

# 사용자 정보 피드백 알고리즘을 이용한 네트워크 에너지 하베스팅 효율 향상 기법

정준희\*, 황유민\*, 송유찬\*, 김진영\*

## A Method for Improving Network Energy Harvesting Rate using User's Information Feedback Algorithm

Jun Hee Jung\*, Yu Min Hwang\*, Yu Chan Song\*, and Jin Young Kim\*, *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 네트워크 에너지 하베스팅 효율 향상을 위한 새로운 사용자 정보 피드백 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 방사되는 에너지 대비 수신되는 하베스팅 에너지 양의 증가폭을 중요한 하베스팅 파라미터인 임계점  $\alpha$ 와 비교하고 에너지 하베스팅 유저를 결정하는데 중점을 둔다. 이 방법을 이용하면 비효율적으로 방사되는 에너지 낭비를 막아 전체 네트워크의 에너지 하베스팅 효율을 증가 시킨다. 본 논문의 실험결과는 사용자 피드백 알고리즘을 이용해서 계산된 네트워크 유저의 하베스팅 에너지 양의 증가폭을 임계점  $\alpha=15\%$ 와 비교해서 에너지 하베스팅 유저를 결정했을 때 전체 네트워크의 에너지 하베스팅 효율이 가장 높게 증가한다는 것을 입증하였다.

**Key Words** : rain attenuation, rain fading, adaptive transmission, time-series generator, Markov chain.

### ABSTRACT

This paper proposed a novel user's information feedback algorithm for improving network energy harvesting rate. The proposed algorithm is focused on determining energy harvesting users comparing increasing ratio of the amount of harvesting energy versus emitted energy and network threshold  $\alpha$ , which is critical harvesting parameter. Using this method, we can increase the rate of network energy harvesting preventing emitted energy from wasting inefficiently. The result of experiment in this paper shows that user's information feedback algorithm makes network energy harvesting rate more efficiently when it uses threshold  $\alpha=15\%$  to determine energy harvesting users.

## I. 서 론

최근 에너지 하베스팅을 통신 분야에 적용하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 몇몇 연구는 태양열 에너지나 풍력에너지와 같은 기존의 재활용 가능한 에너지를 이용하는 방법에서 해결방안을 찾고 있다. 하지만 이러한 에너지들은 간헐적이고 예상치 못한 돌발 상황이 많아서 QoS(Quality of Service)가 중요한 통신을 할 때에는 매우 한정적인 환경에서만 적용할 수밖에 없게 된다. 또한 센서 네트워크처럼 에너지 공급이 제한되어서 배터리로 에너지 공급을 받는 무선

네트워크는 배터리의 수명에 따라 네트워크의 수명이 결정된다. 이 때 배터리 교체하는데 많은 비용이 들고, 불편함도 있으며, 상황에 따라 이러한 교체작업이 위험하거나 불가능한 경우도 있다(eg., 위험 물질이 노출된 지역이거나 건물 또는 사람 몸에 센서가 삽입된 경우). 이와 같은 여러 한계를 극복할 수 있는 에너지 하베스팅 기술로 WPT(wireless power transfer)기술이 있다. WPT란, 사용자 근처에서 전송되고 있는 신호로부터 혹은 사용자와 직접 통신을 하고 있는 다른 사용자로부터 나오는 RF 에너지를 이용해서 에너지 하베스팅을 하는 방법을 말한다. WPT 기술은 크게 AP로부터

\*이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2014R1A5A1011478)

\*광운대학교 유비쿼터스 통신 연구실 (junheez@kw.ac.kr, yumin@kw.ac.kr, yuchan@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2015년 4월 14일, 수정완료일자 : 2015년 5월 8일, 최종게재확정일자 : 2015년 5월 18일

에너지 하베스팅하는 Infrastructure-based Architecture와 주변 유저로부터 에너지 하베스팅하는 Infrastructure-less Architecture가 있다 [1-2].

AP(Access Point)는 특정 유저( $k_H$ )의 배터리가 일정량 이하로 떨어져서 충전이 필요한 경우, 주변 유저들( $k_P$ )가  $k_H$ 에게 WPT(Wireless Power Transfer)를 하도록 동작시킨다. 이 때 주변 유저가 가지는 공기 중으로 방사되는 에너지 대비 하베스팅 되는 에너지의 효율이 네트워크에서 설정한 임계점( $\alpha$ )보다 높은 경우에만 그 유저를 에너지 하베스팅 유저로 설정하게 된다. 따라서 본 논문에서는 네트워크에서 낮은 효율을 가지는  $k_P$  유저들을 에너지 하베스팅 유저에서 제외시킴으로써 낭비되는 에너지를 방지해서 전체 네트워크의 에너지 하베스팅 효율을 극대화 하고자 한다 [3-4].

본 논문은 II장에서는 WPT(Wireless Power Transfer) 기술에 대한 설명을 한다. 또한 III장에서 사용자 정보 피드백 알고리즘을 소개한 후 IV장에서 시스템 모델을 적용하여 구현한 네트워크의 에너지 하베스팅 성능을 분석할 것이다. 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 내고 마친다.

## II. WPT(Wireless Power Transfer)

WPT(Wireless Power Transfer)은 전원과 전자기기 사이에 접점 없이 전력을 전달하는 방식(non-contact-based system)으로, 전도 방식 자기유도방식(Inductive coupling), 자기공진유도 방식(resonant magnetic coupling), 전자기파 방식(RF-based wireless power) 등의 기술을 이용하여 구현되고 있으며, 광학 방식(Laser-based beaming), 초음파 방식 등도 연구되고 있지만, 효율이 낮아 특수 목적으로만 연구되고 있다 [5].

표 1. WPT(Wireless Power Transfer) 기술 특징

기술방식	자기유도방식	자기 공명	RF 방식
원리	변압기 1~2차 코일간 유도현상 이용	송수신 안테나간의 공명현상 이용	전자파를 안테나를 통해 직접 송수신
효율	매우 높음(>95%)	양호	낮음
거리	근접형(수cm)	중거리(수미터)	장거리(수십 미터 이상)
특징	대전력 전송에 유리	대전력 전송 어려움	인체 및 장애물에 영향
응용	휴대폰, 노트북 등	가전기기 전원	위성과 지구간 전력전송

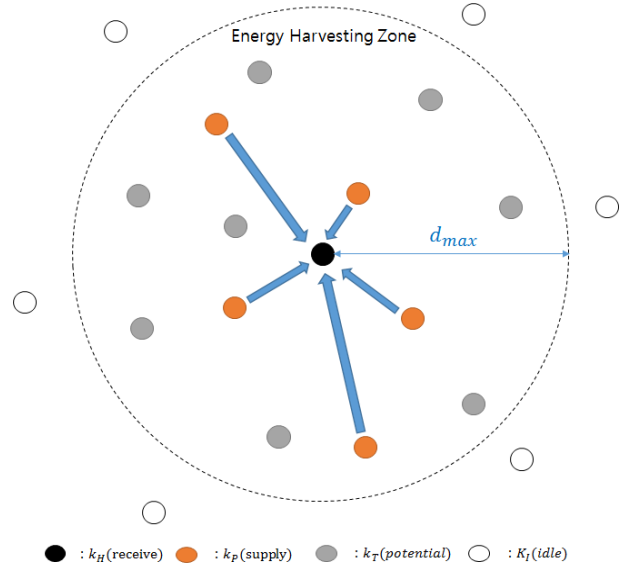


그림 1. 사용자 정보 피드백 알고리즘에 대한 시스템 모델

## III. 시스템 모델

사용자 정보 피드백 알고리즘은 AP가 AP의 셀 범위 안쪽에 위치한 유저들을 파악하고 각 유저들의 정보로부터 얻어진 하베스팅 효율을 네트워크 임계점  $\alpha$ 와 비교해서 에너지 하베스팅 유저들을 결정, 수신되는 하베스팅 에너지 대비 방사되는 에너지 낭비를 막아서 전체 네트워크의 에너지 하베스팅 효율을 높일 수 있도록 구현되었다.

먼저 AP는 주기적으로 셀 범위 안의 사용자들로부터 사용자 정보를 수신 받는다고 가정한다. 이 때  $k_H$ 의 배터리량이 일정량 이하로 내려가서 충전이 필요하다고 판단하면  $k_P$ 들로부터 에너지 하베스팅을 하도록 한다. 그림 1은 논문에서 소개하고자 하는 사용자 정보 피드백 알고리즘에 대한 시스템 모델을 나타낸 그림이다.  $k_H$ 는 에너지 하베스팅하는 유저이고  $k_P$ 는 파워 전송을 하는 유저 그리고  $k_T$ 는 파워 전송을 할 수 있는 잠재적인 유저를 나타낸다. Energy Harvesting Zone을 할 수 있는 최대 범위를  $d_{max}$ 라고 한다. 여기서  $k_H$ 와  $d_{max}$  값은 고정 값이고  $k_P$ 와  $k_T$  값은 사용자 정보 피드백 알고리즘을 통해 결정한다. 그림 2의 순서도는 사용자 정보 피드백 알고리즘을 나타낸다. 순서도의 구성은  $k_H$ 의 반경  $d_{max}$  범위 안에 존재하는  $n$ 개의  $k_P$ 를 찾는 단계, 각  $k_P$ 들의 거리와 거리에 따른 수신에너지를 계산하고 그에 따른 에너지 하베스팅 효율을 계산해서 사용자 정보 피드백 테이블(표 2)을 만드는 단계, 마지막으로 각  $k_P$ 들로부터 얻어지는 에너지 하베스팅 효율과 네트워크의 임계점  $\alpha$ 를 비교해서 에너지 하베스팅 여부를 결정하는 단계로 구성된다 [6].

AP는 유저  $k_H$ 가 에너지 하베스팅이 필요하다고 판단하

면  $k_H$ 를 기준으로 반경  $d_{max}$  범위 안에 있는 유저들 파악한다. 파악된 유저들을 거리가 가까운 순서대로 나열하고 각 유저로부터 수신된 에너지( $e_{h,n}$ )를 식 (1)을 통해서 계산한다.

$$e_{h,n} = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2 L} \quad (1)$$

식(1)에서  $\lambda$ 는 신호파장,  $P_T$ 는 송신신호전력,  $e_{h,n}$ 은 수신 안테나에서의 수신 신호 전력,  $G_T$ 는 송신 안테나에서의 이득,  $G_R$ 는 수신안테나에서의 이득,  $L$ 은 path loss factor 그리고  $d$ 는  $k_H$ 와  $k_P$  유저 사이의 거리를 의미한다. 식(1)로 계산된  $e_{h,n}$ 들에 대한 누적 하베스팅 에너지 양  $E$  값을 계산하고 이전에 구한  $E$  값 대비 증가폭  $\alpha_n$ 을 계산한다.  $\alpha_n$ 은 공기 중에 방사되는 에너지 대비 하베스팅 되는 에너지의 효율을 나타내는 하베스팅 지수이다. 마지막으로 네트워크에서 설정한 하베스팅 임계점  $\alpha$  값 보다 증가폭  $\alpha_n$ 이 큰 경우에는 하베스팅 효율이 네트워크 요구조건을 만족하므로 해당 유저를 에너지 하베스팅 유저  $k_P$ 로 결정하고 증가폭  $\alpha_n$ 이 작은 경우에는 하베스팅 효율이 네트워크 요구조건을 만족하지 않으므로 잠재적으로 에너지 하베스팅을 할 수 있는 유저  $k_T$ 로 결정한다. 테이블에 구성된 모든 유저들에 대한  $k_P$ 와  $k_T$  구분을 마치면  $k_P$ 로부터 에너지 하베스팅을 시작하게 되고 주기적으로 위와 같은 과정을 반복하게 된다. 따라서 적절한 하베스팅 임계점  $\alpha$  값을 설정해서 효율적인 하베스팅 유저를 선별함으로써 네트워크가 가지는 하베스팅 효율을 높일 수 있게 된다 [7].

표 2. 사용자 정보 피드백 테이블

유저 이름	거리	수신 에너지	누적 하베스팅 에너지 양	B의 증가폭
$k_{P1}$	$d_1$	$e_{h,1}$	$E = e_{h,1}$	$\alpha_1$
$k_{P2}$	$d_2$	$e_{h,2}$	$E = e_{h,1} + e_{h,2}$	$\alpha_2$
$k_{P3}$	$d_3$	$e_{h,3}$	$E = e_{h,1} + e_{h,2} + e_{h,3}$	$\alpha_3$
$k_{T4}$	$d_4$	$e_{h,4}$	$E = e_{h,1} + e_{h,2} + e_{h,3} + e_{h,4}$	$\alpha_4$
...	...	...	...	...
$k_{Tn}$	$d_n$	$e_{h,n}$	$E = e_{h,1} + e_{h,2} + \dots + e_{h,n}$	$\alpha_n$

#### IV. 성능평가 및 분석

본 장에서는 사용자 정보 피드백 알고리즘을 적용하여 에너지 하베스팅을 하였을 때 네트워크의 에너지 하베스팅 성

능을 비교 분석하였으며, 실험 조건을 표 3에 정리하였다.

그림 3은 사용자 정보 피드백 알고리즘을 적용했을 때 네트워크의 임계점 값에 변화를 줘서 임계점 값에 따른 네트워크의 에너지 하베스팅 효율을 나타내고 있다. 모의 실험을 통해 임계점 값이 15%일 때 네트워크의 에너지 하베스팅 효율이 가장 높아지는 것을 확인 할 수 있다.

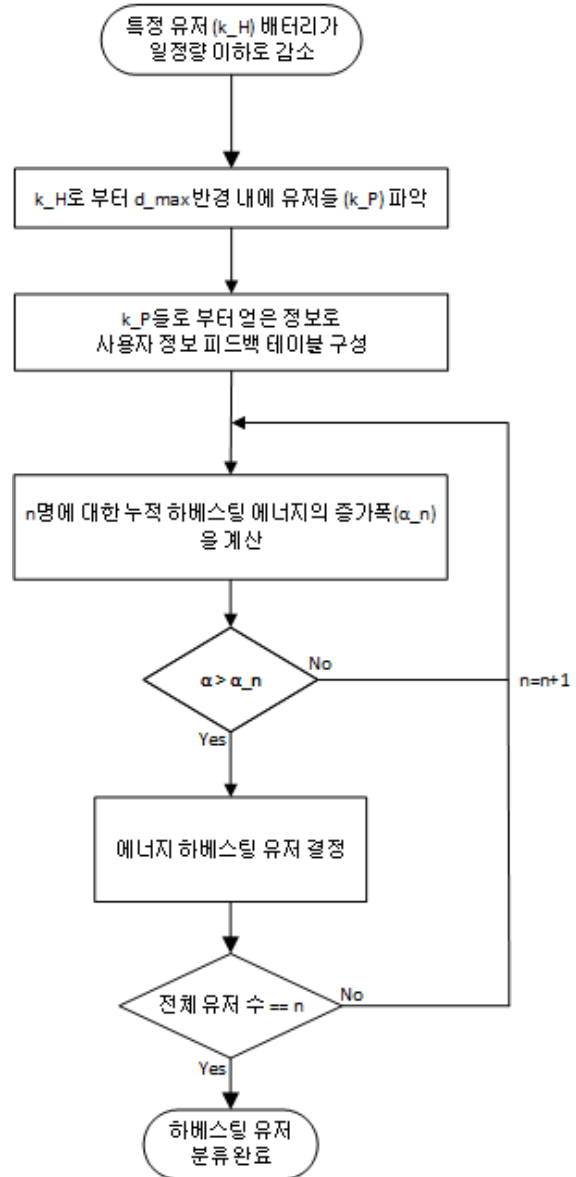


그림 2. 사용자 정보 피드백 알고리즘 순서도

표 3. 모의실험 파라미터

유저의 수	60 명
$d_{max}$	30 m
송신 안테나 게인	15 dBm
수신 안테나 게인	15 dBm
송신 파워	0.1 W

표 4. 임계점에 따른 네트워크 에너지 하베스팅 효율(R) 비교

	$\alpha=5\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=15\%$	$\alpha=20\%$
R	$1.45 \times 10^{-6}$	$1.57 \times 10^{-6}$	$1.61 \times 10^{-6}$	$1.51 \times 10^{-6}$

## V. 결론

본 연구에서는 사용자 정보 피드백 알고리즘을 개발하고 이를 이용해서 실제 네트워크 하베스팅 효율이 증가하는 지를 분석하였다. 알고리즘의 성능은 공기 중에 방사되는 에너지 대비 하베스팅 되는 에너지의 효율을 가지고 측정하였다. 사용자 정보 피드백 알고리즘 적용 결과 효과적으로 에너지 하베스팅이 이루어 졌으며, 네트워크 임계점이 15%로 설정하였을 때 가장 탁월한 효과를 보였다. 이러한 알고리즘은 사람들이 한적한 곳보다 도심과 같은 사람들이 밀집한 지역에서 적용되었을 때 더 효과적으로 에너지 하베스팅을 할 수 있을 것이라고 기대된다. 본 연구는 네트워크의 하나의 사용자를 기준으로 사용자 정보 피드백 알고리즘을 적용하였으므로 다양한 사용자가 에너지 하베스팅이 필요할 때 에너지 하베스팅 존이 겹치는 등 여러 가지 이슈들에 대한 다양한 연구가 더 진행되어야 한다.

## 참고 문헌

[1] L. Xiao, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim, and Z. Han, "Wireless networks with RF energy harvesting : A contemporary survey," IEEE Commun Surveys and Tutorials., vol. 17, no. 2, pp. 757-789, June 2015.

[2] Lijuan Xiang, Yue Sun, Xin Dai, Yu Chen, and Xiao Lv, "Route optimization for wireless power transfer network based on the CE method," International Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC), pp. 630-634, 2014.

[3] H. J. Visser and R. J. M. Vullers, "RF energy harvesting and transport for wireless sensor network applications: principles and requirements," in Proc. of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1410-1423, June 2013.

[4] N. Shinohara, "The wireless power transmission: inductive coupling, radio wave, and resonance coupling," Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, vol. 1, no. 3, pp. 337-346, Sept. 2012.

[5] D. Dondi, S. Scorcioni, A. Bertacchini, L. Larcher, and P. Pavan, "An autonomous wireless sensor network device powered by a RF energy harvesting system," in Proc. of IEEE Annual Conf. on IEEE Industrial Electronics Society (IECON), pp. 2557-2562, Oct. 2012.

[6] L. Xie, Y. Shi, Y. T. Hou, and W. Lou, "Wireless power transfer and applications to sensor networks," IEEE

Wireless Commun. Mag., vol. 20, no. 4, pp. 140-145, Aug. 2013.

[7] C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design, John Wiley & Sons, 2012.

## 저자

### 정 준 희(Jun Hee Jung)



- 2015년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2015년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 위치 공학, 협력통신, 인지무선통신

### 황 유 민(Yu Min Hwang)

준회원

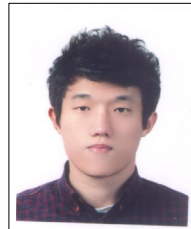


- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학 학사졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신

### 송 유 찬(Yu Chan Song)

준회원



- 2014년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 학사졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : WBAN, 가시광 통신, 5G 이동통신

### 김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자 공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신.