

# 다중 부반송과 시스템에서의 서비스 품질 제한 조건을 고려한 부반송과 및 전력 할당 공정 비례 알고리즘

\*이형열, 강민규, 박진배 \*\*김광순

연세대학교 전기전자공학부

{\*neolee, kangys8, spacey2k, \*\*ks.kim} @yonsei.ac.kr

## Subcarrier and Power Allocation Algorithm for Proportional Fairness in Multicarrier Systems with QoS Constraints

Hyung Yeol Lee, Mingyu Kang, Jin Bae Park and Kwang Soon Kim

Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-179, Korea

### 요약

실시간 서비스는 비실시간 서비스에 비해 비교적 빠른 시간 내에 일정량의 데이터 전송률이 보장되어야 하는데 이는 기존의 공정 비례 할당 알고리즘을 통해서도 보장되기 힘들다. 이에 [1]에서는 전력과 대역폭이 연속적이라는 가정 하에 최소 데이터 전송률을 제한 조건으로 두고 공정 비례(Proportional Fairness) 문제를 정의한 뒤 라그랑주 곱수를 이용하여 전력과 대역폭 할당량을 계산하고 이를 양자화 하기위한 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 이 문제의 솔루션을 보다 효과적으로 양자화 하기 위한 전력 및 부반송과 할당 알고리즘을 제안한다. 모의 실험을 통하여 제안하는 알고리즘이 기존의 양자화된 할당 방식보다 큰 공정 비례성을 확보 할 수 있으며 동시에 연속적인 자원 할당 일 때 보다 오히려 outage 확률 면에서 보상 효과가 있는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

통신 시스템에서 공정 비례(Proportional Fair) 할당 알고리즘은 사용자 간의 공정성(fairness)과 데이터 전송률(throughput)을 동시에 고려하는 방법으로 널리 이용되어왔다. 그러나 공정 비례 할당 알고리즘은 상대적으로 짧은 시간 안에 일정량의 데이터를 받아야 하는 실시간 서비스의 품질(Quality of Service)을 만족시키기에는 부적절하는 연구 결과가 있다. 따라서, 실시간 서비스를 지원하고 사용자들의 공정성과 데이터 전송률을 동시에 만족시킬 수 있는 효과적인 자원 할당 알고리즘이 필요한 실정이다. 이러한 이유로 실시간 서비스를 지원할 수 있는 여러 가지 변형된 공정 비례 스케줄링 알고리즘이 연구되어 왔다[2-5]. [2]에서는 최소 데이터 전송률 보장과 공정 비례성을 동시에 고려하는 알고리즘이 연구되었고 [3]에서는 지연시간에 민감한 단일 부반송과 시스템에서의 최소 전송률을 보장하는 공정 비례 할당 알고리즘이 연구되었다. 또, [4]에서는 서비스 품질 관련 요인들을 공정 비례 할당 알고리즘에 적용하여 서비스의 품질 향상을 도모하였다. 그러나 이러한 연구들은 서비스 품질을 고려하면서 지나친 공정 비례성의 손실을 보았다. 이에 [5]에서는 서비스의 품질을 보장하는 동시에 공정 비례성도 확보할 수 있는 부반송과 할당 알고리즘을 제안하였다. 그러나 위 연구들은 전력 할당 문제는 고려하지 않아 [1]에서는 전력과 대역폭이 연속적이라는 가정 하에 서비스 품질을 제한 조건으로 두고 문제를 정의한 뒤 라그랑주 곱수를 이용하여 풀고 그에 대한 파워와 대역폭 할당을 계산하였으며 그 값을 양자화하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이 문제를 통해 전력과 대역폭을 공정 비례성에 맞게 할당하는 해결책이 제안되었지만 연속적인 값으로 나온 전력과 대역폭 값을 양자화 하는 과정에서 공정 비례성이 훼손됨은 물론 문제에서 최소 전송률을 제한 조건으로 두었음에도 불구하고 outage가 빈번히 발생하는 문제가 생겼다.

이에 본 논문에서는 다중 부반송과 다중 사용자 환경에서 실시간 서비스 사용자들의 최소 데이터 전송률 제한 조건이 있는 공정 비례 자원 할당 문제의 솔루션을 효과적으로 양자화 하기 위한 전력 및 대역폭 할당 알고리즘을 제안한다. 모의 실험을 통하여 제안하는 알고리즘이

기존의 양자화된 할당 방식보다 공정 비례성을 확보 할 수 있으며 동시에 연속적인 자원 할당 일 때 보다 오히려 outage 확률면에서 보상 효과가 있는 것을 확인하였다.

### 2. 시스템 모형

본 논문에서는 단일 셀에  $K$ 명의 사용자가 있는 하향 링크 OFDMA 시스템을 고려하였다. 자원 할당의 최소 단위는 부반송과들의 묶음인 부채널(subchannel)으로 하고  $N$ 개가 있다고 가정한다. 본 연구에서 모든 시스템 변수들은 [1]를 따른다. 실시간 사용자의 최소 데이터 전송률 제한 조건이 있는 공정 비례 자원 할당 문제는 [1]에서 정의 되었으며  $k$ 번째 사용자의 할당 대역폭  $w_k$ 와 전력  $p_k$ 에 대한 솔루션은 다음과 같다.

$$w_{k \in U_R} = \frac{r_k^0}{\log_2(1 + x_k)} \quad (1)$$

$$p_{k \in U_R} = \frac{r_k^0 x_k n_k}{\log_2(1 + x_k)} \quad (2)$$

$$w_{k \in U_D} = \frac{\left[ A_p - \frac{n_k}{t_c \ln 2} (1 + x_k) R_k \right]}{(1 + x_k) \log_2(1 + x_k) n_k / \ln 2} \quad (3)$$

$$p_{k \in U_D} = \frac{\left[ A_p - \frac{n_k}{t_c \ln 2} (1 + x_k) R_k \right]}{(1 + x_k) \log_2(1 + x_k) / \ln 2} \quad (4)$$

여기서  $U_D$ 는 비실시간 서비스 사용자 그룹,  $U_R$ 는 실시간 서비스 사용자 그룹,  $r_k^0$ 는  $k$ 번째 실시간 서비스 사용자의 최소 요구 데이터 전송률,  $x_k$ 는 effective SNR,  $R_k$ 는 평균 전송률,  $n_k$ 는 정규화된 잡음값,  $t_c$ 는 평균 윈도우 크기,  $A_p$ 는 라그랑주 곱수를 전력에 대한 라그랑주

곱수로 나눈 변수를 나타낸다. 이 솔루션은 후에 이진탐색(binary search)을 이용하여 전력합과 대역폭합을 제한에 맞추게 된다. 모의 실험에서 값을 비교하기 위해서 이 경우를 CR(Continuous Resource)라고 정의하겠다. 주어진 시스템에 대해 계산된 (1-4)식은 주파수 및 전력을 연속적이라고 가정하고 계산한 값이므로 이를 시스템에 적용하기 위해서는 효과적으로 양자화하여야 한다. 여기서, 양자화란 대역폭의 경우 부채널 할당 시 할당하는 최소의 단위가 부채널의 개수가 되기 때문에 연속적인 값들로 정의된 식(1-4)의 값들을 양자화한다는 것이다. [1]에서는 (1-4)를 통해 할당된 자원량의 비율대로 전체 주파수 및 전력 자원을 할당한다고 제안하였다 (이 경우를 QR(Quantized Resource)라고 정의하겠다). 그러나 이렇게 할 경우 연속적인 범위에서 할당된 (1-4)의 값이 실시간 사용자들은 최소 전송률만을 만족시키고 나머지 자원은 비실시간 사용자들에게 분배되는 현상이 발생하여 이를 비율대로 양자화를 하게 되면 공정 비례성이 훼손됨은 물론 문제에서 최소 전송률을 제한 조건으로 두었음에도 불구하고 outage가 발생하는 문제가 생기게 된다. 또한, 각 부채널마다 다른 채널 이득을 문제에서는 사용자의 평균적인 채널 이득을 이용하여 최적화 문제를 풀었으므로 양자화 할 때 사용자에게 N개의 부채널 중 어떤 부채널을 할당할 것인가의 문제도 발생하게 되고 양자화 과정에서 이를 반드시 고려해 주어야 한다.

### 3. 제안하는 알고리즘

본 연구에서는 다중 부반송과 다중 사용자 환경에서 식(1-4)를 효과적으로 양자화 하는 공정 비례 할당 알고리즘을 제안한다. 알고리즘은 다음과 같다.

**step 1.** 모든 사용자에게 최소 단위의 부채널을 할당한다.

**step 2.** step 1를 거친 후의 실시간 서비스 사용자의 현재 가능 전송량을 체크한 후 최소 데이터 전송량을 만족하지 못한 사용자들에 한해서 만족할 때 까지 부채널을 할당한다.

**step 3.** (1)과 (3)에서 할당된 비율을  $\lceil W_k N_r / W \rceil = \tilde{w}$ 으로 계산하고  $\tilde{w}$  값이 큰 사용자부터 남은 부채널을 할당한다.

W는 시스템의 전체 대역폭, N은 부채널의 개수,  $N_r$ 은 step2 후 남은 부채널의 개수,  $\tilde{w}$ 은 step3에서 비율별로 받을 부채널의 개수를 의미한다. 여기서 모든 과정에서 부채널을 할당할 때에는 최대 채널 이득을 갖는 부채널을 할당하며 만약 그 부채널이 이미 다른 사용자에게 할당되었다면 그 다음 순서의 채널 이득을 갖는 부채널을 할당한다. 또한, 할당 받을 부채널이 더 이상 없으면 그 시점에서 자원 할당 알고리즘을 종료한다. 전력의 경우에는 (2)와 (4)에서 계산된 값을 시스템의 특성에 따라 양자화하여 분배 한다.

### 4. 모의 실험을 통한 성능 분석

이번 실험에서는 셀 반경이 1000m인 단일셀 OFDMA 시스템을 고려한다. 셀 외곽에서의 평균 SNR은 0dB이며 스케줄링 단위 시간은 5ms로 가정하였다. 사용자들은 크게 실시간 사용자 그룹과 비실시간 사용자 그룹으로 나뉜다. 또한, 사용자가 정해진 제한 지연 시간 내에 최소한의 데이터양을 받지 못할 경우를 outage 사건으로 정의한다. 여기서 최소 전송률과 지연 시간 제한은 802.16e 표준 문서를 참고하여 정하였다. 이번 실험에서는 VoIP, 스트리밍 비디오(streaming video), FTP의 3가지 그룹의 사용자들이 분포한다고 가정하였으며 VoIP는 20ms 동안 14.4kbps, 5동안 128kbps를 받아야 하며 FTP사용자는 특별한 서비스의 질 제한이 없다. 또한, 전체 할당 전력합은 10W로 고정하였다. 공정 비례 할당 알고리즘에서 평균 전송률의 로그합이 최대가 된다는 것은 잘 알려진 사실인데 그림 1은 이러한 성질을 이용하여 3가지 방법의 평균 전송률의 로그합을 비교하였다. QR의 경우 CR의 로그합에 비해 매우 작은 것을 관찰할 수 있다. 이는 양자화 과정에서 연속적으로 할당된 자원의 비율대로 양자화를 하여 매번의 자원 할당 시기마다 오히려 자원을 할당 받지 못하는 사용자들이 많아졌기 때문이다. 제안하는 알고리즘을 통해 이러한 로그합의 감소 현상을 상당 부분 보상할 수 있다는 것을 확인할 수 있었고 이는 더 큰 공정 비례성을 확보했음을

의미한다. 여기서 제안하는 알고리즘이 CR의 경우와 차이가 많이 나는 이유는 CR의 경우는 자원을 연속적으로 생각한 매우 이상적인 경우가기 때문이다. 그림 2는 3가지 경우의 outage 확률을 비교해 보았다. 여기서 주목할 점은 제안하는 알고리즘이 QR의 경우는 물론이고 CR의 경우보다도 outage 확률이 개선되었다는 점이다. 그 이유는 CR의 경우 [1]에서 정의한 최적화 문제에 일반적 최적(Global Optimum)한 점이 존재하지 않을 경우에는 최소 데이터 전송률 제한 조건을 지키지 못하는 경우가 발생하기 때문이다. 또한 (1-4)의 솔루션을 이진탐색을 통해 새로운 값을 찾아가는 과정에서 몇몇의 사용자들이 drop되는 현상이 발생하기 때문이다. 반면, 제안하는 알고리즘은 step2에서 최소 데이터 전송률 제한 조건을 맞추어 주는 과정이 있어 outage면에서 성능 개선 효과를 보였다.

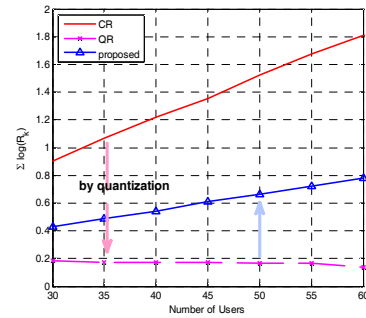


그림 1. 평균 데이터 전송률의 로그합.  $t_c=10$ ,  $N=100$ .

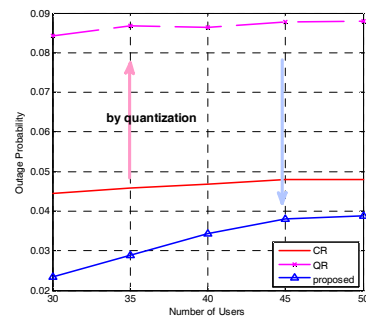


그림 2.outage 확률.  $t_c=10$ ,  $N=100$ .

### 5. 결론

본 논문에서는 다중 부반송과 다중 사용자 환경에서 실시간 서비스 사용자들의 최소 데이터 전송률 제한 조건이 있는 공정 비례 자원 할당 문제의 솔루션을 효과적으로 양자화 하기 위한 전력 및 대역폭 할당 알고리즘을 제안하였다. 모의 실험을 통해서 평균 전송률의 로그합의 향상을 확인할 수 있었으며 outage측면에서도 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] Chenxi Zhu, Tolga Girici, J. Russell Agre, "Proportional fair scheduler for OFDMA wireless systems with QoS constraints," Pub. No.:US2007/0248048 A1, Pub. Date: Oct.25,2007, Fujitsu Limited, U.S.A.
- [2] X. Liu, E.K.P. Chong, and N.B. Shroff, "A framework for opportunistic scheduling in wireless networks," computer Networks, pp. 451-474, 2003.
- [3] Gwen Barriac, Jack Holtzman, "Introduction Delay Sensitivity into the Proportional Fair Algorithm for CDMA Downlink Scheduling," IEEE Int. 7th Symp.on Spread-Spectrum Tech and Appl., Prague, Czech Republic, Sept. 2-5, 2002.
- [4] Bo Wei, Adrian Boariu, "QoS constrained VoIP Scheduling in 1xEV-DO," Proc. IEEE Int. Commun. Confer. (ICC), pp. 86-89, 24-28 June 2007.
- [5] 이형열, 변일무, 강민규, 박진배, 김광순, "다중 부반송과 시스템에서의 공정 비례성을 고려한 실시간 서비스 지연 스케줄링 알고리즘," 한국통신학회 추계종합학술발표회 논문집, 연세대학교, 2008년 11월.