

다중 센서 네트워크에 효과적인 전력 공급을 위한 선택적 전파전력전송 시스템

안창영*, 유흥균^o

Selective Microwave Power Transfer System for Effective Power Supply to Multiple Sensor Networks

Changyoung An*, Heung-Gyoon Ryu^o

요약

본 논문에서는 다중 센서 네트워크에 효율적으로 무선전력전송을 수행할 수 있는 새로운 MPT(Microwave Power Transfer) 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 센서의 ID(Identification) 및 배터리 상태 정보를 활용하여 선택적으로 전력 공급이 급한 센서에 우선적으로 전력송신을 한다. 이러한 우선순위 처리 방식을 사용함으로써, 기존의 무작위 선택으로 전력을 전송하는 MPT 시스템이 가지고 있는 단점을 극복할 수 있다. 기존 MPT 시스템에서 전력요청에 따라 무작위로 전력전송을 할 때, 상대적으로 전력 소모가 많으면서 배터리 전력이 낮은 센서가 전력을 제때에 공급받기 어려워진다. 제안하는 시스템은 이러한 문제를 효과적으로 해결할 수 있다. 시뮬레이션을 통하여, 제안하는 MPT 시스템은 다양한 센서 네트워크 환경에서 기존 MPT 시스템과 비교하여, 네트워크 전체적으로 각 센서들이 보다 효과적으로 작업을 수행할 수 있는 환경을 제공할 수 있음을 확인하였다. 특히, 센서의 수에 따라 전력송신기의 파라미터를 조절하면, 최대 약 45% 정도 센서 네트워크의 작업량을 개선할 수 있다.

Key Words : WPT, MPT, IoT, efficiency, selective power transfer

ABSTRACT

In this paper, we propose a new microwave power transfer (MPT) system that can efficiently transmit power to multiple sensor networks wirelessly. Using the sensor identification and battery status information, the proposed system preferentially transmits powers to the sensor that has the lowest battery power. Through this selective priority processing, it is possible to overcome the drawbacks of the MPT system that transmits power by random selection without priority. When the power is randomly transmitted according to the power request in the conventional MPT system, it is difficult for sensors with relatively high power consumption characteristic and low battery power to receive power in time. The proposed system can effectively solve this problem. Through the simulations, it is confirmed that the proposed MPT system can provide a power efficient environment in which each sensor can perform work more effectively than the conventional MPT system in various sensor network conditions. In particular, it is confirmed that by adjusting the parameters of the power transmitter according to the number of sensors, it is possible to improve the total workload of the sensor network by up to about 45% maximally.

* 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1D1A1B01008046). 그리고 이 논문은 2019년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원을 받아 연구되었음 (2019K1A3A1A39102995). 또한, 이 논문은 2020년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2020K2A9A2A08000106).

• First Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, acy890217@naver.com, 정희원

^o Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, ecomm@cnu.ac.kr, 정희원

논문번호 : 202007-161-A-RN, Received July 20, 2020; Revised October 7, 2020; Accepted November 17, 2020

I. 서론

최근 무선으로 다양한 기기에 전력을 공급할 수 있는 무선 전력전송 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[1]. 무선전력전송 기술은 유선으로 전력을 공급함으로써 발생하는 다양한 불편함을 효과적으로 개선시킬 수 있으며, 이로 인하여 더욱 다양하게 무선 통신 시나리오를 확장시킬 수 있다. 무선전력전송에서는 전력전송 거리와 효율이 가장 중요한 성능 지표이다^[2-4]. 특히, 향후 다수의 IoT(Internet of Things) 기기 및 센서 네트워크 등에 무선으로 전력을 공급하기 위해서는 장거리 무선전력전송 기술이 요구된다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 기술로 microwave 전력전송 기술이 잘 알려져 있다^[5]. 이 기술은 고전력 전파 신호를 송신하여 먼 거리의 기기들에 전력을 효과적으로 공급한다. 그러나 MPT(Microwave Power Transfer) 기술은 전력전송 효율이 다른 무선전력전송 기술들에 비하여 낮은 특성이 있다^[6]. 이로 인하여 초기의 많은 연구들은 전력전송 효율을 개선하기 위하여 다수 안테나를 사용한 송신 빔포밍 기술과 다수의 안테나로 부터 수신된 RF(Radio Frequency) 신호를 DC(Direct Current) 전력으로 변환하는 전력수신기의 효율을 개선시키는데 초점이 맞춰졌으며, 전력신호 빔포밍, 고이득 안테나 설계, 수신기의 impedance matching, RF 및 DC combining, RF-DC(RF to DC) 정류기 설계, 전력관 리네트워크 설계 기술들에 대한 연구를 통하여 전력전송 거리 및 효율을 개선시키는 결과를 보여주었다. 그러나 경로 감쇄가 매우 높은 RF 신호를 사용하는 MPT 기술의 특성상 전력 전송 효율을 더욱 개선시킬 필요가 있다. 더욱이 MPT 기술은 IoT 기기 및 센서 네트워크를 효과적으로 지원해야 하므로, 다수 기기 환경에서 전체적인 무선전력전송 효율 또한 개선시킬

필요가 있다. 일반적으로 MPT 기술을 센서 네트워크에 적용한다고 가정하면, 802.11n의 접속방법과 유사하게, 랜덤(Random) 접근 방법으로 전력을 요청하고 이에 따라 전력송신기에서 전력 신호를 빔포밍하여 각각의 센서에 전송하는 방법을 고려할 수 있다^[7]. 이러한 방법은 불특정 다수의 기기에 무선전력전송을 하는데 효과적으로 보일 수 있다. 그러나 배터리 전력이 충분한 기기의 요청에 의해 전력송신을 위한 자원이 낭비될 수 있으며, 전력공급이 급하게 요구되는 기기들은 적절한 전력공급 시기를 놓칠 가능성이 높다. 이러한 부분을 고려하면, 다수의 기기에 효과적으로 전력전송을 하지 못할 경우 센서 네트워크 기준에서 전체적인 전력전송 효율이 감소되는 효과가 나타나게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 다수 기기에 효과적으로 전력을 전송할 수 있는 새로운 전력전송 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 각 기기의 배터리 상태를 고려하여 전력전송의 우선순위를 정한다. 즉, 일정 주기마다 각 기기의 배터리 상태가 전력공급기로 전송되며, 이 정보를 이용하여 배터리 전력이 가장 낮은 기기에 우선적으로 전력을 공급한다. 이러한 방법을 사용할 경우 랜덤 접근 방식의 무선전력전송의 단점을 효과적으로 극복할 수 있다. 본 논문에서는 다수의 센서 네트워크 환경에서 랜덤 접근 방식의 무선전력전송 기술과 제안하는 배터리 상태 적응형 무선전력전송 기술의 전력전송 능력을 비교하여, 제안하는 기술의 우수성을 보인다.

II. MPT 시스템

MPT 시스템은 전력송신기와 전력수신기로 구성된다. 그림 1은 일반적인 MPT 시스템의 구조를 보여준다. MPT는 RF 신호를 이용하여 무선으로 전력을 전송한다. RF 신호는 장거리까지 도달 할 수 있지만, 경

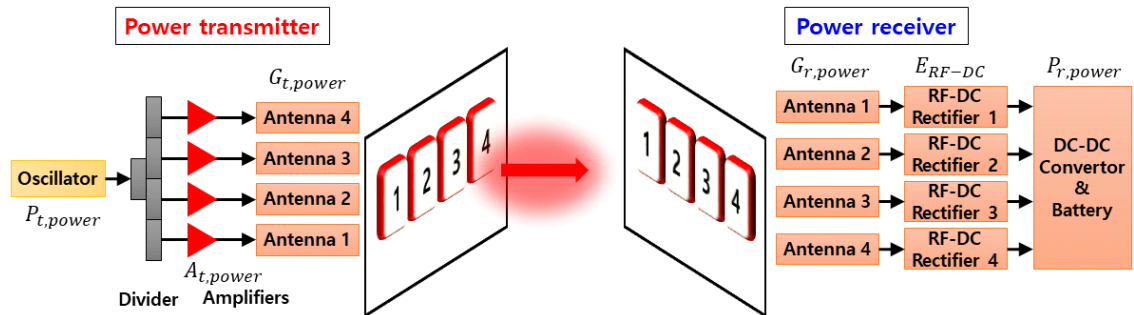


그림 1. MPT 시스템의 전력송신기와 전력수신기 구조
Fig. 1. Structure of power transmitter and receiver of MPT system.

로 감쇄로 인하여 전력이 거리에 따라 급격히 감소하는 특성이 있다. 이로인하여 MPT 기술은 일반적으로 전력전송 효율이 매우 낮다. 따라서 이를 보완하기 위해 전력송신기와 전력수신기를 효과적으로 설계해야 한다. MPT 시스템에서 전력 신호의 경로 감쇄를 극복하기 위해서는 다중 안테나를 사용하여 송신 안테나 이득 및 수신 안테나 이득을 향상시켜야 한다. 이때, 전력수신기는 IoT 기기 및 센서들로 구성될 가능성이 높기 때문에 폼팩터를 최소화해야 하고, 이에 따라 사용할 수 있는 안테나 의 수가 제한적이다. 따라서 전력송신기에 상대적으로 많은 안테나를 구성하여 이득을 최대한 끌어내야 한다. 전력송신기는 발진기, 위상천이기, 증폭기, 안테나로 구성되며, 전력수신기는 안테나, Impedance matching circuit, RF-DC 정류기, RF 및 DC 신호 결합기, DC-DC 변환기, 전력관리 네트워크 등으로 구성된다^[8]. 전력송신기와 전력수신기에서 사용하는 안테나의 수에 따라서 사용되는 각 소자의 수는 바뀔 수 있다.

III. 다중 센서 네트워크를 위한 전력전송 방법

다중 센서 네트워크에 MPT 기술을 적용하기 위해서는 각 센서 및 기기에 전력수신기와 정보 및 파일럿 (Pilot) 신호 송신기를 추가해야 한다. 그리고, 전력송신기에는 정보 및 파일럿 신호 수신기가 요구된다^[9].

특히, 전력송신기에서는 전력 송신과 파일럿 신호 수신을 위해서 다중안테나를 사용해야 한다^[9]. 이는 전력신호를 빔포밍하는데 사용된다. 다중 센서 네트워크에 무선전력을 공급하는 MPT 시스템의 동작을 살펴보면 다음과 같다. 우선, 전력수신기에서는 파일럿 신호를 송신한다. 그 다음 전력송신기에서 다중 안테나를 통하여 파일럿 신호를 수신하고, 수신 신호를 이용하여 전파가 입사한 방향을 추정한다. 그 다음 발진기로부터 생성된 신호의 전력을 증폭하고, 추정된 정보를 이용하여 신호가 입사한 방향으로 전력 신호를 송신한다. 그다음 전력수신기는 효율을 높이기 위하여 다중 안테나로 전파 신호를 수신하고, 이를 RF-DC 정류기 및 전력관리 네트워크 등의 처리를 통해 사용할 수 있는 DC 전력으로 저장한다. 이와 같은 방법을 다수의 센서에 적용하면, 각각의 방향으로 전력신호를 전송할 수 있다. 이때, 다수의 전력수신기가 전력을 요청할 경우, 이를 처리하는 방법에 따라 전체 네트워크의 전력전송 효율이 달라질 수 있다.

3.1 기존 랜덤 선택 기반 MPT

MPT를 사용하는 다중 센서 네트워크에서는 각각의 센서들이 전력송신기로 정보를 전송할때 파일럿 신호를 함께 송신한다. 이때, 전력송신기는 파일럿 신호를 수신할 때 전파의 입사 방향을 추정할 수 있고, 이를 바탕으로 각각의 센서에 전력신호를 빔포밍할

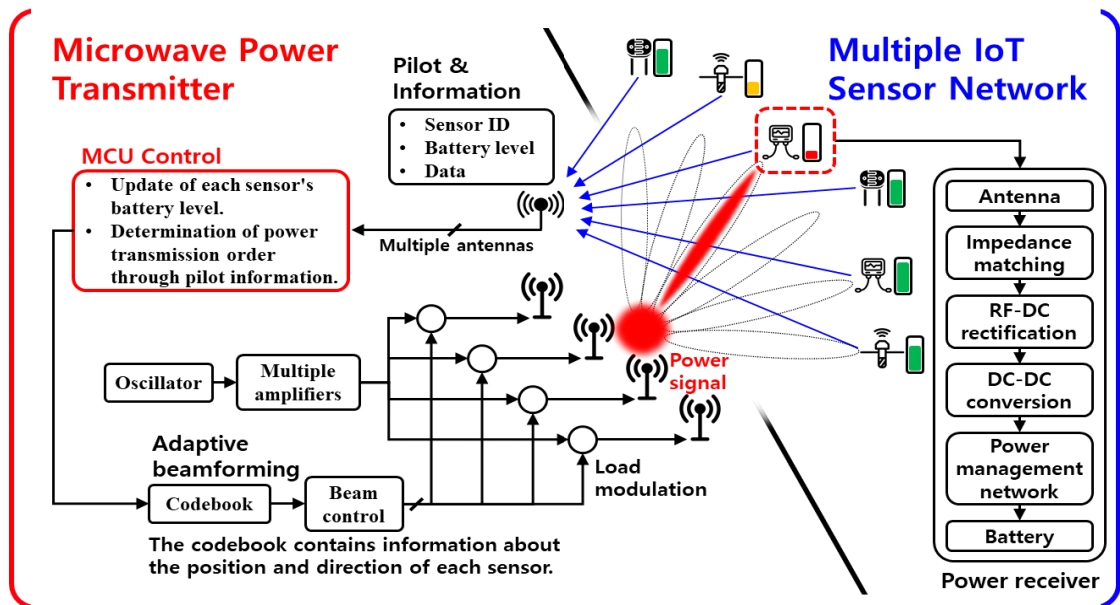


그림 2. 본 논문에서 고려하는 MPT를 사용하는 다중 센서 네트워크 시나리오
Fig. 2. Multiple sensor network scenario using MPT considered in this paper.

수 있다. 일반적으로 다수의 센서에 동시에 전력을 공급하기는 어렵기 때문에 시간을 나누어 전력을 전송하게 되며, 전력을 전송하는 순서는 랜덤으로 결정하여 송신하게 된다. 이 방법은 추가적인 정보를 요구하지 않으며, 복잡한 알고리즘 처리를 요구하지 않으며, 각 센서에 공평하게 전력을 공급할 수 있다. 그러나 배터리 전력이 충분한 센서가 전력요청을 함으로써 전력송신기의 불필요하게 점유하여, 급하게 전력이 요구되는 센서에는 전력공급이 늦어질 수 있다. 특히, 각 센서들의 전력소모가 가변적이고, 불규칙할 경우 이러한 현상이 심화될 수 있다.

3.2 제안하는 배터리 상태 적응형 MPT

본 논문에서는 MPT를 사용하는 다중 센서 네트워크에서 전력공급 순위를 랜덤 선택으로 하였을 때 발생하는 문제점을 해결하기 위하여, 각 센서의 배터리 상태 정보를 활용하는 MPT 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 각 센서 네트워크에서 정보를 송신할 때, 배터리 상태 정보를 포함하여 송신한다. 그리고 전력송신기에서는 이 배터리 정보를 이용하여 배터리 전력이 낮은 센서에 우선적으로 무선전력을 공급한다. 이러한 방법을 이용하여 다수의 센서가 전력전송을 요청하더라도, 전력이 급하게 요구되는 센서에 우선적으로 전력을 전송할 수 있다. 제안하는 MPT 시스템은 기존 랜덤 선택 방법을 사용하는 MPT 시스템에서 배터리 정보를 ADC로 측정하고, 이를 송신하는 간단한 회로를 추가하고, 전력송신기에서 다수의 센서로부터 전송된 배터리 정보를 저장하는 공간과 전체 배터리 정보 중 가장 낮은 배터리 상태를 선택하는 간단한 알고리즘을 추가하여 설계할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 평가

본 논문에서는 제안하는 MPT 시스템을 평가하기 위하여 가상으로 다중 센서 네트워크를 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 기존 시스템과 제안하는 시스템의 성능 평가를 위하여 전체 센서 네트워크에서 이루어진 작업량을 비교하였다. 시뮬레이션을 위한 가상 센서 네트워크에서는 주요 파라미터로 센서의 수 N_{rx} , 센서에서 하나의 작업을 완료하는데 요구되는 시간 T_w , 센서에서 작업에 사용되는 전력 P_w , 전력신호의 송신 주기 T_{tx} , 무선으로 공급받은 전력의 세기 P_{tx} 를 고려하였다. 즉, 5개의 파라미터 값을 변화 시켜 다양한 조건의 센서 네트워크 환경

을 구성하였다. 이 네트워크의 동작 순서는 다음과 같다. 우선 각 센서들은 랜덤한 값으로 초기 배터리 전력을 갖는다. 그 다음 각 센서에 작업 시간과 작업 강도가 랜덤으로 할당된다. 그 다음 각 센서는 작업 강도에 따라 배터리 전력을 사용하면서 지정된 시간만큼 작업을 수행한다. 이때, 배터리가 없으면 센서가 정지하여 작업이 진행되지 않는다. 지정된 작업 강도로 요구 시간동안 작업을 완료하였을 때 하나의 작업이 성공한 것으로 판정한다. 작업이 완료되면 센서는 다시 작업 시간과 작업 강도를 랜덤으로 할당 받고 배터리 상태에 따라 작업을 수행한다. 성능 지표인 네트워크 전체의 작업량은 각 센서에서 작업이 성공하였을 때, 그 센서들의 작업 강도를 누적하여 평가한다. 전력송신기는 파라미터로 지정된 전력신호의 송신 주기마다 하나의 센서를 선택하고, 전력 신호를 센서에 송신하며, 센서는 송신된 전력을 수신한다.

본 논문에서 고려한 MPT 기반 다중 센서 네트워크는 다수의 센서 노드와 기지국으로 구성된다. 세부적으로 센서 노드는 정보 전송기, 파일럿 송신기, 전력 수신기로 구성되고, 기지국은 정보 수신기, 파일럿 수신기, 전력 송신기로 구성되어 있는 환경을 고려한다. 그리고, 본 논문에서는 전력수신기에서 송신한 파일럿 정보를 이용하여 전력송신기에서 각 센서의 방향으로 성공적으로 빔포밍을 하는 조건과 전력 송신 주기마다 모든 센서로부터 정보를 수신하는 조건을 가정하였다. 그리고, 각 센서가 가지고 있는 배터리 용량은 무선으로 공급받은 전력이 20mW일 때 5초간 충전하면 완전충전되도록 설정하였다. 예를 들어 30mW로 전력을 공급받을 경우 약 3.3초 후에 배터리가 완전충전된다.

표 1은 본 논문에서 고려한 MPT를 사용하는 다중 센서 네트워크 시나리오들을 나타낸다. 제안하는 MPT 시스템의 성능 평가를 위하여 4가지 파라미터를 변경하면서 4가지 시나리오 조건을 만들었다. 조건 #2는 조건 #1에서 센서의 작업에 요구되는 최대 전력량을 변경하였다. 조건 #3은 조건 #2에서 전력 송신 주

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

	P_{tx} [mW]	T_{tx} [s]	P_w [mW]	T_w [s]
condition #1	30	5	5	5
condition #2	30	5	1	5
condition #3	30	10	1	5
condition #4	15	10	1	5

기를 변경하였다. 조건 #4는 조건 #3에서 무선으로 공급받는 전력량을 변경하였다.

제안하는 시스템의 성능 평가를 위하여 우선, 조건 #1의 센서 네트워크 환경에서 기존 랜덤 선택 시스템과 제안하는 시스템의 누적 작업량을 비교하였다. 이때, 센서의 수는 3, 10, 20, 100개를 각각 고려하였다.

그림 3은 기존 MPT 시스템과 제안하는 MPT 시스템의 시간에 따른 센서 네트워크의 누적 작업량을 보여준다.

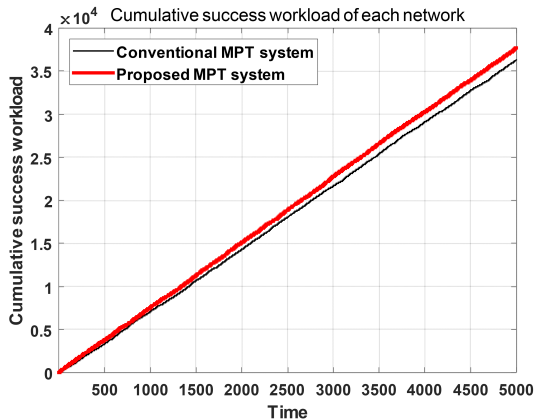
그림 3에서 기존 랜덤 선택 시스템과 제안하는 시스템을 비교해보면, 센서의 수가 달라지더라도 전체적으로 제안된 시스템이 기존 시스템에 비하여 더 많은 작업을 성공시킬 수 있다.

그림 3에서 그래프의 기울기는 센서들의 얼마나 효과적으로 작업을 수행하는지를 나타낸다. 즉, 기울기가 클수록 전체 네트워크 측면에서 전력을 효율적으로

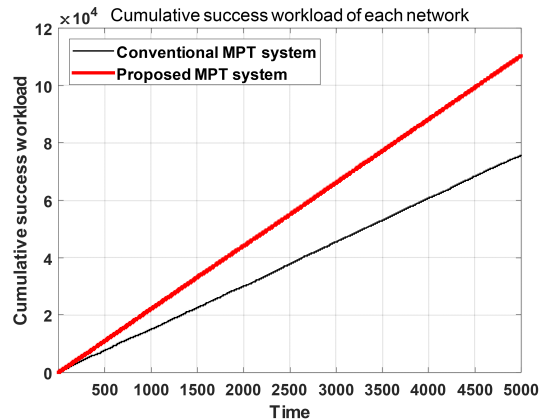
공급받아 단위시간 동안 더 많은 작업을 수행한 것을 의미한다. 센서의 수가 3개에서 10개로 증가할 경우 두 시스템의 기울기 차이는 더 커지며, 센서의 수가 10개에서 20개, 100개로 증가할 경우에는 다시 기울기 차이가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 그림 3에서 고려한 센서의 수 및 조건 #1의 환경에서 센서가 10개일 때 제안하는 시스템은 기존 시스템에 비하여 가장 높은 작업량 개선을 보여준다.

본 논문에서는 새로운 시스템의 특성을 정량적으로 평가하기 위하여 센서 네트워크에서 기존 시스템과 제안하는 시스템의 총 누적 작업량을 이용하여 개선율을 계산하였다. 성능 평가를 위한 개선율은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

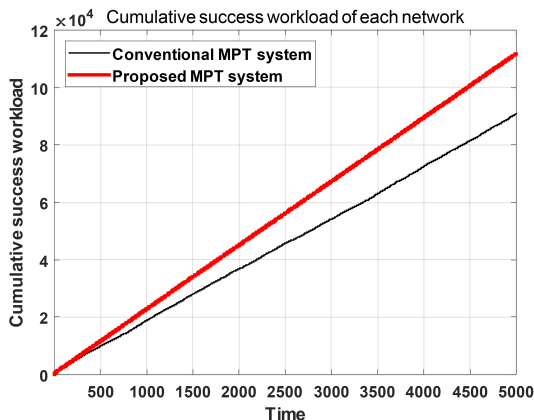
$$E_w = 100 * (W_p - W_c) / W_c \quad (1)$$



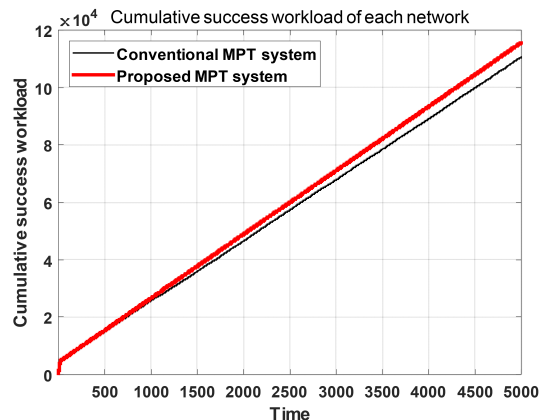
(a) # of sensor = 3



(b) # of sensor = 10



(c) # of sensor = 20



(d) # of sensor = 100

그림 3. 시간에 따른 센서 네트워크의 누적 작업량 (조건 #1)
Fig. 3. Cumulative workload of sensor networks according to time.

여기에서 E_w 는 다중 센서 네트워크의 작업 개선율을 나타내며, W_p 와 W_c 는 각각 제안하는 시스템과 기존 시스템의 누적 작업 총량을 나타낸다. 식 (1)을 평가 지표로 하여 표 1의 각 조건에 대한 작업 개선량을 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4는 시뮬레이션 조건에 대하여 센서의 수에 따른 작업 개선율을 보여준다. 조건 #1의 환경에서는 센서의 수가 9개일 때 제안하는 시스템의 개선율이 가장 우수하며, 조건 #2, 조건 #3, 조건 #4일 때에는 각각 센서의 수가 21, 42, 21개 일 때 최대의 작업량 개선율을 보인다. 각 조건에 따라서 그래프를 평가해 보면, 조건 #1에서 조건 #2로 센서의 전력소모량이 대체적으로 줄어들 경우, 개선율이 상대적으로 높은 부분이 센서의 수가 9개 부근에서 42개 부근으로 이동한다. 그리고 조건 #2에서 조건 #3로 전력송신 주기가 길어질 경우 다시 개선율이 높은 부분이 센서의 수가 21개인 부분으로 이동한다. 그리고 조건 #3에서 조건 #4로 무선으로 공급받는 전력이 감소 할 경우에는 개선율 특성이 크게 변하지 않는 것을 확인할 수 있다.

센서 수에 따른 전체 작업량 개선율은 저장된 전력이 모두 소모되어 작업을 하지 못하는 센서의 수와 밀접하게 관련이 있다. 즉, 이러한 비활성 센서들의 수가 많아지게 되면, 네트워크의 총 작업량은 줄어들게 된다. 본 논문에서는 비교군으로 랜덤 전력전송 방법을 사용하였다. 작업 개선율이 증가한다는 것은 제안하는 시스템이 전력을 필요한 곳에 효과적으로 공급하여 비활성되는 센서의 수가 적다는 것을 의미한다.

조건 #1과 조건 #2를 비교하면, 센서의 소모 전력에 차이가 있다. 센서의 소모 전력이 줄어들 경우, 센서가 배터리를 모두 사용하는 시간이 길어진다. 이렇게 될 경우 배터리를 급히 요구하는 센서의 수가 천천

히 증가하게 된다. 즉, 센서의 수가 어느 정도 증가하더라도, 전력송신기에서 시기에 맞게 선택적으로 전력을 공급할 수 있기 때문에, 비활성되는 센서의 수가 증가되는 것을 완화시킬 수 있다. 그러나 센서의 수가 너무 많아 질 경우에는 비활성 센서가 발생하는 속도가 더욱 빨라지고, 전력송신기에서 이를 모두 지원하기 어려워져 랜덤 시스템과 같이 전체 센서가 동작하는 조건과 비교하여 단위 시간당 작업량이 감소하게 된다. 이러한 이유로 조건 #1보다 지원을 위한 최적의 센서 수가 더 많아지게 된다.

기존 랜덤 선택 시스템의 경우 센서의 수가 적을 경우 확률적으로 비활성 센서에 전력이 공급되는 빈도가 높아져 선택적 전력공급과 유사하게 센서의 비활성화를 완화시킬 수 있지만, 센서의 수가 증가할 경우, 비활성 센서가 전력을 공급받을 확률이 낮아지면서, 단위 시간당 작업량이 감소하게 된다. 반면, 선택적 전력공급 방법은 특정 센서의 수까지는 비활성 센서가 발생하는 속도보다 빠르게 전력을 공급하여, 상대적으로 제안하는 시스템이 더 많은 작업량을 처리할 수 있게 된다. 그러나 선택적 전력공급 방법 역시 센서의 수가 너무 많아질 경우, 비활성 센서가 발생하는 속도가 더욱 빨라져서 단위 시간당 작업량이 감소하게 된다. 이로 인하여, 그림 4와 같이 특정 센서의 수에서 작업량 개선율이 최대로 되는 그래프 특성을 갖게 된다.

두 시스템의 특성을 고려해보면, 제안하는 선택적 전력 공급 시스템은 센서의 전력 소모가 상대적으로 적은 네트워크에서는 최적의 센서 수가 증가 하게 된다. 더 나아가 조건 #2와 조건 #3을 비교해 보면, 전력 공급기의 송신 주기가 길어질 경우, 센서가 비활성화 되는 속도에 비하여, 여러 센서에 전력을 공급하는 속도가 줄어들어 최적의 센서수가 감소하게 된다. 즉, 하나의 센서에 오랜시간 전력을 공급하게 되어, 전력 공급이 급히 요구되는 센서에 제때에 전력을 공급하기 어려우므로, 최적의 센서수가 감소하게 된다. 마지막으로 조건 #3과 조건 #4를 비교해보면, 전력송신기의 공급 전력량에 차이가 있다. 송신 전력량이 감소할 경우, 랜덤 전력공급과 선택적 전력공급 방법 모두 각 센서에 충전해주는 전력량이 줄어들어, 비활성 센서가 발생하는 속도가 빨라지므로, 전체 네트워크에서 처리하는 작업량은 감소하게 된다. 그러나 두 방법 모두 작업량이 줄어들었기 때문에, 개선율에는 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있다.

결론적으로, 제안하는 시스템은 전체적인 환경에서 센서 네트워크 전체의 작업량을 개선시킬 수 있지만,

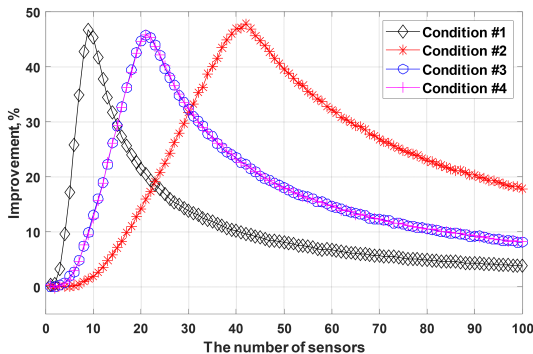


그림 4. 제안하는 MPT 시스템을 사용하는 센서 네트워크의 총 작업량 개선율
 Fig. 4. Improvement rate of total workload of the sensor network using proposed MPT system.

각각의 환경에 따라 최대의 개선율을 보이는 센서의 수가 달라짐을 확인할 수 있다. 즉, 센서 네트워크에 운용되는 센서의 수에 따라서 주요 파라미터를 효과적으로 선택해야 최대의 개선율을 갖도록 무선 전력 전송을 수행할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 다중 센서 네트워크에 효과적으로 무선전력전송을 수행하기 위한 선택적 MPT 시스템을 제안하였다. 기존 다중 센서 네트워크를 위한 MPT 시스템은 무작위로 센서를 선택하여 전력을 공급함으로써, 전력을 급하게 요구하지 않는 센서들의 전력 요청에 의해 전력송신기의 자원이 소모되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제안하는 MPT 시스템은 센서의 수와 배터리 상태 정보를 사용하여 전력 공급이 급한 센서들을 우선적으로 선택하여 전력을 공급함으로써 전체 센서 네트워크 측면에서 전체적인 작업량을 개선시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여, 제안하는 시스템은 배터리 정보를 전송하는데 약간의 추가적인 자원을 소모하지만, 전체적인 환경에서 기존 랜덤 선택 MPT 시스템에 비하여 센서 네트워크의 작업량을 대체적으로 개선시킬 수 있음을 확인하였으며, 특정 조건에서 최대 약 45%의 작업량을 개선시킬 수 있음을 확인하였다. 이러한 특성을 활용하면, 향후 MPT를 사용하는 다중 센서 네트워크를 구현할 때, 센서의 수 및 네트워크의 환경에 따라 전력송신기의 파라미터를 효과적으로 선택하여 전력전송을 가장 효율적으로 하도록 시스템을 구성할 수 있을 것이다.

References

[1] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim, and Z. Han, "Wireless charging technologies: Fundamentals, standards, and network applications," *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 18, no. 2, pp. 1413-1452, Secondquarter 2016.

[2] S. Khang, D. Lee, I. Hwang, T. Yeo, and J. Yu, "Microwave power transfer with optimal number of rectenna arrays for midrange applications," *IEEE Ant. and Wirel. Propag. Lett.*, vol. 17, no. 1, pp. 155-159, Jan. 2018.

[3] C. Peng, et al., "On the load-independence of

a multi-receiver wireless power transfer system," *IEEE Microw. and Wirel. Components Lett.*, vol. 29, no. 8, pp. 563-565, Aug. 2019.

[4] Y. Huang, N. Shinohara, and T. Mitani, "Impedance matching in wireless power transfer," *IEEE Trans. Microw. Theory and Techniques*, vol. 65, no. 2, pp. 582-590, Feb. 2017.

[5] B. Li, S. Liu, H. Zhang, B. Hu, D. Zhao, and Y. Huang, "Wireless power transfer based on microwaves and time reversal for indoor environments," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 114897-114908, 2019.

[6] B. Yang, X. Chen, J. Chu, T. Mitani, and N. Shinohara, "A 5.8-GHz phased array system using power-variable phase-controlled magnetrons for wireless power transfer," *IEEE Trans. Microw. Theory and Techniques*, vol. 68, no. 11, pp. 4951-4959, Nov. 2020.

[7] H. Roh and J. Lee, "Cross-layer optimization for wireless sensor networks with RF energy transfer," *2014 Int. Conf. ICTC*, pp. 919-923, Busan, 2014.

[8] B. T. Malik, V. Doychinov, A. M. Hayajneh, S. A. R. Zaidi, I. D. Robertson, and N. Somjit, "Wireless power transfer system for battery-less sensor nodes," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 95878-95887, 2020.

[9] K. W. Choi, L. Ginting, P. A. Rosyady, A. A. Aziz, and D. I. Kim, "Wireless-powered sensor networks: How to realize," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 1, pp. 221-234, Jan. 2017.

안 창 영 (Changyoung An)



2013년 2월 : 충북대학교 전자공
학과 (공학사)

2015년 2월 : 충북대학교 전자공
학과 (공학석사)

2019년 8월 : 충북대학교 전자공
학과 (공학박사)

2019년 9월~현재 : 충북대학교
전자공학부 박사후연구원

<관심분야> 무선통신 시스템, 신호처리, B5G 이동통
신 시스템

[ORCID:0000-0002-7829-7866]

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자
공학부 교수

2002년 3월~2004년 2월 : 충북
대학교 컴퓨터정보통신연구
소 소장

<관심분야> 무선통신시스템, 위
성통신, B5G/6G 이동통신 시
스템, 통신회로 설계 및 통신 신호처리

[ORCID:0000-0002-7368-9860]