

# AMC/TDM 무선 데이터 통신에서의 성능보장형 채널스케줄러

정회원 이종훈\*, 김동구\*

## Performance-based Channel Scheduler for AMC/TDM Wireless Network System

Jong Hun Rhee\*, Dong Ku Kim\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 이동 접속망에서 발생하는 지연시간을 줄이기 위해 AMC/TDM 무선 데이터 통신에 적합한 새로운 스케줄러 알고리즘을 제안하였다. 새로이 제안된 알고리즘은 비례공정(Proportional Fairness) 알고리즘과 M-LWDF(Modified Largest Weighted Delay First) 알고리즘에 기초를 하면서, Xin Liu에 의해 제안된 최소성능보장 알고리즘의 개념을 응용하여 제안되었다. 제안된 알고리즘은 best-effort 서비스뿐만 아니라, QoS 보장서비스에도 적용 가능한 알고리즘으로, 모의실험결과 본 논문에 의해 새로이 제안된 알고리즘을 적용하였을 경우 기존의 비례공정알고리즘이나, M-LWDF알고리즘이 비해 각각 최대 11.5%와 9%의 전송 지연시간을 줄일 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, new channel scheduling algorithms which reduce transmission delay caused by wireless network are proposed in AMC/TDM wireless data communication. The concept of the proposed algorithms is based on the proportional fairness, M-LWDF, and performance-guaranteeing algorithm proposed by Xin Liu. The proposed algorithm can be applied to QoS guaranteeing services as well as best-effort services. Simulation results show that new algorithm reduced transmission delay upto 11.5% in case of proportional fairness algorithm and also decreased transmission delay upto 9% in case of M-LWDF algorithm.

### 1. 서론

음성 서비스와 같은 실시간 서비스에 비해 비실시간 데이터 서비스는 상대적으로 전송 지연시간의 허용범위가 넓다. 이와 같은 경우 간섭을 내재할 수밖에 없는 코드분할다중방식보다는 AMC(adaptive modulation and coding) 방식을 지닌 시분할다중방식(AMC/TDM)이 더 좋은 용량을 나타내게 된다. 퀄컴사에 의해 제안된 HDR시스템은 이러한 추세를 반영한 것이다. 이러한 서비스의 목표는 웹서핑, 이메일 서비스와 같은 비실시간 서비스이다. 따라서

성능의 가장 중요한 척도는 수율이 된다. 그러나, 기지국의 수율만을 극대화한다면, 각 사용자들간의 수율 불균형이 초래되므로, 이를 기본적으로 해결하고자 한 스케줄링 방식이 비례공정알고리즘이다. 이에 비해 AMC/TDM방식의 무선 데이터 통신에서 시간지연을 줄이므로써 QoS 보장 서비스를 가능케 하고자 만들어진 스케줄러 방식이 루슨트사에 의해 제안된 M-LWDF이다. M-LWDF 알고리즘은 throughput optimal이라는 요건을 충족시켜줌으로써 보다 기지국의 버퍼의 안정성(stability)을 도모하고 있다. M-LWDF알고리즘은 토큰 큐(token queue)라

\* 연세대학교 전기전자공학과 이동통신 연구실(lastime@yonsei.ac.kr)

논문번호 : 010374-1205, 접수일자 : 2001년 12월 5일

※본 연구는 퀄컴의 지원을 받아 QYCR(L(Qualcomm Yonsei CDMA Research Lab.)에서 수행된 결과임.

는 가상의 큐를 뒀으로써 각 사용자들의 최소수율을 보장하여준다. 따라서, 이 경우에 AMC/TDM 시스템에 있어서도 전송지연시간의 중요성이 대두된다.

비례공정알고리즘이나 M-LWDF와 같은 스케줄러들은 실질적인 알고리즘으로, 계산량이 많지 않고 비교적 우수한 성능을 보여준다. 이와는 달리 Xin Liu에 의해 제안된 알고리즘은 계산량이 많지만, 시스템의 수율 최대화에 대해 언급하고 있다. 그의 연구 결과에 따르면, 각 사용자들에게 서비스 시간을 정해진 경우와, 각 사용자들에게 보장되어야 할 수율을 정해진 경우의 스케줄링 방식이 다름을 보여준다. 본 논문에서는 이러한 이론을 토대로 기존의 비례공정알고리즘과 M-LWDF알고리즘을 개선하여 시스템의 수율의 증대를 도모하고 이로부터 전송지연시간을 줄일 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 따라서 본 논문에서는 전송지연시간의 최소화 문제에 초점을 둔다.

본 논문의 순서는 2장에서 HDR 시스템을 토대로 AMC/TDM 방식을 설명하고, 3장에서 Xin Liu에 의해 제안된 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 비례공정알고리즘과 M-LWDF알고리즘을 보인 후, 5장에서 앞 장의 이론들을 토대로 새로운 알고리즘을 제시한다. 6장에서 모의 실험결과를 보임으로써 그 성능을 입증하고, 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

## II. AMC/TDM 시스템

무선 채널을 시분할로 공유하는 시스템에서는 무선 채널의 특성을 고려하여 용량을 최대화 하고자 AMC(Adaptive Modulation and Coding)방식을 적용하고 있다. 표 1은 AMC의 한 예로 HDR(혹은 1xEV-DO)에서 사용되는 수치이다. 본 논문에서는 실제 데이터전송속도를  $2^i \times 9.6$  kbps로 가정한다<sup>11)</sup>. 여기서  $i$ 는 표 1의 class id 값에 해당한다.

코드분할다중접속방식에서 사용자들의 전력제어가 중요시 되었다면, AMC/TDM방식에서는 각 사용자들의 수신 신호대잡음비(SINR)의 측정이 중요하게 되었다. AMC/TDM방식에서는 각 기지국들이 최대 전력으로 신호를 전송하게 된다. 따라서 각 이동국들은 수신 SINR 값을 토대로 기지국에 송신 변조방식과 코딩 방식을 기지국에 알려주게 된다. 결국 각 사용자들은 변조방식과 코딩방식에 따라서 서로 다른 전송속도를 갖게 되며, 이는 시간의 함수가

표 1. HDR 시스템의 채널 상태에 따른 전송속도

| class id | 채널전송속도 (kbps) | SIRN[dB] | 패킷길이 (bits) |
|----------|---------------|----------|-------------|
| 1        | 38.4          | -12.5    | 1204        |
| 2        | 76.8          | -9.5     | 1204        |
| 3        | 153.6         | -6.5     | 1204        |
| 4        | 307.2         | -4.0     | 1204        |
| 5        | 614.4         | -1.0     | 1204        |
| 6        | 921.6         | 1.3      | 3072        |
| 7        | 1228.8        | 3.0      | 2048        |
| 8        | 1843.2        | 7.2      | 3072        |
| 9        | 2457.7        | 9.5      | 4096        |

된다. 따라서, AMC/TDM 방식은 기존의 유선망에서의 스케줄러와 또 다른 문제를 가지고 있다. 즉, 유선망의 경우 한 서버가 전송할 수 있는 최대 속도는 시간에 관계없이 일정한 값을 지니게 되나, AMC/TDM과 같은 무선망의 경우 기지국의 전송 최대 속도는 시간과 평균채널상태를 의미하는 이동국들의 위치에 의해 결정된다. 따라서 AMC/TDM 방식은 사용자들에게 공정하게 서비스를 제공하여야 하는 일반적인 스케줄러의 문제와 적절한 시간에 사용자들을 서비스해줌으로써 시스템의 용량을 증대해야 한다 라는 두 가지 상반된 개념을 수용하여야 한다. AMC/TDM방식의 스케줄러는 이러한 요구를 충족하기 위해 각 사용자들의 채널상태가 반영되어야 하고, 이를 구분 짓기 위해 본 논문에서는 채널 스케줄러라는 이름을 사용한다.

다음의 3, 4장에서, 채널스케줄러에 있어 핵심이 되는 공정성과 채널의 활용성을 다루는 방법에 대해 심층적으로 분석하여 본다.

## III. 최적의 채널스케줄링 방법

본 장에서는 Xin Liu에 의해 제안된 채널스케줄링의 개념을 분석한다. 그에 의해 제안된 알고리즘은 크게 시간보장형(Resource-Based Fairness)알고리즘과 성능보장형(Performance-Based Fairness) 알고리즘으로 나뉜다. 시간보장형 알고리즘에서의 제약 조건은 각 사용자들이 서비스 받는 시간의 비율이 정해져 있을 경우에 수율의 최적화방안을 제시하고 있으며, 성능보장형 알고리즘에서는 각 사용자들이 요구하는 최소의 수율값이 정해져 있을 경우에 전체 수율의 합을 최적화하는 방안을 제시한다. 알고리즘의 이해의 편의를 위해 본 논문에서는 기

호를 다음과 같이 재정의한다.

사용자  $i$ 의 슬롯  $n$ 에서의 데이터 전송속도를  $C_i[n]$ 이라고 표기한다. 따라서  $n$ 번째 슬롯에서의 전송속도 벡터  $C[n]$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$C[n] = [C_1[n], C_2[n], \dots, C_I[n]] \quad (1)$$

이때,  $I$ 는 전체 사용자 수를 의미하며, 매 슬롯에서의 전송속도는 상수라고 가정되었다. 채널스케줄러는 매 슬롯마다 전송속도 벡터  $C[n]$ 을 고려함으로써 수행되므로, 이를  $Q(C[n])$ 으로 표기하며, 이는 슬롯  $n$ 에서 서비스되는 사용자들을 의미하게 된다. 수식의 편의를 위해 이를  $Q[n]$ 과 혼용한다.

Xin Liu에 의해 제시된 두 방식의 알고리즘 및 개념은 다음과 같다.

#### 1. 시간보장형(Resource-Based Fairness) 알고리즘

각 사용자들이 요구하는 서비스 시간비율이  $r_i$ 이고 이때  $\sum_{i=1}^I r_i = 1$ 인 경우, 다음의 채널스케줄러  $Q_r$ 는 사용자들의 수율의 합을 최대화시킨다.

$$Q_r[n] = \arg \max_i (C_i[n] + \alpha_i) \quad (2)$$

이때,  $\alpha_i$ 는 각 사용자들의 서비스 시간비율을 만족하도록 선택된다. 이  $\alpha_i$  값은 매 슬롯마다 이제까지의 채널상태를 고려하여 값을 계산해주어야 한다. 이에 대한 자세한 언급은 논문 [2]에 나와 있다. 채널상태가 안정된 경우에도 사용자의 숫자가 많아짐에 따라  $\alpha_i$  값을 찾아내기 위해서는 많은 시행착오를 거쳐야 한다. 따라서 채널상태가 끊임없이 변화하는 무선채널환경에서  $\alpha_i$  값을 빠른 시간 안에 정확히 계산한다는 것은 쉽지 않다. 그러나, 이러한 알고리즘은 채널의 상태를 고려하였기 때문에 단순한 순차적 선택방법(Round-Robin Scheduler)에 비해 우수한 성능을 나타낸다<sup>[2]</sup>.

#### 2. 성능보장형(Performance-Based Fairness) 알고리즘

각 사용자들이 요구하는 최소한의 서비스 수율 값이  $c_i$ 이고 이때,  $c = [c_1, c_2, \dots, c_I]$ 가 시스템에 의해 제공될 수 있는(feasible) 값이라고 할 때, 다음의 채널스케줄러  $Q_c$ 는 사용자들의 수율의 합을 최대화시킨다.

$$Q_c[n] = \arg \max_i (C_i[n] \cdot \alpha_i) \quad (3)$$

이때,  $\alpha_i$ 는 각 사용자들의 수율 조건을 만족하도록 선택되어 진다. 이 방법의 알고리즘 역시 시간보장형 알고리즘과 같은  $\alpha_i$ 의 해를 찾아내는데 있어 쉽지 않은 문제를 지닌다. 이 역시 그 성능은 순차적 선택방법에 비해 우수한 성능을 보인다<sup>[3]</sup>.

### IV. 비례공정 알고리즘과 M-LWDF 알고리즘 비교

비례공정알고리즘은 채널의 정보만을 사용하는 반면에 M-LWDF알고리즘의 경우 기지국에서 각 사용자 패킷의 시간지연을 이용함으로써 수율 최적화(throughput optimal)한 성능을 보이고 있다. 수율 최적화라는 것은 [4]에서 언급된 바와 같이 각 사용자들의 큐가 항상 안정화되어 있음을 의미한다. 수율 최적화가 이루어지지 않았다는 것은 잘못된 채널스케줄러에 의해 어느 사용자가 서비스를 필요 이하로 적게 받음으로써, 그 사용자의 버퍼가 넘쳐 버리게(overflow) 됨을 의미한다. 따라서 수율 최적화와 수율값의 최대화(Maximization)는 서로 별개의 의미이므로 주의하여야 한다. 각 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다.

#### 1. 비례공정알고리즘(Proportional Fairness Algorithm)

비례공정 알고리즘을  $Q_p$ 라고 하면,

$$Q_p[n] = \arg \max_i (C_i / R_i[n]) \quad (4)$$

와 같다. 이때,

$$R_i[n] = (1 - \alpha) \cdot R_i[n-1] + \alpha \cdot C_i[n] \cdot \delta[Q_p[n] - i] \quad (5)$$

이다.  $\delta[\cdot]$ 는 dirac-delta 함수이며,  $\alpha$  값은 한 사용자가 최대한 서비스를 받지 못하는 슬롯의 길이의 역수를 의미하는 값으로서 0.001 정도의 값을 갖게 된다<sup>[5]</sup>. 위의 알고리즘은 좋은 스케줄링 시간(Good Scheduling Time)을 유도하는 것으로, 각 사용자들의 채널상태를 평균데이터 전송속도로서 정규화 시켜줌으로써, 모든 사용자들이 위치에 상관없이 고른 시간대로 서비스를 받게 해주도록 한다. 다음의 최대 C/I (Carrier-to-interference ratio) 알고리즘

( $Q_i$ )과 비교해 보면 이를 쉽게 알 수 있다.

$$Q_i[n] = \arg \max_i C_i[n] \quad (6)$$

최대  $C/I$  알고리즘은 매 슬롯마다 가장 좋은 채널 상태의 사용자를 서비스 함으로써 최대의 수율을 기대할 수 있다. 그러나, 이 알고리즘은 상대적으로 기지국으로부터 가까운 이동국에게 서비스가 치중되어 공정성(Fairness)을 잃게 되므로, 실제 알고리즘으로써 적용되기 힘들다.

## 2. M-LWDF 알고리즘(Modified Largest Weighted Delay First Algorithm)

채널스케줄러 M-LWDF 알고리즘은 유선망에서의 스케줄러 LWDF를 변형함으로써 완성되었다. LWDF 알고리즘의 기본 개념은 각 사용자들의 패킷 중에서 가장 시간지연이 많이 된 사용자의 패킷을 먼저 서비스해줌으로써 전체 큐의 안정성을 도모한다<sup>[1]</sup>. M-LWDF 알고리즘은 사용자들의 채널정보를 스케줄러에 응용함으로써 만들어진 채널스케줄러로서, 그 내용은 다음과 같다<sup>[4]</sup>.

$$Q_m[n] = \arg \max_i (\gamma_i \cdot C_i[n] \cdot W_i[n]) \quad (7)$$

여기서,

$$\gamma_i = \frac{a_i}{\bar{C}_i}, \quad a_i = \frac{-\log \delta_i}{T_i} \quad (8)$$

이다. 계수  $a_i$ 는, 각 사용자  $i$ 의 실제 시간지연값  $W_i$ 가 최대허용시간지연  $T_i$ 보다 클 확률이  $\delta_i$ 보다 작거나 같은 조건( $\Pr(W_i > T_i) \leq \delta_i$ )을 유지시키도록 얻어진 값이다<sup>[4]</sup>. 채널스케줄러의 계수  $\gamma_i$ 는  $a_i$ 를 각 사용자들의 채널의 평균값인  $\bar{C}_i$ 로 정규화하였다. (7)에서와 같이, M-LWDF 알고리즘은 각 사용자들의 패킷전송지연  $W_i$ 에 채널정보  $C_i$ 를 곱함으로써 얻어졌으며, 이는 수율최적화를 만족함이 증명되었다<sup>[6]</sup>. 또한 M-LWDF는 [1], [6]등의 모의실험결과에서 보여주듯이 비례공정알고리즘에 비해 시간지연을 줄였다는 면에서 그 우수성을 알 수 있다. 모든 사용자의 시간지연 요구조건이 동일할 경우 (7)은 다음과 같이 재정의 된다.

$$Q_m[n] = \arg \max_i (W_i[n] \cdot C_i[n] / \bar{C}_i) \quad (7-1)$$

이는 비례공정알고리즘에 패킷전송지연  $W_i$ 가 곱해진 형태와 유사함을 알 수 있다. 본 논문에서는 이와 같이 모든 사용자의 시간 요구조건이 같은 경우에 한해서만 다루도록 한다.

다음 장에서는 이장에서 설명된 비례공정알고리즘 M-LWDF 알고리즘을 앞선 3장에서 보인 Xin Liu의 알고리즘의 연계성을 분석하여 봄으로써 새로운 알고리즘을 제시한다.

## V. 성능보장형 비례공정알고리즘과 M-LWDF 알고리즘(Performance-Based Proportional Fairness Algorithm and M-LWDF Algorithm)

본 논문에서는 성능보장형 비례공정알고리즘(PB-PF) 및 성능보장형 M-LWDF 알고리즘(PB-MLWDF) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 이와 같이 명명하는 데에는 기본적으로 기존의 비례공정알고리즘과 M-LWDF 알고리즘이 시간보장형 알고리즘이라는 것에 기반을 둔다. 샤논(Shannon)의 이론에 따르면 대역폭  $BW$ 에서 채널의 용량  $C$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$C = BW \log_2(1 + SNR) \quad (9)$$

만일 신호대잡음비율,  $SNR$ 이  $\gg 1$ 인 경우,

$$C = \beta \log(SNR) \quad (9-1)$$

과 같이 표현된다. 이때,  $\beta = BW \log 2$ 이다.

따라서, 매우 잘 설계되어 있는 정보량에 근접하는 AMC/TDM 시스템에서의 사용자  $i$ 의  $n$ 번째 슬롯에서의 수율값은 (9-1)과 같이 표현됨을 알 수 있다. 단, 이때  $SNR$ 값은 1보다 커야 한다는 조건을 전제로 한다. (9-1)을 시간보장형 알고리즘 (2)에 대입함으로써 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$\begin{aligned} Q_i[n] &= \arg \max_i (C_i[n] + a_i) \\ &= \arg \max_i (\beta \log(SNR_i[n]) + a_i) \\ &= \arg \max_i \beta \log\left(\frac{SNR_i[n]}{a_i'}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

이때,  $a_i' = e^{-a_i/\beta}$ 이며, 로그함수가 단조증가함수이므로, (10)은 등가적으로 (11)과 같다.

$$Q_i[n] = \arg \max_i \left( \frac{SNR_i[n]}{a_i'} \right), SNR_i[n] \gg 1 \quad (11)$$

따라서, 채널스케줄러  $Q_r$ 은 비례공정알고리즘과 같은 형태를 지님을 알 수 있다. SNR의 전 범위에서의  $Q_r$ 은 다음과 같다.

$$Q_r[n] = \arg \max_i \left( \frac{1 + SNR_i[n]}{a_i'} \right) \quad (11-1)$$

같은 방법으로 성능보장형 알고리즘은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Q_e[n] &= \arg \max_i (\beta \log(SNR_i[n]) \cdot a_i) \\ &= \arg \max_i (\beta \log(SNR_i[n]) \cdot \log a_i''), \end{aligned} \quad (12)$$

$SNR_i[n] \gg 1$

이때,  $a_i'' = e^{a_i}$ 이다. (11)과 (12)의 결과로부터 본 논문에서 제시되는 새로운 형태의 채널스케줄러인 PB-PF( $Q_{pp}$ )와 PB-MLWDF( $Q_{pm}$ )는 (4)와 (7-1)을 토대로 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} Q_{pp}[n] & \\ &= \arg \max_i (\log C_i[n] / \log R_i[n]) \end{aligned} \quad (13)$$

표 2. 레일레이 채널 환경하에서의 각 이동국의 평균 전송속도

| 사용자 | 평균전송속도 (kbps) | 사용자 | 평균전송속도 (kbps) |
|-----|---------------|-----|---------------|
| 1   | 398.8         | 8   | 241.6         |
| 2   | 397.1         | 9   | 232.8         |
| 3   | 397.1         | 10  | 220.2         |
| 4   | 384.9         | 11  | 191.3         |
| 5   | 360.9         | 12  | 154.8         |
| 6   | 342.1         | 13  | 150.8         |
| 7   | 276.2         | 14  | 137.8         |

$$\begin{aligned} Q_{pm}[n] & \\ &= \arg \max_i (W_i[n] + \log C_i[n] / \log \overline{C}_i) \end{aligned} \quad (14)$$

위의 두 알고리즘은 각 사용자들의 시간점유비율보다는 각 사용자들의 수율점유값이 보다 중요하다는 이론을 토대로 만들어진 것이다. 따라서 (11)과 (12)의 내용과 (13), (14)의 내용은 정확히 비교될 수 없다. 단지, (11)과 (12)의 증명과정을 통해서 얻을 수 있는 개념을 도입한 것이다. 이에 대한 증명과정은 [2]에 제시되었다. AMC/TDM방식의 무선 데이터 통신에서 시간점유비율보다 실제 각 사용자

가 얻게 되는 수율값이 중요하므로 PB-PF 알고리즘과 PB-MLWDF 알고리즘의 성능이 기존의 비례공정알고리즘과 M-LWDF알고리즘보다 우수할 것이라는 것이 예측된다. 다음 장에서는 이 알고리즘들의 성능을 모의실험과정을 통해 비교 분석함으로써 제안된 알고리즘의 우수성을 보인다.

## VI. 모의실험환경 및 결과

AMC/TDM 방식의 시스템에서 한 기지국내에 14명의 사용자가 있는 경우에 대해 성능을 비교 분석한다. 각 사용자들의 성능은 전송지연시간에 의해 측정되며 다음과 같이 정의된다<sup>[1]</sup>.

$$\Pr(Delay_i > x) \quad (15)$$

$Delay_i$ 는 실험과정을 통해 얻게 되는 사용자  $i$ 의 전송지연시간이며,  $x$ 는 주어진 값으로 앞으로 보일 결과그래프의 X축에 해당한다. 따라서 (15)가 의미하는 바는 주어진 전송지연시간에 따른 사용자  $i$ 의 전송지연시간 outage확률이 된다.

각 사용자들은 동일한 트래픽 모델을 사용하였으며, 패킷 길이 1024bits인 평균전송속도 36.8kbps의 베르누리(Bernoulli) 과정을 적용하였다. 이 전송속도는 표 2에 주어진 채널 상황하에서 제공될 수 있는(feasible) 값이다.

평균전송속도 모델은 [1]을 참고하였으며, 각 사용자의 채널상황은 다음과 같이 레일레이 모델을 사용하였다.

$$CIR_i[n] = \overline{CIR}_i \cdot stf_i[n] \quad (16)$$

모든 사용자의  $stf_i$ 의 제공평균값은 1로 정규화되어 있으며, 16.67Hz의 도플러 필터를 통과하였다.  $\overline{CIR}$ 은 각 사용자의 평균 신호대간섭비로서, 표 2의 평균 전송속도를 결정한다. 표 2의 전송속도는 모든 서비스 시간이 한명의 사용자에게 주어졌을 때의 속도이다. 따라서 채널스케줄러에 의해 제공되는 평균 전송속도는 표 2의 값들의 평균보다 크게 된다. 이는 채널스케줄러가 채널환경이 상대적으로 좋은 시간(Good Scheduling Time)을 선택하기 때문이다. 채널스케줄링의 단위인 각 슬롯의 길이는 1xEV-DO의 규격과 같은 1.667msec으로 가정되었다.

그림 1은 비례공정알고리즘(PF), M-LWDF알고리즘과 (13), (14)에 제안된 PB-PF, PB-MLWDF알고

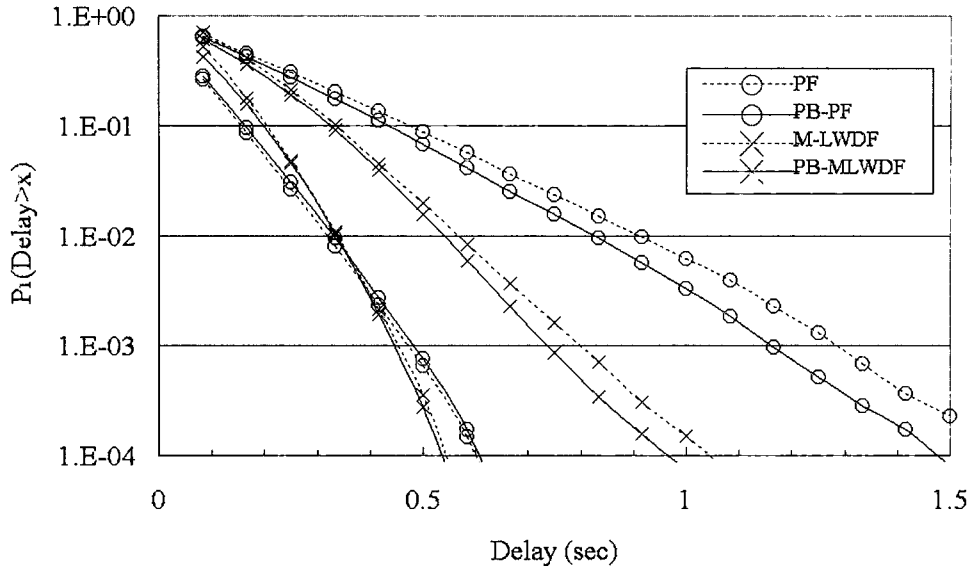


그림 1. 알고리즘별 평균전송지연시간의 아웃티지 확률 비교

리즘의 전송 지연시간 아웃티지 (outage) 확률 성능 비교를 보인다. 각 알고리즘은 14명의 사용자중 성능이 가장 좋은 사용자와 성능이 가장 나쁜 사용자만을 보여줌으로써 비교를 용이하게 하였다.

그림 1의 사용자의 평균전송지연시간이 X축의 값보다 클 확률을 보여주고 있다. 실선은 본 논문에서 제안된 알고리즘의 성능이며, 점선은 기존의 알고리즘의 성능이다. 같은 그래프의 경우, 같은 Delay값에 대해 아웃티지 확률이 적은 그래프가 성능이 좋은 사용자의 경우이다. 성능이 좋은 사용자의 경우 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘간의 성능 차이는 거의 없음을 알 수 있다. 그러나, 성능이 나쁜 즉, 표 2에서 평균전송속도가 가장 낮은 사용자 14의 경우 성능차가 생김을 볼 수 있다. 우선 비례공정알고리즘의 경우 기존의 알고리즘인 PF는 전송지연시간이 약 1.3 초 보다 클 확률이  $10^{-3}$ 인데 비해, 제안된 PB-PF의 경우 약 1.15초 이상인 확률이  $10^{-3}$ 이다. 이는 11.5%의 전송지연시간 단축을 의미한다. M-LWDF알고리즘의 경우 역시 기존의 알고리즘인 M-LWDF는 아웃티지 확률  $10^{-3}$ 에서 약 0.8 초의 값을 보이는데 비해, 제안된 PB-MLWDF는 약 0.73 초의 값을 보여 9% 정도의 전송지연시간을 단축함을 볼 수 있다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 이러한 알고리즘간의 시간차이는 아웃티지 확률이 적어질 수록 그 차이가 크게 난다.

## VII. 결론

본 논문에서는 AMC/TDM 방식의 무선 이동 데이터 통신에 적합한 채널스케줄러를 제안하였다. 새로이 제안된 채널스케줄러는 기존에 잘 알려진 채널스케줄러인 비례공정알고리즘과 M-LWDF 알고리즘의 원리와 Xin Liu에 의해 제시된 수율의 최적화 방안의 원리를 포함한다. 그 결과 주어진 채널과 트래픽 모델에서, 제안된 PB-PF알고리즘은 기존의 비례공정알고리즘에 비해 최대 11.5%의 전송지연시간을 단축하였고, PB-MLWDF알고리즘은 기존의 M-LWDF알고리즘에 비해 최대 9%의 전송지연시간이 단축되었다. 이는 본 논문에 제시된 알고리즘을 HDR(혹은 1xEV-DO)시스템과 같은 AMC/TDM방식에 적용하였을 때 더욱 우수한 성능의 서비스를 제공할 수 있음을 뜻한다. 본 논문에서 제시된 방법의 이론은 비례공정알고리즘과 M-LWDF에만 국한되지 않고, 앞으로 나올 다른 방법의 채널스케줄러에 응용되어 좋은 성능의 알고리즘 개발에 응용될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

[1] Sanjay Shakkottai, Alexander L.Stolyar,

- "Scheduling Algorithms for a Mixture of Real-Time and Non-Real-Time Data in HDR," *17th International Teletraffic Congress (ITC-17)*, Sep. 2001.
- [2] Xin Liu, Edwin K. P. Chong, Ness B. Shroff, "Opportunistic Transmission Scheduling With Resource-Sharing Constraints in Wireless Networks," *IEEE JSAC*, Vol. 19, No. 10, Oct. 2001, pp.2053-2064
- [3] Xin Liu, Edwin K. P. Chong, Ness B. Shroff, "Transmission Scheduling for Efficient Wireless Resource Utilization with Minimum-Performance Guarantees," *VTC 2001 Fall, IEEE VTS 54th*, Vol. 2, 2001, pp.824 -828
- [4] Matthew Andrews 외 4명, "Providing Quality of Service over a Shared Wireless Link," *IEEE Comm. Mag.*, Feb. 2001, pp.150-154
- [5] A. Jalali, R. Padovani, R. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system," *VTC 2000 Spring, IEEE 51st*, Vol. 3, 2000, pp.1854 -1858
- [6] M. Andrews 외 4명, "CDMA Data QoS Scheduling on the Forward Link with Variable Channel Conditions," *Bell Labs Tech. Memo.*, Apr. 2000.

이 종 훈(Jong Hun Rhee) 정회원



1996년 2월 : 연세대학교  
전파공학과(공학사)  
1998년 2월 : 연세대학교  
전파공학과(공학석사)  
1998년~현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정

<주관심 분야> CDMA 이동통신시스템, 채널 스케줄러, 다중사용자 검출

김 동 구(Dong Ku Kim) 정회원



1983년 2월 : 한국항공대학교  
통신공학과(공학사)  
1985년 : U.S.C. Dept. of  
Electrical Engineering  
(공학석사)  
1992년 : U.S.C. Dept. of  
Electrical Engineering  
(공학박사)

1999년~현재 : 연세대학교 공과대학 기계전자공학부  
부교수

<주관심 분야> CDMA 이동통신시스템, 3G/4G 시스템, 오류정정부호