

# 무선 정보 및 전력 동시 전송을 위한 스케줄링 알고리즘

방 주 선\*, 홍 인 기°, 백 정 연\*

## Scheduling Algorithm for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer

Joo-Sun Bang\*, Een-Kee Hong°, Jung-Yeon Baek\*

### 요 약

IoT 시대가 도래함에 따라 무선 디바이스(센서) 네트워크를 중심으로 에너지 하베스팅에 관한 연구가 활발하다. 그중 정보와 전력을 동시에 전송하는 (SWIPT, Simultaneous Wireless Information and Power Transfer)기술이 최근 각광받고 있다. SWIPT 기술을 사용하는 환경에서 기존의 정보전송만을 고려한 스케줄링 기법을 이용한다면 기기간 에너지 불균형 및 에너지에 대한 QoS를 만족시키지 못할 것이다. 본 논문에서는 기존의 스케줄링 기법에 에너지 QoS를 고려한 스케줄링 알고리즘을 제안하고 그 성능을 기존의 스케줄링 알고리즘을 사용하였을 경우와 비교 분석하였다.

**Key Words** : SWIPT, Energy Harvesting, Scheduling, Resource management, IoT

### ABSTRACT

In IoT environment, energy harvesting has gained a growing attention from wireless device (sensor) network researches. Especially, simultaneous wireless information and power transfer (SWIPT) technique has been considered as an attractive solution for

energy harvesting. Since the conventional scheduling algorithm considers only the efficiency of information transferring, the QoS on energy and energy-imbalance among the UEs can not be considered. In this paper, we propose a new scheduling algorithm that combines the conventional PF scheduling and QoS on energy and the performance of proposed algorithm is evaluated.

### I. 서 론

최근 주목받고 있는 사물인터넷(IoT) 기술은 무선 센서를 포함한 디바이스 네트워크 기술을 중점으로 개발 중에 있다. 이러한 센서들은 한번 부착이 되면 운용시간이 제한되어있고, 에너지 재충전이 까다로워 네트워크의 전력 및 에너지 부족 문제가 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법 중의 하나가 버려지는 에너지들을 모아 전력으로 활용하는 에너지 하베스팅 기술이다<sup>1)</sup>. 그중에서도 무선 네트워크 환경에서 정보와 전력을 동시에 무선으로 전송하는 정보·전력 동시전송 방식(SWIPT)에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>2,3)</sup>.

지금까지의 SWIPT 스케줄링 연구에서는 복잡성이 낮은 시간 분할 기법(time switching)을 이용하여 다중 사용자들에게 정보 전송과 에너지 하베스팅을 시간 측면에서 가장 효율적으로 나눠주는 기법이 연구되었다<sup>4,5)</sup>. 하지만 기존 연구의 경우 단말들의 채널 상태에 따라 평균 데이터 율과 순시 데이터 율을 고려 요소로 사용하여 메트릭을 결정하는 방식으로 스케줄링 되기 때문에 단말의 현재 전력 상태가 고려되지 못한다는 단점이 있다. 무선 정보·전력 동시전송 방식에서는 무선 디바이스들의 남아있는 전력양이나 혹은 에너지 전송을 요청한 후 경과시간 등을 고려할 필요가 있다. 본 논문에서는 무선 정보·전력 동시전송 방식을 위한 스케줄링 알고리즘을 제시하고 그 성능을 분석하였다.

\* “본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(IITP-2017-2016-0-00291)

♦ First Author : KyungHee University Department of Electronic and Radio Engineering, 2009103992@khu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : KyungHee University Department of Electronic and Radio Engineering, ekhong@khu.ac.kr, 종신회원

\* KyungHee University Department of Electronic and Radio Engineering, hi369hi@khu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2017-05-157, Received May 29, 2017; Revised June 30, 2017; Accepted July 25, 2017

## II. 정보-전력 동시전송 수신기 구조

에너지 제한적인 무선 네트워크에서 RF(Radio Frequency) 신호를 이용하여 무선 충전이 가능한 에너지 하베스팅 기술에서 RF신호를 통한 에너지 전송은 거리에 따라 감쇠가 되는 단점이 있지만 넓은 범위 내에 있는 수백 개의 단말들에게 적합한 기술이라 할 수 있다. 또한 SWIPT 기술은 단말의 요구에 따라 정보와 전력 전송이 매 순간 가능하기 때문에 효율적인 기술이라 할 수 있다. SWIPT 수신기 구조는 크게 시간 분할 기법과 전력 분할(power splitting) 기법으로 나뉘는데 그림 1은 전력 분할 기법 중 하나인 DPS(Dynamic Power Splitting) 수신기 구조를 나타내었다. DPS는 목표 SINR 이상 되는 신호를 바탕으로 수신 신호중  $\rho$  비율은 에너지 하베스팅에  $1-\rho$ 는 정보 수신에 사용하게 된다.

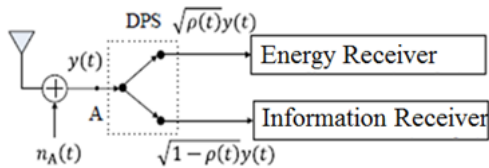


그림 1. 정보-전력 동시전송 동적 전력 분할 수신기  
Fig. 1. SWIPT Dynamic Power Splitting Receiver

## III. 제안 스케줄링 알고리즘

### 3.1 기존 스케줄링 알고리즘

기존의 단말(UE)에게 자원을 할당하는 스케줄링 방식으로는 채널상태가 가장 좋아 수율(throughput)을 최대로 할 수 있는 UE에게 자원을 할당하는 Max CQI 방식과 모든 UE에게 시간별로 동일한 자원 할당 기회를 제공하는 RR(Round Robin) 스케줄링 방식이 존재한다<sup>3)</sup>. 하지만, 이 두 가지 방식은 각각 UE간 형평성과 전체 수율에서 단점을 가질 수 있다. 따라서 순간 전송속도와 평균 전송속도를 동시에 고려하여 자원할당 순서를 결정하는 PF(Proportional Fair) 방식이 널리 사용되고 있다<sup>3)</sup>. PF 스케줄링의 자원할당을 결정하는 metric은 다음과 같다.

$$\text{Proportional Fair} : p = \text{argmax} \frac{R_i}{R_i} \quad (1)$$

여기서  $R_i$ 는  $i$ 번째 UE의 현재 전송 가능한 데이터

율을 나타내며,  $\bar{R}_i$ 는  $i$ 번째 UE의 평균 데이터 율을 나타낸다.

### 3.2 제안하는 SWIPT 스케줄링 알고리즘

기존의 스케줄링 알고리즘은 현재 채널 상태나 그에 해당하는 현재 전송 가능한 데이터 율과 지난 일정 기간 동안 제공받은 평균 데이터 율을 고려하여 metric을 결정하고 스케줄링이 되기 때문에 UE의 에너지 상태를 전혀 고려하고 있지 못하다. 또한 단말이 기지국으로 에너지 하베스팅 스케줄링 요청을 보내더라도 이러한 요청에 대한 지연시간을 반영하지 못하고 있다. 따라서 SWIPT 환경에 있는 UE별 에너지 상태가 고려된 metric을 바탕으로 하는 스케줄링에 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존 PF알고리즘에 에너지 상태를 고려하는 요소를 더한 스케줄링 알고리즘을 식 (2)와 같이 제안한다.

$$p = \text{argmax} \left\{ (1-\alpha) \frac{R_i}{R_i} + \alpha \frac{T_i}{E_i} \delta(i) \right\} \quad (2)$$

여기서,

$T_i$ : 사용자  $i$ 의 에너지 전송 요구 후 대기시간

$\bar{E}_i$ : 사용자  $i$ 의 평균 수신 에너지

$\delta(i)$ : 에너지 전송 요구 여부

Energy Request bit on  $\rightarrow \delta(i) = 1$

Energy Request bit off  $\rightarrow \delta(i) = 0$

$\alpha$ : 정보전송과 전력전송 간 가중치

제안 알고리즘은 기존의 PF 스케줄링 metric에서, 에너지 요청 및 에너지 QoS를 고려하기 위한 요소로

metric에  $\alpha \frac{T_i}{E_i} \delta(i)$ 를 함께 고려한다. Energy Request

bit가 1또는 0으로 설정됨에 따라 metric이 기존의 PF 방식으로 동작할 것인지, 에너지를 고려하여 동작할지

결정된다.  $\alpha \frac{T_i}{E_i} \delta(i)$ 에서  $T_i$ 는 에너지를 요청한 시간

으로 요청 시간이 길수록  $T_i$ 값이 커지게 되어 metric 값이 증가해 해당 UE의 스케줄링 우선순위가 높아지게 된다. 또한  $\bar{E}_i$  값은 현재까지 얻은 평균 에너지 수확량으로써 에너지를 많이 전송받을수록 metric값이 감소하게 되어 스케줄링 우선순위가 낮아지게 된다. 정보와 전력 전송 간의 가중치는  $\alpha$ 에 의해 결정되고 시스템 운영방침에 따라 적절히 결정되게 된다.

#### IV. 실험 및 결과

실험 전송시스템은 3GPP LTE 규격을 기본으로 하여 20MHz 대역폭을 갖는 OFDM 방식을 적용하였고, 다만 SWIPT를 고려하기 위하여 기지국 전송 전력을 49dBm으로 설정하였다. 7개의 소형셀로 구성된 시스템을 가정하였고, 각각의 셀은 3개의 섹터로 구성되어 총 147명의 UE를 분포시켰다. 표 1에 시뮬레이션 파라미터를 요약하였다.

시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 기존 PF 스케줄링 기법과 제안 스케줄링 기법을 비교, 분석 하였다. SWIPT를 위한 시스템 레벨 시뮬레이션의 시나리오는 다음과 같다.

20% 이하 Battery 양를 가진 UE는 BS에게 Energy Request를 요청한다. Energy Request bit가 1이 되면  $t=1s(1000ms)$ 동안 유지된다. 이때 20%이상 battery를 갖게 된다면 Request bit는 0이 되도록 설정하였다. Battery 초기치는 총 UE의 반 정도가 20% 이하의 Battery 값을 갖도록 설정 하였다. 1ms당 에너지는  $0.22\mu J$ 이 감소한다고 가정하였는데 이는  $3000mAh/15h(사용시간)=200mA$ 이고 사용 전압이 4V라 가정하였을 경우  $J/s(W)$ 의 값은  $(200mA/300) \times 4V = 2.22 \times 10^{-4}$ 이 되며 1ms 당 사용한 에너지양은  $2.22 \times 10^{-7} = 22\mu J$ 이 되기 때문

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
Simulation scenario	7 small cells
Number of UEs per Sector	7 UEs
System Bandwidth	20MHz
Number of RBs	100
Carrier frequency	2.0Ghz
ISD	500m
Antenna Pattern	TS36.942
PHY Abstraction	MIESM
TTI(Transmission Time Interval)	1ms
BS Transmit power	49dBm
Feedback delay	3ms
UE Distribution	Randomly Distributed
UE Battery percent	(0,40)Uniform Distibuted
Number of Subcarrier	2048
Subcarrier BW	15khz

이다. 또한 정보수신을 위한 SINR 문턱값(threshold)을 설정하여 그 이상의 SINR값을 갖는 경우 에너지로 저장 할 수 있다고 가정하였다. 즉 채널 상태가 좋을 수록 큰 에너지를 저장할 수 있다.

그림 2에 정보전송과 전력전송간의 가중치 값,  $\alpha$ 를 0.5로 설정했을 때, 기존 PF 알고리즘과 제안 알고리즘에 의한 수율을 나타내었고 표 2에 UE별로 할당 받은 RB(resource block) 개수를 나타내었다.

기존 PF metric에 비해 제안 알고리즘 방식이 BS 별 평균 수율이 낮게 나오지만 표 2에서 알 수 있는 것처럼 초기 battery 설정 값이 20% 이하인 3번 6번 UE에 대하여 할당 받는 RB(Resource Block)이 많아 짐을 알 수 있고 이에 따라 Energy Harvesting 양도 증가함을 알 수 있다.

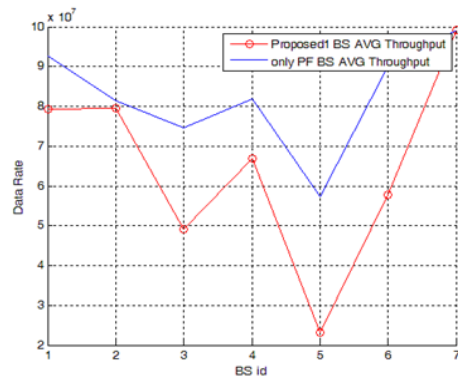


그림 2. 수율비교 (PF vs. 제안알고리즘)  
Fig. 2. Throughput Comparison (PF vs. Proposed)

표 2. UB별 할당 RB 개수  
Table 2. The number of allocated RBs per UE

UE ID	Battery_Init	Avg Allocation RB	
		PF	Algorithm 1
1	37%	11.17	1.59
2	41%	16.45	2.37
3	6%	19.09	65.64
4	42%	10.93	1.58
5	29%	13.85	2.17
6	5%	17.44	24.73
7	13%	10.78	1.63

## References

- [1] L. Liu, R. Zhang, and K.-C. Chua, "Wireless information transfer with opportunistic energy harvesting," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 1, pp. 288-300, Jan. 2013.
- [2] X. Zhou and R. Zhang, "Wireless information and power transfer : Architecture design and rate-energy tradeoff," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 11, pp. 4754-4767, Nov. 2013.
- [3] D. K. Shin, J. Kang, Y. Kim, and W. Choi, "New receiver architecture for simultaneously wireless information and power transfer," in *Proc. KICS Summer Conf.*, pp. 261-262, Jeju Island Korea, Jun. 2016.
- [4] M. Chynonova, R. Morsi, D. W. Kwan Ng, and R. Schober, "Optimal multiuser scheduling schemes for simultaneous wireless information and power transfer," *2015 23rd EUSIPCO*, pp. 1989-1993, 2015.
- [5] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, and Z. Han, "Resource allocation in wireless networks with RF energy harvesting and transfer," *IEEE Network*, vol. 29, no. 6, pp. 68-75, Dec. 2015.