

웨어러블 WBANs를 위한 에너지 효율적인 채널할당 MAC

이정재* · 김인환**

Energy-efficient Channel Allocation MAC for Wearable WBANs

Jung-Jae Lee* · In-Hwan Kim**

요 약

웨어러블 WBAN을 설계하는데 있어서 중요한 문제는 한정된 전지의 동력을 가지는 노드들의 저-전력 제약사항을 갖는 네트워크에서 QoS 요구사항의 균형을 보장하는 것이다. 인체에 이식된 저-전력 장치들은 그들의 한정된 전지수명으로 인해 최소한의 요구사항으로 제한되고 쉽게 착용할 수 있도록 작고 슬림해야 한다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.6과 호환이 가능하고 휴식사이클 동안 에너지를 최대한 충전하며 WBAN의 QoS를 보장하고 네트워크 노드와 허브 들 간에 성공적인 패킷들의 수신을 제공하는 채널할당최적기법을 제안하고자 한다. 시뮬레이션을 통해서 제안된 방법은 패킷 전달과정에서 QoS를 극대화 하며 전송률과 에너지 효율 측면에서 향상됨을 보인다.

ABSTRACT

The main challenge in designing wearable WBANs is to guarantee the balance of QoS demands in the network with the low power constraints of limited battery powered nodes. Low power devices implanted in or attached to the body should be designed to meet minimum energy requirements due to their limited battery life and be small in size to be easily wearable. In this paper, we propose a method for optimizing channel allocation method that is compatible with the IEEE 802.15.6 standard, enables the maximum amount of power charge at idle, guarantees the QoS of a WBAN, and provides the reliable data transmission between nodes and hubs in the network. Our extensive simulations will show that the method we propose not only maximizes the QoS in packet transmission but also improves the level of energy efficiency.

키워드

WBANs, IEEE 802.15.6, QoS, allocation optimization
무선 인체네트워크, IEEE 802.15.6, 서비스 품질, 할당 최적화

1. 서 론

2013년 국제연합에 의하면 세계인구의 노령화가

급속히 증가하고 있으며 세계인구의 11.7%가 60세 이상이고 이런 비율은 2050년도에는 21.1%로 증가 할 것으로 예측하고 있다. 노인 인구의 의료비가 2012년

* 송원대학교 컴퓨터정보학과(jjalee@songwon.ac.kr) · Received : Sep. 23, 2016, Revised : Nov. 13, 2016, Accepted : Nov. 24, 2016
** 교신저자:송원대학교 전기전자공학과 · Corresponding Author : In-Hwan Kim
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Songwon University
Email : ihk@songwon.ac.kr
· 접수 일 : 2016. 09. 23
· 수정완료일 : 2016. 11. 13
· 게재확정일 : 2016. 11. 24

미국의 경우 미국 총 생산의 17.9%로 늘어나고 있으며, 헬스케어 시스템 운영에 심각한 부담이 되고 있다.[1]. 무선 인체 영역 네트워크 WBAN(Wireless Body Area Networks)는 헬스케어와 관련된 응용분야에 적용될 수 있는 특별한 목적의 센서 응용 네트워크 기술이다. 헬스케어 등의 응용에 있어서, 무선 채널 환경 등 무선망에서 다루어지는 문제들에 대한 적절한 해결 방안을 통해 강건한 WBAN 시스템을 디자인 할 수 있다.[2] 특히 WBAN은 인체에 이식된 바이오센서와의 상호연결을 지원하고 센서들로부터 생명신호를 감시하며 인체동작노드로부터 신체행동의 특이한 변화측정을 하고 환자와 의료정보센터와의 가교역할을 한다. 저전력 소비, 저비용, 신뢰적 데이터 전송 특성등을 고려하여 WBAN 응용분야에 대한 통신 표준중 IEEE 802.15.6가 가장 적절한 대안으로 많은 연구가 수행되어 왔다[3]. 그러나 공유된 무선채널에 접속할 때 긴급데이터를 발생하는 의료 디바이스에 대한 우선화 정책이 명시되어 있지 않기 때문에 긴급 이벤트 메시지가 효과적으로 전달되지 못한다는 점이 문제적으로 지적되어 왔으며 이를 해결하기 위한 IEEE 805.15.6 표준에서는 WBAN의 초-전력 소비 장치사이의 단거리 라디오 통신을 위한 Physical(PHY)와 MAC 계층을 명시하였고 노드와 허브간의 투-홉 통신을 지원 하도록 설계되었다. TDMA(Time Division Multiple Aaccess)은 채널을 고정 또는 가변적인 타임슬롯구간으로 정하고 채널을 할당받은 노드는 슬롯주기동안 패킷을 전송하는 에너지 절약적인 기법으로 지속적으로 연구가 진행중이다 [4-5].

Kartsakli, E[6]는 목적지에 전송된 패킷의 해독을 증가시키고 패킷 분실과 지연을 감소시키며 높은 성능을 달성하는 기법으로 WBAN을 위한 협력기간 내에 에너지를 저장하는 기법을 제안하였다. 효율적인 에너지 관리는 WBAN에서 중요하며 이는 센서노드의 전력을 좌우하는 배터리의 용량 즉 크기의 제약사항이 따르기 때문이다. 또한 배터리의 재배치와 재충전은 특히 이식한 디바이스의 경우는 중요한 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 WBAN을 위한 에너지 효율적인 MAC 프로토콜의 많은 연구가 이루어져 왔다[7-10]. 이를 위해 연장시간 동안 저-전력 휴지모드로 남아 있게 WBAN 노드를 허용함으로써

동작에 낮은 듀티사이클을 증진시키는 한편 충돌과 재전송에 불필요한 에너지 낭비를 피하기 위해서 충돌이 없는 패킷전송을 지원해야 한다.

위의 모든 해결방법의 목표는 에너지 소비를 줄임으로서 네트워크의 수명을 연장시키는 것이다. 에너지 수집(EC)개념은 인체의 환경으로부터 에너지를 수합하고 이를 전기적인 에너지로 변환하는데 기초로 하고 있으며 에너지 문제를 보다 극적으로 접근하는 방법에 기인한다. 그러므로 현재 EC가능한 WBAN[11]을 위한 MAC 프로토콜에 집중적으로 연구가 진행중이다. 본 논문에서 많은 노드가 루트 노드에 협력하고, 목적지에 패킷의 성공적인 보장을 하는 협동 네트워크를 소개하고자 한다.

그러나 에너지 일어나기 쉬운 WBAN채널로 인해 다수의 재전송이 종종 필요하며 그 결과 협동단계가 완료하기 전에 노드에서 사용 가능한 에너지를 감소시켜야 한다. 루트노드에 의해 보다 많은 전송이 필요하게 되면 이는 성능저하를 야기한다. 끝으로 각 레벨의 노드 네트워크가 에너지 수집단계를 성공적으로 완료하기 위해서 필요한 양의 에너지를 저장하기 위해 충전기간을 이용하는 적응적인 MAC기법을 제안한다. 실험을 통해서 전송률, 에너지 효율에 대한 개선된 결과를 제시한다. 2장은 에너지-효율적인 MAC에 대한 관련된 연구를 소개하고 3장은 제안된 MAC을 4장에서는 성능평가를 5장에서는 결론을 맺고자 한다.

II. 관련연구

듀티-사이클 기반의 프리엠블-샘플링 MAC 프로토콜은 패킷의 프리엠블을 샘플링하기 위해서 LPL(Low Power Listening)[12]기법을 이용하였다. XY-MAC은 교환할 패킷이 없을때 LPL은 듀티-사이클을 최소화 하지만 수신자가 채널활동을 검출을 보장해주는 wake-up주기보다 긴 프리엠블이 필요하다. Li, C[7]는 WBAN을 위한 보장된 타임 슬롯이 동적으로 트래픽 로드에서 할당되는 LDMA-MAC을 소개하였다. Ameen ,M[8] 경쟁중심의 접근구간과 경쟁이 자유로운 구간을 설정가능 하도록 하는 슈퍼프레임 구조를 사용하였다. 프레임구조에서 사용하는 웨이크

-업 테이블은 노드들의 동등한 전송 스케줄을 보장하며 비상상황의 패킷을 위해서 백오프 파라미터를 우선순위가 높게 설정하여 웨이크-업 라디오 기반으로 전송한다. 에너지가 필요로 하는 센서의 자율동작을 연장하는 수단으로서 웨이크-업 라디오 개념은 Jelacic V[9]가 채택하였다. 각 비콘기간에 낮은 듀티 사이클을 보장하고 휴지시간을 증가시키기 위해 융통적으로 스케줄 정보를 조절하는 통계적 프레임을 사용하는 방법은 Chen, H[10]이 제안하였다. 또한 트래픽 로드가 경쟁이 자유로운 구간에 사용되는 적응적인 슬롯 할당 방법중의 하나인 하이브리드 접근 프로토콜은 Wang, L[11]이 제안하였다. Li, J[13]은 우선순위가 높은 데이터를 가진 노드들은 경쟁이 없는 폴링 접근법을 사용하고 정상적인 우선순위의 데이터는 경쟁기반의 접근법을 사용하는 방법을 제안하였다.

Moser, C[14]는 종래의 스케줄링 알고리즘은 에너지 저장하는 시나리오가 적합하지 않으므로 스케줄 테스트는 이용가능한 에너지 레벨 및 그들의 시간 제약사항에 기초로 하는 새로운 기법을 제안하였다. 적응적인 전송 정책은 에너지 저장능력을 가진 WBAN의 데이터의 정확한 전송 및 검출을 최대화 시킬수 있도록 마코프 결정 프로세스로 공식화 하는 모델을 Seyedi, A[15]가 제안하였다. 본 논문에서는 휴지사이클 동안 에너지를 최대한 저장하고 WBAN의 지속성과 QoS를 보장하기 위해 네트워크 노드와 허브들간에 패킷의 성공적인 수신을 보장하기 위한 노드할당 최적기법을 제안하고자 한다. 제안된 방법은 데이터 전달에서 QoS를 최대화하며, 처리율과 에너지가 저장 측면에서 효율적으로 개선됨을 보인다.

III. 시스템모델과 제안된 EC-MAC 설계

우리는 EC-전력노드들과 협력하여 이용가능한 에너지를 수집하고 WBAN의 성능을 개선할 수 있으며 IEEE 802.15.6과 호환이 가능한 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 방법은 충전시간(T_c)을 도입하여 서버 노드들이 협력단계의 완료할 때 충분한 에너지를 저장 가능하게 한다. 우리는 WBAN 시나리오를 위해서 IEEE 802.15.6표준과 호환되는 기준선 협력계획안을 고려한다. 시스템 모델은 인체의 머리부분이 루

트노드(RN:Root Node)이고 팔, 몸통부분에 이진트리 구조를 적용하여 노드를 부여하고 이를 형제노드(BN:Brother Node)라 부른다. 형제노드중에서 데이터가 모이는 센터 한곳을 정해 이를 허브(H:Hub)라 부르고 형제노드와 허브는 같은 레벨을 갖는다.

각 전송기간의 시작점에서 루트노드는 데이터 패킷을 허브로 전송한다. 만약 패킷이 루트노드에서 허브경로(T_{RN-H} 라 함)의 불량으로 수신에 에러가 생기면 허브는 Request Collective Packet(:RCP)를 브로드캐스팅 함으로서 협력단계를 초기화한다. 노드는 루트노드의 원본패킷을 성공적으로 수신하고 IEEE 802.15.6 CSMA/CA에 물에 따라 경쟁단계로 들어간다. 만약에 채널이 단기간에 휴지상태이면 노드는 표준을 따르는 경쟁 윈도우안에 카운터를 선택함으로서 무작위로 백오프 메카니즘을 실행한다. 노드는 채널을 감지하고 있으며 백오프 카운터는 1을 감소하거나 휴지시간을 감소시킨다. 카운터가 0에 이르면 채널접근이 허용되고 노드는 데이터 전송을 시도한다. 많은 연속적인 실패후에 경쟁 윈도우 크기는 증가되고 프로세스는 새로운 백오프 카운터로 반복된다. 전송실패는 패킷충돌이거나 채널에러에 기인하고 T_{BN-H} 로 명명한다.

종래의 기법은 EC-전력 WBAN노드의 시간변화에 따른 에너지 단계를 고려하지 않았고 비효율적인 동작과 에너지 열화를 낳게 되었으며 전송자에 의해 소비된 에너지는 EC단계를 통해 수집된 에너지 보다 높다. 그결과 많은 재전송이 요구되면 에너지 레벨은 빠르게 열화하게 되며 협력 단계의 성공적인 종료를 방해한다. 이 경우 전송기간은 성공하지 못하고 종료되고 연속적으로 원래의 패킷은 루트노드로부터 재전송되고 부가적인 지연과 루트노드의 지나친 에너지 낭비를 초래한다. 이를 해결하기 위해 EC-MAC기법은 협력단계의 시작을 일의키는 동적으로 조정된 시간구간인 충전시간(T_c)를 도입한다. 이시간 동안은 휴지상태에 머물고 협력단계를 완료하기 위해 충분한 에너지를 저장한다. T_c 는 많은 노드 합(\sum_1^n) 및 에너지 레벨에 의해서 결정되고 허브(T_{BN-H})사이의 무선링크의 상태에 의해 좌우된다. T_c 는 각 협력단계의

허브에 의해 결정되고 RCP패킷에 포함된다. E_{est} 는 형제노드들의 평균에너지 레벨이고 수신된 피드백에 기인한 허브에 의해 계산된다. 특히 각 노드는 재 전송된 데이터 패킷내에 자신의 실제 에너지 레벨(E_{act}) 를 포함하며 허브는 정확하게 수신된 패킷으로부터 E_{est} 를 계산하기 위해 이 정보를 추출한다. E_{req} 는 모든 필요한 재전송 시도를 고려한 협력단계 완료시 평균 요구에너지이며, 이값은 이전의 협력단계의 평균 에너지 소비에 의해 계산된다.

F_{adj} 는 측정된 E_{est} 와 허브가 아닌 형제노드들의 실제 에너지 레벨사이의 차의 조정계수이다. 조정 계수는 많은 형제노드들의 합(\sum_1^n)과 노드에서 허브 간 링크(T_{BN-H})의 $F_{adj} = (\sum_1^n, T_{BN-H})$ 함수이다. F_{adj} 값은 에너지가 부족한 불안정한 협력단계후에 증가하고 많은 패킷이 확실하게 수신이 성공한 협력단계후에는 감소하게 된다. P_{gain} 는 충전시 실제 전력익득이며 휴지동작(P_{gain})하에 소비된 에너지와 형제노드에 의해 저장된 에너지사이의 차이로 정의된다.

$$E_{req} \cdot F_{adj} > E_{est} \quad \text{이면}$$

$$T_c = \left(\frac{E_{req} \cdot F_{adj} - E_{est}}{P_{gain}} \right) \quad (1)$$

식 (1)로 표현된다. 형제노드는 전송할 수 있는 충분한 에너지 레벨이 되면 데이터 전송을 시도한다. 허브가 데이터를 성공적으로 수신하면 허브는 확인응답(ACK)을 전송하고 통신단계는 완료된다. 그러나 에러가 있는 패킷이 수신되면(NACK) 노드는 조정계수 및 협력단계에 대해 요구된 에너지 즉 루트노드들에서 계산된 이용가능한 에너지를 고려해서 식 (1)에 의해 T_c 를 계산한다. 그러면 노드는 T_c 값을 포함한 RCP를 보내고 협력단계의 시작점에 표시를 한다.

협력단계동안 다른 노드들은 식 (1)과 같은 IEEE 802.15.6 채널접근룰에 따라 다양한 재전송을 시도한다. 패킷이 허브에 정확히 수신되면 ACK가 전송되고 협력단계는 성공으로 완료된다. 이 경우 카운터 C_s 는 연속적으로 성공한 협력단계의 수를 나타내며 또한 갱신된다. 최대값이 C_{s-max} 이면 F_{adj} 는 계

수 β 에 의해 감소한다. 또한 다른 노드들의 이용가능한 에너지는 허브에 데이터 패킷이 성공적으로 수신되기 전에 감소하게 되고 협력단계는 실패로 끝난다. 이 경우 F_{adj} 는 계수 α 에 의해 감소되고 다음 라운드의 다른 노드들에 대해 재충전 시간이 필요하고 C_s 는 0으로 리셋된다. EC-MAC동작은 그림1과 같다.

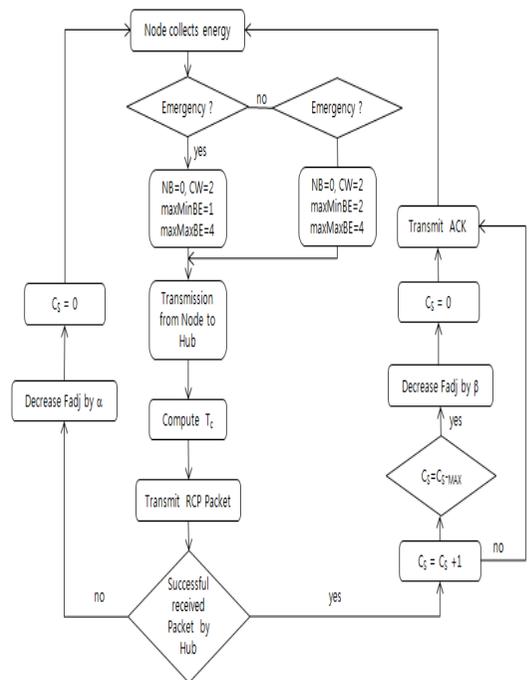


그림 1. 제안된 MAC의 순서도
Fig. 1. Proposed-MAC of flowchart

IV. 실험결과

에러를 포함한 직접전송인 경우 $T_{RN-H} = 1$ 이라 하고 루트노드와 형제노드 간에 채널이 에러가 없으면 $T_{RN-H} = 0$ 이라 한다. 허브를 제외한 모든 네트워크 노드들은 에너지 저장장치들의 상수 $P_{ES} = 3mW$ 이고 패킷은 2112비트이다[16]. PHY 및 MAC 매개변수는 IEEE 802.15.6 표준에 따른다. 그림 2는 n=3일 때 IEEE 802.15.6과 제안된 MAC의 성능을 비교하였다. 형제노드의 수에 관계없이 제안된

방법은 T_{BN-H} 값이 0.7일 때 105%증가함을 알 수 있었다. 이는 소량의 형제노드로 구성되는 WBAN의 경우 에너지-경계 정책이 고려되어야 하고 또한 많은 형제노드들이 네트워크에서 비협력이면 성능이 증가하고 에너지저장시간이 덜 걸림을 의미한다.

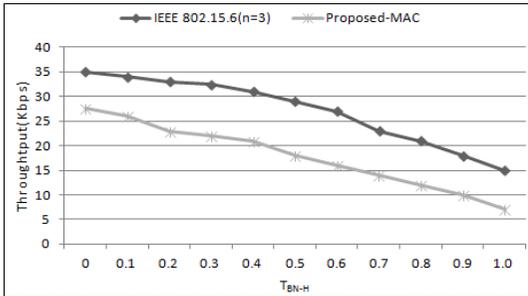


그림 2. 노드가 3인 형제노드의 전송률
Fig. 2. Throughput with n=3 BN

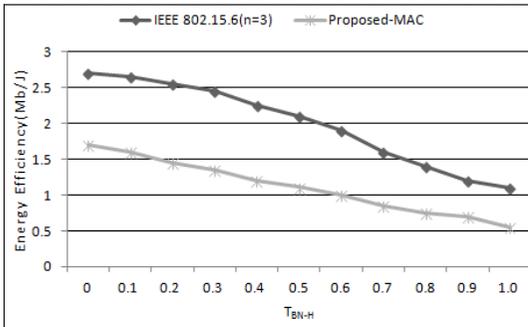


그림 3. 노드가 3인 에너지 효율
Fig. 3. Energy efficiency with n=3 BN

그림 3은 형제노드가 3일때의 네트워크의 에너지 효율을 비교 한 것으로 제안된 방법이 에너지 효율이 T_{BN-H} 가 0.7일 때 약 90% 개선됨을 알 수 있다. 이는 네트워크의 전송률이 개선됨이 에너지 효율에도 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 특히 적은수의 형제노드인 경우 에너지 효율이 높고 높은 전송률은 낮은 에너지 비용에서 달성된다. 그러나 T_{BN-H} 가 증가함에 따라 형제노드의 수량의 함수성능의 상대적인 차는 감소한다. 형제노드의 수가 1일때 높은 에너지 효율을 달성하며 2일 때 $T_{BN-H} \geq 0.6$ 일 때 좋은 성능을 달성할 수 있다.

V. 결론

에너지 소비의 감소는 WBAN에 있어서 중요한 이슈로 라디오 송신자의 효율적인 관리를 통해 이러한 목표를 달성할 수 있다. WBAN 노드들의 한정된 전지수명을 연장하고 에너지 소비를 줄이기 위해서는 하드웨어 요소에 소프트웨어 프로토콜 솔루션을 결합해야 한다. 본 논문에서 IEEE 802.15.6과 제안된 MAC의 성능을 비교하였다. 형제노드의 수에 관계없이 제안된 방법은 T_{BN-H} 값이 0.7일 때 105%증가함을 알 수 있었다. 앞으로 소량의 형제노드로 구성되는 WBAN의 경우 에너지-경계 정책이 고려되어야 하고 이는 웨어러블 환경에서 네트워크의 효율적인 슈퍼프레임포맷과 에너지를 절약형 MAC이 연구되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 2016년도 송원대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었습.

References

- [1] United Nations-Department of Economic and social Affairs, Population Division; World Population Aging 2013; Technical Report, ST/ESA/SER.A/348; United Nation Publication: New York, NY, USA, 2013.
- [2] J. Lee and J. Hong, "Performance Improvement of IEEE 802.15.4 MAC for WBAN Environments in Medical," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 1, 2015, pp. 1-6.
- [3] J. Lee and I. Kim, "A Study on the CSMA/CA Performance Improvement Based on IEEE 802.15.6," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 11, 2015, pp. 1225-1230.
- [4] S. Park, "Joint Control of Duty Cycle and Beacon Tracking in IEEE 802.15.4 LR-WPAN," *J. of the Korea Institute of*

Electronic Communication Sciences, vol. 11, no. 1, 2016, pp. 9-16.

[5] Marinkovic, S., Popovici, E., Spagnol, C., Faul, and S., Marnane, W, "Energy-efficient Low Duty Cycle MAC Protocol for WBA," *IEEE Trans. on Info. Tech. in Biomed.* vol. 13, no. 6, 2009, pp. 915-925.

[6] Kartsakli, E., Antonopoulos, A., S. Lalos, a., Tennina S., Renzo, M., Alonso, and I., Verikoukis, C., "Reliable MAC Design for Ambient Assisted Living," *IEEE Commun. Mag.* 53. 2015, pp. 78-86.

[7] Li, C., Hao, B., Zhang, K., Liu, Y., and Li, J, "A Novel Medium Access Control Protocol with Low Delay and Traffic Adaptivity for Wireless Body Area Networks," *J. Med. Syst.* 35, 2011, pp. 1265-1275.

[8] Ameen, M., Liu, J., Ullah, S., Kwak, and K.S, "A Power Efficient MAC Protocol for Implant Device Communication in Wireless Body Area Networks," *In Proc. IEEE Consumer Communication and Networking Conf.(CCNC 2011)*, LasVegas, NV, USA, Jan. 2011, pp. 1155-1160.

[9] Jelcic, V., Magno, M., Brunelli, D., Bilas, V., and Benini, L, "Benefits of Wake-up Radio in Energy-Efficient Multimodel Surveillance Wireless Sensor Network," *IEEE Sens. J.* 14, 2014, pp. 3210-3220.

[10] Chen H., Nie Z., Ivanov K., Wang L., Liu R, "A Statistical LMAC Protocol for Heterogeneous Traffic Human Body Communication." *In Proc. of the IEEE Int. Sym. Circuits and Systems(ISCAS 2013)*, Beijing, China, May 2013, pp. 2275-2278.

[11] Wang, L,, Li, C., Li, J., Zhen, B., Li, H.B., and Kohno, R, "Scalable and Robust Medium Access Control in Wireless Body Area Networks," *In Proc. of the IEEE 20th Int. Sym. Personal, Indoor Mobile Radio Communications (PIMRC 2009)*, Tokyo, Japan, 13-16, Sept. 2009, pp. 2127-2131.

[12] C. Jerlin and W. Heinzelman, "Duty Cycle for Low-Power-Listening MAC Protocols," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 9, no. 11, 2010, pp. 1508-1521.

[13] Li, J., Cai, X., Yean, J., Zhu, and W., Wu,

"Energy aware Adaptive Topology Adjustment in Wireless Body Area Networks," *Telecommun. Syst.* 58, 2015, pp. 139-152.

[14] Moser, C., Brunelli, D., Thiele, L., and Benini, L, "Real-time Scheduling for Energy Harvesting Sensor node," *Real-Time Syst.* 37, 2007, pp. 233-260.

[15] Seyedi, A. and Sikdar, B, "Energy Efficient Transmission Strategies for Body Sensor Networks with Energy Harvesting," *IEEE Trans. Communication.* 58, 2010, pp. 2116-2126.

[16] Leonov, V, "Thermoelectric Energy Harvesting of Human Body Heat for Wearable Sensors," *IEEE S. J.* 13, 2013, pp. 2284-2291.

저자 소개



이정재(Jung-Jae Lee)

1986년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

1989년 조선대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사)

1997년 조선대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이학박사)

1997년 송원대학교 컴퓨터정보학과 전임강사

1997년 ~현재 송원대학교 컴퓨터정보학과 부교수

※ 관심분야 : 의료영상처리, WBAN



김인환(Ihn-Hwan Kim)

1986년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1992년 송원대학교 전기전자과 전임강사

1992년 ~현재 송원대학교 전기전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 의료용 디바이스, WBAN망설계