

## 에너지량에 기반한 환경 적응 WBAN 라우팅 알고리즘

김의연\*, 김대영\*, 신상배\*, 조진성\*\*

### Environment Adaptive WBAN Routing based on Residual energy

Weeyeon Kim \*, Dae-Young Kim \*, Sangbae Shin \*, Jinsung Cho \*\*

#### 요약

본 논문에서는 WBAN 환경에서의 저전력 사용과 신뢰성 있는 전송을 위한 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 의료 서비스와 비의료 서비스가 공존하는 WBAN 환경에서 의료용 장치의 에너지 소모를 최대한 줄이고 수명 및 안정성을 최대한 높이는 방법이다. 또한 의료용 장치 뿐 만 아니라 비의료용 장치도 에너지 소모를 최소화 하고, 장치의 수명도 최대화 할 수 있다. 경로 선택 시 이전 노드와의 거리와 잔존 에너지량을 고려하여 가중치를 계산하고 가중치의 값을 합하여 전체 경로의 가중치를 계산한다. 전체 경로의 가중치가 가장 작은 것을 경로로 설정한다. 또한 이 알고리즘은 노드간의 링크 상태를 파악해서 링크 에러 및 혼잡 상황이 발생 했을 때 에러 경로를 회피하여 다음 가중치의 경로를 선택할 수 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘인 홉 카운트 기반 최단 거리 라우팅 알고리즘과 EAR 라우팅 알고리즘을 비교 대상으로 하여 WBAN의 특성인 저전력과 높은 신뢰성 보장을 시뮬레이션을 통해 확인한다.

▶ Keyword : 무선신체영역통신, IEEE 802.15.6, 라우팅, 저전력, 신뢰성 전송

#### Abstract

In this paper, we propose an routing algorithm for ultra low power and high reliable transmission in WBAN environment. This algorithm is to minimize energy consumption and to maximize the life and reliability for medical devices. Also, this algorithm is not only medical devices but also non-medical devices is to minimize energy consumption and to maximize the life of device. The combination of the distance from the previous node and residual energy calculates weight. The calculated weight is used to calculate the weight of full path by cumulative weights. The full path to the smallest of the weights are set to the path. Also this algorithm is able to select another path to avoid the error path by determining the link status between nodes, when occurs link error and congestion. In this paper, we show that WSN routing algorithm based on shortest hop count routing algorithm and EAR routing algorithm compared to ensure high reliability and low power characteristic of

• 제1저자 : 김의연 교신저자 : 조진성

• 투고일 : 2010. 06. 10, 심사일 : 2010. 07. 02, 게재확정일 : 2010. 08. 17.

\* 경희대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science, Kyunghee University) \*\* 경희대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science, Kyunghee University)

※ 본 논문은 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국과학재단 중견연구자 사업(No. 2008-0061488)의 지원으로 수행된 결과임.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-(C1090-1021-0003))

WBAN to be verified through simulations.

▶ Keyword : WBAN, IEEE 802.15.6, Routing, Ultra low power, Reliable transmission

## I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)와 같은 무선 개인 영역 네트워크(Wireless Personal Area Network) 기술들의 발전으로 헬스케어 또는 라이프케어와 같은 유비쿼터스 서비스가 제공될 수 있게 되었다. 무선 센서 네트워크는 IEEE 802.15.4를 기반으로 하며 수많은 센서들로 네트워크를 구성하여 주변 환경을 모니터링하기 위해 사용된다. 무선 센서 네트워크의 센서들은 극도로 제한된 자원을 가지고 동작한다. 그러나 향후 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공하기 위해서는 제한된 자원을 가지는 센서들의 저전력만을 고려하여 네트워크가 설계되지 않는다 [1]. 유비쿼터스 스마트 서비스는 센서 및 작은 장치들을 이용한 주변 환경의 모니터링을 포함하여 다양한 이벤트 드리븐 장치들도 사용될 것이다. 따라서 무선 센서 네트워크의 기능만으로 스마트 서비스를 제공하는 데 어려움이 발생한다.

그래서 IEEE에서는 다양한 스마트 서비스를 제공하기 위해 무선 개인 영역 네트워크(WPAN)의 차세대 무선 기술로 무선 신체 영역 네트워크(Wireless Body Area Network)를 설정하고 IEEE 802.15.6 TG BAN에서 2007년부터 표준화 작업을 진행하고 있다. 무선 신체 영역 네트워크(WBAN)는 신체를 중심으로 무선 센서 네트워크 보다 좁은 지역(3m)에서 동작하며, 네트워크 전체를 관리하는 코디네이터, 주로 신체 정보를 모니터링 하기 위해 사용되는 의료용 장치, 그리고 이벤트 드리븐 어플리케이션을 위한 CE(consumer electronics) 장치들로 구성된다. WBAN 표준은 근거리, 저전력(ultra low-power), 고 신뢰성 (high reliability) 무선통신을 위한 표준화를 목표로 하고 있으며, 용도에 따라 전송속도가 수Kbps ~ 수십Mbps 사이의 유연한 데이터 전송률을 제공하며 의료용 뿐만 아니라 비의료용 분야에 활용될 것이다 [2]. 의료용은 체내에 이식되는 이식형(Implant)과 인체 주변에 부착하는 부착형(on-body) 장치에 활용되며, 비의료용은 데이터 전달이나 게임 응용 등 다양한 엔터테인먼트 분야에 활용된다 [2]. 이러한 서비스를 제공하는 디바이스들은 각기 다른 에너지량을 가지고 각각 다른 크기의 데이터를 발생 시킨다. 체내에 이식되는 이식형(Implant) 장치의 경우 극도로 제한된 크기와 하드웨어 자원 및 배터리 교체의 어려움으로 인해 저전력(ultra low-power)으로 동작되어야 한다. 부착형(on-body) 장치의

경우 인체 외부에 부착되는 특정 상 이식형(Implant) 장치보다 상대적으로 강한 하드웨어 자원을 가진다. 이식형(Implant) 장치와 부착형(on-body) 장치의 노드 수명 연장과 공존을 위해 각 노드의 잔존 에너지, 전력 사용량을 고려한 라우팅 알고리즘이 필요하다.

또한 인체 정보를 수집하여 주기적으로 전송하는 이식형(Implant) 장치의 경우 고 신뢰성(high reliability)을 가져야 한다. 통신상에 혼잡, 링크 에러가 발생 할 경우 바로 우회경로를 찾아 인체정보를 전송 하여야 한다. 이러한 서로 다른 특성을 가진 장치들이 좁은 지역에 혼재한 WBAN의 특성 때문에, 기존의 WPAN 기술들과 구별된 WBAN의 데이터 라우팅 기법이 필요하다. 그래서 우리는 이와 같은 WBAN의 특성을 고려하고, 표준화 목표인 저전력, 고 신뢰성을 지원 할 수 있는 라우팅 기법 Environment Adaptive WBAN Routing(EABR)을 제안한다.

제안하는 방안은 코디네이터에서부터 브로드캐스트 된 컨트롤 메시지를 이전 노드와의 거리, 잔존 에너지 정보를 이용하여 가중치를 계산하고, 그 가중치를 참고하여 최선의 경로를 설정할 수 있는 방안과 혼잡 상황이나 경로 손실이 발생할 경우 이를 회피하여 우회 경로를 찾는 방안이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구에 대한 내용을 기술한다. 3절에서는 본 논문에서 제안하는 라우팅 기법을 기술하고 4절에서는 시뮬레이션을 통해서 성능을 평가하고 분석한다. 마지막으로 5절에서는 결론으로 본 논문을 마친다.

## II. 관련 연구

본 절에서는 무선 센서 네트워크에 대한 간략한 설명과 대표적인 라우팅 프로토콜들을 살펴보고 WBAN에 적용하였을 때 발생할 수 있는 문제점에 대하여 기술한다.

무선 센서 네트워크는 센서 노드 자체의 라우팅 기능을 이용하여 센서 노드들이 배치된 센서 필드에서 감지한 측정값을 외부 망과 연결하는 싱크 노드로 전송하는 특수한 네트워크이다. 이러한 무선 센서 네트워크는 수많은 센서 노드들이 미리 결정된 형태 없이 배치될 수 있고 근접한 센서 노드들이 유사한 정보들을 감지하는 특성에 의해 임의의 센서 노드들의 동작이 실패하거나 기능이 소멸되는 경우에도 네트워크 전체적인 동작에는 영향을 미치지 않는 장점을 가진다. 그러나 무선

매체의 저속, 오류가 심한 전송 특성 및 제한된 전원 공급, 센서 노드의 임의 배치로 교체 불가능 등의 문제점을 가진다. 이러한 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜야한다 [3]. 또한 전체적인 시스템의 수명을 증가시키는 방향으로 설계되어야 하며 센서 네트워크의 동적인 변화의 빠르게 대응할 수 있어야 한다 [4].

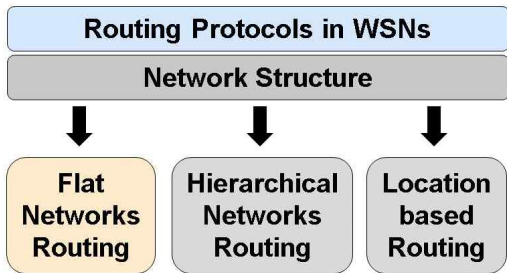


그림 1. 무선센서네트워크 라우팅의 네트워크 구조에 따른 분류  
Fig. 1. The Categorization of WSN routing based on Network Structure

일반적으로 무선 센서 네트워크의 라우팅은 네트워크 구조에 의하여 분류하면 그림 1과 같이 평면 (flat-based) 라우팅, 계층적 (hierarchical-based) 라우팅, 위치 기반 (location-based) 라우팅 기법으로 나눌 수 있다 [5]. 평면 라우팅은 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하며 모든 노드들이 동등하게 라우팅에 참여할 수 있고 멀티 홉 라우팅을 특징으로 한다. 반면에, 계층적 라우팅은 네트워크를 클러스터링을 기반으로 한 다수의 영역으로 분할하여 각각의 영역 내 특정노드에 헤더 역할을 부여하여 라우팅을 수행하도록 한다 [4]. 또한 위치기반 라우팅 기법은 센서 노드의 위치를 네트워크의 경로 설정 데이터로 활용한다 [5]. WBAN은 무선 센서 네트워크과 다르게 좁은 지역에서 싱크 노드 역할의 코디네이터를 중심으로 하여 수개에서 수십 개의 센서 노드가 네트워크를 형성하는 형태이다. 그렇기 때문에 WBAN은 광범위한 지역에서 많은 센서노드들을 효율적으로 관리 하는데 유용한 계층적 라우팅 기법이나 위치기반 라우팅 기법 보다는 평면 라우팅 기법이 적합하다. 평면 라우팅 기법의 대표적인 라우팅 프로토콜로는 Directed Diffusion, SPIN, EAR이 존재한다.

Directed Diffusion은 싱크 노드의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다. Directed Diffusion의 동작 방식은 그림 2와 같다. 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구분되는 인터레스트(interest)로 표현되며 인터레스트(interest)는 싱크 노드에서 시작되어 네트워크 전체에 플러딩 되고 소스 노

드에서 싱크 노드로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 경사(gradient)가 설정된다. 이 때 데이터는 다중경로를 통해 요청 노드로 전송되는데 더 이상의 플러딩을 막기 위해 경로들 중 전송 품질이 좋은 몇 개의 경로들이 강화(reinforcement)되어, 강화된 경로를 통해 데이터 전송이 이루어진다 [6].

이러한 Directed Diffusion의 정보 검색 방법은 요청 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터를 요구하는 지속성 질의(persistent query)에 적합하나 WBAN의 비의료 서비스와 같은 이벤트 드리븐 형식의 일회성 경로 사용 형태의 데이터 전송 방법으로는 부적합 하다. 또한 장치들의 특성을 고려하지 않은 라우팅으로 WBAN의 유연한 서비스들을 제공하기에는 문제가 발생한다.

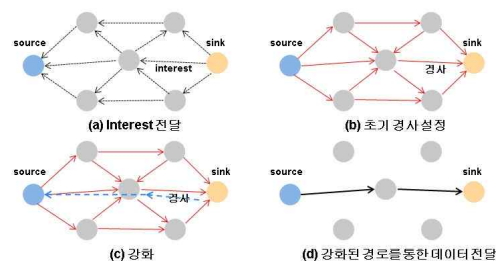


그림 2. Directed Diffusion의 동작  
Fig. 2. Directed Diffusion Operation

SPIN 라우팅 프로토콜은 그림 3과 같이 데이터를 전달하고자 하는 노드와 인근 노드들 간의 메타 데이터(ADV, REQ 메시지를) 이용하여 협상 한 후 실제 데이터를 전송하는 방식으로 플러딩 방식의 데이터 중복과 오버랩 문제를 해결함으로써 센서 네트워크상의 트래픽을 줄여서 에너지 효율을 높인다. 또한 협상 과정 중 메시지 손실이나 충돌로 인한 협상이 이루어지지 않을 때 재협상을 함으로써 신뢰성을 높인다 [7].

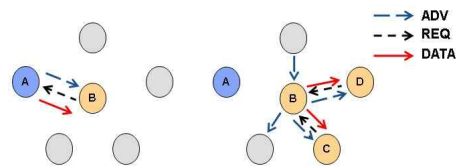


그림 3. SPIN의 동작  
Fig. 3. SPIN Operation

동작 방식은 그림 3의 노드 A와 B의 관계와 같이 DATA를 보내고자 하는 노드가 ADV를 브로드캐스트한다. ADV 메시지를 수신한 이웃 노드 중 데이터에 관심을 가지는 노드는 REQ 메시지를 보내 협상이 이루어진다. 이런 과정으로 협상

을 이룬 후 데이터를 필요로 하는 노드들에게 데이터를 전송한다. SPIN 라우팅 프로토콜은 플러딩 과정을 제거함으로써 불필요한 오버헤드를 줄여 에너지 소비를 줄였으나 주변 노드들의 하드웨어 및 서비스 특성을 고려하지 않은 라우팅으로 WBAN의 유연한 서비스를 제공하기에는 한계가 있다.

앞의 두 라우팅 알고리즘과 같은 대부분의 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘은 데이터 전송 경로간의 에너지 소모를 최소화하기 위하여 최단거리를 갖는 경로를 택하여 선택한다. 그러나 무선 센서 네트워크에서 이러한 최선의 경로만을 유지하여 데이터를 전송하면 경로 상에 몇 개의 노드만 집중적으로 에너지 소모를 하게 된다. EAR은 이러한 라우팅의 단점을 보완하기 위하여 선택 가능한 다중 경로 중 확률에 의해 결정되는 경로로 데이터 트래픽을 전송하여 에너지 소비를 분산시키는 대표적인 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜 중 하나이다 [8].

EAR은 설정, 데이터 통신, 라우팅 유지의 세 가지 단계로 작동된다. 설정 단계에서는 플러딩을 통하여 라우팅 테이블을 생성하고, 데이터 통신 단계에서는 각 노드 사이의 송수신 에너지와 잔존 에너지량을 고려하여 계산된 확률에 의해서 경로를 선택한다. 라우팅 유지 단계에서는 지역적으로 비정규적인 플러딩을 통하여 경로를 유지한다. 작동 방식은 Directed Diffusion 라우팅 기법과 유사하나 인터레스트(interest)를 전송할 때 중간 노드가 주변 이웃 노드에 남아있는 에너지와 송수신 에너지를 저장하여 센싱 정보를 전송할 때 이러한 정보를 이용하여 확률적으로 다음 노드를 결정 한다는 점이 다르다. 이런 방법을 사용함으로써 EAR은 Directed Diffusion 라우팅 기법과 같이 한 경로만을 계속 사용하여 특정 노드의 에너지를 고갈 시키지 않고 이웃 노드에게 골고루 전송함으로써 시스템의 수명을 최대한 늘릴 수 있는 라우팅 프로토콜이다.

그러나 각 노드들의 특성을 고려하지 않은 균등한 에너지 사용은 WBAN의 유연한 서비스를 제공하기에는 한계가 있다. WBAN은 의료용 장치와 비의료용 장치의 다른 특성을 고려한 라우팅 방안이 필요 하지만 EAR을 적용 하면 하드웨어 제약 사항이 큰 의료용 장치의 급격한 에너지 사용 및 위험성을 초래 할 수 있다.

본 절에서는 무선 센서 네트워크의 평면 라우팅 기반의 대표적인 라우팅 프로토콜들을 살펴보았다. 그러나 무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜들을 WBAN 환경에 이용하기에는 많은 문제점이 발생한다.

### III. EABR

## (Environment Adaptive WBAN Routing)

현재 WBAN은 신체를 중심으로 한 좁은 지역에서 이기종의 센서 노드들이 밀집되어 네트워크를 형성하는 방향으로 각 분야에서 연구되고 있다. 의료 서비스와 비의료 서비스가 공존해야 하는 WBAN에서 의료용 장치들은 주로 주기적으로 작동하며 신체 내부에 이식되거나, 외부에 부착하여 데이터를 측정하고 측정된 데이터를 신체 주변의 코디네이터로 전송하여 사용자의 건강상태를 모니터링 하는 역할을 한다. 인체 정보의 주기적인 데이터 전송 뿐 만 아니라 응급상태에서 발생하는 긴급 데이터를 우선적으로 처리 할 수 있도록 서비스를 제공한다. 또한 비의료용 장치는 이벤트 트리븐 방식으로 작동하며 컨트롤 데이터 같은 낮은 전송 속도의 데이터부터 비디오 스트림이나 보이스 스트림 같은 높은 전송 속도의 데이터들과 같이 폭넓은 전송 속도를 지원하며 엔터테인먼트 서비스들을 제공한다.

WBAN에서는 다양한 특성의 장치들이 좁은 지역에서 하나의 네트워크를 형성하여 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공한다. 그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 기존 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜로는 WBAN의 다양한 특성의 장치들을 지원하기에는 한계가 있다. 따라서 WBAN의 유연한 서비스를 제공하기 위해서는 기존 무선 센서 네트워크 라우팅이 수정되거나 새로운 라우팅 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 WBAN의 특성에 적합하고, WBAN의 표준화 목표인 저전력(ultra low power), 고 신뢰성 통신(high reliable transmission)을 지원할 수 있는 새로운 라우팅 알고리즘인 EABR을 제안한다.

제안하는 라우팅 알고리즘 EABR (Environment Adaptive WBAN Routing)은 WBAN내의 다양한 장치의 특성을 고려하여 WBAN기술로 제공할 수 있는 다양한 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공하는데 적합하도록 설계하였다. 특성이 다른 장치들을 동등한 조건으로 라우팅을 하면 낮은 사양의 하드웨어를 갖은 의료용 장치들에게 치명적으로 불리한 상황이 발생할 수 있다. 예를 들면 엔터테인먼트 장치에서 비디오 스트림 이벤트가 발생했을 때 코디네이터로 전송하는 경로에 신체에 이식된 의료용 장치가 존재한다면 의료용 장치는 급격한 에너지 소모를 하고, 자신이 처리할 수 있는 전송속도 보다 높은 전송속도의 비디오 스트림을 포워딩하기 때문에 하드웨어에서 고열이 발생할 것이다. 이는 사용자에게 큰 위험을 줄 수 있고, 긴 수명이 유지되어야 하는 의료용 장치에게는 최악의 상황이 될 수 있다. 그렇기 때문에 우리는 의료용 장치의 에너지 소모를 최대한 줄이고 수명 및 안정성을 최대한 높일 수 있는 알

고리증을 설계하였다. 또한 의료용 장치 뿐 만 아니라 비의료용 장치도 데이터 전송 시 에너지 소모를 최소화 할 수 있는 경로를 선택하고, 장치의 수명도 최대화 할 수 있다.

경로 선택 시 최선의 경로를 선택하고 링크 에러 상황이나 혼잡 상황이 발생 했을 때 해당 경로를 우회하는 경로를 선택하기 위해서 제안한 라우팅 알고리즘은 Congestion Explore 와 Path Selector를 포함한다.

Congestion Explore는 주기적으로 작동하며 혼잡 상황을 발견하고 혼잡 상황이 발생 했을 때 각 자식 노드의 잔존 에너지량을 고려하여 가장 많은 잔존 에너지량을 갖는 자식 노드에게 우회할 수 있도록 컨트롤 메시지를 보내는 역할을 한다.

Path Selector는 데이터 트래픽이 발생했을 때 주어진 상황 내에서 최상의 경로를 선택 하여 데이터를 전송할 수 있도록 제한한다.

위와 같은 방안으로 EABR은 WBAN의 특성을 고려하며 표준화 목표인 저전력(ultra low-power)와 높은 신뢰성(high reliable)을 지원하고, 노드 간 링크 상태에 따른 에러 경로를 회피하는 방안을 지원한다.

표 1. 제안된 알고리즘의 표기법  
Table 1. Notation for the proposed algorithms

표기	정의
$h$	코디네이터로부터 현재 노드까지의 홉 수
$u$	컨트롤 메시지를 보낸 이전노드들의 집합
$v$	현재 노드
$n$	라우팅 테이블내의 노드의 개수
$r$	자식 노드로부터의 플로어 개수
$s$	경로가 설정된 부모 노드
$l$	데이터 거리
$d$	노드간 거리
$e$	노드의 잔존 에너지량
$RT_v$	현재 노드의 라우팅 테이블
$M_u$	이전 노드로부터의 컨트롤 메시지
$f_d(j)$	누적 가중치
$f_w$	목적지까지 계산된 가중치
$CTL$	Congestion Explore로부터의 컨트롤 메시지
$F$	자식 노드의 잔존 에너지
$P$	부모 노드
$C$	자식 노드
$E_{elec}$	Energy dissipation rate to run radio (50nJ/bit)
$\mathcal{E}_{fs}$	Free space model of transmitter amplifier (10pJ/bit/m <sup>2</sup> )

EABR은 데이터를 전송하고자 하는 소스 노드가 코디네이터로부터 브로드캐스트 된 컨트롤 메시지를 이용하여 가중치를 계산하고 계산된 가중치를 이용하여 경로를 선택한다. 누적 가중치를 구하는 식은 아래 식 (1)과 같고, 목적지까지의 가중치를 구하는 수식은 아래 식 (2)와 같다.

$$f_d(j) = \sum_{i=1}^j \frac{d_{u_i}^2}{e_{u_i}} \dots\dots\dots (1)$$

$$f_w = \frac{d_u^2}{e_u} + f_d(h-1) \dots\dots\dots (2)$$

경로 선택 기준인 전체 경로의 가중치는 컨트롤 메시지를 보낸 이전 노드와 현재 자신의 노드까지의 거리의 제곱에 비례하고 이전 노드의 잔존 에너지량에 비례하는 값과 이전 노드까지 계산된 누적 가중치의 값을 합하여 구한다. 식 (1)에서의 누적 가중치의 값은 코디네이터에서부터 이전 노드까지 가중치들의 합으로 구한다.  $u$ 는 컨트롤 메시지를 보낸 이전 노드들의 집합을 나타내는 것으로써  $u_i$ 는 기준으로 하는 노드까지 라우팅 경로상의 이전노드에서  $i$ 번째 전 노드이다.  $i$  값이 1일 경우 라우팅 경로상의 이전노드에서 한 홉 떨어진 전 노드를 의미한다. 각 노드의 잔존 에너지량은 최대값 1을 기준으로 비율로 나타낸다. 가중치를 계산하는데 이전 노드와의 거리( $d_u$ )와 이전노드의 잔존 에너지량 ( $0 \leq e_u \leq 1$ )을 참고하는 이유는 다음과 같다.

노드가 데이터를 전송할 때 발생하는 에너지 소모량은 두 노드간의 거리의 제곱에 비례한다. 그래서 데이터 전송 경로를 선택할 때 노드간의 거리가 가장 짧은 노드를 선택하여 데이터 전송 시 발생하는 에너지를 최소화 하여 전송 할 수 있는 경로를 선택한다. 또한 최상의 경로를 선택하여 그 경로만을 계속 이용한다면 데이터 전송 시 발생하는 에너지 소모량은 최소화 할 수 있으나 전체 네트워크 내에서 몇 개의 노드만 집중적으로 사용하기 때문에 방전되는 노드들이 발생 할 것이다. 이러한 방전되는 노드로 인하여 네트워크내의 다른 노드들도 코디네이터까지 라우팅 경로를 설정하지 못하여 네트워크가 분할되는 경우도 발생할 수도 있다. 그래서 EABR에서는 에너지 소비를 분산시켜 시스템 수명을 최대화 시켜주기 위해 각 노드의 에너지량을 고려하여 가중치를 계산한다. 이렇게 계산된 각 노드들의 가중치들을 이용하여 소스 노드로부터 싱크 노드까지의 누적된 합을 구함으로써 최상의 경로를 선택할 수 있다.

라우팅 테이블을 생성하는 방법과 가중치에 의한 경로 설

정 방법은 다음과 같다. 코디네이터는 컨트롤 메시지를 주변 노드들에게 브로드캐스트한다. 컨트롤 메시지는 잔존 에너지량과 현재노드까지의 누적 가중치 값 정보가 포함된다. 컨트롤 메시지를 수신한 주변 노드들은 컨트롤 메시지를 보낸 코디네이터로부터 현재 자신의 노드까지의 거리를 계산하고 계산된 거리의 값과 컨트롤 메시지내의 정보인 이전노드의 잔존 에너지량과 누적 가중치 값을 이용하여 가중치를 계산 한다. 계산된 가중치 값을 라우팅 테이블 안에 이전 노드의 정보와 함께 추가하고 다시 자신의 잔존 에너지량과 현재 노드까지의 가중치 값을 포함하여 주변 노드들에게 브로드캐스트한다. 그러나 센서의 종류가 의료용 장치이면 중계 노드 역할에서의 전력 소모를 발생하지 않기 위해 주변 노드들에게 컨트롤 메시지를 브로드캐스트 하지 않는다.

각각의 노드들이 계산된 가중치 값을 이용하여 라우팅 테이블을 생성한 후 라우팅 테이블 안의 가중치의 값을 비교하여 가장 작은 가중치의 값을 갖는 경로를 선택한다.

그림 4는 라우팅 테이블의 생성과 가중치에 의한 경로 설정의 예를 보여준다. 노드 5는 노드 1과 노드 2에서 받은 컨트롤 메시지를 이용하여 가중치를 계산한다. 노드 1을 선택 했을 때와 노드 2를 선택 했을 때의 가중치 값을 비교 더 작은 가중치의 값인 노드 2를 경로로 선택한다. 다른 노드들 또한 가장 작은 가중치 값으로 경로를 설정한다.

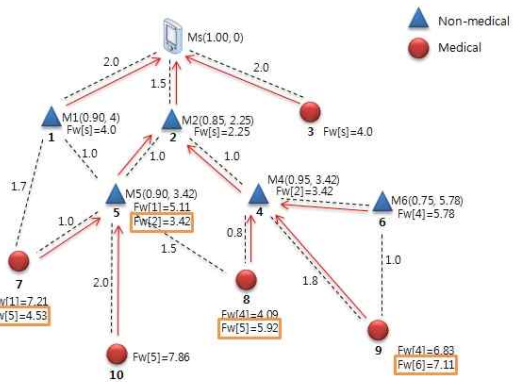


그림 4. 라우팅 테이블 생성과 가중치에 의한 경로 설정  
Fig. 4. Creating the routing table and Path selecting by weights

```

SET - TABLE( $u, v, RT_v, M_u$ )
1.  $f_w \leftarrow UtilityFunc(M_u)$ 
2. if  $RT_v = \Phi$  then
3.   do  $RT_v[u] \leftarrow f_w$ 
4.   else
7.   do if  $u \notin RT_v$  then
8.     do  $RT_v[u] \leftarrow f_w$ 
    
```

그림 5. 라우팅 테이블 설정을 위한 EABR 알고리즘  
Fig. 5. Algorithm to set routing table in EABR

그림 5는 각 노드에서 라우팅 테이블을 생성하는 알고리즘이다. 코디네이터 혹은 주변 노드로부터 컨트롤 메시지를 받은 현재 노드는 컨트롤 메시지를 보낸 노드와의 거리를 계산하고 컨트롤 메시지에 포함된 정보인 이전 노드의 잔존 에너지량과 이전 노드까지 계산된 누적 가중치를 이용하여 식 (2)에 의한 가중치를 계산한다. 계산된 가중치는 현재 노드의 라우팅 테이블을 검색하여 컨트롤 메시지를 보낸 이전 노드의 정보가 없을 시 라우팅 테이블에 이전 노드의 정보를 가중치와 포함 하여 추가 한다.

EABR은 가중치에 의한 최상경로 선택방법 외에도 Congestion Explore 방법을 지원한다. Congestion Explore 방법은 노드간의 링크 상태를 파악해서 링크 에러 및 혼잡 상황이 발생했을 때 환경에 따라 에러 경로를 회피하여 다음 가중치의 경로를 선택할 수 있는 방법이다.

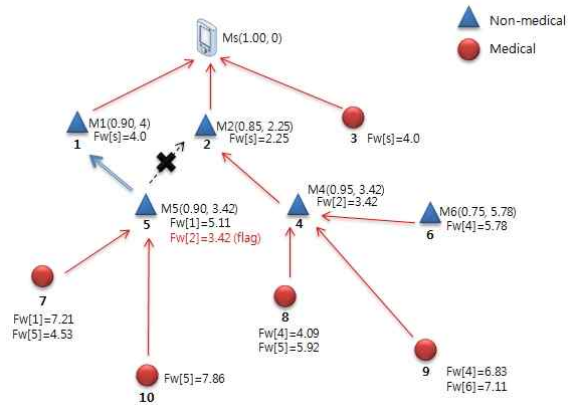


그림 6. 링크 에러 상황 발생과 경로 회피  
Fig. 6. Link error situation and path avoidance

그림 6은 링크 에러 상황이 발생 했을 때와 경로 회피의 예를 보여준다. 노드 5가 노드 2와의 링크 에러 상황을 인지하게 되면 노드 5의 라우팅 테이블의 노드 2에 대한 정보가 플래그

를 준다. 그리고 라우팅 테이블 내의 다음 가중치 값인 노드 1을 경로로 설정해서 데이터를 전송 한다.

혼잡이 발생 하는 상황과 이에 대한 우회 경로 설정은 그림 7에서 보는 바와 같다. 노드 4에 세 개의 자식 노드로부터 데이터 트래픽이 집중됨으로써 혼잡 상황이 발생하게 된다. c 혼잡 상황을 인지한 노드 4는 각 자식 노드의 잔존 에너지량을 비교하여 잔존 에너지량이 가장 많은 자식 노드에게 경로를 우회 하라는 컨트롤 메시지를 전송 한다. 노드 4에게 컨트롤 메시지를 수신한 노드 8은 컨트롤 메시지를 전송한 노드 4의 정보에 플래그를 추가하고 다음 가중치 값의 노드 5를 선택하여 경로를 설정한다.

노드내의 다중 플러어로 인한 혼잡 상황이 발생했을 때 혼잡 상황을 회피하는 동작 과정은 그림 8과 같다. Congestion Explore는 주기적으로 작동하며 혼잡 상황을 발견한다. 혼잡 상황이 발생한 것이 인지되면(line 2) Congestion Explore는 자신에게 데이터를 전송하는 자식 노드의 개수만큼 반복하며(line 3) 각 자식 노드들의 잔존 에너지량을 비교하여 가장 높은 잔존 에너지량을 가진 자식 노드를 선택하여 해당 노드에게 경로를 우회하여 데이터를 전송 할 수 있도록 컨트롤 메시지를 전송 한다(line 9).

이와 같은 방법으로 링크 에러와 혼잡 상황을 회피함으로써 WBAN 환경에서 고 신뢰성 통신을 지원 할 수 있다.

그림 9는 데이터 트래픽이 발생했을 때 주어진 상황 내에서 최상의 경로를 선택 하여 데이터를 전송할 수 있도록 하는 Path Selector의 동작 과정이다. 노드에 데이터 트래픽이 발생했을 때 노드는 현재 연결된 노드가 링크 에러 상황이나

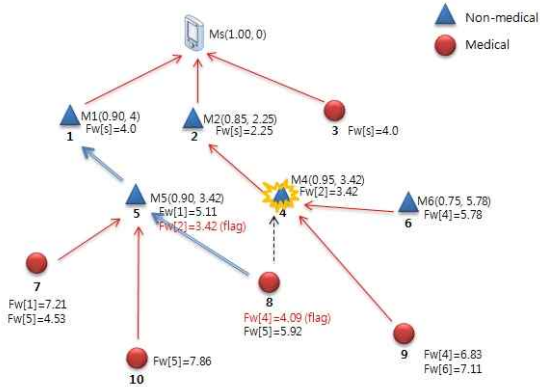


그림 7. 혼잡 상황 발생 및 해결  
Fig. 7. Congestion situation and resolution

```

CONGESTION - EXPLORE(r, F)
1. target ← 0, i ← 1, max ← 0
2. if congestion = TRUE then
3.   do loop: i ≤ r
4.     do if max < F[i]
5.       do max ← F[i]
6.         target ← i
7.         i ← i + 1
8.     end loop
9.   send a message (CTL) to C[target]
    
```

그림 8. 혼잡 해결을 위한 EABR 알고리즘  
Fig. 8. Algorithm to resolution congestion in EABR

```

PATH - SELECTOR(n, s, RTv, CTL)
1. i ← 1
2. if link-error = TRUE or CTL = TRUE then
3.   do RTv[s] ← flag
4.   min = RTv[i]
5.   i ← i + 1
6.   loop: i < n
7.   do if min > RTv[i] and RTv[i] ≠ flag
8.     do min ← RTv[i]
9.     target ← i
10.  end loop
11. send the data to N[target]
    
```

그림 9. WBAN에서의 경로 선택 알고리즘  
Fig. 9. Algorithm to Path selector in WBAN

Congestion Explore로부터 컨트롤 메시지가 수신 되었는지를 확인 한 후 링크 상태가 좋지 않을 때(line 2) 라우팅 테이블안의 해당 부모 노드의 정보에 플래그를 준다(line 3). 그 후 라우팅 테이블 안의 저장된 경로의 개수만큼 반복하여(line 6) 가장 작은 가중치 값을 갖고 플래그 정보가 없는 노드를 선택하고 발생한 데이터 트래픽을 전송한다(line 11).

이와 같은 방법으로 링크 에러와 혼잡 상황이 발생하지 않고 가장 작은 전력소모 및 시스템의 높은 수명을 지원 할 수 있는 경로를 선택 할 수 있다.

### IV. 성능평가

#### 4.1 시뮬레이션 환경

기존 무선 센서 네트워크에서 라우팅 알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 적용하는 방안은 크게 홉 카운트 기반의 최단 거리 라우팅 알고리즘을 이용하여 데이터 전송 시 발생하는 전력 소모량을 최소화 하는 방안과 구성된 네트워크내의 수명을 최대한 증가시키기 위하여 각 노드들의 균등한 에너지 사용을 지향 하는 방안이 있다. 아직 WBAN 환경에 적합한 라우팅 알고리즘들이 많이 연구 되고 있지 않기 때문에 우리는 기존 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘인 홉 카운트 기반의 최단 거리 라우팅 알고리즘과 EAR 라우팅 알고리즘을 비교 대상으로 하였다. 장치의 종류는 두 종류로 나누고 의료용 장치는 초기 에너지량을 20J, 데이터의 크기를 1000byte로 적용하였다. 또한 CE 장치는 초기 에너지량을 200J, 데이터의 크기를 30KB로 적용하였다. 또한 에너지 소비 모델은 식 (3), 식 (4)와 같다 [11]. 식 (3)에서 의  $E_{Tx}$ 는  $l$ 비트의 메시지를 거리  $d$ 만큼 전송 할 때의 송신자에서 소비되는 에너지를 나타낸다. 식 (4)의  $E_{Rx}$ 는  $l$ 비트의 메시지를 수신할 때의 수신자에서 소모되는 에너지를 나타낸다. 필드 크기는  $600*600(cm^2)$ 으로 제한하고 데이터 장치들이 전송할 수 있는 최대 전송거리는  $240(cm)$ 으로 제한하였다. 그리고 노드 개수는 30개로 필드 내에 임의로 배치하고 노드들 중 의료용 장치의 양을 30%, 50%, 80%로 변경하며 테스트 하였다.

$$E_{Tx}(l, d) = l \cdot E_{elec} + l \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2 \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

$$E_{Rx}(l) = l \cdot E_{elec} \dots\dots\dots \text{식(4)}$$

데이터 전송 방식은 초기 1회 컨트롤 메시지를 보내고, 라우팅 테이블이 생성되어 경로가 설정되면 데이터를 5번 전송한다. 이렇게 1회의 컨트롤 메시지 브로드캐스트, 5회의 데이터 전송 과정을 라운드(round)로 가정하고, 총 300 라운드를 반복하여 테스트 하였다.



그림 10. 라운드의 구성  
Fig. 10. Composition of round

측정 요소는 시스템 수명을 측정하는 요소로 잔존 에너지량이 0 이상인 장치들의 개수를 라운드 별로 측정하고 전송 통신

신뢰성을 측정하기 위하여 전송 시 발생하는 전송 실패 횟수를 측정하였다. 시뮬레이터는 C++를 사용하여 구현하였다.

#### 4.2 시뮬레이션 결과

그림 11은 30개의 노드 중 의료용 장치가 30%일 때 시스템의 수명을 측정한 결과로 x 축은 진행되는 라운드의 횟수이고, y 축은 생존한 장치들의 개수이다. 전송 시 발생하는 에너지 소모량을 최소화하기 위해 최소의 홉을 사용하여 목적지까지 데이터를 전송하는 알고리즘인 홉 카운트 기반 알고리즘은 약 60라운드에서부터 수명을 다하는 노드들이 발생하고 시스템 전체적인 수명을 증가시키기 위하여 각 노드의 잔존 에너지량을 고려하여 대체경로를 확률로 선택하는 알고리즘인 EAR은 약 80라운드부터 수명을 다하는 노드들이 발생하고 있다. 약 250라운드부터는 두 알고리즘 모두 죽은 노드들의 개수들이 많이 때문에 경로가 단절되어 데이터를 전송하지 못하는 현상들이 발생했다. 그러나 제안하는 알고리즘인 EABR은 약 190라운드부터 생존이 다하는 노드들이 발생하기 시작하였고, 300라운드까지 수명을 다한 노드들은 2개로 제한되었다. 홉 카운트 기반 알고리즘이나 EAR기반 알고리즘들은 CE 데이터가 메디컬 데이터로 전송되면서 메디컬 데이터의 급격한 에너지 소모로 인하여 수명을 다하는 노드가 발생하게 되었다.

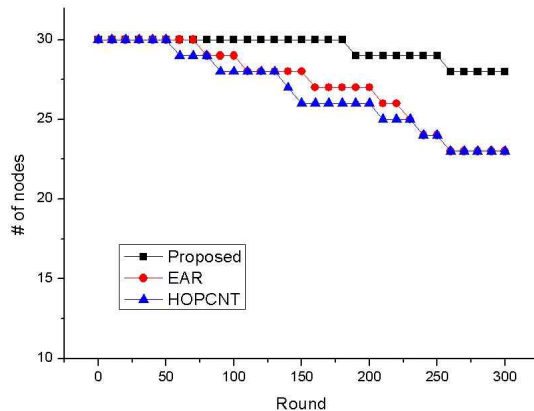


그림 11. 의료용 장치가 30%일 때 디바이스 생존 개수  
Fig. 11. The number of survival device when the medical device is 30%

그림 12는 30개의 노드 중 의료용 장치의 양이 50%일 때 시스템의 수명을 측정한 결과로 EAR이나 홉 카운트 기반 라우팅 알고리즘들은 의료용 장치의 양이 더 많아 졌기 때문에 중간 경로로 사용되는 의료용 장치들이 더욱 증가하였기 때문에 더 빨리 더 많은 노드들이 수명을 다 하였다. 그러나 제안하는 알고리즘은 노드들의 수명이 더욱 증가함을 볼 수 있다.



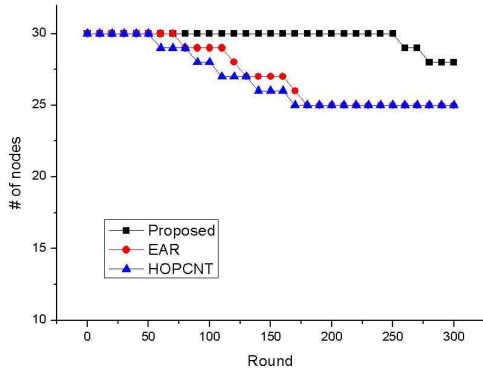


그림 12. 의료용 장치가 50%일 때 디바이스 생존 개수  
Fig. 12. The number of survival device when the medical device is 50%

그림 13은 필드 내의 의료용 장치가 80%일 때 각 라운드마다 증가할 때마다 알고리즘별로 장치들의 생존 개수를 나타낸다. 메디컬 장치가 80%일 때 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘의 생존하는 노드의 개수가 30%, 50% 일 때보다 더욱 급격하게 줄어드는 것 볼 수 있다. 그러나 제안하는 알고리즘은 300라운드까지도 수명을 다하는 노드들이 발생 하지 않을 정도로 시스템 수명이 증가 하였다.

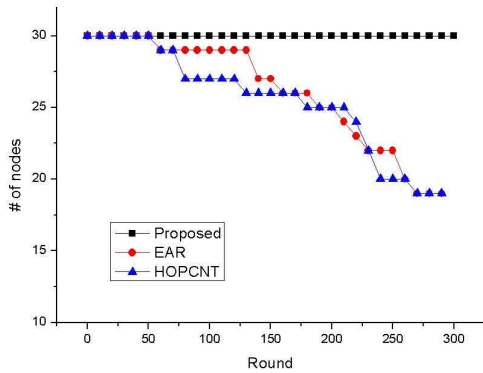


그림 13. 의료용 장치가 80%일 때 디바이스 생존 개수  
Fig. 13. The number of survival device when the medical device is 80%

그림 14는 데이터 전송 중 링크 상태가 불안하여 전송이 실패 한 횟수를 백분율로 표현한 그래프이다. 그래프의 x축은 필드에서 의료용 장치들의 개수를 표현하고, y축은 전송 실패율을 표현한다. 그림에서 보는 것과 같이 기존 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘들은 필드 내의 메디컬 장치의 비율이 증가 할수록 에러율도 함께 증가한다. 이유는 필드 내의 의료

용 장치의 비율이 증가 할수록 의료용 장치들의 수명이 급격하게 줄어들기 때문에 전송 실패하는 경우가 증가하기 때문이다. 그러나 제안하는 알고리즘은 장치들의 수명도 높고 에러 상황이 발생하더라도 바로 다른 경로로 회피하여 보낼 수 있는 대체 경로를 가지고 있기 때문에 전송이 실패하는 경우가 발생하지 않는다.

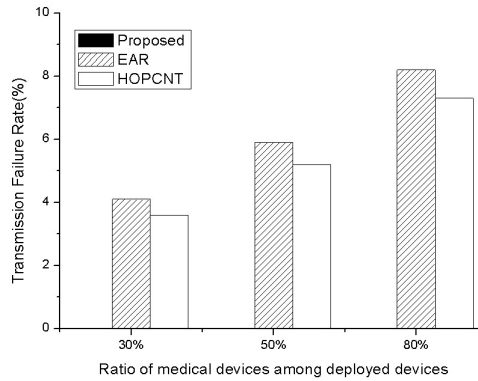


그림 14. 경로 손실에 의한 전송 실패율  
Fig. 14. Transmission failure rate by path losses

### V. 결론

현재 표준화 진행 중인 WBAN이 지원 할 수 있는 다양한 유비쿼터스 스마트 서비스를 지원하기 위하여 기존 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜의 적용으로는 많은 문제가 발생한다. 그래서 우리는 WBAN의 특성에 맞고 표준화 목표에 적합한 새로운 라우팅 알고리즘을 제안 한다. 제안하는 알고리즘인 EABR은 거리와 잔존 에너지량을 고려하여 전송 시 최소 에너지를 소모하고 네트워크의 수명을 최대화 시켜줄 수 있는 방안을 제시 하였다. 그리고 의료용 장치와 비의료용 장치의 특성을 고려한 라우팅으로 저 사양 하드웨어 장치인 메디컬 장치의 수명과 안전성을 최대화 시켜 줄 수 있었고, 링크 상태가 불안할 때 그 경로를 회피하여 데이터를 전송 하는 알고리즘을 적용함으로써 WBAN의 표준화 목표인 고 신뢰성의 통신에 적합하게 설계 하였다.

제안하는 알고리즘의 장점은 시뮬레이션 결과에서 보았듯이, 에너지 소모 최소화 하는 경로를 선택하고, 시스템 수명 최대화할 수 있는 경로를 선택함으로써 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘들 보다 노드들의 수명을 증가시켰다. 또한 링크 에러 상황을 회피하는 알고리즘으로 데이터 전송 실패율을 최소화 한 것을 볼 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Yoon-Su Jeong, Yong-Tae Kim, Gil-Cheol Park, Sang-Ho Lee, "A Routing Protocol for Assuring Scalability and Energy Efficiency of Wireless Sensor Network," Journal of the Korean Society of Computer and Information, Vol. 13, No. 4, July. 2008.
- [2] H. S. Nam, H. S. Lee, J. Y. Kim, "Trend of WBAN applications service," Trend Analysis of Electronic Communication. Vol. 24. No. 5, Oct, 2009.
- [3] Yoon-Sik Jang, Nam-Kyu Park, Chung-sik Oh, Seung-kwon Choi, Chang-Jo Lee, Yong-hwan Cho, "Improved MP- DD Routing Algorithm Considering Energy Efficiency in Wireless Sensor Network," Journal of the Korean Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 7, July. 2009.
- [4] Jungsook Bae, , "Routing Protocol in Wireless Sensor Network", Weekly Report of Korea Electronic Communication Researcher, Vol. 1140, April. 2004.
- [5] Jamal N. Al\_Karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," IEEE Wireless Communication Magazine, 2005
- [6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," Proceedings of ACM MobiCom '00, Boston, MA, 2000, pp.56-67
- [7] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for information dissemination in wireless sensor networks," in the Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on mobile Computing and Networking (Mobicom'99), seattle, WA, August 1999.
- [8] R. Shah and J. rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad-Hoc Sensor Networks," in the Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC), Orlando, FL, March 2002.
- [9] Sunghyub Lee, Yangmoon Yoon, Dohyun Kim, "International standardization trends of WBAN in IEEE 802.15.6", Information and Communications Magazine, Vol. 25, No. 2, Feb, 2008.
- [10] Haksoo Kim, Jinsung Cho, "Routing Protocol Research for Wireless Ad-hoc and Sensor Network", Transaction on Multimedia Technology Research, Vol. 9, No. 1, Feb, 2009.
- [11] Jin Wang, Jinsung Cho, Sungyoung Lee, "Hop-based Energy Aware Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks," IEICE Transactions on Communications, 2009
- [12] Perkins, Royer, "Ad-hoc on demand distance vector routing," WMCSA, 1999
- [13] IEEE 802.15.6 WPAN Task Group 6 (TG6) , <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
- [14] IEEE 802.15, <http://www.ieee802.org/15/>
- [15] Anna Hac, "WIRELESS SENSOR NETWORK DESIGNS"
- [16] Holger Karl and Andreas Willig, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks"
- [17] C. Otto, A. Milenkovic, C. Sanders, and E. Jovanov, "System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring," Journal of Mobile Multimedia, vol.1, no.4, pp.307-326, 2006.
- [18] S. Jiang, Y. Cao, S. Iyengar, P. Kuryloski, R. Jafari, Y. Xue, R. Bajcsy, and S. Wicker, "CareNet: an Integrated wireless sensor networking environment for remote healthcare," Proc. of ACM International Conference on Body Area Networks, 2008.
- [19] E. Monton, J. F. Hernandez, J. M. Blasco, T. Herve, J. Micallef, I. Grech, A. Brincat, and V. Traver, "Body area network for wireless patient monitoring," IET Communications, vol.2, no.2, pp.215-222, 2008.
- [20] H. -B. Li, K. Takizawa, B. Zhen, and R. Kohno, "Body Area Network and Its Standardization at IEEE 802.15.MBAN," 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 2007.



김 의 연

2008년 2월 : 순천향대학교 정보기술 공학부 학사

2010년 2월 : 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사

2010년 2월 ~ 현재 :

에드파 테크놀로지 연구원

관심분야 : 임베디드 시스템, 무선 센서네트워크

Email : weeyeonkim@khu.ac.kr

관심분야 : 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 모바일 네트워크

Email : chojs@khu.ac.kr



김 대 영

2004년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공학과 학사

2006년 2월 : 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사

2010년 8월 : 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사

2010년 9월 ~ 현재 :

LIG 넥스원 연구원

관심분야 : 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 모바일 네트워크

Email : kimdy@khu.ac.kr



신 상 배

2009년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공학과 학사

2009년 2월 ~ 현재 :

경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사 과정

Email : sbshin@khu.ac.kr



조 진 성

1992년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사

1994년 2월 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 학사

2000년 2월 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사

1998년 : IDM TJ, Watson Research Center Visiting Research

1999년 ~ 2003년 :

삼성전자 책임연구원

2003년 ~ 현재 :

경희대학교 컴퓨터공학과 부교수