결과들은 자율적 전송률 제어 방식은 서비스간의 QoS에 따른 차등화가 전혀 고려되지 않은 반면, 제안된 알고리즘에서는 정규화된 지연 시간을 인자로 도입함으로써 서비스간의 차등화가 고려되었기 때문이다. 제안된 알고리즘 간에는, 알고리즘 2에서의 가장 성능이 좋은 사용자와 가장 성능이 나쁜 사용자의 차이가 알고리즘 1에서의 차이에 비하여 상당히 작은 것을 볼 수 있다. 이것은 G-Fair 인자의 도입으로 인하여, 알고리즘 2가 더욱더 공평성 있기 때문이다.

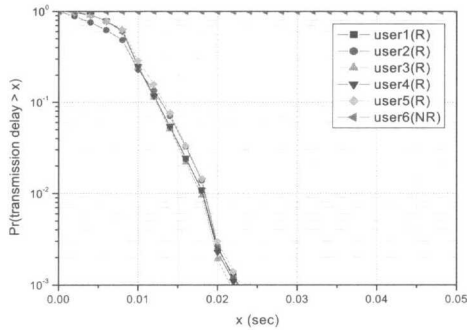


그림 5. 제안된 알고리즘 2에서의 실시간 서비스의 전송 지연 아웃티지 확률 ( $a = 4.0$ ,  $b = 0.5$ ,  $c = 1.0$ )

### 3. RoT 성능

그림 6은 평균 RoT 성능을 보여주고 있다. 자율적 전송률 제어 구조에서는  $RoT_{setpoint}$  을 낮게 설정할수록 낮은 수신 RoT 수준을 보이는 것을 알 수 있다. 하지만, 낮은  $RoT_{setpoint}$  는 셀 용량을 감소시킨다. 제안된 알고리즘에서는 RoT-filling 기법을 사용하였기 때문에, 자율적 전송률 제어에 비하여, 1.0 - 1.3 dB 정도 낮은 평균 수신 RoT 값을 얻을 수 있다.

그림 7은 수신 RoT의 CDF (Cumulative Density Function)을 보여주는 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 제안된 알고리즘에서의 RoT의 분산 값이 자율적 전송률 제어 구조에 비하여 상대적으로 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 게다가, RoT-filling 기

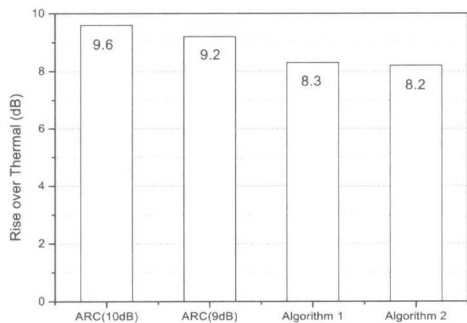


그림 6. 평균 RoT 성능 (자율적 전송률 제어:  $RoT_{setpoint} = 10.0$  dB, 9.0 dB)

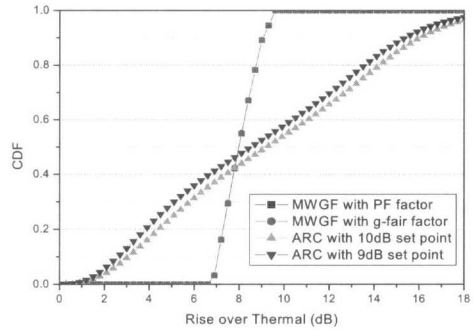


그림 7. RoT의 CDF (Cumulative Density Function)

법을 사용한 스케줄링에서는 RoT의 CDF가 평균값에서 거의 정적 (static)으로 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 RoT 정규화 (regulation)가 거의 정확하게 되고 있음을 의미한다. 물론, 자율적 전송률 제어와 같은 분산형 자원 관리에서는 RoT-filling과 같은 기술을 도입할 수 없어 RoT의 분산이 크게 나타나는 것이다. 낮게 조절된 RoT 레벨은 CDMA 네트워크에서는 낮은 시스템 로딩으로 나타난다. 이와 같은 낮은 시스템 로딩은 여분의 간섭량을 타 서비스 또는 타 셀에 제공하여 시스템 전체의 용량을 증가시킬 수 있게 된다 [5][9].

## V. 결론

본 논문에서는 cdma2000 기반의 역방향 링크 시스템을 위한 자원 관리 기술로서, MWGF (Modified Weighted G-Fair) 스케줄러를 제안하고, 다중 QoS 서비스 환경에서 성능을 분석하였다. 제안된 스케줄러는 집중형 스케줄링 방식으로서, QoS 요구를 고려한 우선 순위를 제공할 뿐만 아니라 RoT-filling 기법을 이용해서 RoT 정규화를 보장함으로써 CDMA 시스템의 로딩 (loading)을 유지하는 구조로 설계되었다. 모의실험을 통하여, 제안된 스케줄러는 자율적 전송률 제어 구조에 비하여, 약 29 - 40 % 정도의 실시간 서비스의 전송 시간이 단축되는 것을 보였으며, 약 1.0 - 1.3 dB의 낮은 평균 수신 RoT 레벨을 유지하여 낮은 시스템 로딩을 제공함을 보였다. 이와 같은 낮은 시스템 로딩은 여분의 간섭량을 타 서비스 또는 타 셀에 제공하여 시스템 전체의 용량을 증가시킬 수 있게 된다. 또한, 제안된 스케줄링 알고리즘은 실시간 서비스의 전송

지연 아웃티지 확률과 수신 RoT의 분산 성능이 자율적 전송률 제어 구조에 비하여 상대적으로 우수함을 볼 수 있었다. 향후 연구로는 집중형 스케줄링 방식의 시스템 구현을 위해 필요한 채널 추정 및 부하 제어 (overload control) 기술과 함께 우선 순위 함수의 최적화에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

### 참고 문헌

[1] P. Bender, P. Black, M. Grob, R. Padovani, N. Sindhushayana, and A. Viterbi, "CDMA/HDR: A Bandwidth Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users," *IEEE Comm. Mag.*, pp. 70-77, July 2000

[2] M. Andrews, K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, and P. Whiting, "Providing Quality of Service over a Shared Wireless link," *IEEE Comm. Mag.*, pp. 150-154, Feb. 200

[3] S. Shakkottai, and A. Stolyar A. "A study of Scheduling Algorithms for a Mixture of Real- and Non-Real-Time Data in HDR," *17th International Teletraffic Congress (ITC-17)*, 2001

[4] J. Rhee, and D. Kim, "Scheduling of Real/Non-real Time Services in an AMC/TDM Systems: EXP/PF Algorithm," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2524. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp. 506-513, 2003

[5] C. Koo, B. Bae, and J. Jung, "An Efficient Reverse Link Control Scheme for 3G Mobile Communication Systems," *IST Mobile & Wireless Telecommunications Summit 2002*.

[6] J. Damnjanovic, A. Jain, T. Chen and S. Sarkar, "Scheduling the cdma2000 Reverse Link," *VTC 2002 Fall*, vol. 3, pp. 386-390, 2002.

[7] Y. Ki, D. Ma, J. Damnjanovic, and D. Kim, "Delay and Channel Weighted Proportional Fairness Scheduler for Delay Sensitive Services in cdma2000 type Uplink Networks," *The 8th International Conference on Cellular and Intelligent Communications*, 2003

[8] Application Note: G-fair Scheduler, 80-H0551-1 Rev. B. Qualcomm Incorporated., 2002

[9] R. Padovani, "The Application of Spread Spectrum to PCS has Become Reality: Reverse Link Performance of IS-95 Based Cellular Systems," *IEEE Personal Communications*, vol. 1, pp. 28-34, 3rd Qtr. 1994.

기영민(Young Min Ki)

정회원



2000년 2월 : 연세대학교

기계전자공학부 졸업

2002년 2월 : 연세대학교

전기전자공학과 석사

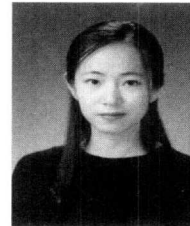
2002년 3월~현재 : 연세대학교

전기전자공학과 박사과정

<주관심분야> 무선 네트워크, 다중 접속기술, 채널 스케줄러, 1xEV-DO, 휴대인터넷

김은선(Eun Sun Kim)

정회원



2003년 2월 : 연세대학교

기계전자공학부 졸업

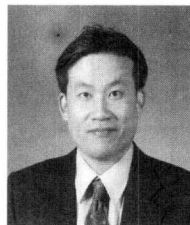
2003년 3월~현재 : 연세대학교

전기전자공학과 석사과정

<주관심분야> 무선 네트워크, 채널 스케줄러, CDMA 1xEV, 무선 MAC 프로토콜

김동구(Dong Ku Kim)

정회원



1983년 2월 : 한국항공대학교

통신공학과 졸업

1985년 : U.S.C. Dept. of

Electrical Engineering 석사

1992년 : U.S.C. Dept. of

Electrical Engineering 박사

1999년~현재 : 연세대학교

공과대학 전기전자공학과 부교수

<주관심분야> CDMA 이동통신, 다중접속 기술, 변조 및 채널 부호화 기술, 스케줄링/MAC기술, 순방향링크 빔성형 기술 및 MIMO기술, UWB, Binary CDMA