

# OFDMA-TDD 환경에서 채널상태 예측 기반의 효율적이고 공평한 하향링크 스케줄링 기법

김세진\*, 박철민\*, 이형우\*\*, 조충호\*  
\*고려대학교 컴퓨터 정보학과  
\*\*고려대학교 전자 및 정보공학부  
e-mail : [kimsejin@korea.ac.kr](mailto:kimsejin@korea.ac.kr)

## An Efficient Downlink Fair Scheduling Scheme Based on the Channel State Prediction in an OFDMA-TDD System

Se-Jin Kim\*, Chul-Min Park \*, Hyong-Woo Lee\*\*, Choong-Ho Cho\*  
\*Dept. of Computer and Information Science, Korea University  
\*\*Dept. of Electronics & Information Engineering, Korea University

### 요 약

본 논문에서는 OFDMA-TDD 환경에서 서비스 사용자들에게 QoS 를 보장해줄 수 있도록 예측 알고리즘을 이용하여 한정된 무선 자원을 효율적이고 공정하게 스케줄링 해주는 알고리즘을 연구하였다. 예측 알고리즘은 각 사용자의 이동 정보와 단말들의 변화해온 채널상태의 history data 를 이용하여 앞으로의 채널상태를 예측하고, 예측된 결과는 사용자의 이동 정보와 함께 무선 자원 스케줄링에 적용한다. 또한 이동단말과 고정단말이 공존하는 환경에서는 QoS 보장에 있어 공정하지 않음을 밝히고, 이와 같은 문제를 해결하는 방안을 제안하였으며, 실험결과를 PF 알고리즘과 비교하였다.

### 1. 서론

차세대(4G) 이동통신 시스템은 이동단말들의 음성, 비디오, 데이터 등에 대한 다양한 멀티미디어 서비스가 예상된다. 그러나 유선통신과 달리 무선시스템은 자원이 한정되어 있다. 따라서 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFMA)이나 Multi-input Multi-output (MIMO)과 같은 자원을 효율적으로 이용하여 대용량의 데이터를 전송할 수 있는 연구가 진행되어 왔다. 그러나 전송률만 증가시키는 연구만으로는 멀티미디어 트래픽들의 다양한 Quality of Service(QoS) 요구조건을 만족시키지 못하므로 Media Access Control (MAC) layer 에서의 효율적인 스케줄링 기법이 필수적이다.

차세대 이동통신에서는 이와 같은 방법으로 다양한 멀티미디어 트래픽의 특성에 맞추어 시스템 처리율과 공평성을 고려해야 하며, 이러한 문제는 이동 중인 단말과 고정된 단말 사이에서도 고려되어야 한다.

본 논문에서는 채널 상태 정보를 이용하여 채널상태를 예측하고, 이 예측된 정보를 이용하여 고정·이동 단말이 공존하는 환경에서 공평성을 고려한 스케줄링 알고리즘(Channel State Prediction for Fair Scheduling: CSPFS)을 제안한다.

ng: CSPFS)을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 관련 기술을 살펴보고, 3 장에서 제안하는 알고리즘을 설명한다. 4 장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구동향

#### 2.1 무선 패킷 스케줄링 알고리즘

현재까지 다양한 무선환경에서 스케줄링 알고리즘은 처리율, 지연시간, 시스템 활용성, 공평성, 복잡성 등을 고려하여 연구되어 왔으며, 최근에는 멀티미디어 데이터에 대한 클래스별, 사용자별 트래픽의 특성을 고려하여 QoS 와 공평성을 보장하기 위한 방식이 연구되고 있다.

참고 논문 [1]의 Proportional Fairness(PF) 알고리즘은 현재 1xEV-DO 시스템에 적용되고 있으며 각 단말의 채널 상태를 고려하여 시스템 처리율을 높이고, 자원 할당의 공평성이 고려되었다. 서비스를 이용하는 각 단말은 주기적으로 신호대 잡음비를 측정하여 현 채널 상태에서 보낼 수 있는 전송량, 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.

각 사용자  $i$  에 대한 평균 전송률( $R_i$ )은 식(1)에 의해 갱신되며, 현재 데이터를 전송하지 못한 사용자는 현 전송률이 '0' 이고 전송할 데이터가 없는 사용자에게 대해서도 갱신한다. 평균 전송률 갱신은 매 프레임마다 이루어지며, 일반적으로 Smoothing 파라미터  $t_c$ 는 1000 프레임으로 한다.

$$R_i(t+1) = (1-1/t_c) \cdot R_i(t) + 1/t_c \cdot DRC_i(t) \quad \text{식(1)}$$

Modified Largest Weighted Delay First(M-LWDT)는  $t$ 시간에 전송률  $r_j(t)$ 와 큐에 대기중인 패킷의 지연시간  $W_j(t)$  그리고 특정 단말에 대한 서비스의 우선순위를 결정하는 가중치  $r_j$ 로 얻은  $r_j W_j(t) r_j(t)$  값이 가장 큰  $j$  단말이 자원을 할당 받는 방식으로 처리율의 최적화를 위한 알고리즘이다.

### 2.2 무선 채널 예측 알고리즘

기지국은 단말이 주기적으로 보낸 채널 상태정보를 이용하여 앞으로 변할 채널상태를 예측할 수 있다. 채널 상태 예측 알고리즘은 지금까지 Kalman Filter[2], Bayesian[3] 그리고 Time Series[4]등을 이용하여 연구해 왔으며, 각 실험환경과 조건에 따라 예측 오차에 대한 우위가 다르다. Kalman Filter 와 Bayesian 을 이용한 방법은 다른 방법보다 정확할 수 있지만 복잡하다는 단점이 있다. 그리고 정확한 예측은 짧은 주기로 예측을 하는 것이 긴 주기의 정확한 예측 방법보다 일반적으로 정확도가 더 높다. 또한 앞의 복잡한 두 방법은 다수의 사용자에 대한 예측을 자주 수행하기에는 과부하가 예상된다. 그러나 시계열 방법은 예측 정확도에 비하여 복잡하지 않아 현재 다양한 분야에서 응용되고 있다.

## 3. 제안하는 알고리즘

### 3.1 무선 채널 변화 예측 알고리즘

참고문서 [5]에서는 시계열 예측을 이용하여 단말의 위치를 예측하지만, 본 논문에서는 기지국의 시스템이 각 이동단말들의 무선 채널상태의 변화를 예측하는데 시계열 예측을 이용한다. 무선 셀룰러 환경에서 단말의 채널상태는 기지국과 단말 사이의 거리 그리고 페이딩에 의해 결정된다. 그러나 이동 단말은 속도와의 밀접한 관계가 있다. 그림 1 은 전형적인 이동단말들의 채널상태 변화를 표현한다.

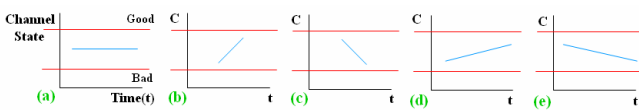


그림 1. 단말의 이동에 따른 채널상태(SNR)의 변화

예를 들어, 단말이 고층 건물이 많지 않은 셀 범위의 바깥쪽에서 안쪽으로 이동한다면, 채널상태는 그림 1 의 (b), (d)와 같이 증가하고, 안쪽에서 바깥쪽으로

이동한다면 (c), (e)와 같이 감소할 것이다. 단말의 이동 속도와 방향에 따라 채널상태의 기울기는 다르게 나타나며, 정지된 단말은 (a)와 같이 큰 변함이 없을 것이다.

기지국은 단말로부터 주기적으로 받은 최근 채널상태 정보,  $V_i(t)$ ,를 각 단말에 해당하는 데이터베이스에 저장하고, 데이터베이스에 저장된 이 채널상태 정보는 식(2)과 같은 시계열 예측방법을 이용하여  $i$  번째 단말의 평균 채널상태의 변화량,  $\Delta \bar{V}_i(t_n)$ ,을 구한다.

$$\Delta \bar{V}_i(t_n) = \frac{1}{k} \sum_{x=0}^{k-1} (V_i(t_{k-x}) - V_i(t_{k-(x+1)})) \quad \text{식(2)}$$

이 채널상태 변화량의 평균값과 현재  $i$ 번째 단말의 Signal to Noise Ratio(SNR),  $V_i(t_n)$ ,를 이용하여 식(3)와 같이 향후 변화될 채널상태,  $\tilde{V}_i(t_{n+1})$ ,를 예측한다.

$$\tilde{V}_i(t_{n+1}) = V_i(t_n) + \Delta \bar{V}_i(t_n) \quad \text{식(3)}$$

기지국이 단말로부터 새로운 채널 변화 값을 전송 받으면 현재 데이터베이스에 저장되어 있는 가장 오래된 채널상태 데이터는 삭제되고, 새로 전송 받은 데이터가 데이터베이스에 저장되어 향후 채널상태 예측에 이용된다.

### 3.2 채널 상태 예측을 이용한 공평한 스케줄링 기법

#### (Channel State Prediction for Fair Scheduling : CSPFS)

전형적인 스케줄링 알고리즘은 채널상태가 좋은 단말이나 전송될 패킷의 지연시간이 오래된 단말에게 우선하여 무선 자원을 할당한다. 하지만 제안하는 CSPFS 스케줄링 알고리즘은 현재 채널상태와 예측된 채널상태의 변화량을 이용하여 우선순위를 정하고, 시스템의 효율성을 높여 자원할당의 공평성도 높인다[6]. 즉, 단말의 예측된 채널상태가 향후 다른 채널 변조방식으로 변할 가능성이 높을 경우(Channel Level 이 변하는 경우) 우선순위를 제어하는 방법을 말한다. 이를 위해서 시스템은 채널상태에 대한 채널 변조방식을 몇 개의 단계(Channel Level)로 나누고, 각 채널 변조방식은 다시 단말의 채널레벨이 더 좋은 채널레벨로 변할 확률이 높은 영역(Sub\_level 1), 나쁜 채널레벨로 변할 확률이 높은 영역(Sub\_level 3) 그리고 변할 확률이 적은 영역(Sub\_level 2)의 3 단계 서브레벨로 나눌 필요가 있다. 그림 2 는 앞에서 설명한 구조를 표현한 그림이다.

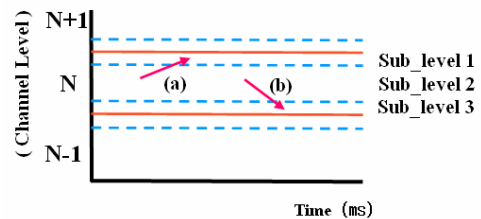


그림 2. CSPFS 패킷 스케줄링 알고리즘

예를 들어, 단말의 예측한 채널상태가 그림 2 의 (a)와 같다면 곧 데이터 전송률이 높은 채널레벨(N+1)로 코딩방식이 바뀔 수 있기 때문에 스케줄러는 자원할당 우선순위를 낮추어 서비스한다. 반대로 단말의 예

측한 채널상태가 (b)와 같다면 곧 데이터 전송률이 낮은 채널레벨(N-1)로 코딩방식이 바뀔 수 있기 때문에 스케줄러는 전송에러를 고려하면서, 자원할당 우선순위를 높여 서비스하고 시스템의 성능을 향상시킨다[6].

$$P_i(t_n) = \max \left\{ \frac{DRC_i(t_n)}{R_i(t_n)} \cdot D_i^{HOL}(t_n) \cdot W_i(t_n) \right\} \text{ 식(4)}$$

식(4)는 단말의 전송률을 공평하게 하기 위해 2.1 절에서 설명한 PF알고리즘의 DRC/R 방식을 이용하고, 시스템에서 *i*번째 단말이 갖는 큐의 가장 앞에 있는 지연시간( $D_i^{HOL}$ (Head of Line))을 스케줄링에 반영하며, 3.1 절에서 소개한 시계열 예측으로 얻은 이동단말과 고정단말의 서비스율에 대한 가중치( $W_i(t)$ )로 얻어진 결과 값( $P_i(t_n)$ ) 중에서 가장 큰 값을 갖는 단말에게 자원을 할당하여 시스템 효율을 향상시키고 동시에 단말들 사이의 공평성도 높인다. 각 단말의 가중치( $W_i(t)$ )는 4.1 절의 시뮬레이션 환경에서 언급한다.

이와 같은 알고리즘을 이용하기 위해서 단말은 정확한 채널 정보를 주기적으로 기지국에 보고해야 하며, 기지국에서도 정확한 채널 예측 알고리즘을 이용해야 한다.

#### 4. 시뮬레이션 및 분석

##### 4.1 시뮬레이션 환경

실험은 다중 접속 방식 기술로 OFDMA 방식을 이중화 방식으로 TDD(Time Division Duplex)를 적용한다. 시스템에서 한 프레임은 5ms 로 하며, 각 프레임의 하향링크 영역은 8 개의 서브채널과 12 개의 심볼 수로 한 프레임에 총 96 개의 슬롯을 매 프레임마다 고정적으로 형성한다고 가정한다. 반경이 1km 인 한 기지국 범위 안을 단말들은 이동성 모델링[7]과 채널 모델링[8]을 이용하여 이동하며 채널 상태에 따라 5 개의 서로 다른 데이터 전송률을 갖는 코딩방식을 적용한다. 각 코딩방식에 대한 파라미터 값은 표 1 과 같다.

표 1. 채널 상태에 대한 변조 및 서비스 율

| Range of SNR( <i>r</i> ) | 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                        |

실험에서 전체 단말의 50%는 이동 단말로 실험 시작과 동시에 모든 영역에서 무작위로 발생하며, 나머지 50%는 고정단말로서 표 1 의 각 코딩 방식마다 10%의 비율로 위치한다고 가정한다. 단말은 Gauss-Markov mobility modeling[9]을 이용하여 평균 40km/h 로 셀 안을 이동하며, 그림 3 은 한 단말의 이동을 100 초 동안 실험한 결과이다.

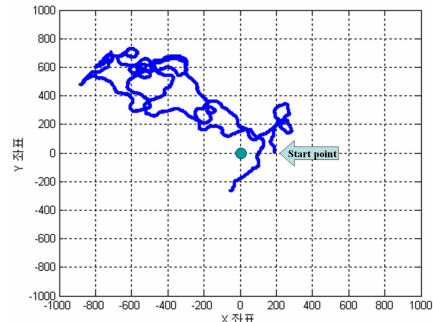


그림 3. 이동성 모델링의 실험 결과

실험은 비실시간 트래픽으로 웹 트래픽 모델을 사용하며, ON/OFF 모델과 비슷하나 세부적인 항목을 갖는다. 웹 트래픽은 한번 웹페이지를 검색할 경우 웹 페이지의 정보와 문자들의 정보를 갖는 하나의 Main object 와 웹 페이지에 포함된 이미지와 같은 다수의 Embedded object 가 전송된다. 표 2 는 웹 트래픽 모델링의 세부적인 사항을 나타낸다[10].

표 2. 웹 트래픽 모델의 파라미터

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

기지국의 시스템은 예측의 정확성을 높이기 위해 매 프레임마다 채널상태를 예측하고 최근 3 개의 history data를 이용한다. 이동단말에 대한 가중치( $W_i(t)$ )는 예측된 결과로 결정되며 서브레벨 1 과 3 에 각각 0.8 과 1.2 를 주며, 예측결과 채널상태가 거의 변하지 않는 고정단말들에 대한 가중치는 코딩방식 1 에서 5 까지 에 대해서 각각 0.6, 0.9, 1.1, 2.1 그리고 2.1 로 준다. 실험이 종료될 때까지 모든 단말은 통신을 계속하며, 이동단말은 평균 40km/h로 이동한다고 가정한다.

##### 4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

실험은 비실시간 서비스 이용자수의 증가에 대한 전체처리율, 평균 지연시간 그리고 지터에 대해 알아 보았고 PF 알고리즘과 비교 분석하였다.

그림 4 은 CSPFS 의 전체처리율에 대해서 PF 방식과 비교 분석하였다. 사용자수가 250 명을 넘어서면 지연 시간과 지터가 급상승하기 때문에 실험은 250 명까지 만 하였다. 두 방식에 대한 시스템의 전체 처리율은 동일한 결과를 보이며(Line 3), 5 개 영역에 고정된 단 말들의 처리율(Line 1)과 이동단말들만의 처리율(Line 2)도 동일한 결과를 보이고 있다. 결과적으로 CSPFS 와 PF 는 처리율 측면에서 같은 결과를 보이고 있다.

그림 5는 CSPFS와 PF 방식의 평균 지연시간을 보여준다. 처리율에서는 두 방식이 똑같이 모든 단말에 대해 공정한 처리율을 보였으나, PF 방식은 5개 영역에 각각 위치한 고정단말과 이동단말이 큰 차이를 보이고 있다. 하지만 CSPFS는 위치한 영역이나 이동 또는 고정 단말에 상관없이 비슷한 지연시간을 보이고 있다. 비록 CSPFS의 전체 평균 지연시간이 PF보다 높긴 하지만 모든 영역에 위치한 단말의 서비스 만족도는 공평하다. PF의 경우, 단말이 영역 1에 위치하게 되면 지연시간이 다른 영역에 비해 훨씬 높아져서 서비스가 급격히 안 좋아짐을 느끼게 된다.

그림 6은 두 방식의 지터를 비교하였다. CSPFS는 그림 5에서와 비슷한 결과로 모든 고정된 영역에 위치한 단말과 이동 단말이 거의 동일한 결과를 보이지만 PF의 결과는 여전히 큰 차이를 보이고 있다. 또한 그림 5에서 CSPFS의 전체 평균 지연시간이 PF보다 높았지만, 전체 지터 값에서는 PF보다 좋은 결과를 보이고 있으며, 전체적으로 모든 영역의 단말들에게 공평한 결과를 보이고 있다.

**5. 결론**

본 논문에서는 고정·이동 단말이 공존하는 OFDMA-TDD 환경에서 서비스 중인 단말들에 대한 채널 상태 변화를 예측하여 적합한 데이터 변조 방식으로 서비스를 할 수 있는 하향링크 무선 자원 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통해 제안하는 알고리즘을 다른 알고리즘보다 공평한 성능임을 알 수 있었다. 향후 연구 방향은 멀티미디어 상·하향 스케줄링과 이동성 예측을 이용한 핸드오프 기술을 연구하려 한다.

**6. 감사의 글**

본 연구는 산업자원부 및 한국산업기술평가원의 성장동력기술개발사업의 연구결과로 수행되었습니다.

**7. 참고 문헌**

[1] Padovani. R, Jalali. A, Pankaj. R, "Data Throughput of CDMA HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System," *IEEE VTC*, July, 2000.  
 [2] Sternad. M, Aronsson. D, "Channel estimation and prediction for adaptive OFDM downlinks," *Vehicular Technology Conference, VTC 2003-Fall. IEEE 58<sup>th</sup> Volume 2*, 6-9 Oct. 2003.  
 [3] Dogandzic. A, Benhong. Z, "Dynamic power estimation and prediction in composite fading shadowing channels," *ICASSP'04. IEEE International Conference on Volume 2*, 17-21 May 2004, pp.ii-1013-16 vol.2.  
 [4] Masters. T, Neural, *Novel&Hybrid Algorithms for Time Series Prediction*, Wiley, 1995.  
 [5] Shiang-Chun Liou, Hsuan-Chia Lu, "Applied neural network for location prediction and resources reservation scheme in wireless networks", *ICCT 2003, International Conference on*, vol.2, pp.958~961, April 2003.  
 [6] 김세진, 이형우, 조충호, "OFDMA 환경에서 채널상태 예측을 이용한 효율적인 스케줄링 기법," *한국통신학회추계*, 2005.

[7] Oh-Soon. S, Kwang-Bok. L, "Packet Scheduling over a Shared Wireless Link for Heterogeneous Classes of Traffic," *IEEE International Communications Conference*, vol.1, 20-24 pp.58-62, June, 2004.  
 [8] Jens. Z. and Olav. Q, "Radio Resource Management for Wireless Networks," Artech House, 2001.  
 [9] Abbas. J, *The Wireless Mobile Internet architectures, protocols and services*, Wiley, 2003.  
 [10] Farooq M. A, Leandros. T, "Fair Bandwidth Sharing among Adaptive and Non-Adaptive Flows in the Internet," *IEEE INFOCOM99*, Vol.13, 1999.

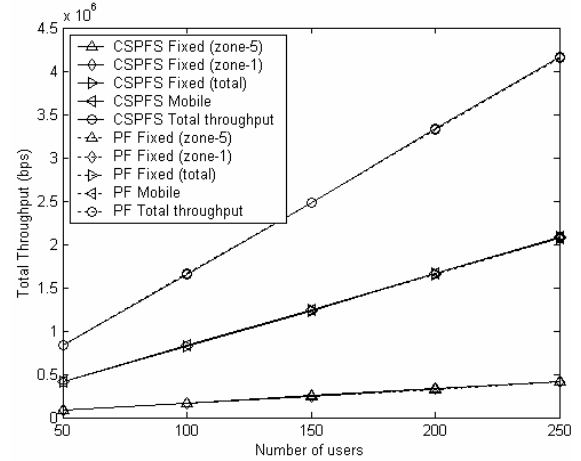


그림 4. 전체 처리율

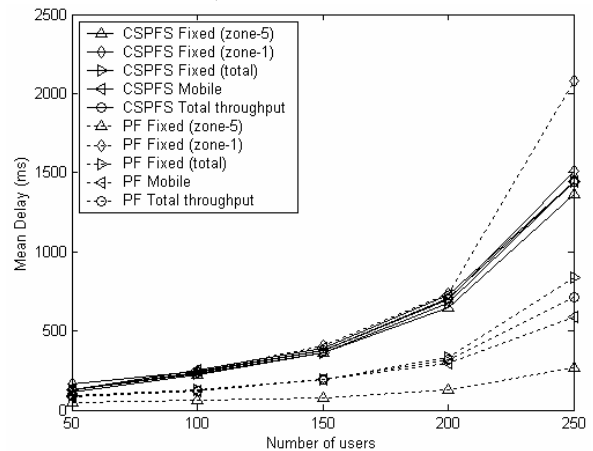


그림 5. 지연시간

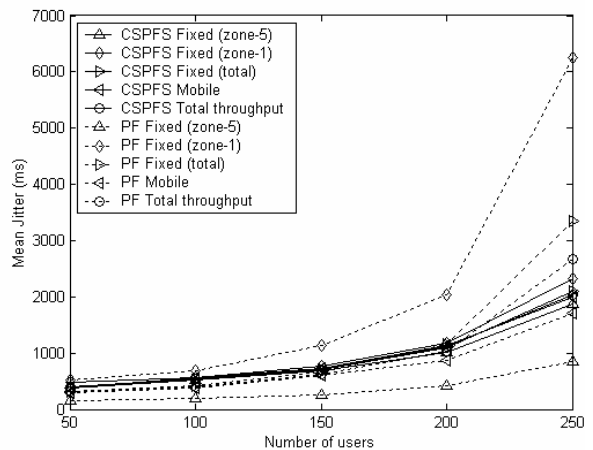


그림 6. 지터