

MMR에서 QoS를 고려한 기회적 패킷 스케줄링 방법

정회원 이강원*, 국강호*, 오동익**

Opportunistic Packet Scheduling Method Considering QoS Requirement in MMR

Kang-Won Lee*, Kwang-Ho Kook*, Dong-Ik Oh** *Regular Members*

요약

본 연구에서는 우선 삼성 전자에서 제시한 MMR에서 기회적 패킷 스케줄링 방법을 분석 하고 시뮬레이션을 통해 효율성을 검증해 보았다. 아울러 제안된 방법 하에서 수율과 공정성 사이의 관계를 조사 하였다. 본 연구의 주된 목적은 MMR에서 사용자의 QoS 요구 조건을 고려한 기회적 패킷 스케줄링 방법을 제안 하는 것이다. 시뮬레이션을 사용하여 제안된 방법의 성능을 i) QoS 를 고려하지 않은 순수한 기회적 패킷 스케줄링 방법의 성능 그리고 ii) QoS 만을 고려하고 기회적 패킷 스케줄링은 활용하지 않는 패킷 스케줄링 방법의 성능과 비교 분석하였다.

Keywords : Opportunistic packet scheduling method, MMR, QoS, Throughput, Fairness

Abstract

We analysed the opportunistic scheduling method in MMR proposed by Samsung Electronic Cooperation and confirmed the efficiency by simulation. We also investigated the relationship between the throughput and fairness under the proposed method. The main objective of this study is to propose an opportunistic packet scheduling method in MMR, which considers the QoS requirement of user. Using the simulation the performance of the proposed method is compared with those of i) pure opportunistic packet scheduling method which doesn't consider QoS requirement and ii) packet scheduling method which only consider the QoS requirement, but does not utilize opportunistic packet scheduling.

I. 서론

무선 채널 상태는 시간에 따라 변하는 특성을 갖고 있다. 특정 순간에 여러 무선 통신 사용자 들은 전파음영(Shadowing), 경로 손실(Path Loss) 그리고 사용자의 이동성(Mobility) 등으로 인해 서로 다른 채널 품질을 갖게 된다. 이러한 채널 상태에서 변동성을 시스템의 전체적인 효율(Throughput)을 증가시키기 위하여 활용할 수 있는데 기본적인 개념은 특정 순간에 가장 좋은 채널 상태를 갖는 사용자들의 패킷

을 전송하는 것이다. 이와 같은 패킷 스케줄링 방법을 기회적 패킷 스케줄링 방법(Opportunistic Packet Scheduling Method)이라 한다. 따라서 기회적 패킷 스케줄링 방법 하에서는 채널상태의 변동이 크면 클수록 이 스케줄링 방식의 이점은 커진다. 이 방법을 이용하여 무선 자원의 효율성을 높이기 위한 여러 연구가 광범위 하게 진행되어 왔다^{1,2,3}.

채널상태가 좋은 사용자들을 선별적으로 골라 전송을 허용 하는 것은 무선자원 사용의 효율성(Efficiency) 과 여러 사용자들의 QoS(Quality of Service) 혹은 공

* 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 (kwlee@snut.ac.kr)

** 한국교통연구원 재직(cyber7511@hanmail.net)

논문번호 : KICS2008-02-111, 접수일자 : 2008년 2월 24일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 25일

평성(Fairness) 사이에 Tradeoff 문제를 야기한다. 예로 기지국에 가까운 사용자들에게만 높은 전송 출력으로 전송을 허용한다면 다른 사용자들의 희생을 감수해야만 한다. 이런 방식으로는 일정수준의 QoS를 원하는 사용자의 요구조건을 충족시켜줄 수 없다. 이 문제를 해결하기 위해서는 시간에 따라 변해나가는 채널 상태를 고려하여 선별적으로 전송기회를 부여함으로써 무선자원 사용의 효율성을 제고시키는 동시에 사용자들의 QoS 요구수준도 적당히 고려되어야 한다. 따라서 QoS나 공평성을 고려한 기회적 스케줄링에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다^{4,5,6}.

최근 삼성전자⁷에서는 MMR(Mobile Multihop Relay) 방식을 사용하는 무선접속 시스템에서 기회적 스케줄링 방법을 제안하였다. 기존의 단일 홉(Single Hop) 방식과 달리 MMR 방식에서는 기지국(Base Station, BS) 혹은 중계기(Relay Station, RS)와 기지국을 이용하는 사용자 단말들 간에 무선자원 사용의 공평성 보장이 중요한 문제다. 삼성전자에서는 단말이 특정 프레임에 데이터의 전송여부에 따라 평균 무선 자원 효율 식을 새롭게 갱신하는 방법을 통해 단말 간 공평성을 보장해주는 방법을 제안하고 있다. 하지만 제안된 방법은 사용자 단말들 간의 무선 채널자원 사용의 공평성 문제만 고려하고 있을 뿐 사용자 단말이 원하는 다양한 QoS 요구 조건은 전혀 고려하지 못하고 있다. MMR에서 QoS를 고려한 기회적 스케줄링 방법은 국내외에서 아직 연구가 이루어지고 있지 않다.

본 연구에서는 MMR 방식을 사용하는 무선 접속 통신 시스템에서 사용자들 간의 공평성과 QoS를 고려한 상향링크의 기회적 패킷 스케줄링 방법을 제안하고자 한다. 서론에 이어 II절에서는 삼성전자에서 제안한 기회적 패킷 스케줄링 방법을 살펴보았다. 시뮬레이션 모형 구축을 통해 각 단말의 평균 무선 자원 효율식을 토대로 단말간의 공평성 문제를 해결하는 과정을 확인 하였다. 아울러 Throughput 과 공평성 사이의 상호 관계도 살펴보았다. III절에서는 공평성과 아울러 사용자가 원하는 QoS 요구조건을 고려한 기회적 패킷 스케줄링 방법을 제안 하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 성능을 검증 하였다. IV절에서는 본 연구의 결론과 추후 연구 방향을 언급하였다.

II. MMR에서 기회적 패킷 스케줄링 방법

본 방법은 삼성 전자⁷에서 제안한 방법으로 상

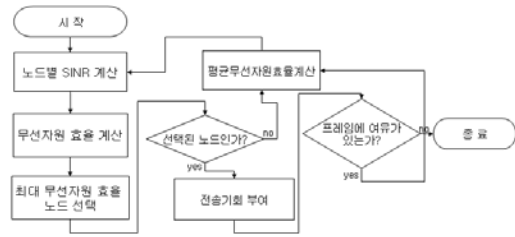


그림 1. 기회적 스케줄링 알고리즘

향링크 시에 기회적 패킷 스케줄링 방법을 다중 홉 릴레이 방식을 사용하는 무선접속 통신 시스템에 적용한 것이다. 그림 1은 삼성전자가 제시한 기회적 스케줄링 방법의 흐름도이다. 본 절에서는 먼저 제안된 방법을 살펴보고 시뮬레이션 과정을 통해 제안된 방법의 효율성을 검증해 보았다.

2.1 기회적 패킷 스케줄링 방법

기회적 패킷 스케줄링의 주요 구성 요소를 살펴보면 다음과 같다.

2.1.1 현재 무선 자원 효율 계산

기지국 스케줄러는 하나의 패킷 프레임에 대한 패킷 스케줄링을 위해 셀 내의 사용자 단말과 중계기가 추정하여 보고하는 채널 상태 정보를 수집한다. 즉, 시간 t 에 셀 내에 전송 할 패킷을 가진 사용자 단말 집합 및 각 링크의 SINR 정보를 수집한다.

이후 기지국 스케줄러는 상기 수집된 각 링크의 SINR에 대응하는 변조 및 코딩체계(Modulation and Coding Scheme: MCS) 수준을 결정한다. 여기서 MCS 수준은 다음 표 1을 이용하여 결정할 수 있다. 다음 표 1은 MCS 수준에 따른 변조(Modulation), 부호율(Code Rate), 부호화된 패킷 크기, 해당 부호화된 패킷을 전송하는데 필요한 부 채널의 개수, 요구 SINR을 나타낸다.

기지국 스케줄러는 기지국과 해당 사용자 단말사이의 데이터 전송이 기지국에서 사용자 단말로 단일 홉을 통해 직접 이루어지는지 혹은 기지국에서 중계기를 거쳐 사용자 단말로 이중 홉 경로를 통해 이루어지는지 여부를 검사한다.

만약 이중 홉 경로를 통해 이루어질 때 기지국 스케줄러는 단말 i 에 대한 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 MCS 수준에 따라 전송 가능한 부호화된 패킷의 크기 $n_i(t)$ 및 해당 패킷을 전송하기 위한 프레임 내에서 필요한 총 부 채널의 개수 $s_i(t)$ 를 결정한다. 여기서 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 MCS 수

준에 따른 부호화된 패킷 크기와 총 부 채널의 수는 다음 표 2와 표 3을 이용하여 결정할 수 있다.

표 1. SINR에 대응하는 MCS 수준

| MCS 레벨 | 변조 | 부호율 | set A | | set B | | 요구 SINR [dB] (Ped-A, 3km/h) |
|--------|--------|------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | | 부호화된 패킷 크기 [bit] | 전송에 필요한 부 채널 개수 | 부호화된 패킷 크기 [bit] | 전송에 필요한 부 채널 개수 | |
| 1 | QPSK | 1/12 | 288 | 36 | 8 | 1 | -3.95 |
| 2 | | 1/6 | 384 | 24 | 16 | 1 | -1.65 |
| 3 | | 1/3 | 480 | 15 | 32 | 1 | 1.5 |
| 4 | | 1/2 | 480 | 10 | 48 | 1 | 4.3 |
| 5 | | 2/3 | 960 | 15 | 64 | 1 | 7.95 |
| 6 | 16 QAM | 1/2 | 960 | 10 | 96 | 1 | 9.3 |
| 7 | | 2/3 | 960 | 8 | 128 | 1 | 13.1 |
| 8 | | 5/8 | 960 | 8 | 144 | 1 | 15.8 |
| 9 | 64 QAM | 2/3 | 960 | 5 | 192 | 1 | 18.45 |
| 10 | QAM | 5/6 | 960 | 4 | 240 | 1 | 24.8 |

기지국과 해당 사용자 단말 사이의 데이터 전송이 기지국에서 사용자 단말로 단일 홉을 통해 직접 이루어질 때 기지국 스케줄러는 단말 i 의 MCS 수준에 따라 전송 가능한 부호화된 패킷의 크기 $n_i(t)$ 및 해당 패킷을 전송하기 위해 프레임 내에서 필요한 총 부 채널의 개수 $s_i(t)$ 를 결정한다. 여기서 단말 i 의 MCS 수준에 따른 부호화된 패킷 크기와 총 부 채널의 수는 위 표 1을 이용하여 결정한다.

이제 기지국 스케줄러는 부호화된 패킷의 크기 $n_i(t)$ 및 총 필요 부 채널의 개수 $s_i(t)$ 를 이용하여 기지국과 단말 i 사이의 무선 자원 효율 $r_i(t)$ 를 다음 식으로 계산한다.

$$r_i(t) = \frac{n_i(t)}{S_i(t)}$$

표 2. 부호화된 패킷 크기

| 첫 번째 홉의 MCS 레벨 \ 두 번째 홉의 MCS 레벨 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|----|----|-----|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 | 13 | 17 | 19 | 25 | 31 |
| 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 13 | 16 |
| 3 | 5 | 3 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 5 | 5.5 | 7 | 8.5 |
| 4 | 7 | 4 | 2.5 | 2 | 2.33 | 3 | 3.66 | 4 | 5 | 6 |
| 5 | 9 | 5 | 3 | 2.33 | 2 | 2.5 | 3 | 3.25 | 4 | 4.75 |
| 6 | 13 | 7 | 4 | 3 | 2.5 | 2 | 2.33 | 2.5 | 3 | 3.5 |
| 7 | 17 | 9 | 5 | 3.66 | 3 | 2.33 | 2 | 2.125 | 2.5 | 2.875 |
| 8 | 19 | 10 | 5.5 | 4 | 3.25 | 2.5 | 2.125 | 2 | 2.33 | 2.66 |
| 9 | 25 | 13 | 7 | 5 | 4 | 3 | 2.5 | 2.33 | 2 | 2.25 |
| 10 | 31 | 16 | 8.5 | 6 | 4.75 | 3.5 | 2.875 | 2.66 | 2.25 | 2 |

표 3. 총 부 채널 수

| 첫 번째 홉의 MCS 레벨 \ 두 번째 홉의 MCS 레벨 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 8 | 16 | 32 | 48 | 64 | 96 | 128 | 144 | 192 | 240 |
| 2 | 16 | 16 | 32 | 48 | 64 | 96 | 128 | 144 | 192 | 240 |
| 3 | 32 | 32 | 32 | 48 | 64 | 96 | 128 | 144 | 192 | 240 |
| 4 | 48 | 48 | 48 | 48 | 64 | 96 | 128 | 144 | 192 | 240 |
| 5 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 96 | 128 | 144 | 192 | 240 |
| 6 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 128 | 144 | 192 | 240 |
| 7 | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 | 144 | 192 | 240 |
| 8 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 192 | 240 |
| 9 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 240 |
| 10 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |

예를 들어 전송할 데이터가 있는 특정 단말의 데이터 전송이 중계기를 거쳐 기지국에 이르는 이중 홉 경로를 통해 이루어진다고 가정하자. 이때 각 링크의 채널상태는 첫 번째 홉 링크의 SINR(dB)은 16이고 두 번째 홉 링크의 SINR(dB)은 5.3이라고 하자. 이 때, 각 홉 링크의 MCS 수준은 표 1을 이용하면 각각 8과 4로 결정된다. 이제 표 2와 표 3을 토대로 첫 번째 홉 링크와 두 번째 홉 링크의 MCS 수준에 따른 부호화된 패킷 크기와 총 부채널 개수는 각각 144와 4.0로 결정된다. 최종적으로 사용자 단말과 기지국 경로의 무선 자원 효율 $r_i(t)$ 는 $144/4.0 = 36.0$ 으로 결정된다.

이제 셀 내에 있는 모든 단말에 대하여 위에서 설명한 방법을 통해 무선 자원 효율 $r_i(t)$ 를 계산한다.

2.1.2 스케줄링 우선순위 결정 지표

특정 시간 t에 셀 내에 속한 모든 단말에 대하여 무선 자원 효율을 토대로 스케줄링을 위한 우선순위 지표를 계산한다. 즉, 우선순위 지표는 사용자 단말별로 평균 무선 자원 효율 대비 현재 무선 자원 효율의 비 $\frac{r_i(t)}{r_i(t)}$ 로 결정되는데 최대 우선순위 지표를 갖는 사용자 단말의 선택은 다음 식으로 결정된다. 다음 식에서 m은 시간 t에 선택된 사용자 단말을 나타낸다.

$$m = \operatorname{argmax} \left(\frac{r_i(t)}{r_i(t)} \right)$$

기지국 스케줄러는 프레임이 가득 찼는지 검사하고 프레임에 여유가 있을 때 선택되지 않은 사용자 단말 중 최대 우선순위 지표를 가지는 사용자를 위 식을 이용하여 다시 결정한다.

2.1.3. 평균 무선 자원 효율

평균 무선 자원 효율은 매 프레임 전송시간마다 갱신되어야 하는데 이는 사용자 단말간 어느 정도 공평성을 기하기 위해 다음 식을 이용한다. 즉, 단말 i가 이번 프레임에서 전송되었다면 평균 무선 자원 효율은 다음 식을 이용하여 갱신한다.

$$\bar{r}_i(t) = \left(1 - \frac{1}{t_c} \right) \bar{r}_i(t-1) + \frac{1}{t_c} r_i(t-1)$$

만약 단말 i가 현 프레임 내에 전송하지 못했다면 $\bar{r}_i(t)$ 는 다음 식으로 갱신된다.

$$\bar{r}_i(t) = \left(1 - \frac{1}{t_c} \right) \bar{r}_i(t-1)$$

위식에서 t_c 는 가중치 상수로 시스템에 따라 적절한 값으로 선택할 수 있다. t_c 값이 작게 되면 전송효율 보다는 사용자 단말 사이의 형평성이 어느 정도 보장되고 반대로 t_c 값이 커지면 형평성보다는 전송효율이 강조된다.

2.2 시뮬레이션 모델

위에서 제안된 방법의 유효성을 검증하기 위하여 ARENA를 이용한 시뮬레이션 모델을 구축하였는데 중요한 구성 요소는 다음과 같다.

2.2.1 MMR 시스템 구성도

본 시뮬레이션을 위하여 다음 그림 2와 같이 기지국과 하나의 중계기로 구성된 시스템을 가정하였다. 셀 반경은 2.5 Km, 기지국의 coverage 반경은 1.2 Km로 설정했다.

2.2.2 링크의 SINR 결정

참고 문헌 [8]에 따르면 Noise는 다음 식으로 예측될 수 있다.

$$N = BW \cdot \frac{4 \times 10^{-12}}{10^9}$$

경로 손실(L(dB))을 위하여 IEEE802.16j에서 제시한 모델 표 4를 사용하였다. 경로손실은 BS와 RS, BS와 MS, RS와 MS간의 경로손실이며, 각각 Type D, Type C, Type E의 경로손실 모델은 적용하였다.

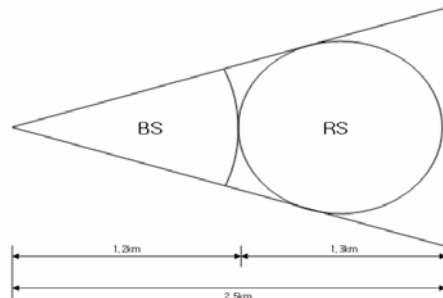


그림 2. MMR 시스템 구성도

표 4. IEEE802.16j에서 제시한 경로손실 모델

| Category | Links | Description | Note |
|----------|-------------------------|---|---|
| Type A | BS-MS | Hilly Terrain with moderate-to heavy tree densities | IEEE 802.16 Type A model |
| Type B | | Intermediate path-loss condition | IEEE 802.16 Type B model |
| Type C | | Flat terrain with light tree densities | IEEE 802.16 Type C model |
| Type D | BS-RS RS-RS | Both node-antennas rooftop | LOS Modified IEEE 802.16 model NL OS |
| Type E | BS-RS RS-RS RS-MS | | Only one node-antenna (BS/RS) above rooftop |
| Type F | RS-RS RS-MS | Both node-antennas (BS/RS) below rooftop | LOS Advanced LOS |
| | | | NL OS Berg/WiNER |
| Type G | RS-RS RS-MS | Indoor Office | NL OS ITU model |

- BS와 MS간 경로 손실 (Type C)

$$PL(dB) = A + 10 \cdot \gamma \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_{it}$$

$d_0 = 100m$ and $d > d_0$

- RS와 MS간 경로 손실 (Type E)

$$PL(dB) = \begin{cases} 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) & \text{for } d \leq d_0 \\ A + 10\gamma\log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_{it} & \text{for } d > d_0 \end{cases}$$

여기서,

$$A = 20\log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$$

$$d_0 = 100m$$

$$d'_0 = d_0 10^{-\left(\frac{\Delta PL_f + \Delta PL_{it}}{10\gamma}\right)}$$

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b}$$

$$\Delta PL_{ht} = \begin{cases} -10.8\log\left(\frac{h_t}{2}\right) & \text{Categories A and B} \\ \left\{ \begin{array}{l} -10\log\left(\frac{h_t}{3}\right) \\ -20\log\left(\frac{h_t}{3}\right) \end{array} \right\} & \text{Category C, } h_t \leq 3 \\ \text{Category C, } h_t > 3 \end{cases}$$

d = distance between base station and terminal

h_b = height of base station

h_t = height of terminal

$a = 3.6$

$b = 0.005$

$c = 20$

- BS와 RS간 경로 손실 (Type D)

$$PL(dB) = \begin{cases} 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) & \text{for } d \leq d_0 \\ A + 10\gamma\log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_{it} & \text{for } d > d_0 \end{cases}$$

여기서,

$$A = 20\log\left(\frac{4\pi d'_0}{\lambda}\right)$$

$$d_0 = 100m$$

$$d'_0 = d_0 10^{-\left(\frac{\Delta PL_f + \Delta PL_{it}}{10\gamma}\right)}$$

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b}$$

$$\Delta PL_{ht} = \begin{cases} -10\log\left(\frac{h_t}{3}\right) & \text{for } d \leq d_0 \\ -20\log\left(\frac{h_t}{3}\right) & \text{for } d > d_0 \end{cases}$$

d = distance between base station and terminal

h_b = height of base station

h_t = height of terminal

$a = 3.6$

$b = 0.005$

$c = 20$

수신 전력 Pr(dBm)은 송신 전력 Pt(dBm)에서 경로 손실을 빼서 구할 수 있다. 즉,

$$Pr(dBm) = Pt - L$$

이제 SINR 값은 수신 전력에서 Noise를 뺀 것으로 결정 할 수 있다.

$$SINR (dB) = Pr - N$$

SINR 값 산출을 위하여 본 연구에서 사용한 parameter 값들은 표 5와 같다.

위 값들을 토대로 계산한 SINR 값을 그림 3, 그림 4, 그림 5에 나타냈다.

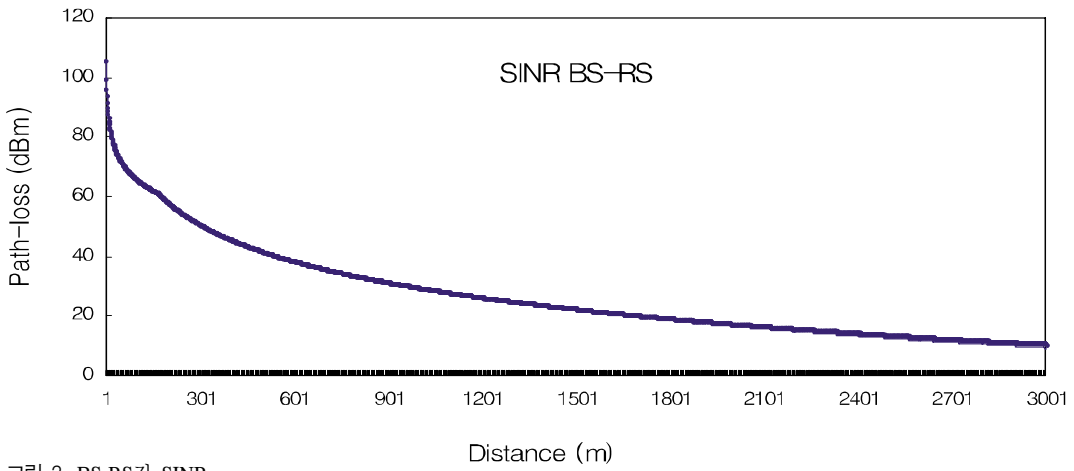


그림 3. BS-RS간 SINR

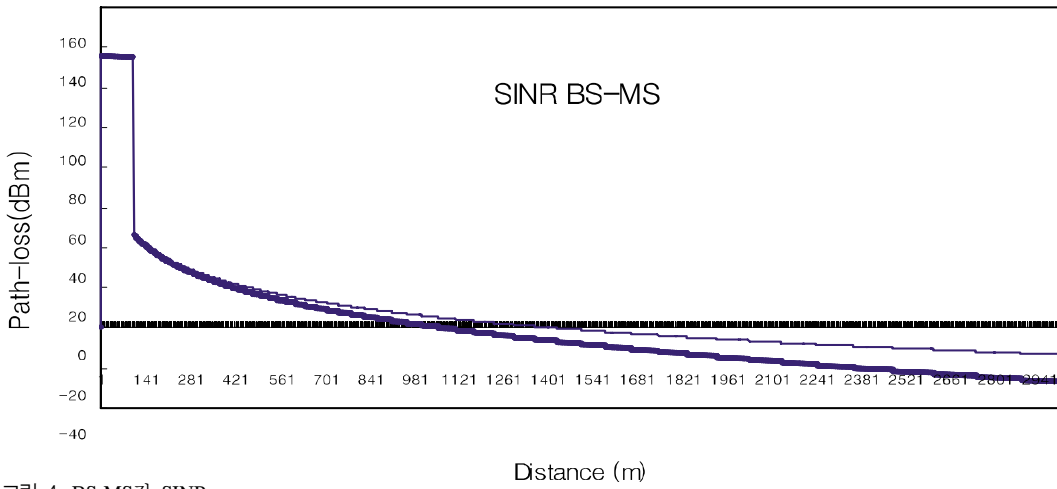


그림 4. BS-MS간 SINR

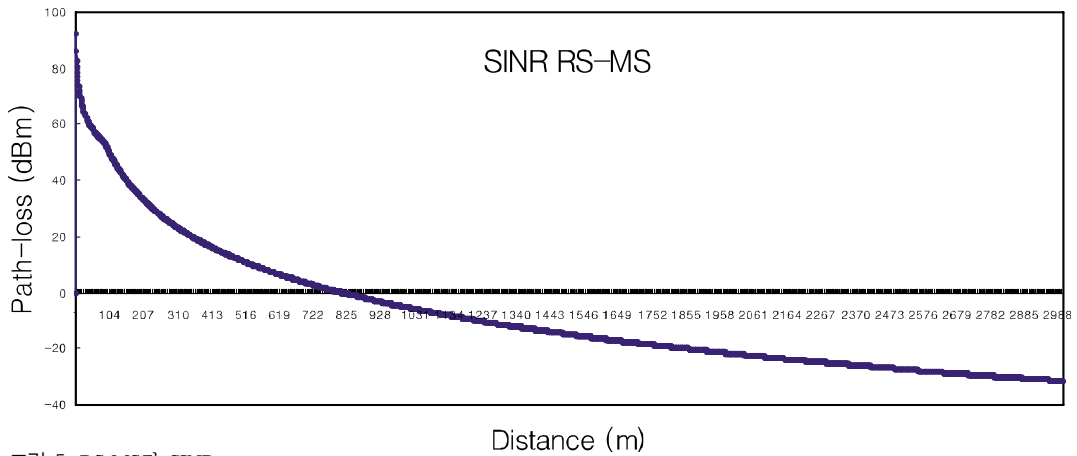


그림 5. RS-MS간 SINR

표 5. SINR 산출을 위한 Parameter 값

| Parameter | 값 |
|-------------------------|-------------|
| Frequency Band (GHz) | 3.5 GHz |
| Channel Bandwidth (MHz) | 20 MHz |
| BS 전송출력 (dbm) | 47.781 dBm |
| RS 전송출력 (dbm) | 44.771 dBm |
| MS 전송출력 (dbm) | 34.771 dBm |
| Noise (dbm) | 100.969 dbm |

2.2.3 입력 트래픽 모델

모든 사용자 단말은 매 프레임마다 전송할 데이터가 있다고 가정하였다.(II절의 QoS를 고려한 기회적 스케줄링에서는 사용자 단말이 전송하는 서비스에 맞는 트래픽 모델을 사용하여 패킷을 발생 하였다.)

2.2.4 차량 이동 모델

본 연구에서 사용한 차량 이동 모델은 다음과 같다. 차량 이동 경로는 길이 20m인 Grid 형태를 가정하였다. 차량은 처음에 임의의 방향으로 (각 방향은 확률 0.25의 값을 갖는다.) 시속 100km로 운행한다. 그 방향으로 운행길이는 평균 길이 100m를 갖는 지수분포를 따른다. 이후 교차점에서 새로운 방향을 설정하는데 그 방향은 다음 그림 6에서 주어진 확률 값을 토대로 결정한다. 이제 차량은 그림 2의 영역을 운행하는데 영역 경계에 부딪치면 반사하는 것으로 가정한다.

2.2.5 성능 평가 지표

제안된 스케줄링 방법의 성능 평가를 위해 다음 지표를 사용하였다.

1) 공평성

이는 사용자 단말별로 시뮬레이션 기간 동안 전송 기회를 부여 받은 횟수에 어느 정도 공평성이 있는지를 나타내는 지표이다. 이를 위해 각 단말별 전송 회수의 표준편차를 사용하였다.

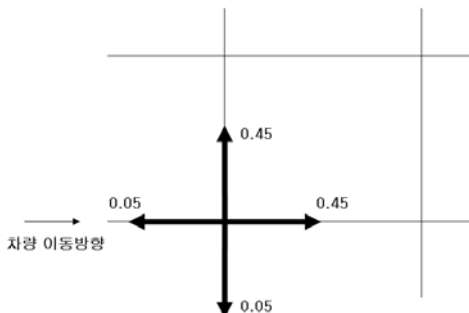


그림 6. 차량 이동 모델

표 6. 시뮬레이션 파라메타

| Parameter | 값 |
|------------------------|----------|
| Frame Duration (ms) | 5 |
| Number OFDM Subchannel | 90 |
| t_c | 100 |
| 가입자 단말 수 | 10 |
| 패킷 크기 | 1000 bit |

2) Throughput

기회적 스케줄링 방법의 기본적 개념은 전송 링크의 상태가 좋은 사용자 단말을 선별적으로 골라 전송 기회를 부여하는 것이다. 이는 주어진 무선자원을 가지고 보다 많은 데이터를 전송 할 수 있으므로 시스템 효율이 증가 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 기간 동안 각 사용자 단말이 시뮬레이션 시간동안 전송한 총 데이터의 양(Bit)으로 Throughput을 정의 하였다.

3) 전송 지연시간

전송 지연시간은 패킷이 도착한 시점부터 전송될 때까지의 시간을 나타낸다.

2.3 시뮬레이션 결과

2.3.1 시뮬레이션 파라메타

본 시뮬레이션을 위하여 가정한 파라메타 값들은 다음 표 6과 같다.

2.3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과를 표 7과 그림 7에 요약 정리하였다. 표 7에서 RR은 단말들에게 Round Robin 방식으로 전송기회를 부여하는 방법이고 W/O Fair는 단말에게 공평성을 보장해주는 보정 없이 전송 효율이 높은 링크를 가진 단말들에게 우선적으로 패킷 전송을 허용해 주는 방식이다.

표 7과 그림 7에서 볼 수 있듯이 RR 하에서는 단말들 간 공평성은 완벽하게 보장 되지만 총 Throughput은 낮게 나타난다. 반대로 W/O Fair 방법 하에서는 Throughput은 높게 나타나지만 단말들 간 공평성은 매우 낮게 나타난다. 한편 t_c 값에 따라서도 다양한 결과를 보여주는데 t_c 값이 작을수록 Throughput 보다는 공평성이 강조되는 결과를 나타내는 반면에 t_c 값이 증가하면 공평성 보다는 Throughput 이 강조되는 결과를 보여준다.

표 7. 시뮬레이션 결과

| | RR | $t_c=10$ | $t_c=100$ | $t_c=200$ | $t_c=500$ | $t_c=1000$ | W/O Fair |
|------------|--------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|
| Throughput | 15,006 | 15,052 | 15,559 | 16,086 | 17,410 | 18,113 | 19,400 |
| STDEV | 0.49 | 3.84 | 41.66 | 84.64 | 228.51 | 453.57 | 1564.22 |
| Node1 | 1,501 | 1,502 | 1,518 | 1,539 | 1,560 | 1,426 | 12 |
| Node2 | 1,501 | 1,509 | 1,608 | 1,720 | 2,051 | 2,464 | 3,847 |
| Node3 | 1,501 | 1,509 | 1,583 | 1,661 | 1,879 | 2,097 | 3,486 |
| Node4 | 1,501 | 1,507 | 1,554 | 1,615 | 1,801 | 1,923 | 3,861 |
| Node5 | 1,501 | 1,505 | 1,557 | 1,603 | 1,688 | 1,661 | 145 |
| Node6 | 1,501 | 1,503 | 1,535 | 1,567 | 1,636 | 1,565 | 210 |
| Node7 | 1,500 | 1,496 | 1,460 | 1,410 | 1,205 | 808 | 175 |
| Node8 | 1,500 | 1,508 | 1,601 | 1,697 | 1,980 | 2,318 | 3,157 |
| Node9 | 1,500 | 1,508 | 1,584 | 1,659 | 1,851 | 2,015 | 2,367 |
| Node10 | 1,500 | 1,505 | 1,559 | 1,615 | 1,759 | 1,836 | 2,140 |

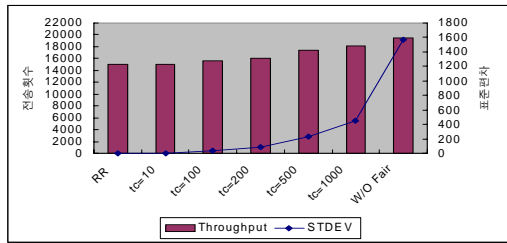


그림 7. 시뮬레이션 결과

III. QoS를 고려한 기회적 스케줄링 방법

본 절에서는 전송 효율뿐만 아니라 사용자 단말이 요구하는 QoS를 어느 정도 만족 시켜줄 수 있는 스케줄링 방법을 제안하였다.

3.1 QoS를 고려한 기회적 스케줄링 방법

3.1.1 QoS를 고려한 기회적 스케줄링

각 사용자 단말은 전송하는 서비스 종류에 따라 서로 다른 QoS 요구 조건을 갖는다. 본 연구에서는 QoS로 패킷 전송 지연시간(Delay Time)을 사용하였다. 패킷의 전송 지연 시간은 패킷의 전송 시간에서 패킷의 도착시간을 뺀 값으로 정의된다. 모두 K개의 서비스 종류가 있다고 가정하자. 이중 첫 번째 종류의 서비스(K = 1)가 패킷 전송 지연 시간에 가장 민감하고 두 번째 종류의 서비스(K = 2)가 그 다음으로 민감하다고 하자. Q(j), j = 1,2,...,K를 j 서비스가 요구하는 패킷 전송 지연 시간의 허용 가능한 임계치 (Threshold) 라하고 D를 실제 패킷의 전송지연 시간이라고 하자. 이제 QoS를 고려한 기회적 스케줄링은 다음 절차를 거쳐 수행된다.

1) 시간 t에 전송할 패킷을 갖고 있는 사용자 단말의 수를 N(t)라 하자. 만약 모든 단말의 패킷 전송 지연 시간 D(i), i = 1,2,..., N(t), 가 사용자 단말이 사용하는 특정 서비스가 요구하는 허용 가능한 임계치 Q(j) 보다 작으면 (각 단말별로 서로 다른 서비스를 이용할 수 있으므로 각 단말은 서로 다른 Q(j) 값을 갖는다) 모든 단말은 I 절에서 제시한 기회적 스케줄링 방법을 사용하여 전송기회를 얻는다.

2) 시간 t에 전송할 패킷을 갖고 있는 단말의 D(i)가 허용가능 임계치 Q(j) 를 초과하는 단말들만을 대상으로 전송 기회를 부여 할 사용자 단말을 선정한다. 우선 K = 1 종류의 서비스를 이용하는 단말들에게 전송기회를 부여하는데 이들 간에 경쟁이 있으면 D(i) 가 큰 단말에게 우선적으로 전송기회를 준다. 이후 프레임에 여유가 있으면 K = 2 종류의 서비스를 이용하는 단말들에게 전송기회를 부여한다. 만약 프레임에 더 이상 여유가 없으면 1 번으로 돌아간다. 이 과정을 K = K*(< K) 종류의 서비스까지 시행 한다. 만약 이때 까지 프레임이 다 채워지지 않으면 남아있는 모든 단말을 대상으로 다시 기회적 스케줄링 방법을 사용하여 전송할 단말을 선정한다.

그림 8에 위 과정의 흐름을 정리 하였다.

3.1.2 서비스 종류 및 패킷 트래픽 발생 모델

본 연구의 서비스 종류는 일단 다음 4가지 종류를 가정하였다.

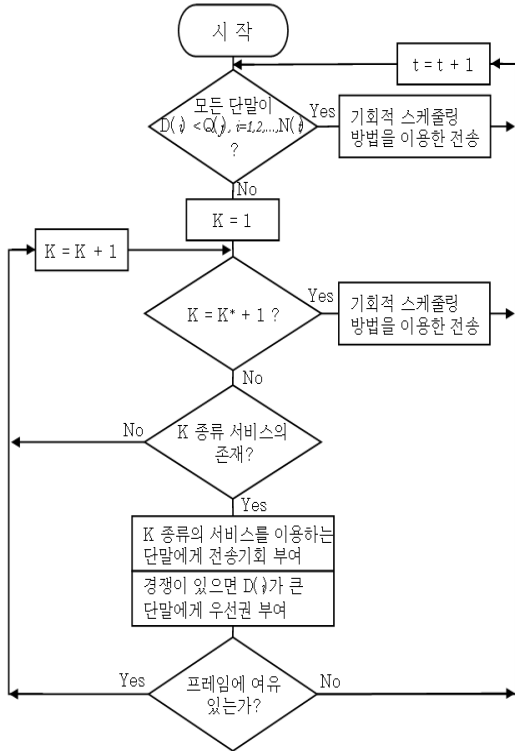


그림 8. QoS를 고려한 기회적 스케줄링 방법

- 음성 트래픽 (UGS)
- 비디오 트래픽 (rtPS)
- HTTP, FTP 트래픽 (nrtPS)
- 인터넷 트래픽 (BE)

각 서비스별 트래픽 모델은 IEEE 892.16 시스템의 성능을 평가할 때 사용할 수 있는 트래픽 모델^{[10],[11]}을 이용 하였다.

1) 음성 트래픽

음성 트래픽 모델은 IDP (Interrupted Deterministic Process)에 기초를 둔다. On 시간(Talk Spurt)은 평균 352 ms를 갖는 지수분포를 따르고 Off 시간(Silence Period)은 평균 650ms를 갖는 지수분포를 따른다. G.729를 목표 모델로 삼아 On 시간 동안 패킷은 매 20ms 마다 일정 간격으로 발생한다고 가정한다. 표 8에 본 연구에서 사용할 트래픽을 정리 하였다.

음성 트래픽의 평균 패킷 사이즈는 66 byte 혹은 528 bit이고 평균 데이터 율은 17.561*528 bit = 9.3 Kbps이다.

표 8. 음성 트래픽 모델

| Source | 패킷 도착률 (pkts/sec) | On 시간 분포 파라메타 (sec) | Off 시간 분포 파라메타 (sec) | 평균 (pkts/sec) |
|--------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 50 | 2.841 | 1.538 | 17.561 |

2) 비디오 트래픽

비디오 트래픽 모델은 2개의 IRP(Interrupted Renewal Process)에 기초를 두고 있는데 2개의 중첩된 IRP가 하나의 패킷 비디오 원을 나타낸다. 각 상태에서 체류 시간은 파레토 분포를 따르며 On 구간 동안 패킷 도착 간격은 지수 분포를 따른다. MPEG을 목표 모델로 삼아 표 9에 본 연구에서 사용할 트래픽 모델을 정리 하였다.

비디오 트래픽의 평균 패킷 사이즈는 188byte 혹은 1504 bit로 평균 데이터 율은 126.3*1504 bits = 0.19Mbps 이다.

3) HTTP, FTP 트래픽

HTTP나 FTP 트래픽은 Self-similar 트래픽 특성을 나타내기 위하여 4개의 중첩된 IPP(Interrupted Poisson Process)를 사용한다. On 구간 길이와 Off 구간 길이는 각각 지수분포를 따르며 On 구간 동안 패킷 발생 과정은 Poisson 과정을 따르며 Off 구간 동안에는 패킷이 발생하지 않는다. 다음 <표 10>에 Self-similar 트래픽을 발생시키기 위하여 서로 다른 시간 프레임에 갖는 4개의 IPP를 제시하였는데 이 파라메타들은 Hurst Parameter 0.9 값을 갖는 Self-similar 트래픽을 나타내도록 설정되었다.

평균 패킷 크기는 192Byte 혹은 1536bit로 가정하였고 평균 데이터 율은 1536*65.104 = 100Kbps 이다.

4) 인터넷 트래픽

각 가입자가 발생시키는 인터넷 트래픽은 IPP (Interrupted Poisson Process) 에 기초를 두고 있다. On 구간과 Off 구간 길이는 각각 지수 분포를 따

표 9. 비디오 트래픽

| Source | 패킷 도착률 (pkts/sec) | On 시간 분포 파라메타 (sec) | Off 시간 분포 파라메타 (sec) | 평균 (pkts/sec) |
|--------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 112.38 | 1.14 | 1.22 | 66.849 |
| 2 | 154.750 | 1.54 | 1.28 | 59.451 |
| | | | | 126.3 |

표 10. HTTP, FTP 트래픽

| Source | 패킷 도착률 (pkts/sec) | On 시간 분포 파라메타 (sec) | Off 시간 분포 파라메타 (sec) | 평균 (pkts/sec) |
|--------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 58 | 9.920 | 7.442 | 24.92 |
| 2 | 37 | 0.3136 | 0.2352 | 15.795 |
| 3 | 30 | 0.0099 | 0.0074 | 12.911 |
| 4 | 27 | 0.000099 | 0.000074 | 11.479 |
| | | | | 65.104 |

표 11. 인터넷 트래픽

| Source | 패킷 도착률 (pkts/sec) | On 시간 분포 파라메타 | Off 시간 분포 파라메타 | 평균 (pkts/sec) |
|--------|-------------------|---------------|----------------|---------------|
| 1 | 22.79 | 0.1940 | 0.1455 | 9.77 |

른다. On 구간 동안 패킷 도착은 Poisson 과정을 따른다고 가정한다. 표 11에 본 연구에서 사용한 트래픽 모델을 정리 하였다.

평균 패킷 크기는 192Byte 혹은 1536bit로 가정하였고 평균 데이터 율은 $1536 \times 9.77 = 15\text{Kbps}$ 이다.

3.2 시뮬레이션 결과

본 연구의 시뮬레이션 모델은 ARENA를 이용하여 구축 하였다.

3.2.1 시뮬레이션 파라메타

본 시뮬레이션에서 사용한 파라메타 값들은 다음과 같다.

3.2.2 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션은 다음의 3가지 측면에서 수행되었다.

- 시뮬레이션 1 : QoS는 전혀 고려하지 않은 기회적 스케줄링($T_c = 100$)과 QoS만을 고려한 스케줄링 방법을 Throughput과 Delay 관점에

표 12. 시뮬레이션 파라메타

| | |
|------------------------|---|
| Frame Duration (ms) | 5 |
| Number OFDM Subchannel | 240 |
| t_c | 100 |
| 가입자 단말 수 | 60 |
| 패킷 크기 | UGS = 528 bit rtPS = 1504 bit nrtPS = 1536 bit BE = 1536 bit |

서 비교 하였다. QoS만을 고려한 스케줄링에서는 전송할 패킷을 갖고 있는 단말들 중에서 매 프레임마다 UGS 단말, rtPS 단말, nrtPS 단말, 그리고 BE 단말 순으로 전송할 단말을 선정한다.

- 시뮬레이션 2 : 각 서비스별로 주어진 $Q(j)$, ($j = 1,2,3,4$), 하에서 K^* 가 변해 나감에 따라 Throughput과 서비스 유형별 패킷 전송 지연 시간의 변화 추이를 살펴보았다.

- 시뮬레이션 3 : 먼저 K^* 는 고정 시킨 후 $Q(j)$ 값을 변화 시켜 나가면서 Throughput과 서비스 유형별 패킷 전송 지연 시간의 변화 추이를 살펴보았다. $Q(j)$ 값 변화는 4개 값 중에 3개는 고정시키고 하나만 변화시켜 나가면서 특정 허용가능 임계치 $Q(j)$ 의 영향력 및 민감도를 살펴보았다. 즉 $Q(2)$, $Q(3)$ 그리고 $Q(4)$ 는 고정시키고 $Q(1)$ 값을 변화시켜 나가는 과정을 모든 서비스 유형에 대하여 실시하였다.

1) 시뮬레이션 1 결과

결과를 표 13에 요약정리 하였다. Throughput은 시뮬레이션 기간 동안 전송된 총 Bit 수로 정의되는데 기회적 스케줄링 방법이 QoS만을 고려한 방법에 비해 약 12.5% 높음이 확인됐다. 이는 기회적 스케줄링 방법이 전송 링크의 품질이 좋은 단말을 우선적으로 골라 전송한다는 것을 생각하면 당연한 결과이다.

한편 QoS인 패킷 전송 지연시간을 보면 QoS를 고려한 스케줄링 방법이 UGS와 rtPS에서는 기회적 스케줄링 방법보다 낮게 나타난 반면에 nrtPS와 BE에서는 높게 나타나고 있다. QoS를 고려한 스케줄링 방법에서 UGS와 rtPS는 nrtPS나 BE 보다 우선적으로 전송 기회를 부여받기 때문에 패킷 전송 지연 시간이 낮게 나타나는 것은 당연해 보인다. 반면에 nrtPS나 특히 BE의 경우에는 전송 우선순위에서도 뒤지고 QoS를 고려한 스케줄링 방법이 기회적

표 13. 시뮬레이션 결과 1

| | Delay time(sec) | | | | Throughput (bit) |
|-------------|-----------------|-------|-------|--------|------------------|
| | UGS | RTPS | NRTPS | BE | |
| QoS | 0 | 0.02 | 1.584 | 10.945 | 169,107,584 |
| Opportunity | 0.017 | 0.051 | 0.988 | 0.199 | 190,286,176 |

스케줄링 방법에 비해 전반적으로 전송 효율이 안 좋은 상황이기 때문에 전송 기회를 획득하기가 어려워 패킷 전송 지연 시간은 늘어날 수 밖에 없다. QoS를 고려한 스케줄링 방법은 Throughput에서는 떨어지지만 실시간 전송을 요하는 UGS와 rtPS의 전송 지연 시간을 낮추는 효과가 있다.

기회적 스케줄링 방법은 Throughput은 높지만 실시간 전송을 요하는 서비스들의 QoS를 만족시켜 줄 수 없고 반면에 QoS를 고려한 스케줄링 방법은 실시간 전송을 요하는 서비스들의 QoS를 보장해 줄 수는 있지만 낮은 Throughput을 감수해야 한다. 따라서 이 두개의 스케줄링 방법을 적당히 고려한 방법이 필요한데 본 연구에서는 이를 위하여 두 종류의 파라메타 K^* 와 $Q(j)$ 를 도입하였고 이들에 대한 분석을 시뮬레이션 2, 3에서 수행하였다.

2) 시뮬레이션 결과 2

결과를 표 14에 요약정리 하였다. 우선 Throughput을 살펴보면 $K^* = 2$ 가 가장 높음을 알 수 있다. 이는 K^* 가 3이나 4에 비해 $K^* = 2$ 가 보다 많은 단말이 기회적 스케줄링을 이용해 전송 기회를 얻기 때문에 전송효율이 높을 수밖에 없다.

패킷 전송 지연 시간을 살펴보면 UGS는 K^* 값에 무관하게 0으로 나타난다. 이는 UGS 단말들이 K^* 값에 무관하게 항상 최우선 순위로 전송 기회를 얻기 때문에 당연한 결과로 보인다. rtPS 단말들은 $K^* = 2$ 에 비해 $K^* = 3, 4$ 의 경우 전송 지연 시간이 늘어나는 것으로 나타났다. 이는 $K^* = 2$ 에서는 UGS 단말과 rtPS 단말만 지연 시간이 허용 임계치인 0(sec)과 0.02(sec)를 초과하면 우선적으로 전송 기회를 부여받아 rtPS의 패킷 전송 지연 시간이 낮게 유지되는 반면에 $K^* = 3$ 혹은 4에서는 nrtPS 단말 혹은 BE 단말도 같은 대우를 받게 되므로 rtPS 패킷 전송 지연 시간이 증가하게 된다. 한편 nrtPS와 BE 단말의 패킷 전송 시간은 K^* 값이 증가함에 따라 늘어나는 것으로 나타났다. K^* 값이 3 혹은 4에서는 전송 지연시간이 허용 임계치를 초과한 nrtPS나 BE 단말들이 전송 지연 시간이 허용

가능 임계치 내에 있는 UGS 단말 (실제적으로는 임계치가 0 이므로 UGS 단말은 해당 안 됨)이나 rtPS 단말보다 전송 우선순위를 가지므로 패킷 전송 지연 시간은 감소해야 되는 것으로 보인다. 하지만 $K^* = 3$ 혹은 4에서는 $K^* = 2$ 에 비해 전송 효율인 Throughput이 낮기 때문에 모든 단말들의 전송 기회가 줄어들고 이는 전송 우선순위에서 뒤에 처진 nrtPS나 BE 단말들의 전송 지연 시간 증대를 초래한다. 결론적으로 $K^* = 3$ 혹은 4에서 nrtPS나 BE 단말들은 전송우선 순위의 개선효과보다 전체적인 Throughput 감소라는 영향력을 더 많이 받아 전송 지연 시간이 증가하는 것으로 나타났다. 결국 $K^* = 2$ 에서 Throughput도 가장 높고 패킷 전송 지연 시간도 가장 낮게 나타나고 있다.

본 시뮬레이션 2의 결과는 기회적 스케줄링 방법과 QoS 고려한 스케줄링 방법을 적절하게 혼합하여 사용할 경우 Throughput이나 QoS에서 만족스러운 결과를 얻을 수 있음을 보여 준다.

시뮬레이션 2에서 가장 만족스러운 결과를 보여주는 $K^* = 2$ 의 경우를 생각해 보자. 시뮬레이션 1 결과 중 QoS를 고려한 스케줄링 방법과 비교해보면 Throughput에서는 12%의 증가가 있고 지연 시간은 UGS, rtPS는 비슷하지만 nrtPS나 BE는 오히려 상당 부분 감소하는 것으로 나타났다. 기회적 스케줄링만을 이용한 방법과 비교해보면 Throughput은 0.2% 감소하는데 그치지지만 지연시간은 UGS와 rtPS에서 상당히 감소하는 것으로 나타났고 nrtPS와 BE는 비슷한 결과를 보여 준다.

3) 시뮬레이션 결과 3

본 시뮬레이션에서는 $K^* = 4$ 로 고정시키고 $Q(j)$ 값을 변화시켜 나가면서 Throughput과 서비스 유형별 패킷 전송 지연 시간의 변화 추이를 살펴보았다. $Q(j)$ 값 변화는 4개 값 중에 3개는 고정시키고 하나만 변화 시켜나가면서 특정 허용가능 임계치 $Q(j)$ 의 영향력 및 민감도를 살펴보았다. 시뮬레이션 결과를 표 15, 표 16, 표 17, 표 18에 요약정리 하였다.

먼저 허용 가능 임계치인 $Q(j)$ 값 변화에 따른

표 14. 시뮬레이션 결과 2

| | Q(j) | | | | Delay time(sec) | | | | Throughput (bit) |
|---------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|--------|------------------|
| | UGS | rtPS | nrtPS | BE | UGS | rtPS | nrtPS | BE | |
| $K^*=2$ | 0.000 | 0.020 | 50000 | 50000 | 0.000 | 0.021 | 1.105 | 0.216 | 189777536 |
| $K^*=3$ | 0.000 | 0.020 | 2.000 | 50000 | 0.000 | 0.032 | 2.225 | 9.160 | 189055616 |
| $K^*=4$ | 0.000 | 0.020 | 2.000 | 5.000 | 0.000 | 0.034 | 2.843 | 12.279 | 171967808 |

표 15. 시뮬레이션 결과 3-1(Q(1)변경)

| Q(j) | | | | Delay time(sec) | | | | Throughput (bit) |
|-------|-------|-------|--------|-----------------|-------|-------|-------|---------------------|
| UGS | rtPS | nrtPS | BE | UGS | rtPS | nrtPS | BE | |
| 0.000 | 0.020 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.032 | 2.225 | 9.160 | 189,055,616 |
| 0.005 | 0.020 | 2 | 50,000 | 0.003 | 0.029 | 2.308 | 9.679 | 188,888,048 |
| 0.010 | 0.020 | 2 | 50,000 | 0.005 | 0.029 | 2.245 | 9.232 | 189,004,784 |
| 0.015 | 0.020 | 2 | 50,000 | 0.008 | 0.029 | 2.247 | 9.145 | 189,093,968 |
| 0.020 | 0.020 | 2 | 50,000 | 0.011 | 0.029 | 2.174 | 8.873 | 189,173,744 |

표 16. 시뮬레이션 결과 3-2(Q(2)변경)

| Q(j) | | | | Delay time(sec) | | | | Throughput (bit) |
|-------|-------|-------|--------|-----------------|-------|-------|--------|---------------------|
| UGS | rtPS | nrtPS | BE | UGS | rtPS | nrtPS | BE | |
| 0.000 | 0.000 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.020 | 2.360 | 10.090 | 188,645,504 |
| 0.000 | 0.005 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.023 | 2.375 | 10.032 | 188,733,056 |
| 0.000 | 0.010 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.026 | 2.372 | 9.734 | 188,728,448 |
| 0.000 | 0.015 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.029 | 2.372 | 10.051 | 188,685,440 |
| 0.000 | 0.020 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.032 | 2.225 | 9.160 | 189,055,616 |
| 0.000 | 0.025 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.035 | 2.239 | 8.979 | 189,101,792 |
| 0.000 | 0.030 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.038 | 2.273 | 9.311 | 188,980,544 |
| 0.000 | 0.035 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.041 | 2.279 | 9.323 | 188,985,152 |
| 0.000 | 0.040 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.044 | 2.178 | 8.787 | 189,180,224 |
| 0.000 | 0.045 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.047 | 2.231 | 8.956 | 189,106,592 |
| 0.000 | 0.050 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.051 | 2.217 | 8.865 | 189,118,880 |

표 17. 시뮬레이션 결과 3-3(Q(3)변경)

| Q(j) | | | | Delay time(sec) | | | | Throughput (bit) |
|-------|-------|-------|--------|-----------------|-------|-------|--------|---------------------|
| UGS | rtPS | nrtPS | BE | UGS | rtPS | nrtPS | BE | |
| 0.000 | 0.020 | 1 | 50,000 | 0.000 | 0.033 | 1.900 | 10.317 | 189,006,464 |
| 0.000 | 0.020 | 1.5 | 50,000 | 0.000 | 0.032 | 2.058 | 9.612 | 189,069,440 |
| 0.000 | 0.020 | 2 | 50,000 | 0.000 | 0.032 | 2.225 | 9.160 | 189,055,616 |
| 0.000 | 0.020 | 2.5 | 50,000 | 0.000 | 0.032 | 2.474 | 9.409 | 188,898,944 |
| 0.000 | 0.020 | 3 | 50,000 | 0.000 | 0.031 | 2.503 | 8.309 | 189,167,744 |
| 0.000 | 0.020 | 3.5 | 50,000 | 0.000 | 0.031 | 2.592 | 8.106 | 189,232,256 |
| 0.000 | 0.020 | 4 | 50,000 | 0.000 | 0.031 | 2.779 | 8.302 | 189,200,000 |
| 0.000 | 0.020 | 4.5 | 50,000 | 0.000 | 0.031 | 2.838 | 7.624 | 189,359,744 |
| 0.000 | 0.020 | 5 | 50,000 | 0.000 | 0.031 | 2.762 | 5.928 | 189,599,360 |

표 18 시뮬레이션 결과 3-4(Q(4)변경)

| Q(j) | | | | Delay time(sec) | | | | Throughput (bit) |
|-------|-------|--------|-----|-----------------|-------|-------|-------|---------------------|
| UGS | rtPS | nrtPS | BE | UGS | rtPS | nrtPS | BE | |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 3 | 0.000 | 0.026 | 3.223 | 0.980 | 189,776,000 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 3.5 | 0.000 | 0.025 | 3.154 | 1.006 | 189,776,000 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 4 | 0.000 | 0.025 | 3.073 | 0.997 | 189,776,000 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 4.5 | 0.000 | 0.025 | 2.860 | 0.933 | 189,777,536 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 5 | 0.000 | 0.025 | 2.661 | 0.860 | 189,776,000 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 5.5 | 0.000 | 0.024 | 2.440 | 0.797 | 189,776,000 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 6 | 0.000 | 0.024 | 2.193 | 0.707 | 189,776,000 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 6.5 | 0.000 | 0.024 | 2.035 | 0.650 | 189,777,536 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 7 | 0.000 | 0.024 | 1.846 | 0.565 | 189,776,000 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 7.5 | 0.000 | 0.023 | 1.569 | 0.450 | 189,777,536 |
| 0.000 | 0.020 | 50,000 | 8 | 0.000 | 0.023 | 1.505 | 0.445 | 189,777,536 |

Throughput 값의 변화를 살펴보았다. UGS 단말과 rtPS 단말의 경우 $Q(1)$ 과 $Q(2)$ 값이 변하더라도 Throughput 값은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 반면에 nrtPS 단말의 경우 $Q(3)$ 값이 증가하면 Throughput 값이 감소하는 것으로 BE 의 경우는 감소하는 것으로 나타났다.

UGS 단말과 rtPS 단말 그리고 nrtPS 단말의 경우 허용 가능 임계치인 $Q(j)$ 값을 증가 시키면 서비스 j 를 이용하는 단말들의 패킷 전송 지연 시간도 늘어나는 것으로 나타났다. 이는 $Q(j)$ 값이 증가하면 패킷 전송 지연 시간이 $Q(j)$ 를 초과하여 우선순위에 의한 전송 기회를 가질 확률이 낮아지고 반면에 전송 기회를 못 갖거나 기회적 스케줄링에 의해 전송 기회를 가질 확률이 높아지므로 당연한 결과로 보인다. 반대로 j 이외의 서비스를 이용하는 단말들의 지연시간은 상대적인 반사이익으로 조금씩 감소하는 경향을 보인다. 예로 UGS의 허용 가능 임계치인 $Q(1)$ 을 증가시키면 UGS 단말들의 패킷 전송 지연 시간은 증가 하는 반면에 rtPS나 nrtPS 그리고 BE 단말의 지연 시간은 다소 감소하는 것으로 나타난다(표 15 참조). 한편 BE 단말은 $Q(4)$ 값이 증가 할수록 오히려 BE 단말의 전송 지연시간은 다소 감소하는 것으로 나타났다(표 18 참조). 이 원인은 Throughput의 증가에서 찾아 볼 수 있다. 다른 경우와 달리 BE 단말의 $Q(4)$ 가 증가함에 따라 Throughput이 92.1%에서 92.2%로 다소 증가한다. 이는 BE 단말들이 전송 링크 상태가 좋아질 때 전송기회를 획득하기 때문인데 이로 인해 전송 효율이 다소 높아지고 결국 전송 지연 시간 감소로 이어진다. UGS나 rtPS, nrtPS 등의 경우와 달리 BE 단말의 경우는 QoS 고려 시 전송 우선순위가 가장 낮기 때문에 $Q(4)$ 의 변동 효과가 비교적 안 나타나고 반면에 Throughput 증가로 인한 전송 지연시간 감소 효과가 나타났다. 반면에 UGS 단말과 rtPS 단말 그리고 nrtPS 단말의 경우는 QoS 고려 시 전송 순위가 BE에 비해 상대적으로 높기 때문에 $Q(j)$ 의 변동 효과가 민감하게 나타난다.

IV. 결 론

본 연구에서는 MMR 방식을 사용하는 무선 접속 통신 시스템에서 사용자들 간의 공평성과 QoS를 고려한 기회적 패킷 스케줄링 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 Throughput 이나 QoS에서 만족스러운 결과를 제공한다. 오직 QoS를

고려한 스케줄링 방법과 비교해보면 Throughput에서는 12%의 증가가 있고 지연 시간은 UGS, rtPS는 비슷하지만 nrtPS나 BE는 오히려 상당 부분 감소하는 것으로 나타났다. 기회적 스케줄링만을 이용한 방법과 비교해보면 Throughput은 단지 0.2% 감소하는데 그치지만 지연시간은 UGS와 rtPS에서 상당히 감소하는 것으로 나타났고 nrtPS와 BE는 비슷한 결과를 보여 준다.

본 연구는 (그림 2)에 나와 있는 MMR 시스템을 대상으로 실시하였다. 기지국과 중계기의 coverage 반경 크기의 영향, 2개 이상의 중계기를 거쳐 접속하는 보다 일반적인 시스템에 대한 연구는 추후 연구 과제로 남긴다.

참 고 문 헌

- [1] M. Rahman, et.al, "Opportunistic Nonorthogonal Packet Scheduling in Fixed Broadband Wireless Access Networks," EUEASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2006, pp.1-11, 2006.
- [2] X. Liu, et.al, "Optimal Opportunistic Scheduling in Wireless Networks," Vehicular Technology Conference 2003, vol.3, pp.1417- 1421, Oct. 2003.
- [3] T. Bonald, "A Score-Based Opportunistic Scheduler for Fading Radio Channels," in European Wireless, Barcelona, Spain, Feb. 2004.
- [4] Q. Chen, et.al, "Opportunistic Link Scheduling with QoS Requirements in Wireless Ad Hoc Networks," ICC '07, pp.3704-3709, June 2007.
- [5] S. Suresh Kulkarni and C. Rosinberg, "Opportunistic Scheduling Policies for Wireless System with Term Fairness Constraints," GLOBECOM '03, vol 1, pp.533- 537, Dec. 2003.
- [6] X. Liu, et.al, "Opportunistic Scheduling with QoS Requirements in Time-varying Wireless Channels," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 19, pp.2053-2064, 2007.
- [7] 삼성전자주식회사, "다중 홉 릴레이 방식을 사용하는 무선 접속 통신 시스템에서 기회적 패킷 스케줄링 장치 및 방법," 대한민국 특허청, Aug. 2007.
- [8] P. Mack and R. Bestak, "Performance of IEEE 802.16 Relay Station," 6th Conference on

Telecommunication, May 2007.

- [9] IEEE 802.16j-06/013, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology(Channel Model and Performance metric), Sep. 2006.
- [10] IEEE 802.16.3C-01/30r1, "Traffic Models for 802.16 TG3 MAC/PHY Simulations", March 2001.
- [11] IEEE 802.16j-06/013, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology(Channel Model and Performance metric), Sep. 2006.

이 강 원 (Kang-Won Leer)

정회원



1980 서울 대학교 공과대학 공
학사(산업공학)
1982 서울 대학교 대학원 공학
석사(산업공학)
1985 Kansas State Univ. U.S.A
공학박사 (산업공학)
1985 한국전자통신연구원 TDX

개발단

2009 현 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 교수
<관심분야> 정보통신, 품질 및 신뢰성, O.R.

국 광 호 (Kwang-Ho Kook)

정회원



1979 서울대학교 산업공학과 학사
1981 서울대학교 산업공학과 석사
1989 Georgia Institute of Technology
산업공학과 박사
1993~현재 서울산업대학교 교수
<관심분야> 이동통신네트워크
MAC, 스케줄링

오 등 익 (Dong-Ik Oh)

정회원



1979 수원대학교 전자재료공학
과 학사
1981 서울산업대학교 IT정책대
학원 석사
1993~현재 한국교통연구원 재직
<관심분야> 이동통신네트워크
MAC, 스케줄링