

# CDMA 1xEV-DO 환경에서 비실시간 데이터를 위한 효율적인 채널 스케줄링 알고리즘

이명희\*

\*연세대학교 전기전자공학과

e-mail:wireless@yonsei.ac.kr

## A Effective Channel Scheduling Algorithm for non-realtime data in CDMA 1xEV-DO Environment

Myung-Hee Lee\*

\*Dept of Electronic Eng, Yon-Sei University

### 요 약

기존의 CDMA 1x EV-DO 시스템에서 비실시간 서비스는 Proportional Fairness 알고리즘을 사용해 셀내의 모든 유저에게 fairness를 제공했지만, throughput이 낮았다. 그래서, 이 논문에서는 이를 개선한 cell의 downlink에서 비실시간 서비스를 스케줄링시 fairness를 제공하면서, throughput을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고 구현하였다.

### 1. 서론

1xEV 시스템은 CDMA 시스템과 상호 동작하도록 설계되었다. IS-95/1x와 1xEV의 듀얼모드로 인해 음성 서비스와 데이터 서비스를 동시에 서비스 할 수 있게 되었다. 사용자들은 IS-95/1x로부터 질 높은 음성을 서비스 받고 1xEV로부터 고성능 데이터 서비스를 받게 된다. 이때 중요한 점은 음성과 데이터는 서로 다른 서비스가 이루어 져야 한다는 것이다. 만약 이 두 가지 서비스를 합쳐놓는다면 효율적이지 못하게 된다. 따라서 1xEV는 이러한 두 가지 서비스를 위한 각각의 carrier가 필요하다.

1xEV 시스템의 airlink는 패킷 데이터 서비스가 최적화 되도록 설계되었다. 여기에서 순방향 최대 수율은 single carrier CDMA 인 경우에 7.4 Mbps/cell로 제공되며 매우 효율적이다. [2]

AP(Access Point)는 이동통신에서의 기지국에 해당하는데 여러 사용자에게 데이터를 전송해주는 역할

을 하며 Base Station이라고도 한다. 반면에 AT(Access Terminal)는 mobile에 해당하는데 AP로부터 데이터 서비스를 받는 실제 사용자를 가리킨다. AP에서 AT방향으로의 전송을 forward link라 하고 그 반대를 reverse link라 한다. 이 때 둘의 최대 전송율은 다르다. 즉 1xEV 시스템은 순방향과 역방향에서 비대칭적인 데이터 전송율을 제공하고 있다.

1xEV 시스템은 패킷 데이터 서비스에 최적화 되어 있다. 그리고 사용자들은 모두 각기 다른 서비스를 요구한다. 이중 일부는 고속 데이터 율을 필요로 하는 반면 더 낮은 데이터 율만을 필요로 하는 사용자들도 있다.

데이터 서비스의 종류는 크게 실시간 데이터 서비스와 비실시간 데이터 서비스로 구분 할 수 있다. 실시간 서비스란 VOIP나 화상채팅 같이 데이터의 전송을 실시간으로 확인해야 하는 서비스이다. 이러

한 서비스에서는 전송 딜레이가 커지면 서비스의 질이 낮아지므로 전송 지연은 최소화되어야 한다. 반면 비실시간 서비스란 FTP 혹은 e-mail과 같이 전송 딜레이에 크게 영향을 받지 않는 서비스이다. 이 경우 전송되는 데이터양의 최대화가 목적이다.

본 논문에서는 비실시간 사용자를 위한 스케줄링 알고리즘에 대해 살펴보겠다.

본 논문의 2장에서는 이러한 1xEV-DO 시스템에 사용되는 비실시간 데이터를 위한 채널 스케줄링 알고리즘을 소개하겠다. 그리고 3장에서는 개선된 채널 스케줄링 알고리즘을 소개하겠다. 4장에서는 시뮬레이션 환경에 대하여 기술하고, 5장에서는 스케줄링 알고리즘에 대한 성능과 제안한 스케줄링 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증해 보고 그 결과를 분석하였다. 마지막으로 6장에서는 향후 연구 방향에 대하여 기술하겠다.

## 2. 기존의 1x EV-DO 채널 스케줄링 알고리즘

### 2.1. Max C/I(=Max Carrier to Interference ratio) Algorithm

이 알고리즘은 각 사용자의 C/I가 가장 큰 사용자를 우선적으로 서비스하는 방식이다. C/I(Carrier to Interference Ratio)란 기지국에서 단말기로 처음 보낸 캐리어 신호의 power와 단말기로 들어오는 간섭신호의 power 비를 의미한다. 본 논문에서 간섭 신호는 중심 셀을 제외한 각 셀의 기지국이 중심 셀에 위치한 단말기로 보내는 캐리어 신호를 의미한다. Max C/I 알고리즘이란 각 사용자들의 C/I를 비교해 이 값이 가장 큰 사용자에게 우선순위를 주는 알고리즘이다. 다시 말하면, 각 사용자의 채널 상태를 파악하여 가장 채널 상태가 좋은 사용자에게 우선순위를 주는 방식이다. 이 방식은 오직 채널이 좋은 사용자만을 선택하게 되므로 throughput이 최대에 이른다. 그러나 채널 상태가 좋지 않은 사용자는 장시간 서비스를 받지 못하게 되므로 fairness가 매우 낮다. 그리고 채널이 좋지 않은 사용자들의 딜레이가 커질 수 있다는 단점이 있다. 즉, 채널의 환경이 나쁜 셀 edge 부근의 유저들에게 서비스가 제공되지 않을 수 있다.

Max C/I 알고리즘의 우선순위함수는 다음과 같다.

$$j = \arg \max_i u_i(t) \quad \text{식 (2-1)}$$

$j$ 는 우선순위 함수를 나타내고,  $u_i(t)$ 는  $i$ 번째 사용자의 requested data rate을 나타낸다.

### 2.2 Proportional Fairness Algorithm [3]

Proportional Fairness 알고리즘은 이름에서 알 수 있듯이 모든 사용자들을 비례적으로 fairness하게 서비스하는 방식이다. 이 알고리즘의 우선순위 함수는 다음과 같다.

$$j = \arg \max_i \frac{u_i(t)}{\bar{u}_i(t)} \quad \text{식 (2-2)}$$

여기서  $j$ 는 우선순위 함수를 나타내고,  $u_i(t)$ 는  $i$ 번째 사용자의 채널 상태에 따른 현재의 request data rate을 나타내고,  $\bar{u}_i(t)$ 는  $i$ 번째 사용자의 average data rate을 의미한다. 이것은 sliding window에 의해서 측정되는 일정 구간에 대한 평균과 같다. 일반적으로 윈도우의 크기는 대략 1000 슬롯 정도로 정하는데 이것은 1000개의 버퍼(buffer)가 필요함을 의미한다.  $\bar{u}_i(t)$ 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{u}_i(t) = (1 - \alpha)\bar{u}_i(t - 1) + \alpha u_i(t) \delta(j - i) \quad \text{식(2-3)}$$

이때  $j$ 는 스케줄러에 의해 선택된 사용자를 나타내며,  $i$ 는 사용자 index이다. 또한  $\alpha$ 는 윈도우 크기의 역수로 윈도우의 크기를 1000슬롯으로 할 때 보통 0.001의 값을 가진다.  $\delta(j - i)$ 은 delta 함수를 말한다. 식 (2-3)은 시간  $t$ 에서의 평균 데이터 율은 시간  $(t-1)$ 에서의 평균 데이터 율을 99.9% 취하고 0.1%의 값을 현재의 요구 데이터 율을 더해서 구해짐을 의미한다. 이 때 이전 슬롯에서 서비스되었던 사용자는  $\delta(j - i)$ 가 1이 되어서 값이 증가하고 이로 인해 전체 우선순위가 감소하게 된다. 따라서 fairness한 스케줄링이 가능하다.

Proportional Fairness 알고리즘은 우선순위 함수에서 오직 채널의 상태만을 고려하기 때문에 비실시간 사용자에게 알맞은 스케줄링 방식이다. 하지만, 이 방식은 total throughput이 현저하게 낮다. 그러나, 모든 유저에게 공정하게 서비스 할 수 있다는 이유로 현재 1xEV-DO에서 비실시간 데이터를 위한 스케줄링에 사용되고 있다.

### 3. 제안된 1x EV-DO 채널 스케줄링 알고리즘

Proportional Fairness 알고리즘이 모든 유저에게 fairness를 제공하지만, Max C/I에 비해 total throughput이 현저하게 낮다는 것을 감안해, 이 두 가지 방식을 hybrid방식으로 병합해서 사용했다. 셀의 edge 부분은 다른 셀에 있는 유저에 의한 간섭과 기지국으로부터의 원거리로 채널의 상태가 나쁘게 된다. 다음 그림과 같은 방법을 사용하면 모든 유저에게 서비스를 제공하면서 total throughput은 최대화 시킬 수 있다.

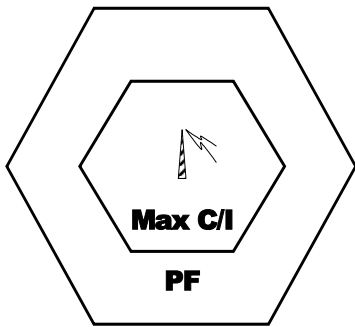


그림 3-1 제안된 스케줄링 알고리즘

셀 반경을 1이라고 두었다. 기지국에서 가까운 반경에는 채널의 환경이 좋은 유저에게 더 많은 자원을 할당하는 Max C/I방식으로 스케줄링을 하고, 셀의 edge 부근의 유저들에게는 Proportional Fairness 알고리즘을 사용해 스케줄링을 한다. 이렇게 하면, 서비스가 제외되는 유저 없이 모든 유저가 적절히 fair하면서 total throughput은 향상 시킬 수 있다.

### 4. 시뮬레이션 환경

CDMA 1xEV-DO 시스템에서의 채널 스케줄러의 성능을 연구하기 위해서 비실시간 서비스 사용자를 위한 스케줄러로 Max C/I와 PF 알고리즘을 시뮬레이션 하고, 두 알고리즘의 단점을 개선한 제안된 방식을 구현하였다. 시뮬레이션 프로그램으로는 C++ 컴파일러가 사용되었다.

중심 셀과 주변 셀이 있는 7개의 셀 환경을 고려했고, mobile user 10명이 중심 셀에 위치해 있을 경우 중심 셀에서의 비실시간 데이터의 스케줄링을 구현했다.

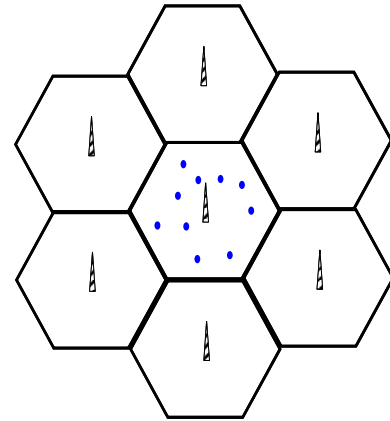


그림 4-2 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 순서도는 다음과 같다.

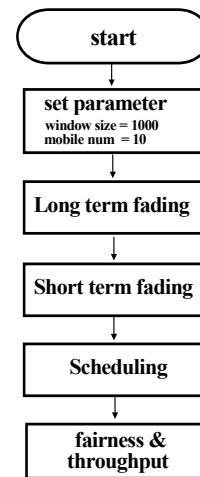


그림 4-1 순서도

mobile의 위치를 고정 시키고, Long term fading과 Short term fading을 사용해 경로 손실을 계산한다. 이를 가지고, 채널 사용자들에게 서비스제공 여부를 결정한다.

Long term fading으로는 path Loss를 사용하였다. path loss 모델은 식 (4-1)을 사용하였다.[4]

$$G [dB] = \begin{cases} -127 - 25 \log_{10}(r/R) & \text{for } r \leq R \\ -127 - 35 \log_{10}(r/R) & \text{for } R < r \leq 3R \\ -105.5 - 80 \log_{10}(r/R) & \text{for } r > 3R \end{cases}$$

식 (4-1)

이 모델은 많은 빌딩이 있는 환경을 고려한 곳에 가장 많이 사용된다.

Short term fading은 레일레이 랜덤 변수로 모델링을 하였다.

$$p(t) = \frac{1}{2}[\delta(t-\tau) + \delta(t+\tau)] \quad \text{식 (4-2)}$$

5. 결과 고찰

시뮬레이션에서는 150000타임을 10명의 유저에게 할당했다. 그림 (5-1)에서 볼 수 있듯이 Max C/I 알고리즘은 채널 환경이 좋은 user3과 user7에게 대부분의 time이 할당되었고, edge 부근에 있는 user4, user8, user10은 서비스를 거의 받지 못하고 있다. 하지만, PF나 Hybrid 방식은 모든 유저에게 완벽하게 fair한 것은 아니지만, time 서비스가 고르게 되고 있음을 볼 수 있다. 여기서 PF가 더 fair하기 위해선 더 많은 time slot을 할당해 시뮬레이션 하면 확률적으로 더 fair한 결과가 나온다.

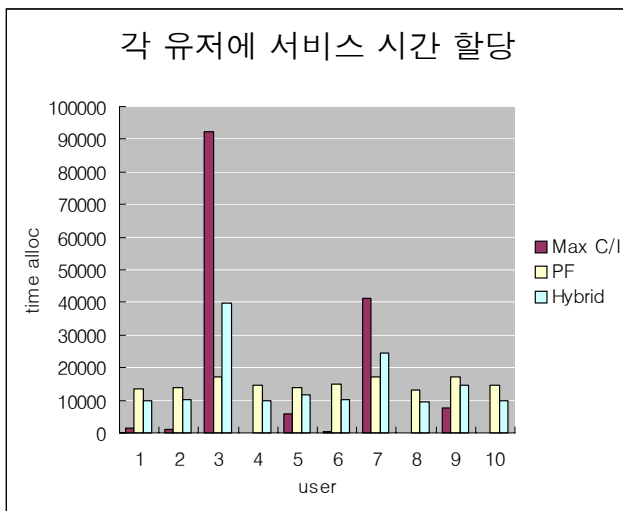


그림 (5-1) 스케줄링 알고리즘의 time 할당

표 (5-1)은 각 유저에서의 average throughput을 나타낸다. Max C/I인 경우엔 총 수율은 우수하다. 하지만, 채널 환경이 좋은 유저에게 throughput이 편중 되어 사용하지 않고, 현재 PF알고리즘이 사용되고 있는데, 이것은 모든 유저에게 fairness를 제공하지만, total throughput이 현저하게 나쁘다. 그러나, 이 논문에서 제시한 Hybrid 방식은 모든 유저에게 적절한 서비스 타임과 throughput을 할당하면서, total throughput을 향상 시킬 수 있다. 표에서 나타나듯이 Proportional Fairness 알고리즘은 29%의 throughput을 나타내지만, Max C/I와 Proportional Fairness의 Hybrid 방식은 32%의 수율을 나타낸다. 이 논문의 시뮬레이션 환경에서 3%의 throughput이 향상되었음을 알 수 있다.

User	Max C/I	PF	Hybrid
1	22.2	140.4	106.2
2	19.0	139.8	103.7
3	1511.7	282.9	650.3
4	1.4	126.0	84.9
5	93.3	219.9	185.4
6	3.3	138.2	94.4
7	676.5	283.2	401.7
8	0.1	106.3	75.5
9	127.1	283.2	237.6
10	0.0	138.6	94.4
총 평균 수율	2454.7	1858.7	2034.2

표(5-1) 각 user의 average throughput (단위:kpbs)

6. 향후 연구 방향

이 논문에서 셀의 반경을 반으로 나누어 시뮬레이션을 수행했다. 하지만, 실제 셀에서는 interference를 고려해서 다른셀의 user가 미치는 영향으로 채널 환경이 바뀌는데 수학적 analysis를 통해 적절한 셀 경계를 찾을 것이다.

참고문헌

[1] Holma, Toskala, "WCDMA for UMTS"  
 [2] 1xEV IS-856 TIA/EIA Standard, "Airlink Overview," Qualcomm Inc. May 11,2001 Revision 7.1  
 [3] Sanjay Shakkottai, Alexander L. Stolyar, "Scheduling Algorithms for a Mixture of Real-Time and Non-Real-Time Data in HDR," Bell Labs, Lucent Tech.  
 [4] "CDMA 시스템에서의 전송 빔 성형 및 전력 제어와 킴바인 방식에 따른 성능." 연세대학교. 전기전자공학과. 김대현.  
 [5] A. Jalali, R. Padovani, R. Pankaj. "Data Throuput of CDMA-HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System"  
 [6] P. Bender, P. Black, M. Grob, R. Padovani, N. Sindhushayana, A. Viterbi, Qualcomm, Incorporated. "CDMA/HDR : A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users"  
 [7] 박찬원, 이종훈, 마동철, 김동구. ■■Comparison of Water-Filling Algorithm and Max C/I Alogorithm for AMC/TDM/CDM System"