

OFDMA-TDD 시스템에서 채널상태 예측을 이용한 효율적인 하향링크 스케줄링 기법

준회원 김 세 진*, 정회원 원 정 재***, 이 형 우**, 종신회원 조 충 호*

An Efficient Downlink Scheduling Scheme Using Prediction of Channel State in an OFDMA-TDD System

Se-Jin Kim* *Associate Member*,
Jeong-Jae Won***, Hyong-Woo Lee** *Regular Members*,
Choong-Ho Cho* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 Orthogonal Frequency Division Multiple Access/Time Division Duplex 시스템에서 한정된 하향링크 무선 자원을 효율적으로 이용하고, 시스템 성능을 높이는 스케줄링 기법을 제안하였다. 시계열 예측 알고리즘을 이용하여 향후 변화될 기지국과 단말들 사이의 채널상태를 예측하고, 이 예측된 정보를 무선 자원 할당의 우선순위를 결정하는데 이용하였다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 분석하였고, 시스템 처리율과 지연시간에서 Proportional Fairness, 그리고 Maximum Carrier to Interference Ratio 알고리즘과 비교 평가하였다.

Key Words : Downlink, Scheduling, Channel State, Prediction, OFDMA

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel scheduling algorithm for downlink transmission which utilizes scarce wireless resource efficiently in an Orthogonal Frequency Division Multiple Access/Time Division Duplex system. Scheduling schemes which exploit channel information between a Base Station and terminals have been proposed recently for improved performance. Time series analysis is used to estimate the channel state of mobile terminals. The predicted information is then used for prioritized scheduling of downlink transmissions for improved throughput, delay and jitter performance. Through simulation, we show that the total throughput and mean delay of the proposed scheduling algorithm are improved compared with those of the Proportional Fairness and Maximum Carrier to Interference Ratio schemes.

I. 서 론

최근 무선 멀티미디어 콘텐츠 및 인터넷 서비스 요구의 증가로 고용량, 고속의 데이터 전송 기술이

요구되었고, Code division Multiple Access(CDMA), Orthogonal Frequency Division Modulation(OFDM), Multiple Input Multiple Output(MIMO)과 같은 제한된 무선 자원의 효율을 높이기 위한 연구가 폭

※ 본 연구는 산업자원부 및 한국산업기술평가원의 성장동력기술개발사업의 연구결과로 수행되었습니다.

* 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신및네트워크 연구실 ({kimsejin, chcho}@korea.ac.kr)

** 고려대학교 전자및정보공학부 B-ISDN 연구실 (hwlee@korea.ac.kr)

*** 삼성전자 통신연구소 IP-Lab 책임연구원

논문번호 : KICS2006-03-107, 접수일자 : 2006년 3월 3일, 최종논문접수일자 : 2006년 5월 9일

넓게 연구되어져 왔다. OFDM은 모바일 브로드밴드의 핵심기술로 대용량 데이터 및 MPEG4와 같은 동영상용 광대역 변복조 방식을 통해 전송할 수 있는 것이 특징으로 현재 디지털 비디오 브로드캐스팅과 IEEE 802.11g 무선랜 등에서 이용되고 있으며, MIMO등과 함께 4세대 핵심 기술로 꼽힌다. OFDMA 기술을 이용하는 휴대인터넷 시스템은 현재까지의 다른 기술보다 높은 전송률을 보이지만, 이 기술만으로는 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 Quality of Service(QoS)를 보장하기 어렵다. 즉, 차세대 이동통신 서비스에서는 음성 데이터뿐만 아니라 동영상, 웹, Email등의 서로 다른 특성을 갖는 각각의 트래픽 클래스에 대한 QoS를 만족시켜줘야 하며, Media Access Control(MAC) layer에서의 제어는 필수적이다. 현재까지 무선 환경에서 패킷 스케줄링 알고리즘은 시스템 처리율, 지연시간, 구현의 복잡성 등을 고려하여 연구되어 왔으며, 각 단말에 대한 자원 할당의 공평성을 위해서도 Lead and lag model과 Compensation model 등의 알고리즘이 제안되었다. 대표적인 알고리즘으로 비실시간 트래픽을 대상으로 개발된 Proportional Fairness (PF) 알고리즘이나 채널상태가 좋은 단말에게 우선순위를 주는 Maximum Carrier to Interference Ratio (Max C/I) 등이 연구되었지만, 현재까지 차세대 이동통신에 적합한 스케줄링 방식을 결정하지 못하고 있는 실정이다.^[1]

본 논문에서는 단일셀 환경에서 비실시간 서비스를 이용하는 이동 단말의 시스템 처리율을 높이면서, 평균 지연시간을 낮추는 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 시계열 예측 알고리즘은 이동 단말이 주기적으로 기지국에 알리는 채널 상태(Signal to Noise Ratio: SNR) 정보로 향후 변화될 채널 상태를 예측하고, 이 예측된 정보를 무선 자원 할당의 우선순위를 결정하는데 이용하는 스케줄링 알고리즘(Channel State Prediction Packet Scheduling: CSPPS)이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 OFDMA 시스템과 전반적인 무선 패킷 스케줄링 알고리즘, 그리고 예측알고리즘에 대해 간단히 살펴보고, 3장에서는 시계열 예측 알고리즘과 예측을 이용한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 시뮬레이션하고 분석하며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 연구

2.1 OFDMA 무선 시스템 모델

차세대 이동통신에서는 주파수분할 이중화방식(Frequency Division Duplex: FDD)보다 상·하향의 비대칭적 데이터 전송을 유연하게 처리할 수 있는 구조의 시분할 이중화방식(Time Division Duplex: TDD)을 선호한다. 그림 1은 OFDMA-TDD 시스템에서 한 프레임의 구조를 나타낸다. 한 프레임의 길이는 시스템에 따라 다르지만 현재 국내 휴대인터넷 시스템인 와이브로(WiBro)에서는 5ms로 하며, 상·하향링크 영역으로 나뉘어 질것으로 예상된다. 매 프레임의 전단부에는 이동단말들에게 할당된 상·하향자원을 알리기 위한 MAP이 형성되고, 데이터 전송대역은 n 개의 심볼과 m 개의 서브채널로 형성되는 슬롯들로 구성된다. 각 슬롯이 전송할 수 있는 데이터의 양은 채널 상태에 따라서 변조방식이 다르며, 채널 상태가 좋을수록 높은 데이터 전송률을 갖는다.

OFDMA 시스템의 셀룰러 망 구조에서는 채널상태에 따라서 데이터 전송률이 서로 다른 몇 개의 단계(Level)로 나누어진 변조방식을 이용한다. 그림 2는 채널상태에 따라 가상적으로 하나의 셀 범위를



그림 1. OFDMA-TDD 시스템의 프레임 구조

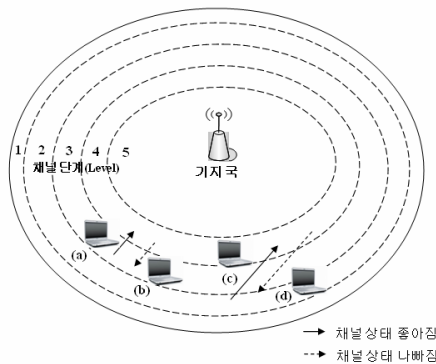


그림 2. 단일 셀에서 채널변조방식에 따른 가상적인 영역 분할

5단계로 나눈 그림이다. 가장 바깥 영역(Level)을 단계1로 정하고 셀의 안쪽 영역으로 가면서 채널의 단계를 의미하는 숫자가 증가하며, 전송률도 함께 증가하는 구조를 갖는다. 예를 들어, 한 이동단말이 바깥쪽에서 안쪽으로 이동한다면 채널상태는 점점 좋아지고 전송률도 증가한다. 반대로 안쪽에서 바깥쪽으로 이동한다면 채널상태가 나빠지고 전송률은 감소한다.

2.2 무선 패킷 스케줄링 알고리즘

참고문서 [2]에서는 단말의 채널 상태를 고려하여 시스템 처리율을 높이고, 자원할당의 공평성을 고려하는 PF 방안을 제시하고 있다. 서비스를 이용하는 각 단말은 주기적으로 신호대 잡음비를 측정하여 현 채널 상태에서 보낼 수 있는 데이터량, Data Rate Control(DRC),을 별도의 채널을 통해 기지국에 전송한다. 각 단말의 DRC와 적절한 크기를 가진 윈도우에서 받은 평균 전송률(R)을 이용하여 각 스케줄링 스텝에서 가장 큰 $DRC_i(t)/R_i(t)$ 값을 갖은 사용자가 데이터를 우선적으로 전송하는 방안이다. 즉, 식(1)의 사용자 j 가 서비스를 받으며 이 값이 같을 경우 무작위로 선택된다. 단, 보낼 데이터가 없는 사용자는 해당되지 않는다.

$$j = \arg \max \frac{DRC_i}{R_i} \quad (1)$$

각 사용자 i 에 대한 평균 전송율(R)은 식(2)에 의해 갱신되며, 현재 데이터를 전송하지 못한 사용자는 현 전송율이 '0'이고 전송할 데이터가 없는 사용자에게 대해서도 갱신한다. 평균 전송율 갱신은 매 프레임마다 이루어지며, 일반적으로 Smoothing 파라미터 t_c 는 1000 프레임으로 한다.

$$R_i(t+1) = (1 - 1/t_c) \cdot R_i(t) + 1/t_c \cdot DRC_i(t) \quad (2)$$

Max C/I는 각 사용자별 버퍼를 두고 채널상태가 가장 좋은 사용자가 우선순위를 갖는 방식으로 시스템 처리율에서는 좋은 성능을 보일 수 있으나 기지국과 가까운 채널 사용자가 무선 자원을 독점하는 상황이 발생할 수 있다.^[2]

2.3 무선 채널 예측 알고리즘

기지국은 단말이 주기적으로 보낸 채널상태 정보를 이용하여 앞으로 변할 채널상태를 예측할 수 있다. 채널상태 예측 알고리즘은 지금까지 Kalman

Filter,^[3] Bayesian^[4] 그리고 시계열예측^[6] 등을 이용하여 연구되어져 왔으며, 각 실험환경과 조건에 따라 예측 오차에 대한 우위가 다르게 나타나고 있다.^[3, 4] Kalman Filter와 Bayesian을 이용한 방법은 시계열 예측이나 다른 방법보다 정확하지만 복잡하다는 단점이 있다. 때문에 이 두 방법은 다수의 사용자에 대한 예측을 시스템에 적용하여 수행하기에는 과부하가 예상되어 부적합하다. 실험결과 오히려 정확한 예측은 짧은 시간간격마다 예측을 하는 것이 정확도가 더 높게 나타나고 있다.

본 논문에서는 단순한 시계열 예측 알고리즘에 예측 정확도를 높이는 방법을 스케줄링 알고리즘에 적용한 CSPPS를 소개한다.

II. 무선 채널예측 기반의 하향링크 스케줄링 알고리즘

3.1 무선 채널상태 변화 예측 알고리즘

참고문서 [6]에서는 뉴럴네트워크 기반의 시계열 예측을 이용하여 단말의 위치를 예측하지만, 본 논문에서는 기지국의 시스템이 각 이동단말들의 무선 채널상태의 변화를 예측하는데 시계열 예측을 적용해 보았다. 무선 셀룰러 환경에서 이동단말의 채널상태는 기지국과 단말 사이의 거리, 페이딩에 의해 결정되며, 이동 속도와도 밀접한 관계가 있다. 그림 3은 높은 건물이 많지 않은 단일 셀 환경에서 4가지 방향으로 이동하는 단말들의 채널상태 변화를 나타낸 그림이다.

예를 들면, 단말이 그림 2의 (a),(c)와 같이 바깥쪽에서 안쪽으로 이동한다면 채널상태는 그림 3의 (a),(c)와 같이 증가하고, 단말이 그림 2의 (b),(d)와 같이 안쪽에서 바깥쪽으로 이동한다면 채널상태는 그림 3의 (b),(d)와 같이 감소할 것이다. 그림 3의 (a)와 (c)의 관계 그리고 (b)와 (d)의 관계는 이동 단말의 속도나 단말의 이동방향에 있다. 즉, 단말의 이동 속도에 따라 채널상태의 변화가 급격히 변할 수도 있고, 완만해질 수도 있다. 또한 단말의 이동 방향과 기지국의 위치도 밀접한 관계가 있다.

기지국은 단말기로부터 주기적으로 받은 최근 채널

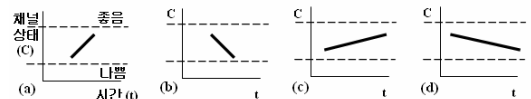


그림 3. 단말의 움직임에 대한 채널 상태(SNR)의 변화

널상태 정보, $V(t)$,를 각 단말이 갖는 데이터베이스에 저장하고, 데이터베이스에 저장된 이 채널상태 정보는 식 (3)과 같은 시계열 예측방법을 이용하여 i 번째 단말의 평균 채널상태의 변화량, $\Delta \bar{V}_i(t_n)$,을 구한다.

$$\Delta \bar{V}_i(t_n) = \frac{1}{k} \sum_{x=0}^{k-1} (V_i(t_{k-x}) - V_i(t_{k-(x+1)})) \quad (3)$$

이 채널상태 변화량의 평균값과 현재 i 번째 단말의 SNR 값, $V_i(t_n)$,을 이용하여 식(4)와 같이 향후 변화될 채널상태, $\tilde{V}_i(t_{n+1})$,를 예측한다.

$$\tilde{V}_i(t_{n+1}) = V_i(t_n) + \Delta \bar{V}_i(t_n) \quad (4)$$

기지국이 단말로부터 새로운 채널정보를 전송받으면 현재 데이터베이스에 저장되어 있는 가장 오래된 채널정보는 삭제되고, 새로 전송받은 채널정보가 데이터베이스에 저장되어 향후 채널상태 예측에 이용된다.

3.2 제안하는 스케줄링 알고리즘

전형적인 스케줄링 알고리즘은 채널상태가 좋은 단말이나 전송될 패킷의 지연시간이 오래된 단말에게 우선하여 무선자원을 할당한다. 최근 다양한 환경에서 채널상태를 예측하여 스케줄링하는 논문들이 연구되고 있으며, CSPPS 스케줄링 알고리즘도 같은 방법으로 현재 채널상태와 예측된 채널상태의 변화량을 이용하여 우선순위를 정하고, 시스템의 효율성을 높인다. 하지만 채널변조방식을 이용하는 OFDMA-TDD 시스템에서 아래 제안하는 방법을 이용하는 알고리즘은 아직 연구된 바 없다.

제안하는 알고리즘은 단말의 예측된 채널상태가 향후 다른 채널변조방식으로 변환 가능성을 측정한 후, 우선순위를 제어하는 방법이다. 이를 위해서 시스템은 채널상태에 대한 채널변조방식을 몇 개의 단계(Channel Level)로 나누고, 각 채널 변조방식은 3단계(Sub_level 1,2,3)로 다시 나누어 각 단말들이 향후 변환 채널상태를 예측하여 성능을 향상시키는데 이용한다. 이동단말의 채널상태 변화에 따른 자원할당의 우선순위를 결정하는 방법은 그림4를 보며 자세히 설명한다.

그림 4에서 채널단계의 채널변조방식(Channel Level)이 바뀌는 경계는 실선으로, 각 채널단계를 3단계로 나눈 후, 채널단계가 곧 바뀔 가능성이 높은 범위는

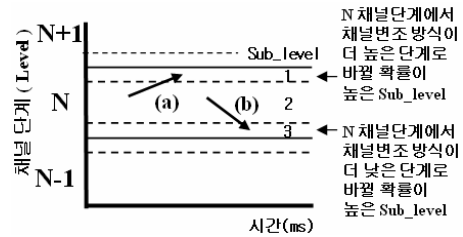


그림 4. 제안하는 스케줄링 알고리즘

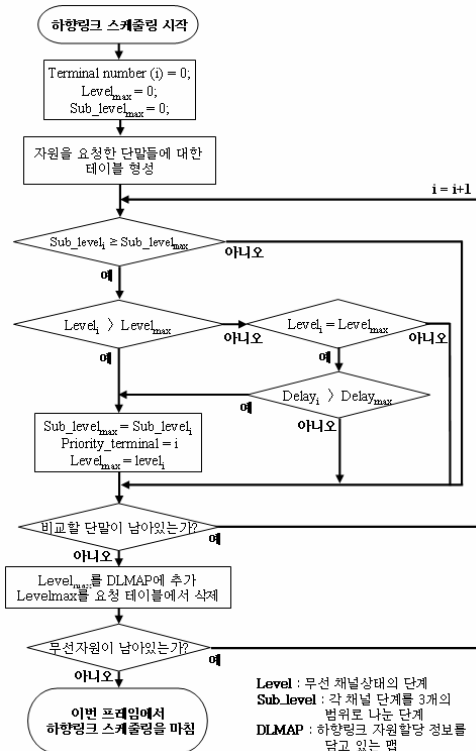


그림 5. 제안하는 스케줄링 알고리즘(CSPPS)의 순서도

1. 스케줄링을 위해 모든 변수를 초기화한다.
2. 무선자원을 요청한 단말들에 대한 자원요청 리스트를 만든다.
3. 만들어진 자원요청 리스트의 단말들을 높은 전송률의 채널변조방식을 사용하는 순서와 예측된 채널상태 정보로 얻어진 우선순위로 무선자원을 할당한다. 만일 두 개 이상의 단말이 채널변조방식과 예측된 정보에 의한 우선순위에서 같다면 지연시간이 오래된 단말에게 우선순위를 준다.
4. 자원 요청 리스트의 모든 단말에게 서비스를 해주었거나, 더 이상 남아있는 자원이 없다면 다음 프레임에 대한 DL-MAP¹⁾을 만들고 스케줄링을 마친다.

점선으로 표현하였다. 이동단말이 현재 N 채널 단 계에 포함되어 있다면, 단말은 그에 적합한 데이터 변조방식으로 서비스 받다가 단말의 이동에 따른 예측된 채널상태가 그림 4의 (a)와 같이 전송률이 더 높은 채널변조방식으로 이동할 확률이 높은 범 위에 들어오면 자원할당 우선순위를 다른 단말들보 다 낮게 한다. 해당 단말은 곧 채널변조방식을 바꾸 고 높은 전송률로 서비스 받을 수 있기 때문에 무 선자원을 다른 단말들에게 양보하고 채널변조방식이 바뀐 뒤 더 높은 전송률로 서비스 받는 것이다. 반 대로 이동단말의 예측한 채널상태가 (b)와 같이 전 송률이 더 낮은 채널변조방식으로 이동할 확률이 높은 범위 안으로 들어온다면 데이터 전송 에러를 고려하면서 자원할당 우선순위를 높여 채널변조방식 이 바뀌기 전에 최대한 많은 데이터를 전송한다. 이 와 같은 스케줄링 알고리즘을 이용하기 위해서 단 말은 정확한 채널 정보를 주기적으로 기지국에 알 려주어야 하며, 기지국에서는 정확한 채널예측 알고 리즘을 이용해야 한다. 예측한 채널상태 정보는 데 이터 변조방식을 미리 바꾸는데 이용하는 것이 아 니고 우선순위 결정에만 이용하기 때문에 데이터 오류에 대한 문제는 채널상태를 예측하지 않는 일 반적인 방식과 같다. 그림 5는 제안하는 스케줄링 알고리즘의 순서도를 보여주고 있다.

IV. 시뮬레이션 및 분석

본 실험에서는 제안하는 CSPPS 알고리즘을 이용 한 무선 하향링크 스케줄링의 성능을 평가한다. C++ 프로그래밍을 이용하여 실험하였으며, 같은 환경에서 PF와 Max C/I 알고리즘을 비교 분석한다. 실시간 트래픽은 특성상 지연이 없는 완벽한 서비스를 보장해야 하기 때문에 CSPPS는 비실시간 트래픽만을 대상으로 하며, 본 실험에서는 웹 트래픽 모델을 이용하였다.

4.1 무선채널 모델링

무선 채널 모델링은 기지국과 단말 사이의 채널 상태를 현실적으로 나타낼 수 있는 방법으로 실험 에 이용한 모델은 각 단말과 기지국 사이의 거리에서 생기는 패스로스(H_k^p)와 쉐도우 페이딩(H_k^s)을 적용하였고, 각 영역에 대한 채널변조방식은 단말의 이동에 따른 SNR에 의해 결정되며, 본 논문에서는 SNR의 크기를 $H_k(t)$ 로 표현한다.^[7]

$$H_k(t) = \sqrt{H_k^p(t) \cdot H_k^s(t)} \quad (5)$$

식(5)에서 $H_k^p(t) = C \cdot (\max(r_k(t), r_0))^{-\alpha}$, $C = 10^{-2.86}$ 와 같 이 구할 수 있으며, 여기에서 $r_k(t)$ 는 단말과 기지국 사이의 거리, r_0 는 기지국까지의 최대 근접거리이다. $H_k^s(t) = 10^{X_k(t)/10}$ 로 구할 수 있으며, $X_k(t)$ 는 zero-mean Gaussian random process로 $X_k(t) = \rho(d_k) \cdot X_k(t-1) + \sqrt{1-\rho^2(d_k)} \cdot X'$ 와 같이 표현된다. $\rho(d_k)$ 는 단말이 이 동한 거리를 나타내며 $\rho(d_k) = \exp(-d_k \ln 2 / d_{cor})$ 로 구 할 수 있으며, 여기에서 d_k 는 이동한 거리, d_{cor} 은 쉐도우 페이딩의 상관거리이다. X' 은 $X_k(t)$ 와 독립적 이지만 같은 방법으로 얻을 수 있다.^[8]

4.2 Gauss-Markov mobility model

단말의 이동 형태를 만드는 이동성 모델링에는 Fluid model, Random movement model, Markov model 등이 있지만 본 논문에서는 직진형 방향성을 갖고 매끄러운 이동패턴을 갖는 Gauss-Markov model을 사용하였다. 속도와 시간, 방향성을 띤 이 동은 Gauss-Markov 분포를 이용하며, 주기적으로

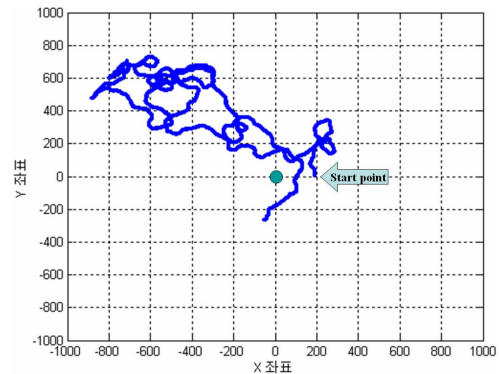


그림 6. 이동성 모델링의 실험 결과 (X, Y좌표는 변경 1km인 셀의 위치를 나타냄)

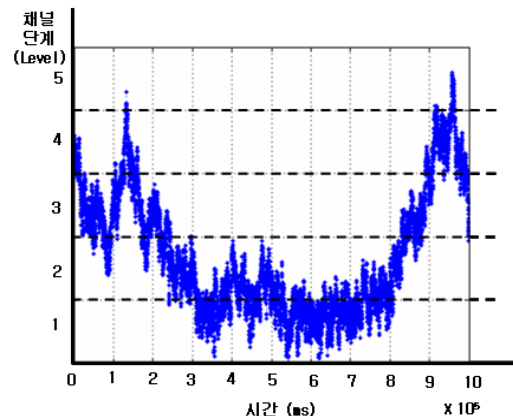


그림 7. 단말의 이동에 따른 채널 상태의 변화

피드백되는 정보는 예측이 가능한 유연한 구조를 가진다. 직진 이동의 방향성과 속도를 고려할 때, 다른 이동성 모델보다 도시 환경에 적합한 모델이라 할 수 있다.^[9]

그림 6과 7은 단일 셀 환경에서 4.1의 채널모델을 이동성 모델에 적용하여 실험한 결과이다.

그림 6은 Gauss-Markov model을 이용하여 반경 1km인 단일 셀의 범위 안에서 한 단말의 이동을 실험한 결과이다. 각 이동단말은 최초 트래픽 발생과 동시에 임의의 영역에서 생성되며, 10km/h의 고정속도로 1000초 동안 이동한 흔적을 추적해 보았다. 단말은 방향을 100ms마다 좌우 5° 이내로 전환하고, 셀의 경계를 넘어서면 그 위치에서 180° 회전하여 안쪽으로 이동한다고 가정한다. 그림 7은 그림 6과 같이 이동한 단말이 갖는 채널상태의 변화를 나타낸 그림이다.

4.3 웹 트래픽 모델

실험은 웹 트래픽 모델을 비실시간 트래픽으로 사용하며, ON/OFF 모델과 비슷하나 세부적인 항목을 갖는다. 그림 8과 같이 웹 트래픽은 한번 웹페이지를 검색할 경우 웹페이지의 정보와 문자들의 정보를 갖는 하나의 Main object와 웹페이지에 포함된 이미지와 같은 다수의 Embedded object가 전송된다. 표 1은 웹 트래픽 모델의 세부적인 파라미터를 나타낸다.^[10]

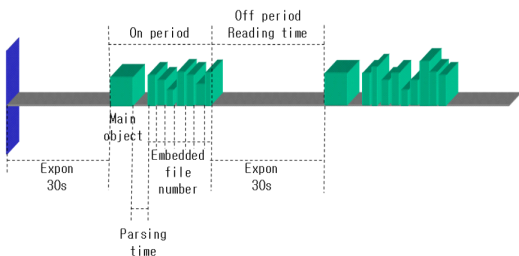


그림 8. 웹 트래픽 모델링

표 1. 웹 트래픽 파라미터

Component	Distribution	Parameters
Main Object size	Truncated Lognormal	Mean: 10710 bytes Min: 100 bytes Max: 2 Mbytes
Embedded Object size	Truncated Lognormal	Mean: 7758 bytes Min: 50 bytes Max: 2 Mbytes
Number of embedded objects/page	Truncated Pareto	Mean: 5.64 Max: 53
Reading time	Exponential	Mean: 30 seconds
Parsing time	Exponential	Mean: 0.13 seconds

4.4 시뮬레이션 환경

실험은 다중접속방식 기술로 OFDMA를 이중화 방식으로 TDD를 적용한다. 시스템에서 한 프레임은 5ms로 하며, 각 프레임의 하향링크 영역은 8개의 서브채널과 12개의 심볼수로 한 프레임에 총 96개의 슬롯을 매 프레임마다 고정적으로 형성한다고 가정한다.

각 단말들의 채널 상태에 대한 서비스 단계와 서비스율은 표 2에 나타나 있다. SNR의 범위는 셀의 면적을 동일하게 안쪽부터 5단계로 나눈 뒤, 각 단계에서의 SNR 신호의 세기를 측정하여 얻었으며, gamma의 단위는 채널모델링을 이용하여 얻어지는 값(dB)이다. 채널 상태 예측은 정확성을 높이기 위해 매 프레임마다 하였으며, 단말과 기지국 사이의 최소 근접거리 r₀는 10m, 웨도우 페이딩 상관거리 (d_{cor})는 5m로 한다. 시계열 예측에 사용되는 히스토리 데이터의 개수는 최근 데이터 3~4개를 이용하고, 서비스 이용자의 수를 고정시키기 위해 서비스를 이용하는 단말은 실험 종료시간까지 기지국과 통신한다고 가정하였다.

표 2. 채널상태에 대한 변조 및 서비스율

Range of SNR(r)(dB)	Service Level	Service rate (bytes/slot)
$r < -65.94$	1	16
$-65.94 \leq r < -64.85$	2	24
$-64.85 \leq r < -63.31$	3	32
$-63.31 \leq r < -60.68$	4	40
$-60.68 \leq r$	5	48

4.5 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션은 사용자 수의 증가에 대한 전체 처리율, 평균 지연시간 그리고 지터값들의 다양한 측

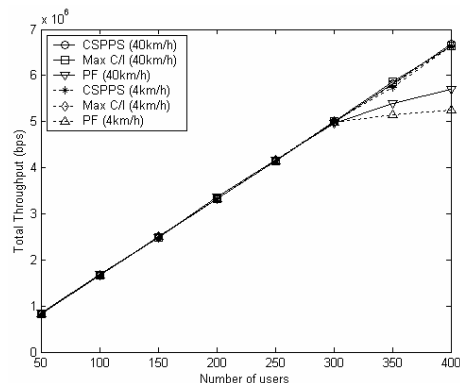


그림 9. 전체 처리율

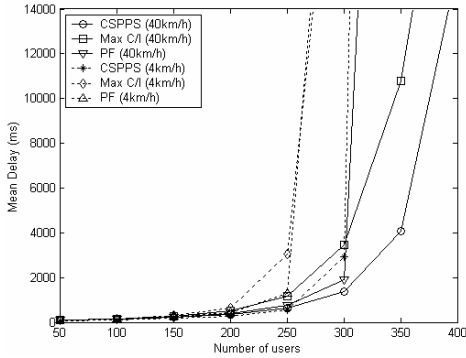


그림 10. 평균 지연시간

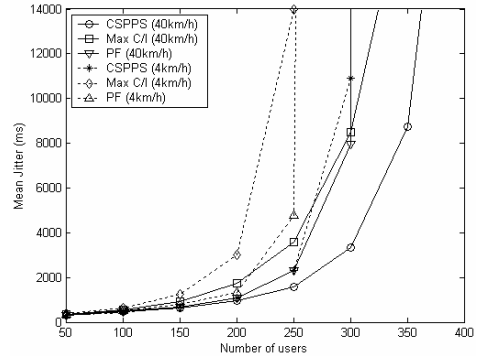


그림 11. 지터

면에서 살펴보았으며, 단말은 4km/h와 40km/h의 고정된 두 개의 이동속도에서 실험하였다. 사용자수는 400명까지 측정하였으며, 실제 단일 셀에서 사용 가능한 인원이 아닌 제안 알고리즘의 성능을 고찰하기 위한 임의의 숫자를 의미한다.

그림 9는 사용자수가 증가함에 대한 전체 처리율을 본 그래프로서 CSPPS와 Max C/I는 채널상태가 좋은 사용자에게 우선순위를 주기 때문에 계속 증가하지만, PF는 모든 단말들에게 공평한 서비스를 고려하기 때문에 300명부터 감소한다. 이동속도가 40km/h일 경우의 PF가 4km/h의 경우보다 전체 처리율에서 좋은 성능을 보이는 이유는 40km/h로 이동하는 단말이 셀의 안쪽과 바깥쪽을 빠른 속도로 계속 오가면서 데이터를 전송하기 때문에 높은 전송률일 때 자원으로 할당 받아 데이터를 전송하지만, 4km/h의 이동 단말은 셀의 바깥쪽에서 자원을 할당 받는 경우가 많아져서 낮은 전송률로 데이터를 전송하기 때문이다. 예를 들면, 그림 6에서 40km/h의 단말은 단일 셀 영역의 어느 위치에서 최초 생성되어도 안쪽과 바깥쪽을 계속 이동하며 데이터를 전송하지만, 속도가 4km/h의 단말은 바깥쪽을 향할 경우 데이터 전송률이 낮아져 전체 처리율을 감소시키기 때문이다.

그림 10은 평균 지연시간을 비교했으며 모든 알고리즘에서 40km/h의 이동단말이 4km/h일 때 보다 좋은 성능을 보이고 있다. 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 이동단말이 셀의 바깥쪽에 오래 머물게 되면 대역폭 활용도가 낮아짐과 동시에 지연시간도 증가하기 때문이다. PF는 두 속도에서 모두 Max C/I보다 좋은 성능을 보이고 있으나 4km/h에서는 사용자수가 250명, 40km/h에서는 300명 이상에서는 버퍼의 크기가 크게 늘어나 지연시간이 급격하게 증가함을 보인다. CSPPS는 다른 두 방식보다 여전히

좋은 성능을 보이고 있다.

그림 11은 지터값의 결과로 CSPPS가 여전히 다른 두 알고리즘보다 좋은 성능을 보이고 있다. PF가 Max C/I보다 좋은 성능을 보이고 있으나, 40km/h에서는 사용자수가 300에서, 4km/h에서는 250명에서 각각 지터값이 급격히 증가하고 있다. 이유는 PF가 전체 처리율에서 각 사용자들에게 공평한 서비스를 하기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 서비스 중인 이동단말의 채널상태의 변화를 예측하여 제한된 무선자원을 효율적으로 이용하는 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘을 다른 알고리즘들과 비교하여 보았고, 전체 처리율과 평균 지연시간, 지터값에서 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 이와 같은 연구 결과는 실시간 트래픽을 비실시간 트래픽보다 우선시하는 차세대 무선 통신기술에서 비실시간 트래픽에 대한 전송률과 지연시간을 향상시키는데 이용할 수 있으며, 예측알고리즘은 동종망 또는 이종망 사이의 핸드오프 문제에도 응용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Fattah, H, and Leung, C, "An Overview of Scheduling Algorithms in Wireless Multimedia Networks," *Wireless Communications, IEEE*, vol.9, Issue 5, pp.76-83, Oct. 2002.
- [2] Jalali, A.; Padovani, R.; Pankaj, R., "Data Throughput of CDMA HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System", *IEEE VTC 2000-*

Spring, vol.3, pp.1854-1858, May 2000.

[3] Sternad, M, Aronsson, D, "Channel estimation and prediction for adaptive OFDM downlinks", *Vehicular Technology Conference, VTC 2003-Fall*. IEEE 58th Volume 2, 6-9 Oct. 2003

[4] Dogandzic. A, Benhong Zhang, "Dynamic power estimation and prediction in composite fading-shadowing channels", *ICASSP'04. IEEE International Conference on*, vol.2, pp.ii-1013-16, May 2004.

[5] Masters Timothy, *Neural, Novel and Hybrid Algorithms for Time Series Prediction*, Wiley, 1995.

[6] Shiang-Chun Liou, Hsuan-Chia Lu, "Applied neural network for location prediction and resources reservation scheme in wireless networks", *Communication Technology Proceedings*, 2003. ICCT 2003. International Conference on, vol.2, pp.958-961, April 2003.

[7] Jens Zander, Seong-Lyn Kim, *Radio Resource Management for Wireless Networks*, Artech House, 2001.

[8] Oh-Soon Shin, Kwang-Bok Lee, "Packet Scheduling over a Shared Wireless Link for Heterogeneous Classes of Traffic", *IEEE International Conference on*, vol.1, pp.58-62, June 2004.

[9] Abbas Jamalipour, *The Wireless Mobile Internet architectures, protocols and services*, Wiley, 2003.

[10] Farooq Anjum, Leandros Tassiulas, "Fair Bandwidth Sharing among Adaptive and Non-Adaptive Flows in the Internet", *IEEE INFOCOM*, pp.1412-1420, March 1999.

[11] Toni. J, *Traffic Analysis and Design of Wireless IP Networks*, Artech House, 2003.

김 세 진 (Se-Jin Kim) 준회원



2004년 2월 조선대학교 전산학과(학사)
 2004년 2월 고려대학교 전산학과(석사)
 2006년 3월~현재 고려대학교 전산학과(박사과정)
 <관심분야> 이동통신, QoS, 스케줄링, 텔레매틱스, 홈네트워킹&보안

원 정 재 (Jeong-Jae Won) 정회원



1995년 8월 고려대학교 전산학과(학사)
 1998년 8월 고려대학교 전산학과(석사)
 2003년 2월 고려대학교 전산학과(박사)
 2003년 3월~2003년 9월 고려대학교 컴퓨터정보학과 연구교수

2003년 3월~2005년 9월 Univ. of British Columbia Electrical&Computer Engineering(P.D)
 2005년 10월~현재 삼성전자 통신연구소 IP-Lab 책임연구원

<관심분야> 무선 이동 통신망 트래픽 관리기술, 차세대 인터넷 프로토콜 QoS Interworking, 멀티미디어 통신, WLAN/WMAN 트래픽 제어기술

이 형 우 (Hyung-Woo Lee) 정회원



1979년 Univ. of British Columbia Electrical Engineering(학사)
 1983년 Univ. of Waterloo, Electrical Engineering(박사)
 1983~1988년 Univ. of British Columbia, 조교수
 1988~1991년 Univ. of Carleton,

조교수

1992년~1995년 Univ. of Waterloo, 조교수
 1995년~현재 고려대학교 전자및정보공학부, 교수
 <관심분야> 통신망 설계 및 성능분석, ATM 트래픽 제어, MAC프로토콜

조 총 호 (Choong-Ho Cho) 종신회원



1981년 고려대학교 공과대학 산업공학과(학사)
 1983년 고려대학교 산업공학과(석사)
 1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(석사)
 1989년 프랑스 INSA de Lyon

전산학과(박사)

1990~1994년 순천대학교 전산통계학과 조교수
 1994~현재 고려대학교 전산학과 교수
 <관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스