

WWAN/WLAN 2-홉 무선 중계 네트워크를 위한 적응형 비례 공정 스케줄링 기법

(Adaptive Proportional Fair Scheduling for WWAN/WLAN Two-Hop Wireless Relay Networks)

구 영 대 [†] 박 준 상 [†]
(Youngdae Koo) (Joonsang Park)

한 승 재 ^{**}
(Seungjae Han)

요약 이질적 무선 셀들의 계층적인 오버레이는 차세대 무선망을 위해서 예상되는 구조로 여겨지고 있다. 본 논문은 그러한 특별한 형식의 구조로서 WWAN/WLAN 2-홉 무선 중계 네트워크를 고려하였다. 먼저 이러한 망의 내부에서 기존의 PF 스케줄링 기법이 일으킬 수 있는 문제점을 구성하였다. 그리고 이 문제점을 해결하기 위해서 향상된 PF 스케줄링 기법을 제시하였다. 새롭게 제시된 기법에 대한 검증을 위해서, NS-2를 사용하여 UMTS/WLAN 망에서의 시뮬레이션을 진행하였고, 그것을 기반으로 성능을 평가하였다.

키워드 : 계층적인 오버레이, 2-홉 무선 중계 네트워크, Proportional Fair 스케줄링

Abstract Hierarchical overlay of heterogeneous wireless cells is considered as a promising architecture for next-generation wireless networks. This paper considers a special form of such architecture, WWAN/WLAN two-hop wireless relay networks. We first describe an undesirable scheduling phenomenon that the conventional proportional fair algorithm can cause in such networks. We, then, propose an enhanced proportional fair scheduling to remedy this problem. We demonstrate the performance of the proposed scheme via a simulation of UMTS/WLAN networks using NS-2.

Key words : Hierarchical overlay, Two-hop wireless relay networks, Proportional Fair scheduling

1. 서론

무선 통신 기술들의 계속되는 번영에도 불구하고, 어떠한 단일 기술도 모든 애플리케이션의 요구들을 반영시키지 못하고 있다. 서로 다른 기술들로 구성된 다양한 통신 계층들이 이질적인 셀 구조를 형성하고 있는 오버레이 구조는 이를 위한 해결책으로서 자연스럽게 부상하고 있다.

그러한 무선 중계 네트워크 구조는 이미 현실화되고 있고, WLAN Hotspot 셀들은 WWAN 서비스 영역 안에서 빠르게 만들어지고 있다. 최근에는 운송 시스템이 있는 곳에 Hotspot 서비스들을 위한 많은 수요들이 생겨나고 있다. 후자 쪽의 경우에 가장 큰 차이점은 Hotspot 셀들이 스스로 이동성을 가지기 때문에 무선 백홀 링크들을 가지게 된다는 것이다. 이와 같은 통합 환경에 대하여 WWAN/WLAN 2-홉 무선 중계 네트워크[1]라 일컬으며, 그림 1이 그에 대한 예시를 보여주고 있다.

WLAN을 통한 백홀 연결이 WWAN과의 직접적인 연결을 대체하는 형식으로 WWAN과 WLAN가 통합될 때에, WWAN Base Station(BS)은 WLAN Access Point(AP)에게 여러 개의 Mobile Node(MN)들이 연결되어 있더라도 AP를 단지 하나의 MN으로 간주하기 때문에 문제점이 생긴다. 이론적으로, AP가 자신에게 연결된 MN들의 개수에 따라서 자원을 할당받아야 한다.

이 문제점의 근원은 WWAN BS가 자신에게 연결된 노드들을 어떻게 스케줄링 하느냐에 달려 있다. 본 논문은 이 문제점을 다루는 WWAN BS 스케줄러의 향상에 대하여 언급하였다. 특히, WWAN에서 널리 쓰이고 있는 Proportional Fair(PF) 스케줄링 기법[2]에 초점을 맞추었다.

여러 가지의 경우와 다른 목적들에게 맞추어진 PF 스케줄러의 다양한 형태들이 존재하고 있다. [3]에서는

· 이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0120060001086402008)

· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 'WWAN/WLAN 2-홉 무선 중계 네트워크를 위한 적응형 비례 공정 스케줄링 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 정 회 원 : 연세대학교 컴퓨터과학과
ydoo@cs.yonsei.ac.kr
joonsang@cs.yonsei.ac.kr

^{**} 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
sjhan@cs.yonsei.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2007년 12월 6일
심사완료 : 2008년 7월 2일

Copyright © 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우. 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며, 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제7호(2008.10)

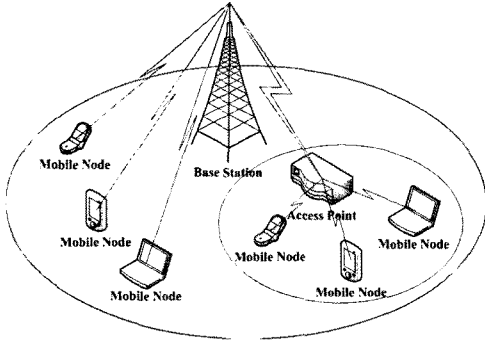


그림 1 중계 노드를 가진 망의 구조에 대한 예시

PF 스케줄러가 Opportunistic OFDM 환경을 위해서 수정되었고, [4]에서는 Fading을 예상하기 위하여 Channel Predictive PF 스케줄러가 제안되었다. 망 전체를 대상으로 하고 있는 일반적인 PF 스케줄링 기법은 [5]에서 언급되었다. [6]에서 제안된 Incentive 스케줄러가 본 논문의 접근 방식과 가장 유사하지만 몇 가지 차이점들을 가지고 있다. 첫째, 본 논문은 스케줄링에 있어서 중계 노드의 비중을 정확히 계산할 수 있는 메커니즘을 제시하였다. 둘째, 본 논문은 Hotspot 내부의 사용자 밀도에 따라서 알맞게 비중 요소를 갱신하는 신호를 언급하였다. 셋째, Network Simulator(NS-2)[7]을 사용하여 UMTS와 WLAN이 통합된 망의 시뮬레이션을 진행함으로써 제시된 메커니즘의 성능 향상을 증명하였다.

본 논문의 내용은 다음과 같이 구성되었다. 두 번째 단락에서는 제시된 알고리즘이 설명되어 있고, 세 번째 단락에서는 신호 체계가 어떻게 구현되는지에 대한 설명이 있으며, 네 번째 단락에서는 성능 평가 결과를 보여주었다. 그리고 다섯 번째 단락에서는 본 논문에 대하여 결론을 언급하였다.

2. 향상된 Proportional Fair 스케줄러

본 논문의 목적은 기존의 PF 스케줄러가 WLAN AP을 더 많이 스케줄링 하도록 수정하는 것이다.

2.1 PF 스케줄링에 대한 간략한 소개

기존의 PF 스케줄러에서, 스케줄링 함수 $M_i^{(PF)}(n)$ 은 채널 상태에 비례하며, 얻어지는 전송량에 반비례한다.

$$M_i^{(PF)}(n) = \frac{R_i(n)}{T_i(n-1)} \quad (1)$$

위의 식 (1)에서, $R_i(n)$ 은 주어진 타임 슬롯 n 의 시점에서 사용자 i 의 피드백 되는 채널 상태를 나타낸다. 그리고 $T_i(n-1)$ 은 사용자 i 에 대한 타임 슬롯 $n-1$ 까지의 평균 전송량을 나타낸다. 평균 전송량 $T_i(n)$ 은 다음 식과 같이 계산된다.

$$T_i(n) = \left(1 - \frac{1}{\alpha_c}\right) T_i(n-1) + \delta_i(n) \frac{1}{\alpha_c} R_i(n) \quad (2)$$

위의 식 (2)에서, α_c 는 일반적으로 1000이라는 상수 값을 가진다. 그리고 $\delta_i(n)$ 는 사용자 i 가 주어진 타임 슬롯 n 의 시점에서 스케줄링이 되면 1이 되고 그렇지 않으면 0이 된다.

2.2 PF 스케줄러 수정과 기법 향상

WWAN/WLAN 2-홉 무선 중계 네트워크에서 기존의 PF 스케줄러가 그대로 사용될 경우에는 BS가 AP에 연결된 MN들의 개수를 알지 못하기 때문에, AP를 거쳐서 BS에 연결되는 MN들은 BS에 직접적으로 연결된 하나의 노드에게 할당되는 대역폭만큼을 공유하여 사용해야 한다. AP에 연결된 모든 MN들도 BS에 직접적으로 연결된 다른 노드들과 같은 대역폭을 사용하기 위해서는 AP가 더 많이 스케줄링 되어야만 하며, 이러한 과정을 위해서 AP의 비중 요소인 K_{GW} 을 PF 스케줄링 함수에 다음과 같이 삽입하였다.

$$M_i^{(PF-relay)}(n) = K_{GW} \frac{R_i(n)}{T_i(n-1)} \quad (3)$$

위의 식 (3)에서, $M_i^{(PF-relay)}(n)$ 은 향상된 PF 스케줄러의 함수를 나타낸다. AP가 실제의 채널 상태를 나타내는 수치보다 K_{GW} 의 배수만큼 더 크게 알린다고 보면 된다. 이와 같이 새로운 함수를 통해서 BS는 AP가 K_{GW} 의 배수만큼 더 자주 스케줄링 되도록 할 것이다.

모든 MN들이 계속적으로 Backlog를 남기게 되고 전송되는 트래픽이 균일하게 지속된다고 가정하였을 때, K_{GW} 는 AP에 실제로 연결된 MN들의 개수를 나타낼 수 있다. 그러나 이것은 비현실적인 가정이다. 트래픽의 균일성을 고려한다면 좀 더 향상될 수 있다. 효율적이고 균등한 자원 할당을 위해서 AP는 BS에게 실제로 전송 중인 노드들의 개수를 알려주어야 한다. 그것은 결과적으로 본 논문에서 AP에 연결된 MN들의 등가개수로 언급하려는 것이다.

즉, AP는 각각의 MN들이 전송중인지 아닌지를 판별하고, 전송중인 MN들의 등가개수를 계산한다. 이를 계산하는 과정에 있어서 가장 중요한 개념은 다음과 같다. 먼저, K_{GW} 가 AP에 연결된 MN들의 실제 개수라고 가정하고, T_{GW} 가 BS와 AP 사이의 링크에서 얻어진 전송량이라고 가정을 하자. 그리고 각각의 노드들이 가질 수 있는 균등한 전송량의 분배를 T_{mob} 이라고 가정을 하자.

$$T_{mob} = \frac{T_{GW}}{K_{GW}} \quad (4)$$

위의 식 (4)에서, AP에서 사용할 수 있는 대역폭은 자신에게 연결된 MN들에 의해서 균등하게 나누어진다. 특히, AP는 각 노드들을 위해서 얻어진 T_j 라고 불리는 전송량을 모니터링 할 수 있고, j 는 MN들의 색인을 나타내며 1부터 K_{GW} 까지 숫자로 표현된다. 스케줄링이 균등하게 적용된다면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$T_j = T_{mob} = \frac{T_{GW}}{K_{GW}} \quad (5)$$

위의 식 (5)에서, AP에 연결된 MN들의 등가개수를 정의할 수 있다. 사용자 j 의 전송량 T_j 가 T_{GW}/K_{GW} 로 표현되는 균등한 분배량보다 크거나 같다면, 사용자는 균등한 분배량을 받거나 더 많은 양을 받게 된다. 그러한 사용자는 BS에게 알려주는 과정에 있어서 Full 사용자로 간주된다. 이와 반대로, 사용자 j 의 전송량 T_j 가 균등한 분배량보다 적다면, 그러한 사용자는 Fractional 사용자로 간주된다. 이 Fraction은 사용자를 위한 균등한 분배에 대하여 실제로 발생한 전송량의 Fraction과 동일하다. 사용자가 전송량의 균등한 분배를 받지 못한다는 것은 사용 중인 애플리케이션이 균등하지 못한 트래픽을 가지고 있으며, 그 시점에서 대역폭의 균등 분배를 충분히 활용하기 위한 하향링크 채널을 통해 충분한 데이터를 제공받지 않았다는 것을 의미한다. 수학적으로 계산하자면, AP에 연결된 MN의 등가개수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_{GW}^{(eq)}(n) = \sum_{j=1}^{K_{GW}(n)} \min \left\{ \frac{K_{GW} T_j(n)}{T_{GW}(n)}, 1 \right\} \quad (6)$$

위의 식 (6)에서, n 은 타임 슬롯의 색인을 나타낸다. 그리고 T_j 은 AP에 의해 서비스를 받는 각 노드들에게서 얻어진 전송량을 나타내며, j 는 1부터 K_{GW} 까지 숫자로 표현된다. 본 논문은 위의 식 (3)을 등가개수를 사용하여 다음과 같이 다시 표현하였다.

$$M_i^{(PF-relav)}(n) = K_i(n) \frac{R_i(n)}{T_i(n-1)} \quad (7)$$

위의 식 (7)에서 $K_i(n)$ 은 AP에 의해서 서비스를 받는 각 노드들의 등가개수를 나타낸다.

3. 중계 노드가 알려주는 방법

AP의 Load에 따라서 어떻게 스케줄러로 전송된 MN들의 등가개수가 동적으로 갱신되는지를 알아보자. 일반적으로, 제어 채널 프로토콜에서는 사용되지 않는 비트들이 존재하기 때문에 AP에 연결된 MN의 개수를 알리기 위해서 이러한 부분들을 활용하지는 것이다. 본 논문에서는 EV-DO 망을 예로 들어서 그러한 메커니즘들을

소개한다.

EV-DO 망에서 전송률과 전송 포맷을 위해 사용되는 12개의 값들이 있다. 이 값들은 사용자로부터 BS까지 4개의 비트들을 사용하여 인코딩되고 전송된다. 4개의 비트들로 가능한 16개의 값들 중에서 V1, V2, V3, 그리고 V4로 표시될 수 있는 4개의 남은 값들은 사용되지 않기 때문에, 다른 용도로 사용될 수 있다. AP에 연결된 MN들의 개수를 알리기 위하여 이 값들이 사용될 수 있다. 그러나 알려지는 MN의 개수가 4개로 제한된다. 좀 더 자세한 해결책은 다음과 같다.

MN의 개수를 표현하기 위해서 두 가지의 사용되지 않은 남은 값들을 사용한다. 일반적으로, 12개의 가능한 DRC 값들 중의 하나는 모든 타임 슬롯에 제공된다. 제안된 방법에서, 새로운 MN이 AP에 연결되거나 AP를 떠날 때마다, 인코딩된 값들 중의 하나가 V1이나 V2로 사용되고 그 시점의 타임 슬롯에서는 채널 상태와 관련된 정보가 생략된다. 그 타임 슬롯은 AP에 연결된 MN의 개수를 알리기 위해서 사용될 뿐이다. 만약에 BS에 인코딩된 값들이 전송되면, 그 시점에서의 타임 슬롯을 위한 전송률과 포맷은 이전의 타임 슬롯에서 알려진 값과 같다고 가정한다. AP가 자신에게 연결된 MN들의 등가개수를 알려줄 때에, 그 숫자가 반드시 정수형일 필요는 없다. 따라서 V3 값과 V4 값이 V1 값과 V2 값에 의해서 알려지는 증가와 감소의 정도를 조절하도록 할 수도 있다.

4. 성능 평가

UMTS/WLAN 2-홉 무선 중계 네트워크를 시뮬레이션 환경으로 구축하였고, Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions(EURANE)[8]으로 패치된 NS-2를 사용하였다.

4.1 시뮬레이션 설정

그림 2에 본 논문의 시뮬레이션 토폴로지가 소개되어 있다. GGSN, SGSN, RNC, 그리고 BS는 UMTS에서 쓰이는 노드들이며, AP는 WLAN AP를 나타낸다. 본 논문의 초점은 UMTS BS의 스케줄러에 맞추어져 있기 때문에, WLAN AP에서 실제로 일어나는 중계 기능은 시뮬레이션에 포함되지 않았다.

다시 말해서, MN10, MN11, 그리고 MN12는 실제의 시뮬레이션에 없는 가상의 노드일 뿐이다. MN1부터 MN9까지의 노드들과 AP에 10개의 FTP 클라이언트를 만들고, Node1부터 Node10까지의 노드들에게는 10개의 FTP 서버를 만들었다. 시뮬레이션에 실제로 사용된 MN1부터 MN9까지의 노드와 AP는 BS로부터 임의의 거리만큼 떨어져서 위치하지만 비슷한 채널 상태들을 가지게 된다.

EURANE에 본 논문의 기법을 구현하기 위해서 PF

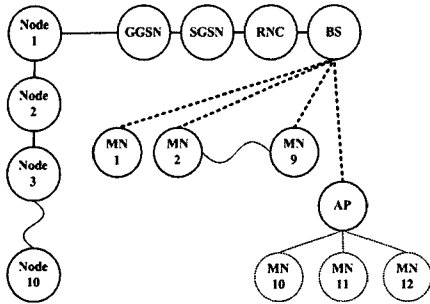


그림 2 시뮬레이션 토폴로지

스케줄러 부분에 등가개수인 $K_i(n)$ 을 새로운 변수로 추가하였다. 이 변수는 Protocol Data Units (PDUs)가 스케줄러 큐에 도착할 때에 스케줄링의 결정을 내리는 과정에서 사용된다. 만약에 이러한 PDUs가 AP를 향하고 있다면, MN1부터 MN9까지 향하는 PDUs보다 $K_i(n)$ 만큼 더 많이 스케줄링 되도록 수정하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제시된 메커니즘의 수정 이전과 이후에 있어서 각 노드들의 평균 FTP 전송량을 비교하였다. AP의 Load를 고려하여 K=2.5인 경우와 K=3.0인 경우로 나누어서 진행하였다. 여기서 K는 AP에 연결된 MN의 등가개수라는 것을 기억해야 한다.

그림 3은 기존의 스케줄러, 그리고 K=2.5일 때와 K=3.0일 때의 수정된 스케줄러 등에 대한 MN들의 평균 전송량 변화를 나타낸다. 노드들이 서로 비슷한 채널 상태를 가지고 있기 때문에 모든 노드들의 평균 전송량이 크게 다르지 않게 나타났다. 그림 4는 그림 3과 같은 설정에서 AP의 전송량 변화를 비교한 것이다.

기존의 PF 스케줄러인 경우에는 AP를 포함한 모든 노드들이 균등하게 자원을 사용할 수 있다. 그러나, 수정된 PF 스케줄러에서는 BS와 직접적으로 연결된 MN들이 AP보다 적은 양의 자원을 사용할 수 있다. 즉, AP가

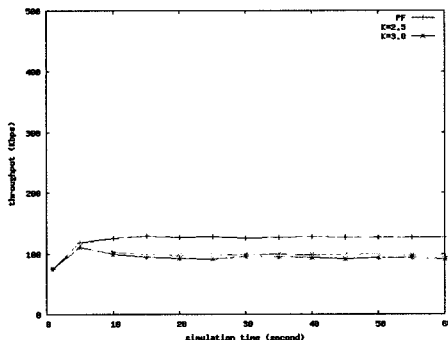


그림 3 다양한 스케줄러 설정에 대한 MN들의 평균 전송량 변화

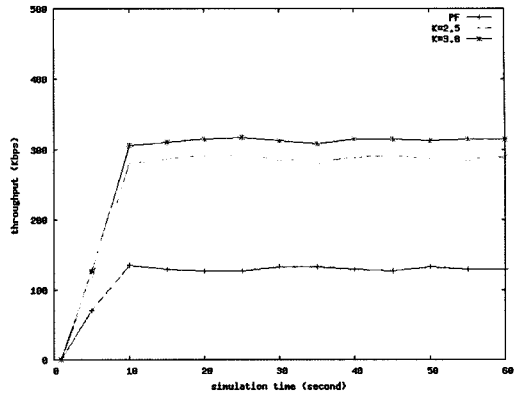


그림 4 다양한 스케줄러 설정에 대한 AP의 전송량 변화

대략 K의 배수만큼 더 많이 자원을 사용하게 된다.

표 1은 다양한 스케줄러 설정에 대한 각 노드들의 전송량을 종합한 것이다. 가상의 노드로 설정된 MN10, MN11, 그리고 MN12의 전송량은 K=3.0인 경우, AP 전송량의 1/3로 계산한 것이다. 그리고 K=2.5인 경우, MN10과 MN11은 AP 전송량의 2/5로 계산된 것이고, MN12는 나머지인 1/5로 계산된 것이다. MN12는 할당된 채널의 1/2만큼 사용한다고 가정했기 때문이다.

다음은 사용자들의 이동성을 고려하였을 경우에 대한 결과들이다. 이 환경에서는 AP를 제외한 모든 노드들이 BS와 모두 다른 거리를 둔 채로 각각 다른 속력과 다른 방향으로 UMTS 셀의 내부를 움직여 다니게 된다.

그에 대한 결과들은 그림 5, 그림 6, 그리고 그림 7에 나타난다. AP를 포함한 네 개의 노드들을 임의로 선정하였다. 그림 5를 살펴보면, 기존의 PF 스케줄러인 경우에는 MN1, MN4, MN7, 그리고 AP가 균등하게 자원을 사용하게 된다. 수정된 PF 스케줄러의 경우에는 AP의 전송량이 다른 노드들에 비해서 K의 배수만큼 더 높게 나타난다. 이러한 결과들은 사용자들의 이동성이 제시된 알고리즘에 영향을 미치지 않는다는 것을 검증해 준다.

표 1 FTP 전송량에 대한 종합적인 결과

(Kbps)	PF	K=2.5	K=3.0
MN1	132.6	107.7	103.3
MN2	129.2	104.6	100.2
MN3	126.8	102.1	98.4
MN4	124.6	99.9	95.8
MN5	122.1	99.2	95.3
MN6	119.9	97.5	93.3
MN7	126.5	96.5	92.3
MN8	125.8	95.3	91.1
MN9	125.3	96.5	89.9
MN10	41.5	109.4	99.1
MN11	41.5	109.4	99.1
MN12	41.5	54.7	99.1

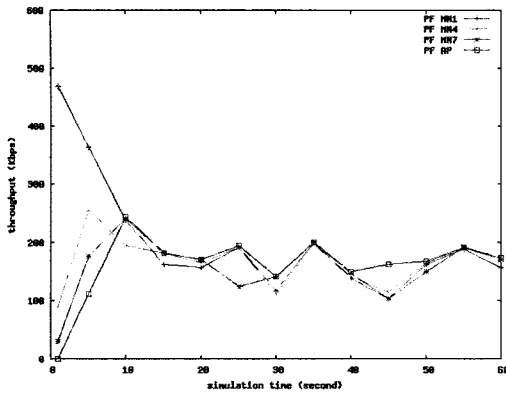


그림 5 기존의 PF 스케줄러인 경우

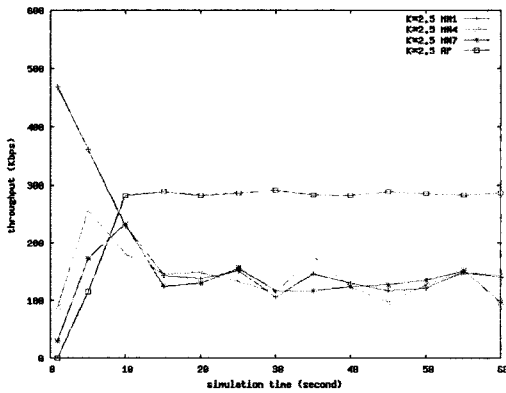


그림 6 K=2.5로 수정된 PF 스케줄러인 경우

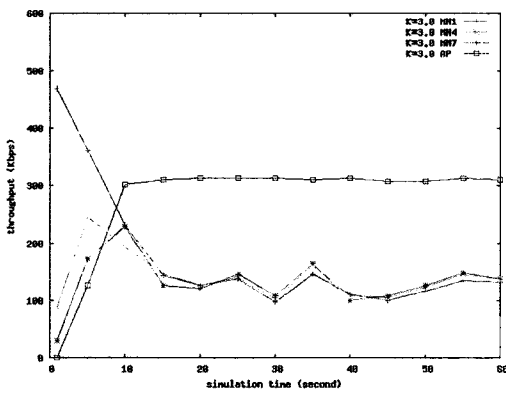


그림 7 K=3.0으로 수정된 PF 스케줄러인 경우

등가개수를 고려하도록 기존의 PF 스케줄러를 수정하였다. 이것은 PF 스케줄링 함수를 계산하는 식에 중계 노드의 비중 요소를 삽입함으로써 가능하게 된 것이다. 이러한 중계 노드의 비중 요소를 알려주는 메커니즘이 소개된 것이다. 마지막으로, 제시한 알고리즘이 제대로 적용하고 있는지의 여부는 UMTS/WLAN 통합 환경을 구성하여 시뮬레이션으로 검증하였다.

참고 자료

- [1] H. Wei and R. D. Gitlin, "Two-Hop-Relay Architecture for Next-Generation WWAN/WLAN Integration," IEEE Wireless Communications Magazine, Vol. 11, pp. 24-30, April 2004.
- [2] P. Viswanath, D. N. C. Tse, and R. Laroia, "Opportunistic Beamforming Using Dumb Antennas," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 48, pp. 1277-1294, June 2002.
- [3] P. Svedman, S. K. Wilson, and B. Ottersten, "A QoS-aware Proportional Fair Scheduler for Opportunistic OFDM," IEEE VTC, Fall, Vol. 1, pp. 558-562, September 2004.
- [4] H.J. Bang, T. Ekman, and D. Gesbert, "A Channel Predictive Proportional Fair Scheduling Algorithm," IEEE 6th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, pp. 620-624, June 2005.
- [5] B. Tian, L. Li, and R. Ramjee, "Generalized Proportional Fair Scheduling in Third Generation Wireless Data Networks," IEEE INFOCOM, April 2006.
- [6] H. Wei and R. D. Gitlin, "Incentive Scheduling for Cooperative Relay in WWAN/WLAN Two-Hop-Relay Network," IEEE WCNC, Vol. 3, pp. 1696-1701, March 2005.
- [7] NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] EURANE, <http://www.ti-wmc.nl/eurane/>

5. 결론

본 논문에서, WWAN/WLAN 2-홉 무선 중계 네트워크의 균등한 전송량 보장을 위해 새로운 PF 스케줄링 알고리즘이 제시되었다. WLAN AP에 연결된 MN들의