

IEEE 802.15.6 UWB WBAN에서 다중 홉 전송에 대한 성능 평가

김호성¹ · 황호영^{2*}

Performance Evaluation of Multi-Hop Transmissions in IEEE 802.15.6 UWB WBAN

Ho-Sung Kim¹ · Ho Young Hwang^{2*}¹LG Innotek, Ansan 15588, Korea^{2*}School of Computer and Information Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.6 초광대역(Ultra Wide Band, UWB) 무선 인체 영역 네트워크(Wireless Body Area Networks, WBAN)에서 다중 홉 전송에 대한 성능을 평가한다. IEEE 802.15.6 UWB WBAN에 대한 물리 계층 패킷 구조와 인코딩, 디코딩 과정을 고려한다. 데이터 페이로드의 길이, 전송 전력 세기, 노드들간 거리에 따라 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송에 대한 데이터 전송 성공률과 에너지 효율을 제안하고 분석한다. 시뮬레이션을 통해, 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송에서 데이터 페이로드의 길이, 전송 전력 세기, 노드들간 거리의 변화에 따라 달라지는 데이터 전송 성공률과 에너지 효율에 대해 비교하고 평가한다. 최종적으로 다양한 변수와 상황에 따라 다중 홉 전송에 대한 에너지 효율을 파악하고, 에너지 효율이 가장 높은 전송 방법을 택하여 전송할 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we evaluate the performance of multi-hop transmissions in IEEE 802.15.6 ultra wide band (UWB) wireless body area network (WBAN). The packet structure in the physical layer, and encoding and decoding are considered for multi-hop transmissions in IEEE 802.15.6 UWB WBAN. We analyze the data success rate and energy efficiency of multi-hop transmissions with considering the length of data payload, transmission power, and distances between the nodes in IEEE 802.15.6 UWB WBAN. Through simulations, we evaluate the data success rate and energy efficiency of multi-hop transmissions with varying the length of data payload, transmission power, and distances between the nodes in IEEE 802.15.6 UWB WBAN. Finally, we can select an energy-efficient multi-hop transmission in IEEE 802.15.6 UWB WBAN depending on the length of data payload, transmission power, and distances between the nodes.

키워드 : 에너지 효율, 다중 홉, 초광대역, 무선 인체 영역 네트워크**Key word** : Energy Efficiency, Multi-hop, UWB, WBAN

Received 13 March 2017, Revised 14 March 2017, Accepted 28 March 2017

* **Corresponding Author** Ho Young Hwang(E-mail:hyhwang@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-8265)

School of Computer and Information Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.7.1313>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 다양한 분야에서 사람의 신체 위에 기기를 부착하거나 신체 속에 기기를 심는 형태로 통신하는 무선 인체 영역 네트워크(Wireless Body Area Network, WBAN)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1, 2]. 무선 인체 영역 네트워크를 위한 기기들은 사람의 신체와 밀착되어있고 의료 목적으로도 사용되기 때문에 제한된 전력이 요구된다. 또한, 인체 위나 인체 속에서 기기들간에 무선으로 통신이 이루어지 때문에 이들 기기에 대한 배터리 소모 문제도 해결되어야 할 문제이다. 따라서 무선 인체 영역 네트워크에서 에너지 효율은 중요한 문제로 주목받고 있다. 이에 따라 무선 인체 영역 네트워크에서의 단일 홉 전송 및 다중 홉 전송에 따른 에너지 효율 분석은 높은 에너지 효율로 데이터를 전송하는데 도움을 줄 수 있다. 그림 1은 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송 상황을 도식화한 그림이다.

무선 인체 영역 네트워크에서 에너지 효율을 높이는 방법들이 연구되고 있다. 일반적으로 많이 사용되는 방법은 패킷의 길이를 조절하여 에너지 효율을 높이는 기법으로 무선 인체 통신뿐만 아니라 이와 유사한 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)에서도 연구되고 있다. 논문[3]에서는 무선 센서 네트워크, 논문[4]에서는 인체 센서 네트워크에서 에너지 효율을 높이기 위해 단일 홉 전송시 최적의 패킷 길이를 찾는 기법을 연구하였다. 논문[5]에서는 초광대역(Ultra Wide Band, UWB)의 물리 계층 구조를 갖는 무선 인체 영역 네트워크에서 단일 홉 전송시 에너지 효율이 가장 높은 최적의 패킷 길이를 찾는 연구를 수행하였다. 논문[3-5]를 통해 단일 홉 전송시 패킷의 길이가 에너지 효율에 미치는 영향을 살펴볼 수 있고, 다중 홉 전송시 다양한 패킷 길이에 대한 에너지 효율을 분석할 필요성을 제공한다. 논문[6]에서는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 알고리즘을 사용한 전송에서 변조 기법의 사용이 평균 패킷 손실률 및 지연과 처리량에 미치는 영향을 분석하였다. 논문[7]에서는 DTMC(Discrete-Time Markov Chain) 모델을 통해 처리량, 에너지 소비, 에너지 효율을 측정하고 분석하였다. 논문[8]에서는 무선 인체 영역 네트워크에서 링크 적응(Link Adaptation)에 따른 패킷 에러율(Packet Error Rate, PER)을 측정하고 비교하였다.

논문[9]에서는 IEEE 802.15.6 IR-UWB에서 표준(Default) 모드와 고품질(High QoS) 모드를 고려하여 최적의 에너지 효율적인 단일 홉 링크 적응을 연구하였다. 논문[10-13]에서는 단일 홉 전송을 확장하여 다중 홉 전송 상황에서 연구하였다. 논문[10]에서는 매체 접근 제어(Medium Access Control, MAC) 계층에서 최소 신장 트리(Minimum Spanning Tree, MST)를 이용하여 에너지 효율이 높은 다중 홉 전송 알고리즘을 소개하였다. 논문[11]에서는 두 홉 전송시 중계 노드의 복잡도를 줄이기 위해 배터리 용량, 계산 능력, 전송 범위의 관점에서 개선된 에너지 효율적인 두 홉 확장 프로토콜을 제안하고 연구하였으며, 그 결과로 중계 노드의 수명이 길어지고, 비트 에러율이 낮아지는 이점을 보여주었다. 논문[12]에서는 무선 인체 영역 네트워크에서 두 홉 전송시 에너지 효율을 향상시키기 위한 협력 중계에 대하여 연구하였으며, 직접 전송과 비교시 협력 중계 전송의 이점을 보여주었다. 본 논문이 확장한 논문[13]은 UWB 물리 계층을 고려하여 서로 다른 코딩 기법에 따른 한 홉 전송과 두 홉 전송의 에너지 효율을 분석하고 비교하였다.

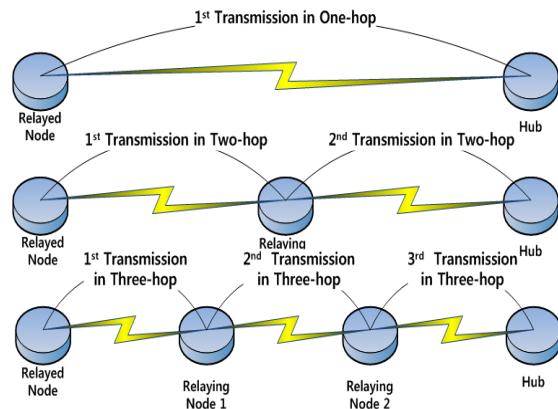


Fig. 1 One-hop, two-hop, and three-hop transmissions

본 논문에서는 IEEE 802.15.6 UWB WBAN에서 한 홉 전송뿐만 아니라 중계 노드들을 거쳐 다중 홉으로 전송하는 상황에서의 성능에 대한 평가를 진행한다. IEEE 802.15.6 UWB WBAN에 대한 물리 계층 패킷 구조와 인코딩, 디코딩 과정을 고려한다. 데이터 페이로드의 길이, 전송 전력 세기, 노드들간 거리에 따라 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송에 대한 데이터 전송 성공

률과 에너지 효율을 제안하고 분석한다. 시뮬레이션을 통해 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송에서 데이터 페이로드의 길이, 전송 전력 세기, 노드들간 거리의 변화에 따라 달라지는 데이터 전송 성공률과 에너지 효율에 대해 비교하고 평가한다. 최종적으로 다양한 변수와 상황에 따라 다중 홉 전송에 대한 에너지 효율을 파악하고, 에너지 효율이 가장 높은 전송 방법을 택하여 전송할 수 있음을 보인다. 본 논문은 다중 홉 전송의 에너지 효율을 WBAN 환경에서 전송 전력 세기, 거리, 코딩 기법에 따라 분석함으로써 다양한 변수와 상황에 따른 에너지 효율의 변화를 살펴볼 수 있다.

II. IEEE 802.15.6 UWB WBAN에서 다중 홉 전송에 대한 데이터 전송 성공률 및 에너지 효율 분석

본 장에서는 IEEE 802.15.6 UWB WBAN에서 소스 노드가 종단 노드인 허브(Hub)로 다중 홉 전송을 통해 데이터를 전송하는 상황을 고려한다. 이때 한 홉으로 전송하는 경우 ($h=1$), 한 개의 중계 노드를 거쳐 두 홉으로 전송하는 경우 ($h=2$), 두 개의 중계 노드들을 거쳐 세 홉으로 전송하는 경우 ($h=3$)를 고려한다. 각각의 경우에 대해, 데이터 페이로드 길이 l 및 전송 전력 세기 p 에 따른 데이터 전송 성공률 및 에너지 효율을 제안하고 분석한다. 여기서 에너지 효율은 데이터 전송이 성공한 경우에 실제 페이로드 전송을 위해 소모한 에너지 대 전체 소모 에너지의 비율로 나타낼 수 있다. 전체 소모 에너지는 데이터를 전송하는데 소모한 에너지와 인코딩, 디코딩을 위해 소모한 에너지를 합쳐서 나타낼 수 있다. IEEE 802.15.6 표준[1]에서 제공하는 UWB 물리 계층의 패킷 구조는 SHR(Synchronization Header), PHR(Physical Layer Header), PSDU(Physical Layer Service Data Unit)으로 이루어진다. 한 홉 전송에서의 소스 노드와 종단 노드 사이의 거리 $d_{h=1}$ 에 따른 데이터 전송 성공률 $P_{h=1}(l, p, d_{h=1})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{h=1}(l, p, d_{h=1}) \quad (1)$$

$$= P_{SHR}(p, d_{h=1}) P_{PHR}(p, d_{h=1}) P_{PSDU}(l, p, d_{h=1})$$

여기서 $P_{SHR}(p, d_{h=1})$ 과 $P_{PHR}(p, d_{h=1})$ 은 각각 $p, d_{h=1}$ 에 따른 SHR과 PHR의 전송 성공률이다. $P_{PSDU}(l, p, d_{h=1})$ 은 각각 $l, p, d_{h=1}$ 에 따른 PSDU의 전송 성공률이다. 한 홉 전송에서의 에너지 효율 $\mu_{h=1}(l, p, d_{h=1})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu_{h=1}(l, p, d_{h=1}) \quad (2)$$

$$= l \cdot P_{h=1}(l, p, d_{h=1}) \cdot E_B(p)$$

$$\left/ \left\{ \begin{aligned} & [L_{SHR} + L_{PHR} + L_{PSDU,1}(l)] \cdot E_B(p) \\ & + [E_{SHR} + E_{PHR} + E_{PSDU,1}(l)] \end{aligned} \right. \right\}$$

여기서 $E_B(p)$ 은 1 bit을 전송하기 위해 소모되는 에너지를 나타내고 단위는 [J/bit]이다. $L_{SHR}, L_{PHR}, L_{PSDU,1}(l)$ 은 각각 SHR, PHR, PSDU가 인코딩된 후의 길이로 단위는 [bit]이다. $E_{SHR}, E_{PHR}, E_{PSDU,1}(l)$ 은 각각 SHR, PHR, PSDU를 인코딩 및 디코딩하는데 소모되는 에너지로 단위는 [J]이다.

두 홉 전송에서의 데이터 전송 성공률과 에너지 효율은 한 홉 전송과 비교하여 달라지게 된다. 본 논문에서 고려하는 두 홉 전송을 위한 패킷 캡슐화는 데이터 페이로드에 최종 목적지인 허브에 대한 정보를 담은 MAC 헤더와 FCS(Frame Check Sequence)를 추가하여 PSDU1로 만들고, 여기에 다시 중계 노드에 대한 정보를 담은 MAC 헤더와 FCS를 추가하여 PSDU2로 캡슐화한다[1]. 이렇게 캡슐화된 PSDU2에 SHR, PHR을 추가하여 물리 계층을 통해 데이터를 전송한다. 중계 노드에서는 이를 받아 SHR, PHR, PSDU2를 디코딩하고 자신의 정보를 담고 있던 MAC 헤더와 FCS를 제거한다.

그 후 SHR, PHR을 다시 추가하여 물리 계층을 통해 최종 목적지인 허브로 데이터를 전송한다. 마지막으로 데이터를 전송받은 허브는 디코딩을 통해 페이로드를 최종 수신하게 된다. 두 홉 전송에서 데이터 전송 성공률은 각 홉에서의 전송이 모두 성공할 확률로 나타낼 수 있다. 따라서 두 홉 전송에 대한 데이터 전송 성공률 $P_{h=2}(l, p, d_{1|h=2}, d_{2|h=2})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{h=2}(l, p, d_{1|h=2}, d_{2|h=2}) \quad (3)$$

$$= P_{h=1}(l + L_{OFF} p, d_{1|h=2}) P_{h=1}(l, p, d_{2|h=2})$$

여기서 $d_{1|h=2}$ 는 두 홉 전송에서 1번째 홉에 대한 거리, $d_{2|h=2}$ 는 두 홉 전송에서 2번째 홉에 대한 거리, L_{OFF} 는 오버헤드에 대한 길이로 MAC 헤더와 FCS에 해당한다. 이를 이용하여 두 홉 전송에 대한 에너지 효율 $\mu_{h=2}(l, p, d_{1|h=2}, d_{2|h=2})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu_{h=2}(l, p, d_{1|h=2}, d_{2|h=2}) \quad (4)$$

$$= l \cdot P_{h=2}(l, p, d_{1|h=2}, d_{2|h=2}) \cdot E_B(p)$$

$$\left/ \left\{ \sum_{i=1}^2 [L_{SHR} + L_{PHR} + L_{PSDU,i}(l)] \cdot E_B(p) \right. \right.$$

$$\left. \left. + \sum_{i=1}^2 [E_{SHR} + E_{PHR} + E_{PSDU,i}(l)] \right\} \right.$$

여기서 $L_{PSDU,2}(l)$ 는 앞서 설명한 PSDU2가 인코딩된 후의 길이, $E_{PSDU,2}(l)$ 은 PSDU2를 인코딩 및 디코딩하는데 소모되는 에너지를 나타낸다. 두 홉 전송에서 전체 소비 에너지는 식 (4)의 분모로 나타낼 수 있는데, $i=2$ 일 때 소스 노드에서 중계 노드로 전송하는데 소모되는 에너지, $i=1$ 일 때 중계 노드에서 종단 노드인 허브로 전송하는데 소모되는 에너지를 나타낸다.

세 홉 전송에서 에너지 효율은 앞서 설명한 두 홉 전송에서 중계 노드가 한 개 더 추가된 상황이다. 데이터 페이로드에 종단 노드인 허브에 대한 정보를 담은 MAC 헤더, FCS를 추가하여 만든 PSDU1에 두 번째 중계 노드에 대한 정보를 담은 MAC 헤더, FCS를 추가하여 만든 PSDU2에 첫 번째 중계 노드에 대한 정보를 담은 MAC 헤더, FCS를 추가하여 PSDU3로 캡슐화한다. 이렇게 캡슐화된 PSDU3에 SHR, PHR을 추가하여 소스 노드는 물리 계층을 통해 첫 번째 중계 노드로 데이터를 전송한다. 첫 번째 중계 노드는 이를 전송받아 디코딩하여 자신의 정보를 담고 있던 MAC 헤더와 FCS를 제거한다. 그 후 두 홉 전송과 같은 방식으로 계속하여 전송하게 된다. 세 홉 전송에서의 데이터 전송 성공률은 각 홉의 전송이 모두 성공할 확률로 나타낼 수 있

다. 따라서 세 홉 전송에 대한 데이터 전송 성공률 $P_{h=3}(l, p, d_{1|h=3}, d_{2|h=3}, d_{3|h=3})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{h=3}(l, p, d_{1|h=3}, d_{2|h=3}, d_{3|h=3})$$

$$= P_{h=1}(l + 2L_{OFF} p, d_{1|h=3}) P_{h=2}(l, p, d_{2|h=3}, d_{3|h=3})$$

$$= P_{h=1}(l + 2L_{OFF} p, d_{1|h=3}) P_{h=1}(l + L_{OFF} p, d_{2|h=3})$$

$$\cdot P_{h=1}(l, p, d_{3|h=3}) \quad (5)$$

여기서 $d_{1|h=3}, d_{2|h=3}, d_{3|h=3}$ 는 각각 세 홉 전송에서 1번째, 2번째, 3번째 홉에 대한 거리이다. 세 홉 전송에 대한 에너지 효율 $\mu_{h=3}(l, p, d_{1|h=3}, d_{2|h=3}, d_{3|h=3})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu_{h=3}(l, p, d_{1|h=3}, d_{2|h=3}, d_{3|h=3}) \quad (6)$$

$$= l \cdot P_{h=3}(l, p, d_{1|h=3}, d_{2|h=3}, d_{3|h=3}) \cdot E_B(p)$$

$$\left/ \left\{ \sum_{i=1}^3 [L_{SHR} + L_{PHR} + L_{PSDU,i}(l)] \cdot E_B(p) \right. \right.$$

$$\left. \left. + \sum_{i=1}^3 [E_{SHR} + E_{PHR} + E_{PSDU,i}(l)] \right\} \right.$$

여기서 $L_{PSDU,3}(l)$ 는 앞서 설명한 PSDU3가 인코딩된 후의 길이, $E_{PSDU,3}(l)$ 은 PSDU3를 인코딩 및 디코딩하는데 소모되는 에너지를 나타낸다. 세 홉 전송에서 전체 소비 에너지는 식 (6)의 분모로 나타낼 수 있는데, $i=3$ 일 때 소스 노드에서 첫 번째 중계 노드로 전송하는데 소모되는 에너지, $i=2$ 일 때 첫 번째 중계 노드에서 두 번째 중계 노드로 전송하는데 소모되는 에너지, $i=1$ 일 때 두 번째 중계 노드에서 종단 노드인 허브로 전송하는데 소모되는 에너지를 나타낸다.

III. 성능 평가 결과 및 분석

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송에서 데이터 페이로드의 길이, 전송 전력 세기, 노드들간 거리의 변화에 따라 달라지는 데이터

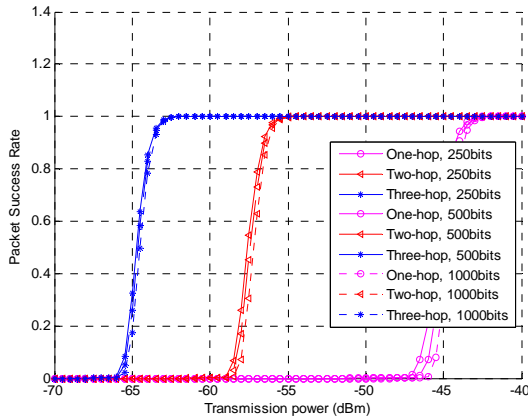


Fig. 2 Data success rate of multi-hop transmissions with varying the length of data payload

전송 성공률과 에너지 효율에 대해 비교하고 평가한다. 다중 홉 전송 간의 성능 비교를 위하여 소스 노드에서 종단 노드인 허브까지의 거리는 20cm로 고려한다. 두 홉 전송의 경우 $d_{1|h=2} = d_{2|h=2} = 10\text{cm}$, 세 홉 전송의 경우 $d_{1|h=3} = d_{2|h=3} = d_{3|h=3} = 6.7\text{cm}$ 로 고려한다. 데이터율은 487kbps , 잡음 대역폭은 499.2MHz 로 고려한다[1]. 기준 거리 5cm에서 경로 손실을 49.81dB 로 고려하고, 잡음 세기는 -100dBm 로 고려한다[4]. 그 외 시뮬레이션 파라미터들은 표준[1] 및 논문[2, 4, 5, 9]을 참고하였다.

그림 2은 한 홉, 두 홉, 세 홉 전송에서 전송 전력 세기를 증가시킬 때, 소스 노드에서 종단 노드인 허브까지 데이터 전송이 성공할 확률을 250bits, 500bits, 1000 bits의 페이로드 길이에 대해 각각 보여주는 그래프이다. 먼저 동일 페이로드 길이에 대하여 살펴보면, 홉의 수가 많은 전송일수록 더 낮은 전송 전력 세기에서 종단 간 데이터 전송 성공률의 최대값에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 이는 홉의 수가 많은 전송일수록, 더 짧은 거리로 전송이 이루어지기 때문에, 낮은 전송 전력 세기에서도 전송이 가능하기 때문이다. 동일 홉 수를 갖는 전송에 대하여 다른 페이로드 길이를 갖는 전송을 살펴보면, 작은 차이를 보이지만 페이로드 길이가 짧을수록 더 낮은 전력 전송 세기에서 전송이 가능한 것을 확인할 수 있다. 이는 데이터 길이가 짧을수록 데이터 전송 성공률이 높기 때문이다.

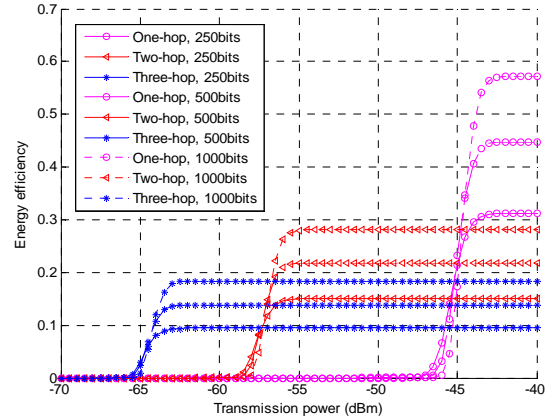


Fig. 3 Energy efficiency of multi-hop transmissions with varying the length of data payload

그림 3은 한 홉, 두 홉, 세 홉 전송에서 전송 전력 세기를 증가시킬 때, 소스 노드에서 종단 노드인 허브까지의 전송 에너지 효율을 250bits, 500bits, 1000bits의 데이터 페이로드 길이에 대해 각각 보여주는 그래프이다. 먼저 동일 페이로드 길이에 대하여 살펴보면, 그림 2에서 설명한 이유로 홉의 수가 많은 전송일수록 더 낮은 전송 전력 세기에서 에너지 효율이 최대값에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 거치는 홉의 수가 많을수록 전체 소비 에너지가 증가하기 때문에 에너지 효율의 최대값은 한 홉, 두 홉, 세 홉 전송 순서로 큰 것을 확인할 수 있다. 동일 홉 전송에 대하여 다른 페이로드 길이를 갖는 전송을 살펴보면, 그림 2와 마찬가지로 페이로드 길이가 짧을수록 작은 차이지만 더 낮은 전송 전력 세기에서 전송이 가능한 것을 확인할 수 있다.

그림 4, 5에서는 코딩 기법 BCH(n, k, t)에 따른 성능 평가 결과를 보여준다. 여기서 n은 코드워드 길이, k는 데이터워드 길이, t는 정정가능 길이를 나타낸다. 그림 4는 코딩 기법인 BCH(63, 51, 2), BCH(63, 36, 5)에 대하여 한 홉, 두 홉, 세 홉 전송에서 전송 전력 세기를 증가시킬 때, 소스 노드에서 종단 노드인 허브까지 데이터 전송이 성공할 확률을 보여주는 그래프이다. 더 많은 에러를 정정할 수 있는 BCH(63, 36, 5)가 BCH(63, 51, 2)보다 더 낮은 전송 전력 세기에서 데이터 전송 성공률의 최대값에 도달함을 확인할 수 있다.

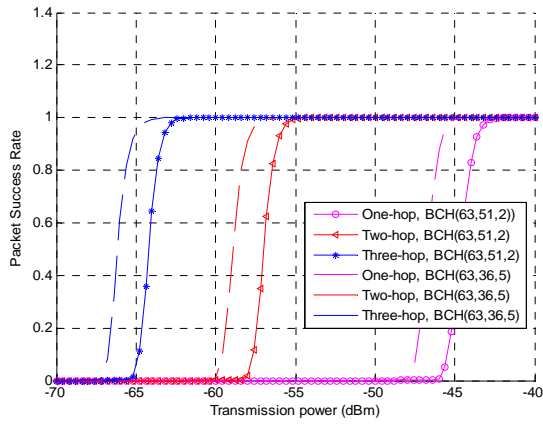


Fig. 4 Data success rate of multi-hop transmissions with different coding schemes

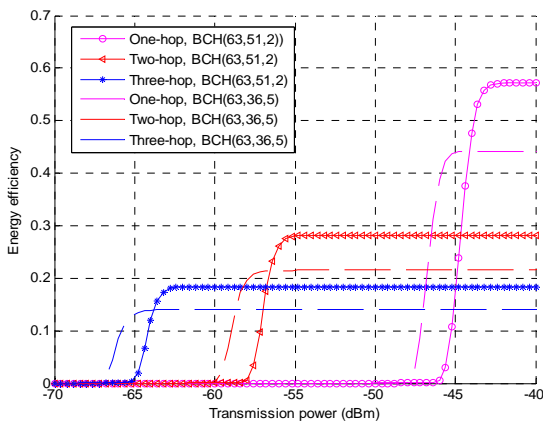


Fig. 5 Energy efficiency of multi-hop transmissions with different coding schemes

그림 5는 코딩 기법인 BCH(63, 51, 2), BCH(63, 36, 5)에 대하여 한 홉, 두 홉, 세 홉 전송에서 전송 전력 세기를 증가시킬 때, 소스 노드에서 종단 노드인 허브까지의 전송 에너지 효율을 보여주는 그래프이다. 더 많은 에러를 정정할 수 있는 BCH(63, 36, 5)가 BCH(63, 51, 2)보다 낮은 전송 전력 세기에서 최대 전송 성공률에 도달하지만, 인코딩 후 늘어나는 패킷의 길이가 더 길고 인코딩 및 디코딩에 대한 에너지 소비가 더 크기 때문에 최대 에너지 효율은 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 따라서 전송 전력 세기에 따라 전송 시 홉의 수 및 코딩 기법을 결정하여 더 효율적인 전송이 가능함을 알

수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.6 UWB WBAN에서 다중 홉 전송에 대한 성능을 평가하였다. IEEE 802.15.6 UWB WBAN에 대한 물리 계층 패킷 구조와 인코딩, 디코딩 과정을 고려하였다. 데이터 페이로드의 길이, 전송 전력 세기, 노드들간 거리에 따라 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송에 대한 데이터 전송 성공률과 에너지 효율을 제안하고 분석하였다. 시뮬레이션을 통해 한 홉 전송, 두 홉 전송, 세 홉 전송에서 데이터 페이로드의 길이, 전송 전력 세기, 노드들간 거리의 변화에 따라 달라지는 데이터 전송 성공률과 에너지 효율에 대해 비교하고 평가하였다. 최종적으로 다양한 변수와 상황에 따라 다중 홉 전송에 대한 에너지 효율을 파악하고, 에너지 효율이 가장 높은 전송 방법을 택하여 전송할 수 있음을 보였다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported in part by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (NRF-2012R1A1A1041835) and in part by the Research Grant of Kwangwoon University in 2016.

REFERENCES

- [1] IEEE Std. 802.15.6, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6 Wireless Body Area Networks*, IEEE, 2012.
- [2] S. Ullah, M. Mohaisen, and M. A. Alnuem, "A review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY, and security specifications," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2013, no. 950704, pp. 1-12, Apr. 2013.

- [3] Y. Sankarasubramaniam, I. F. Akyildiz, and S. W. McLaughlin, "Energy efficiency based packet size optimization in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA)*, pp. 1-8, June 2003.
- [4] M. Domingo, "Packet size optimization for improving the energy efficiency in body sensor networks," *ETRI Journal*, vol. 33, no. 3, pp. 299-309, June 2011.
- [5] M. S. Mohammadi, Q. Zhang, E. Dutkiewicz, and X. Hyang, "Optimal frame length to maximize energy efficiency in IEEE 802.15.6 UWB body area networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 3, no. 11, pp. 1576-1582, Aug. 2014.
- [6] F. Martelli, C. Buratti, and R. Verdone, "On the performance of an IEEE 802.15.6 wireless body area network," in *Proceedings of the 11th European Wireless Conference - Sustainable Wireless Technologies*, pp. 1-6, Apr. 2011.
- [7] B. H. Jung, R. U. Akbar, and D. K. Sung, "Throughput, energy consumption, and energy efficiency of IEEE 802.15.6 body area network (BAN) MAC protocol," in *Proceedings of the 23rd Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 584-589, Sep. 2012.
- [8] F. Martelli, R. Verdone, and C. Buratti, "Link adaptation in wireless body area networks," in *Proceedings of the 73rd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) Spring*, pp. 1-5, May 2011.
- [9] M. S. Mohammadi, Q. Zhang, E. Dutkiewicz, and X. Huang, "Optimal energy efficiency link adaptation in IEEE 802.15.6 IR-UWB wireless body area networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 18, pp. 2193-2196, Dec. 2014.
- [10] H. T. Kwon, and S. K. Lee, "Energy-efficient multi-hop transmission in Body Area Networks," in *Proceedings of the 20th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 2142-2146, Sep. 2009.
- [11] C.-S. Lin, and P.-J. Chuang, "Energy-efficient two-hop extension protocol for wireless body area networks," *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 3, pp. 37-56, Mar. 2013.
- [12] K. S. Deepak and A. V. Babu, "Improving energy efficiency of incremental relay based cooperative communications in wireless body area networks," *International Journal of Communication Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 91-111, Jan. 2015.
- [13] H. S. Kim and H. Y. Hwang, "Analysis of energy efficiency for two-hop relaying in UWB WBAN," in *Proceedings of KICS Fall Conference*, pp. 401-402, Dec. 2015.



김호성(Ho-Sung Kim)

2016년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
 2016년 2월 ~ 현재 : LG이노텍 연구원
 ※ 관심분야 : 무선네트워크 등



황호영(Ho Young Hwang)

2000년 2월 : KAIST 전자전산학과 학사
 2002년 2월 : KAIST 전자전산학과 석사
 2008년 2월 : KAIST 전자전산학부 박사
 2002년 8월 ~ 2003년 8월 : 미국 국립표준기술연구소(NIST) 객원연구원
 2008년 9월 ~ 2010년 8월 : 캐나다 워털루대학교 박사후연구원
 2010년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터정보공학부 교수
 ※ 관심분야 : 이동통신시스템, 무선자원관리, 센서네트워크 등