

碩士學位論文

EABR: 환경 적응 가능한
WBAN 라우팅 알고리즘

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

金 義 淵

2010年 1月 15日

碩士學位論文

EABR: 환경 적응 가능한
WBAN 라우팅 알고리즘

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

金 義 淵

2010年 1月 15日

EABR: 환경 적응 가능한
WBAN 라우팅 알고리즘

指導教授 趙 眞 晟

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

慶熙大學校 大學院
컴퓨터공학과

金 義 淵

2010年 1月 15日

金義淵의 工學碩士 學位論文을 認准함

主審教授 _____ (印)

副審教授 _____ (印)

副審教授 _____ (印)

慶熙大學校 大學院

2010年 1月 15日

EABR: 환경 적응 가능한 WBAN 라우팅 알고리즘

EABR: Environment Adaptive WBAN Routing

慶熙大學校大學院

컴퓨터공학과

金 義 淵

본 논문에서는 WBAN 환경에서 적응 가능한 라우팅 알고리즘 EABR (Environment Adaptive WBAN Routing)을 제안한다. WSN같은 WPAN 기술의 발전으로 healthcare, lifecare와 같은 유비쿼터스 서비스가 제공될 수 있게 되었다. WSN은 IEEE 802.15.4를 기반으로 하며 수많은 tiny device로 네트워크를 구성하여 주변 환경을 모니터링하기 위해 사용된다. WSN의 device들은 극도로 제한된 자원을 가지고 동작한다. 그러나 향후 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공하기 위해서는 제한된 자원을 가지는 device들의 저 전력만을 고려하여 네트워크가 설계되지 않는다. 유

비쿼터스 스마트 서비스는 tiny device들을 이용한 주변 환경의 모니터링을 포함하여 다양한 event-driven device들도 사용될 것이다. 따라서 WSN의 기능만으로 스마트 서비스를 제공하는 데 어려움이 발생한다. 그것을 인지한 WPAN은 WBAN을 차세대 무선 기술로 선정하고 IEEE 802.15.6 TG BAN에서 2007년 11월부터 표준화를 진행 하고 있다.

WBAN은 인체의 내부, 외부 및 주변을 포함한 반경 3m의 좁은 환경에서 coordinator를 중심으로 medical device들과 CE device들이 혼재되어 서비스를 제공 할 것이다. 또한 다양한 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공하기 위하여 10Kbps ~ 10Mbps의 유연한 데이터 전송률을 제공하고, 인체 내부에서 안전한 통신을 위한 MICS대역과 ISM대역 등 2개의 PHY를 지원한다. 그러나 이렇게 다양한 특성의 WBAN device들의 라우팅을 위하여 기존 WSN 라우팅 프로토콜들을 사용하기에는 많은 문제점이 발생한다.

그래서 우리는 WBAN의 특성에 적합하고 표준화 목표인 ultra low power, high reliable transmission을 지원 할 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안한다.

목 차

1. 서 론	1
2. 관련연구	3
2-1. WSN 라우팅 프로토콜	3
2-1-1. Directed Diffusion	5
2-1-2. SPIN	6
2-1-3. EAR	7
3. EABR (Environment Adaptive WBAN Routing)	9
3-1. 연구 목적	9
3-2. 제안사항	10
4. 성능 평가	23
4-1. 시뮬레이션 환경	23
4-2. 시뮬레이션 결과	25
5. 결론	30
6. 참고 문헌	31
7. Abstract	34

그림 목차

[그림 1] WSN 라우팅의 네트워크 구조에 따른 분류	4
[그림 2] Directed Diffusion의 동작	5
[그림 3] SPIN의 동작	6
[그림 4] Algorithm to set routing table in WBAN	12
[그림 5] 라우팅 테이블 생성 과정	13
[그림 6] 라우팅 테이블 생성	14
[그림 7] 가중치에 의한 경로 설정	15
[그림 8] link error 상황 발생	16
[그림 9] link error 경로 회피	16
[그림 10] congestion 상황 발생	18
[그림 11] congestion 상황 해결	19
[그림 12] Network stack 구조	20
[그림 13] Algorithm to Congestion explore in WBAN	21
[그림 14] Algorithm to Path selector in WBAN	22
[그림 15] 라운드의 구성	24
[그림 16] 메디컬 장치가 30%일 때 알고리즘 별 디바이스 생존 개수 · 26	
[그림 17] 메디컬 장치가 50%일 때 알고리즘 별 디바이스 생존 개수 · 27	
[그림 18] 메디컬 장치가 80%일 때 알고리즘 별 디바이스 생존 개수 · 28	
[그림 19] 각 알고리즘별 전송 실패율	29

I. 서론

Wireless sensor network (WSN)와 같은 wireless personal area network (WPAN) 기술들의 발전으로 healthcare 또는 lifecare와 같은 유비쿼터스 서비스가 제공될 수 있게 되었다. WSN은 IEEE 802.15.4를 기반으로 하며 수많은 tiny device로 네트워크를 구성하여 주변 환경을 모니터링하기 위해 사용된다. WSN의 device들은 극도로 제한된 자원을 가지고 동작한다. 그러나 향후 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공하기 위해서는 제한된 자원을 가지는 device들의 저 전력만을 고려하여 네트워크가 설계되지 않는다. 유비쿼터스 스마트 서비스는 tiny device들을 이용한 주변 환경의 모니터링을 포함하여 다양한 event-driven device들도 사용될 것이다. 따라서 WSN의 기능만으로 스마트 서비스를 제공하는 데 어려움이 발생한다.

그래서 IEEE에서는 다양한 스마트 서비스를 제공하기 위해 WPAN의 차세대 무선 기술로 Wireless Body Area Network (WBAN)을 설정하고 IEEE 802.15.6 TG BAN에서 2007부터 표준화 작업을 진행하고 있다. WBAN은 신체를 중심으로 WSN 보다 좁은 지역(3m)에서 동작하며, 네트워크 전체를 관리하는 coordinator, 주로 신체 정보를 모니터링 하기 위해 사용되는 medical devices, 그리고 event-driven application을 위한 consumer electronics (CE) device로 구성된다. WBAN 표준은 근거리, 저 전력(ultra low-power), 고 신뢰성(high reliable transmission) 무선통신을 위한 표준화를 목표로 하고 있으며, 용도에 따라 전송속도가 수 kbps ~ 수십Mbps 사이의 유연한 데이터 전송률을 제공하며 의료용뿐만 아니라 비 의료용 분야에 활용될 것이다[1]. 의료용은 체내에 이식되는

이식형(Implant)과 인체 주변에 부착하는 부착형(on-body) 장치에 활용되며, 비 의료용은 데이터 전달이나 게임 응용 등 다양한 엔터테인먼트 분야에 활용된다[1]. 이러한 서로 다른 특성을 가진 device들이 좁은 지역에 혼재한 WBAN의 특성 때문에, 기존의 WPAN 기술들과 구별된 WBAN의 data routing 방법이 필요하다. 그래서 우리는 이와 같은 WBAN의 특성을 고려하고, 표준화 목표인 저 전력, 고 신뢰성을 지원할 수 있는 라우팅 기법 EABR을 제안한다.

제안하는 방안은 sink-node에서부터 broadcast된 컨트롤 메시지의 이전 노드와의 거리, 잔존에너지 정보를 이용하여 weight를 계산하고, 그 weight를 참고하여 최선의 경로를 설정할 수 있는 방안이다.

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

II. 관련연구

본 장에서는 WSN (Wireless Sensor Network) 에 대한 간략한 설명과 대표적인 라우팅 프로토콜들을 살펴보고 WBAN에 적용하였을 때 발생할 수 있는 문제점에 대하여 기술한다.

2.1 WSN 라우팅 프로토콜

WSN은 센서 노드 자체의 라우팅 기능을 이용하여 센서 노드들이 배치된 센서 필드에서 감지한 측정값을 외부 망과 연결하는 Sink 노드로 전송하는 특수한 네트워크이다. 이러한 WSN은 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. 그러므로 이러한 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체적 시스템의 수명을 증가시키는 방향으로 설계되어야 하며 센서 네트워크의 동적인 변화의 빠르게 대응할 수 있어야 한다[2].

일반적으로 WSN의 라우팅은 네트워크 구조에 의하여 분류하면 [그림 1]과 같이 평면 (flat-based) routing, 계층적 (hierarchical-based) routing, 위치 기반 (location-based) routing로 나눌 수 있다[3]. 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[2]. 또한 위치기반 라우팅 기법은 센서 노드의 위치를 네트워크의 경로 설정 데이터로 활용한다[3]. WBAN은 WSN과 다르게 좁은 지역에서 Sink 노드 역할의 Coordinator를 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. 그래서 다음 절에서는 평면 라우팅 기법의 대표적인 라우팅 프로토콜인 Directed Diffusion, SPIN, EAR에 살펴본다.

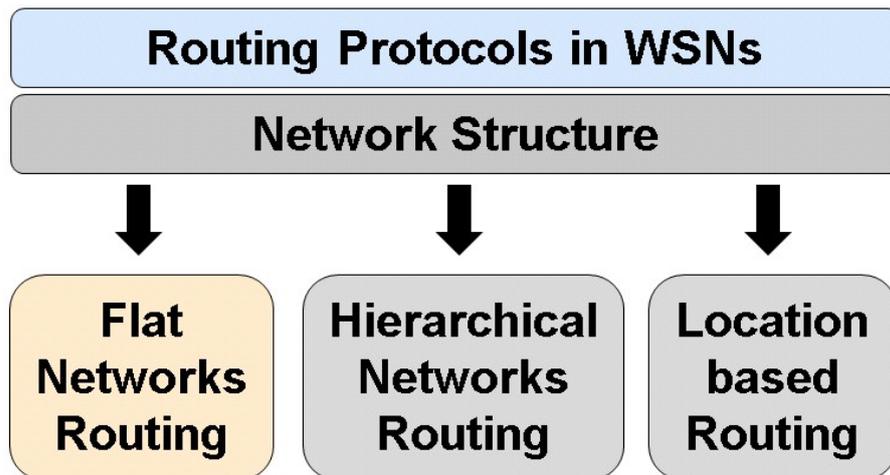


그림 1 WSN 라우팅의 네트워크 구조에 따른 분류

2.1.1 Directed Diffusion

Directed Diffusion은 Sink의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다. Directed Diffusion의 동작 방식은 [그림 2]와 같다. 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구분되는 interest로 표현되며 interest는 sink node에서 시작되어 네트워크 전체에 flooding되고 source node에서 sink node로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 경사(gradient)가 설정된다. 이때 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 [4].

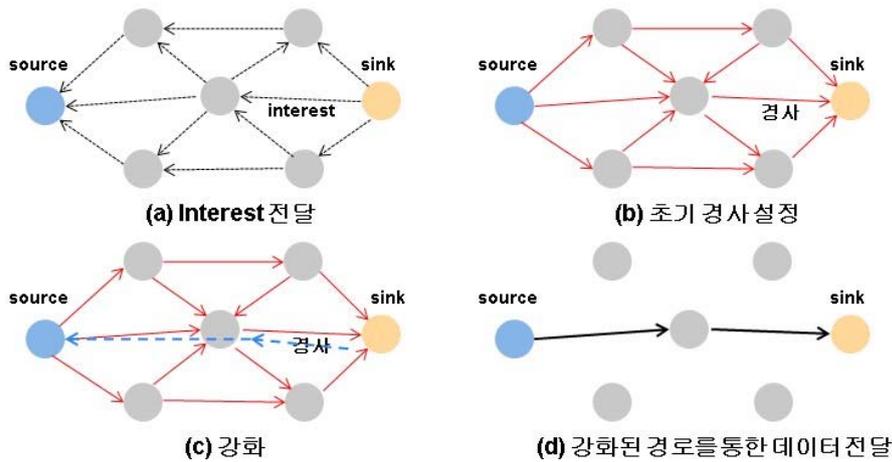


그림 2 Directed Diffusion의 동작

이러한 Directed Diffusion의 정보 검색 방법은 요청 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터를 요구하는 지속성 질의(persistent query)에 적합하나 WBAN의 non-medical 서비스와 같은 event driven 형식의

일회성 경로 사용 형태의 데이터 전송 방법으로는 부적합 하다. 또한 device들의 특성을 고려하지 않은 라우팅으로 WBAN의 유연한 서비스 들을 제공하기에는 문제가 발생한다.

2.1.2 SPIN (Sensor Protocols for Information via Network)

SPIN 라우팅 프로토콜은 [그림 3]과 같이 데이터를 전달하고자 하는 노드와 인근 노드들 간의 meta-data(ADV, REQ message)를 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 lose나 충돌로 인한 협상이 이루어지지 않을 때 재협상을 함으로서 신뢰성을 높인다[5].

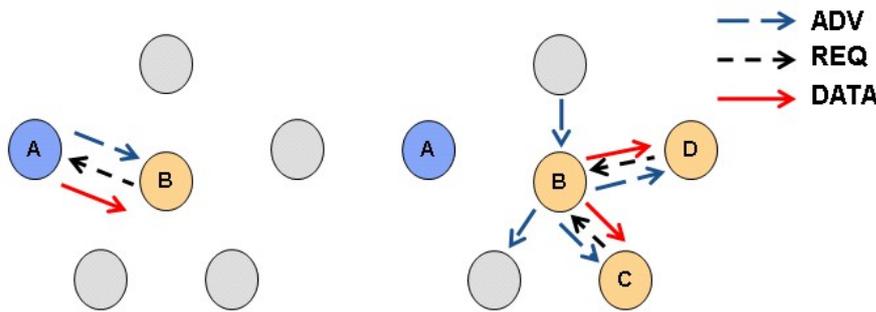


그림 3 SPIN의 동작

동작 방식은 [그림 3]의 노드 A와 B의 관계와 같이 DATA를 보내고 자 하는 노드가 ADV를 broadcast한다. ADV 메시지를 수신한 이웃 노 드 중 데이터에 관심을 가지고 REQ 메시지를 ADV 메시지를 broadcast

한 노드에게 보내게 되어 협상이 이루어진다. 이런 과정으로 협상을 이룬 후 데이터를 필요로 하는 노드들에게 데이터를 전송한다.

SPIN routing은 플러딩 과정을 제거함으로써 불필요한 오버헤드를 줄여 에너지 소비를 줄였으나 주변 노드들의 하드웨어 및 서비스 특성을 고려하지 않은 라우팅으로 WBAN의 유연한 서비스를 제공하기에는 한계가 있다.

2.1.3 EAR (Energy Aware Routing)

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 경로에 있는 몇 개의 노드만 집중적으로 에너지 소모를 하게 된다. 그러나 EAR은 이러한 라우팅의 단점을 보완하기 위하여 선택 가능한 다중 경로에 중첩 확률에 의해 결정되는 경로로 데이터 트래픽을 전송하여 에너지 소비를 분산시키는 대표적인 무선 센서 네트워크 라우팅 중에 하나이다[6].

EAR은 Setup, Data communication, Routing maintenance의 세 가지 단계로 작동된다. Setup 단계에서는 Flooding을 통하여 라우팅 테이블을 생성하고, Data communication 단계에서는 각 노드 사이의 송수신 에너지와 잔존 에너지양을 고려하여 계산된 확률에 의해서 경로를 선택한다. Routing maintenance 단계에서는 지역적으로 비정규적인 Flooding을 통하여 경로를 유지한다. 작동 방식은 Directed Diffusion routing 방식과 유사하나 Interest를 전송 할 때 중간 노드가 주변 이웃 노드에 남아있는

에너지와 송수신 에너지를 저장하여 sensing 정보를 전송할 때 이러한 정보를 이용하여 확률적으로 다음 노드를 결정 한다는 점이 다르다. 이런 방법을 사용함으로써 EAR은 Directed Diffusion 알고리즘과 같이 한 경로만을 계속 사용하여 특정 노드의 에너지를 고갈 시키지 않고 이웃 노드에게 골고루 전송함으로써 시스템의 수명을 최대한 늘릴 수 있는 알고리즘이다.

각 노드들의 특성을 고려하지 않은 균등한 에너지 사용은 WBAN의 유연한 서비스를 제공하기에는 한계가 있다. WBAN은 medical device와 non-medical device의 다른 특성을 고려한 routing이 필요 하지만 EAR을 적용 하면 하드웨어 제약 사항이 큰 medical device의 급격한 에너지 사용 및 위험성을 초래 할 수 있다.

2장에서 WSN의 flat 기반의 대표적인 라우팅 프로토콜들을 살펴 보았다. 그러나 WSN의 라우팅 프로토콜들을 WBAN 환경에 이용하기에는 많은 문제점이 발생한다.

III. EABR (Environment Adaptive WBAN Routing)

3.1 연구 목적

현재 WBAN은 신체를 중심으로 한 좁은 지역(3m)에서 다른 종류 (medical, entertainment)의 센서 노드들이 밀집되어 네트워크를 형성하는 방향으로 각 분야에서 연구되고 있다. 이러한 센서 노드들은 수kbps에서 수십Mbps까지의 유연한 전송속도를 가지고 있다. 의료용 장치는 신체 내부에 이식하는 Implant 장치와 신체 외부 혹은 옷에 부착하여 신체 정보 데이터를 수집하는 on-body장치들로 이루어지고 비 의료용 entertainment 장치는 신체의 외부 혹은 주변에 위치하는 event driven 방식의 CE device 들로 신체 주변 코디네이터를 중심으로 이루어진다. 이렇게 다양한 특성의 장치들이 좁은 지역에서 하나의 네트워크를 형성하여 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공한다. 그러나 2장에서 살펴보았듯이 기존 WSN 라우팅 프로토콜로는 WBAN의 다양한 특성의 장치들을 지원하기에는 한계가 있다. 그래서 WBAN의 유연한 서비스를 제공하기 위해서는 기존 WSN 라우팅이 수정되거나 새로운 라우팅 알고리즘이 필요하다.

그래서 우리는 WBAN의 특성에 적합하고, WBAN의 표준화 목표인 저 전력(ultra low power), 고 신뢰성 통신(high reliable transmission)을 지원할 수 있는 새로운 라우팅 알고리즘인 EABR을 제안한다.

3.2 제안 사항

제안하는 라우팅 알고리즘 EABR(Environment Adaptive WBAN Routing)은 WBAN내의 다양한 장치의 특성을 고려하여 WBAN기술로 제공할 수 있는 다양한 유비쿼터스 스마트 서비스를 제공하는데 적합하도록 설계되었다. medical 서비스와 non-medical service가 공존하는 WBAN에서 medical device들은 주로 주기적으로 작동하며 신체 내부에 이식하거나, 외부에 부착하여 데이터를 측정하고 측정된 데이터를 신체 주변의 코디네이터로 전송하여 사용자의 건강상태를 모니터링 하는 역할을 한다. 또한 non-medical device는 event driven 방식으로 작동하며 컨트롤 데이터 같은 낮은 전송 속도의 데이터부터 비디오 스트림이나 보이스 스트림 같은 높은 전송 속도의 데이터들과 같이 폭넓은 전송 속도를 지원하며 entertainment 서비스들을 제공한다. WBAN은 신체 주변 코디네이터를 중심으로 3m 안팎의 거리에서 위와 같은 다양한 특성의 장치들이 최대 수십 개가 네트워크를 형성하여 다양한 서비스를 제공할 것이다. 그러나 특성이 다른 장치들을 동등한 조건으로 라우팅을 하면 낮은 사양의 하드웨어를 갖춘 medical device들에게 치명적으로 불리한 상황이 발생할 수 있다. 예를 들면 entertainment device에서 비디오 스트림 이벤트가 발생했을 때 sink node로 전송하는 경로에 신체에 이식된 medical device가 존재한다면 medical device는 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 medical device에게는 최악의 상황이 될 수 있다. 그렇기 때문에 우리는 medical

device의 에너지 소모를 최대한 줄이고 수명 및 안정성을 최대한 높일 수 있는 알고리즘을 설계 하였다. 또한 이 알고리즘을 사용하면 medical device 뿐만 아니라 non-medical device도 데이터 전송 시 에너지 소모를 최소화 할 수 있는 경로를 선택하고, 장치의 수명도 최대화 할 수 있다. EABR은 위와 같이 WBAN의 특성을 고려하며 WBAN의 표준화 목표인 ultra low power를 지원한다. 그리고 다른 표준화 목표인 high reliable transmission을 지원할 수 있는 노드 간 link 상태에 따른 error 경로를 회피하는 방안도 제안한다.

EABR은 데이터를 전송하고자 하는 source 노드가 sink node로부터 broadcast된 control message를 이용하여 가중치를 계산하고 계산된 가중치를 이용하여 경로를 선택한다. 가중치를 구하는 수식은 아래 [수식 2]와 같다.

$$f_d(h) = \sum_{i=1}^h \frac{d_i^2}{e_i(\%)} \quad (1)$$

$$f_w = \frac{d_u^2}{e_u(\%)} + f_d(u-1) \quad (2)$$

경로 선택 기준인 가중치는 컨트롤 메시지를 보낸 이전 노드와 현재 자신의 노드까지의 거리의 제곱에 비례하고 이전 노드의 잔존 에너지양에 비례하는 값에 이전 노드까지 계산된 누적 가중치의 값을 합하여 전체 경로의 가중치를 구한다. 가중치를 계산하는데 이전 노드와의 거리 (d_u^2)와 이전노드의 잔존 에너지양($e_u(\%)$)을 참고하는 이유는 다음과 같다. 노드가 데이터를 전송할 때 발생하는 에너지 소모량은 두 노드간의 거리의 제곱에 비례한다. 그래서 데이터 전송 경로를 선택할 때 노드간

의 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 sink노드까지 라우팅 경로를 설정하지 못하여 네트워크가 분할되는 경우도 발생할 수도 있다. 그래서 EABR 에서는 에너지 소비를 분산시켜 시스템 lifetime을 최대화 시켜주기 위해 각 노드의 에너지양을 고려하여 가중치를 계산한다. 이렇게 계산된 각 노드들의 가중치들을 이용하여 source 노드로부터 sink 노드까지의 누적된 합을 구함으로서 최상의 경로를 선택할 수 있다.

```

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 4 Algorithm to set routing table in EABR

u	컨트롤 메시지를 보낸 이전노드
v	현재 노드
RT_v	현재 노드의 라우팅 테이블
M_u	이전 노드로부터의 컨트롤 메시지
f_w	계산된 가중치

notations

[그림 4]는 각 노드에서 라우팅 테이블을 생성하는 알고리즘이다. sink 노드 혹은 주변 노드로부터 컨트롤 메시지를 받은 현재 노드는 컨트롤 메시지를 보낸 노드와의 거리를 계산하고 컨트롤 메시지에 포함된 정보인 이전 노드의 잔존 에너지양과 이전 노드까지 계산된 누적 가중치를 이용하여 [수식 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.

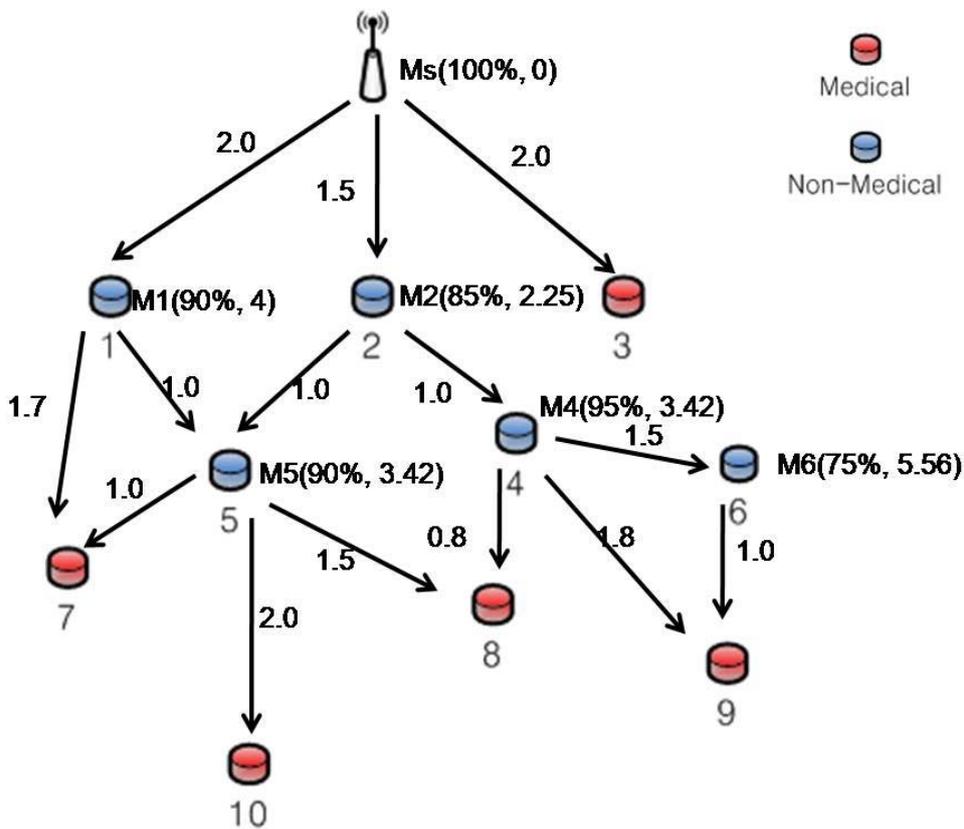


그림 5 라우팅 테이블 생성 과정

[그림 5]는 라우팅 테이블을 생성하는 과정이다. 최초 sink 노드로부터 잔존에너지양과 이전 노드까지의 누적 가중치 값 정보가 포함된 컨트롤

메시지를 주변 노드들에게 broadcast한다. 컨트롤 메시지를 수신한 주변 노드들은 컨트롤 메시지를 보낸 sink node로부터 현재 자신의 노드까지의 거리를 계산하고 계산된 거리의 값과 컨트롤 메시지내의 정보인 이전 노드의 잔존에너지양과 누적 가중치 값을 이용하여 가중치를 계산 한다. 계산된 가중치 값을 라우팅 테이블 안에 이전 노드의 정보와 함께 추가 하고 다시 자신의 잔존 에너지양과 현재 노드까지의 가중치 값을 포함하여 주변 노드들에게 broadcast 한다. 그러나 센서의 종류가 medical device이면 주변 노드들에게 컨트롤 메시지를 broadcast 하지 않는다. 그렇게 함으로서 medical device는 relay 노드로서의 역할을 방지하여 medical device의 수명성 및 안전성을 증가 시킬 수 있다.

[그림 6]은 각각의 노드들이 라우팅 테이블을 생성한 그림이다.

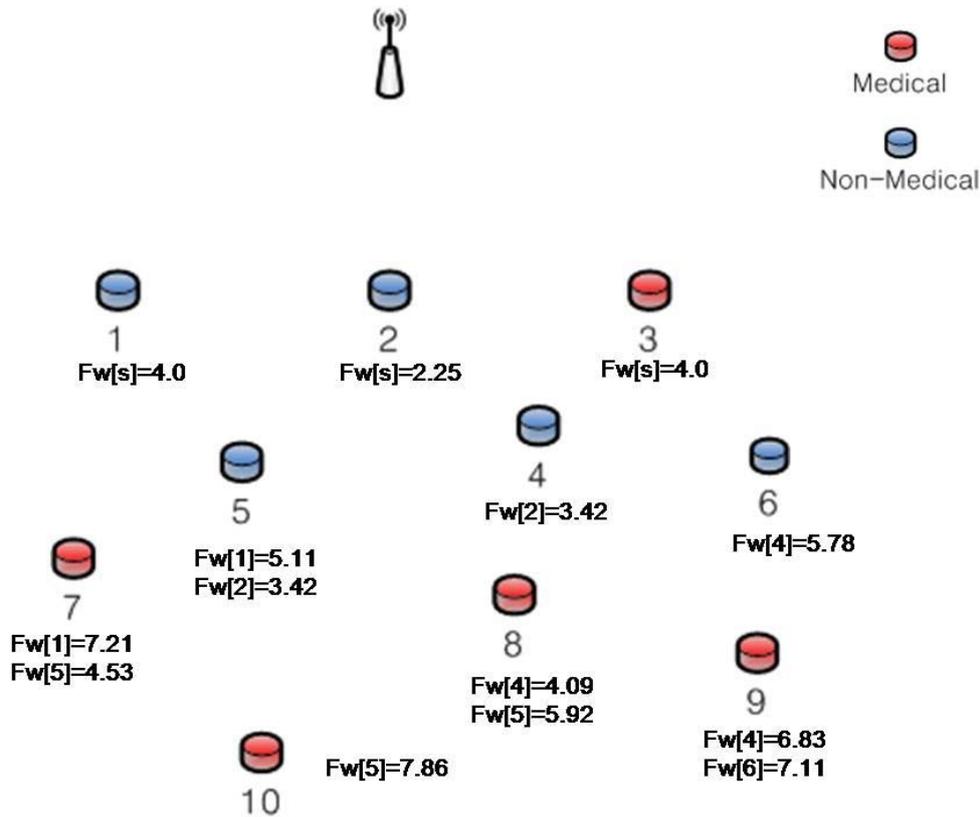


그림 6 라우팅 테이블 생성

[그림 7]은 라우팅 테이블 안의 가중치의 값을 비교하여 가장 작은 가중치의 값을 갖는 경로를 선택한 것을 그림으로 표현한 것이다.

EABR은 위와 같이 가중치에 의해서 최상의 경로를 선택하는 알고리즘 이외에도 노드간의 link 상태를 파악해서 link error 및 congestion 상황이 발생했을 때 환경에 따라 error 경로를 회피하여 다음 가중치의 경로를 선택할 수 있는 알고리즘을 지원한다.

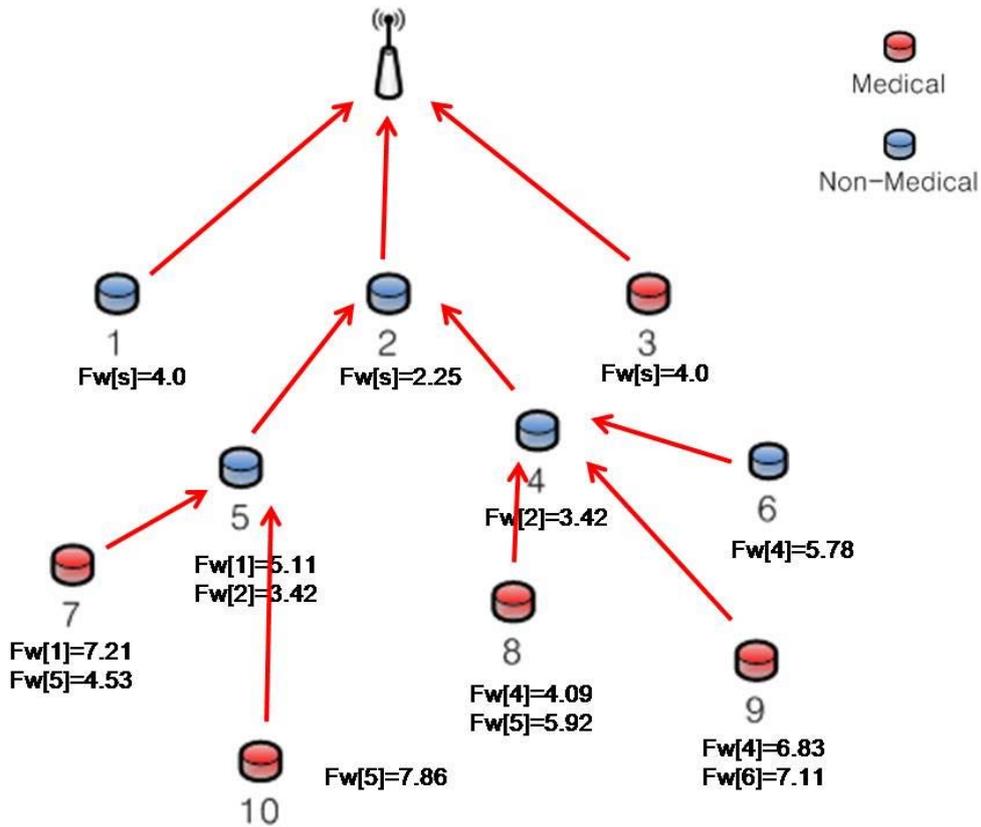


그림 7 가중치에 의한 경로 설정

[그림 8]최초 sink node로부터의 컨트롤 메시지 broadcast를 이용하여 계산된 가중치를 이용하여 경로가 설정된 환경에서 중간의 노드가 link error가 발생한 그림이다. 그림에서와 같이 노드 2와 노드 5사이의 link error가 발생했다.

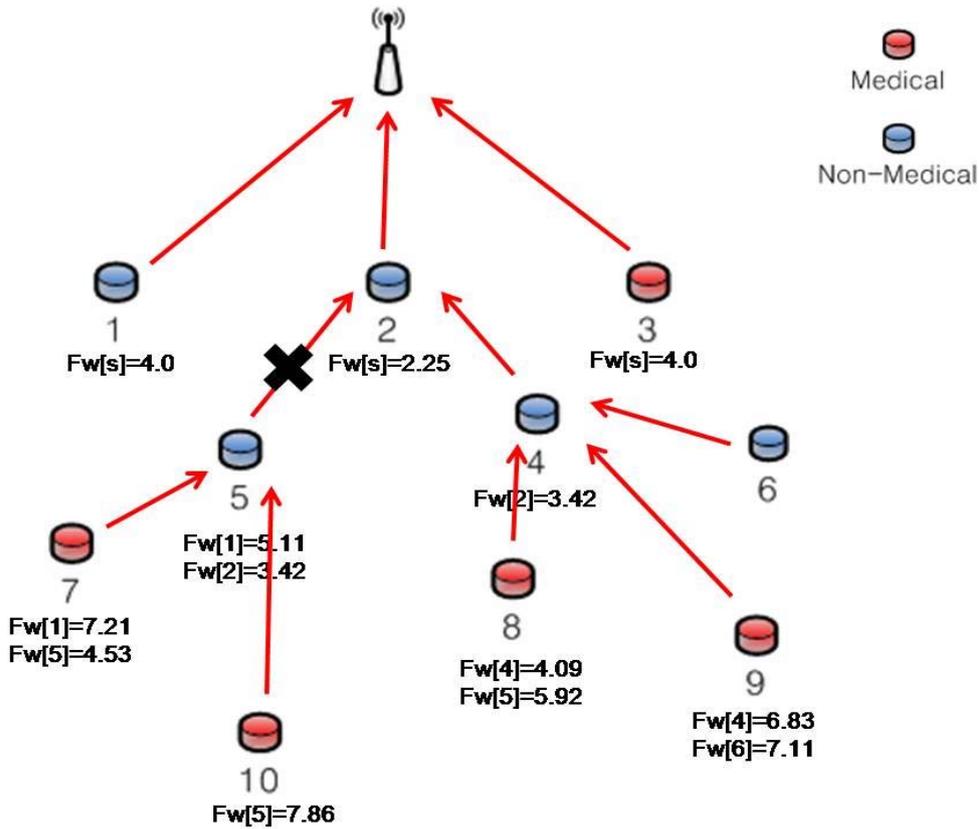


그림 8 link error 상황 발생

[그림 9]에서 보는 것과 같이 노드 5는 노드 2와의 link error 상황을 인지하고 노드 5의 라우팅 테이블의 노드 2에 대한 정보에 flag를 준다. 그리고 라우팅 테이블 내의 다음 가중치 값인 노드 1을 경로로 설정해서 데이터를 전송 한다.

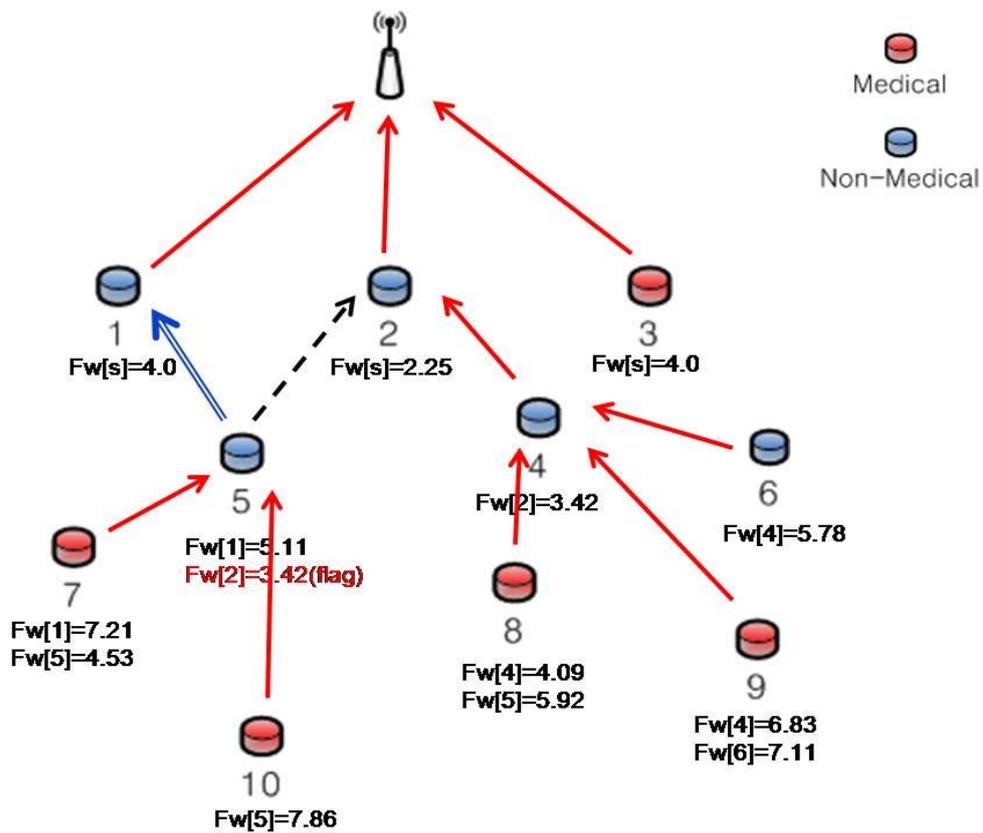


그림 9 link error 경로 회피

노드 4에게 컨트롤 메시지를 수신한 노드 8은 [그림 11]에서 보는 것과 같이 컨트롤 메시지를 전송한 노드 4의 정보에 flag를 추가하고 다음가중치 값의 노드 5를 선택하여 경로를 설정한다. 이렇게 link error와 congestion 상황을 회피함으로써 WBAN 환경에서 고 신뢰성 통신을 지원 할 수 있다.

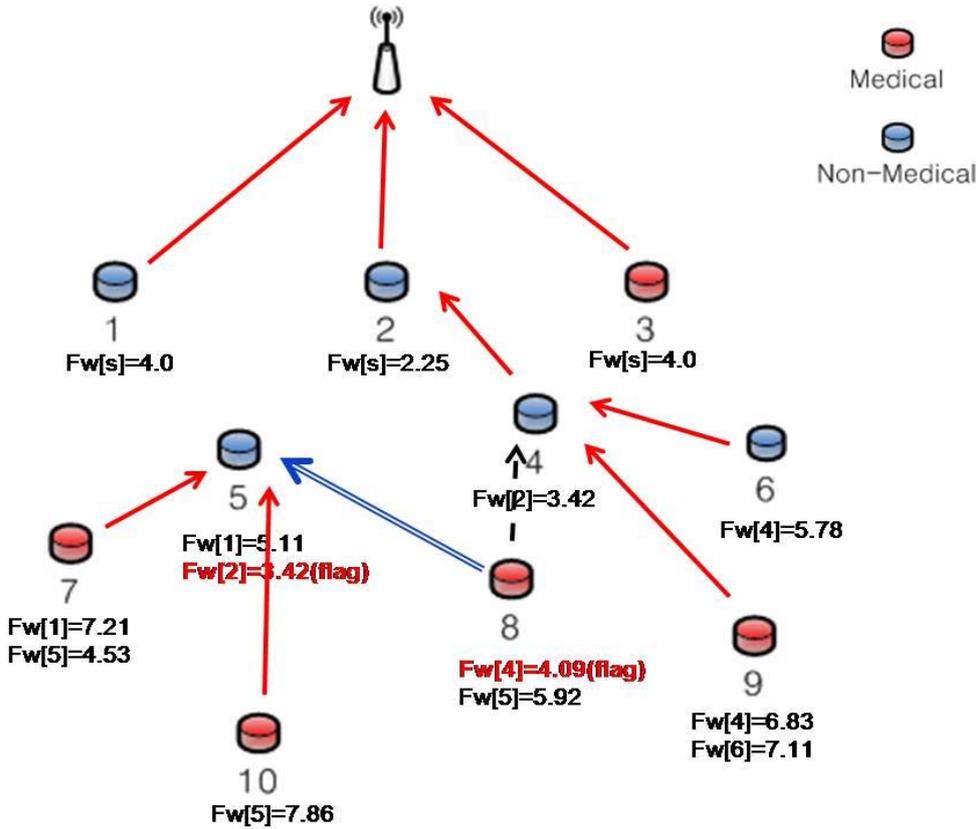


그림 11 congestion 상황 해결

위와 같이 경로 선택 시 최선의 경로를 선택하고 link error 상황이나 congestion 상황이 발생 했을 때 해당 경로를 우회하는 경로를 선택하기 위해서는 아래 [그림 12]에서 보는 것과 같이 라우팅 알고리즘 내에 두 개의 모듈이 추가로 필요하다.

두 모듈은 주기적으로 작동하며 congestion 상황을 발견하고 congestion 상황이 발생했을 때 각 child 노드의 잔존 에너지를 고려하여 가장 많은 잔존에너지를 갖은 child 노드에게 우회할 수 있도록 컨트롤 메시지를 보내는 역할의 Congestion Explore와 데이터 트래픽이 발생했을 때 주어진 상황 내에서 최상의 경로를 선택하여 데이터를 전송할 수 있도록 제어하는 Path Selector이다.

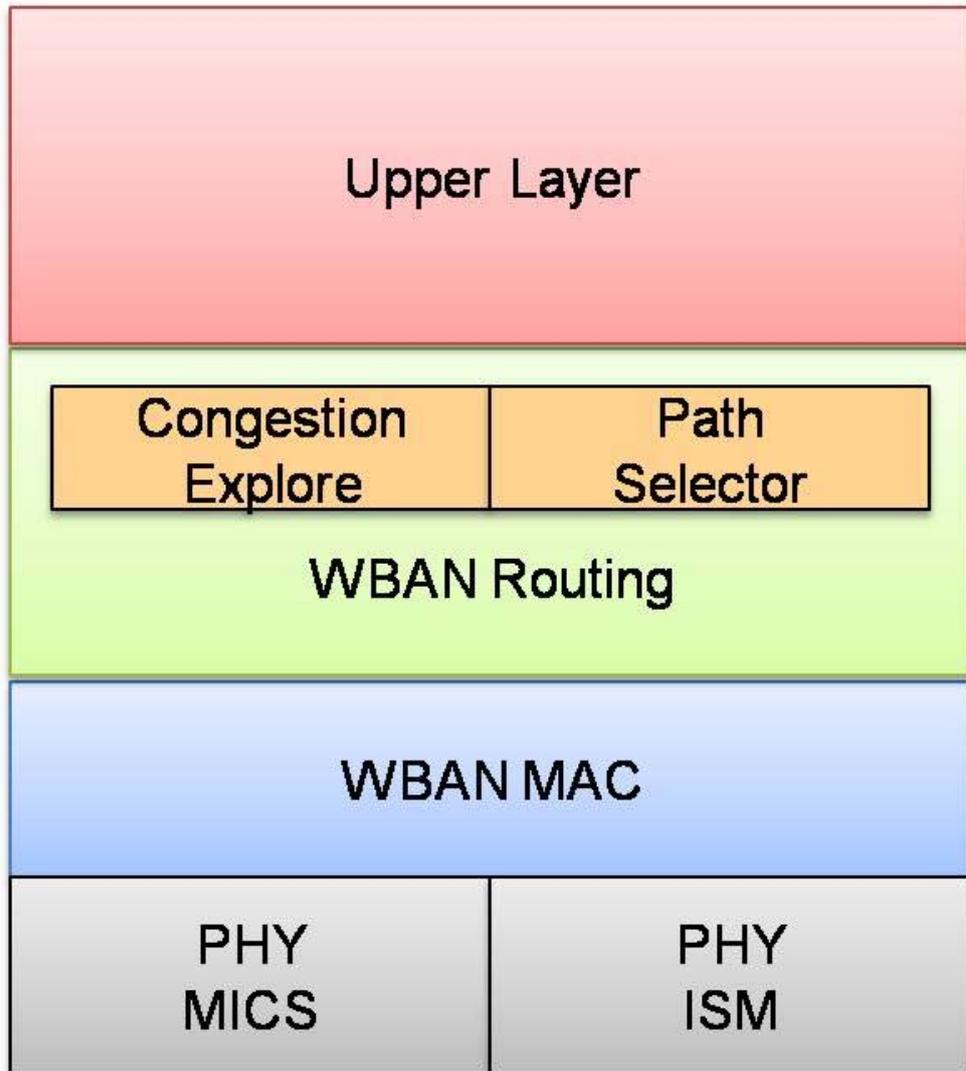


그림 12 Network stack 구조

```

CONGESTION - EXPLORE( $n, F$ )
1.  $target \leftarrow 0, i \leftarrow 1, max \leftarrow 0$ 
2. if  $congestion = TRUE$  then
3.   do loop:  $i \leq n$ 
4.     do if  $max < F[i]$ 
5.       do  $max \leftarrow F[i]$ 
6.          $target \leftarrow i$ 
7.          $i \leftarrow i + 1$ 
8.     end loop
9.   send a message ( $CTL$ ) to  $N[target]$ 

```

그림 13 Algorithm to Congestion explore in EABR

n	Child 노드로부터의 flow 개수
F	Child node의 잔존 에너지
N	Child 노드

notations

[그림 13]은 Congestion Explore의 동작을 설명한 알고리즘이다. Congestion Explore는 주기적으로 작동하며 congestion 상황을 발견한다. Congestion 상황이 발생한 것이 인지되면(line 2) Congestion Explore는 자신에게 데이터를 전송하는 child 노드의 개수만큼 반복하며(line 3) 각 child 노드들의 잔존 에너지양을 비교하여 가장 높은 잔존 에너지양을 가진 child노드를 선택하여 해당 노드에게 경로를 우회하여 데이터를 전송 할 수 있도록 컨트롤 메시지를 전송 한다(line 9).

[그림 14]는 데이터 트래픽이 발생 했을 때 작동되는 PATH SELECTOR의 알고리즘이다. 노드에 데이터 트래픽이 발생 했을 때 노드는 현재 연결된 노드가 link error 상황이나 Congestion explore로부터 컨트롤 메시지가 수신 되었는지를 확인 한 후 link 상태가 좋지 않을 때(line 2) 라우팅 테이블 안의 해당 parent 노드의 정보에 flag를 준다(line

3). 그 후 라우팅 테이블 안의 저장된 경로의 개수만큼 반복하여(line 6) 가장 작은 가중치 값을 갖고 flag 정보가 없는 노드를 선택하고 발생한 데이터 트래픽을 전송한다(line 11). 이 알고리즘을 사용함으로써 link error와 congestion 상황이 발생하지 않고 가장 작은 전력소모, 높은 lifetime을 지원 할 수 있는 경로를 선택 할 수 있다.

```

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

```

그림 14 Algorithm to Path selector in WBAN

n	라우팅 테이블내의 노드의 개수
u	경로가 설정된 parent 노드
RT_v	현재 routing table
CTL	CONGESTION EXPLORE로부터의 컨트롤 메시지
N	parent node

notations

IV. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

기존 WSN에서 라우팅 알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 적용하는 방안은 크게 hop count에 기반 한 최단 거리 라우팅 알고리즘을 이용하여 전송 시 발생하는 전력 소모량을 최소화 하는 방안과 구성된 네트워크내의 lifetime을 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 WSN 라우팅 알고리즘인 hop count 기반 최단 거리 라우팅 알고리즘과 EAR 라우팅 알고리즘을 비교 대상으로 하였다.

device의 종류는 두 종류로 나누고 medical device는 초기 에너지양을 20J, 데이터의 크기를 1000byte + 25byte(header)로 적용하였다. 또한 CE device는 초기 에너지양을 200J, 데이터의 크기를 30KB + 25byte(header)로 적용하였다. 또한 에너지 소비 모델은 [수식 3], [수식 4]와 같다[9].

field size는 $600*600(m^2)$ 으로 제한하고 데이터 장치들이 전송할 수 있는 최대 전송거리는 $240(m)$ 으로 제한하였다. 그리고 노드 개수는 30개로 field 내에 random으로 배치하고 노드들 중 medical device의 양을 30%, 50%, 80%로 변경하며 테스트 하였다.

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

$$E_{Rx}(l, d) = l \cdot E_{elec} \quad (4)$$

E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²

notations

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



그림 15 라운드의 구성

측정 요소는 system lifetime을 측정하는 요소로 잔존 에너지양이 0 이상인 device들의 개수를 라운드 별로 측정하고 전송 통신 신뢰성을 측정하기 위하여 전송 시 발생하는 전송 실패 횟수를 측정하였다.

시뮬레이터 구현 tool은 C++로 하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

[그림 16]은 30개의 노드 중 메디컬 장치가 30%일 때 system의 lifetime을 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 Hop count 기반 알고리즘은 약 60라운드에서부터 수명을 다하는 노드들이 발생하고 시스템 전체적인 lifetime을 증가시키기 위하여 각 노드의 잔존에너지양을 고려하여 대체경로를 확률로 선택하는 알고리즘인 EAR은 약 80라운드부터 수명을 다하는 노드들이 발생하고 있다. 약 250라운드부터는 두 알고리즘 모두 죽은 노드들의 개수들이 많기 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. Hop count기반 알고리즘이나 EAR기반 알고리즘들은 CE 데이터가 메디컬 데이터로 전송되면서 메디컬 데이터의 급격한 에너지 소모로 인하여 수명을 다하는 노드가 발생하게 되었다.

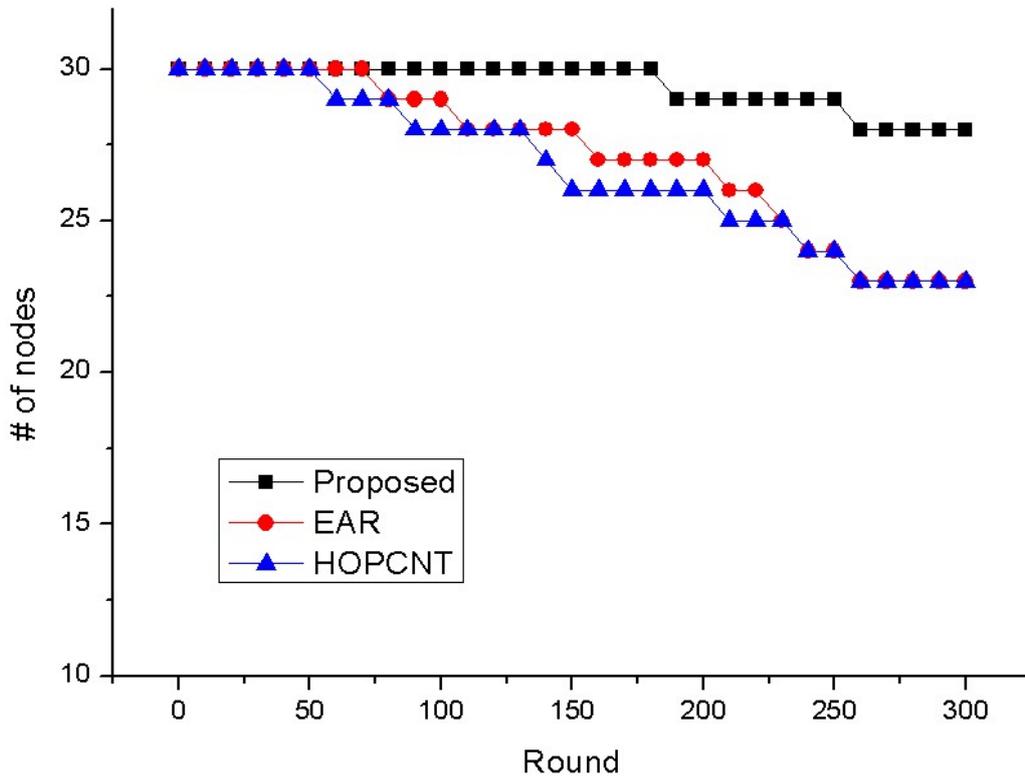


그림 16 메디컬 장치가 30%일 때 알고리즘 별 디바이스의 생존 개수

[그림 17]은 30개의 노드 중 메디컬 장치의 양이 50%일 때 System의 lifetime을 측정한 결과로 EAR이나 hop count기반 라우팅 알고리즘들은 메디컬 장치의 양이 더 많아 졌기 때문에 중간 경로로 사용되는 메디컬 디바이스들이 더욱 증가하였기 때문에 더 빨리 더 많은 노드들이 수명을 다 하였다. 그러나 제안하는 알고리즘은 노드들의 수명이 더욱 증가함을 볼 수 있다.

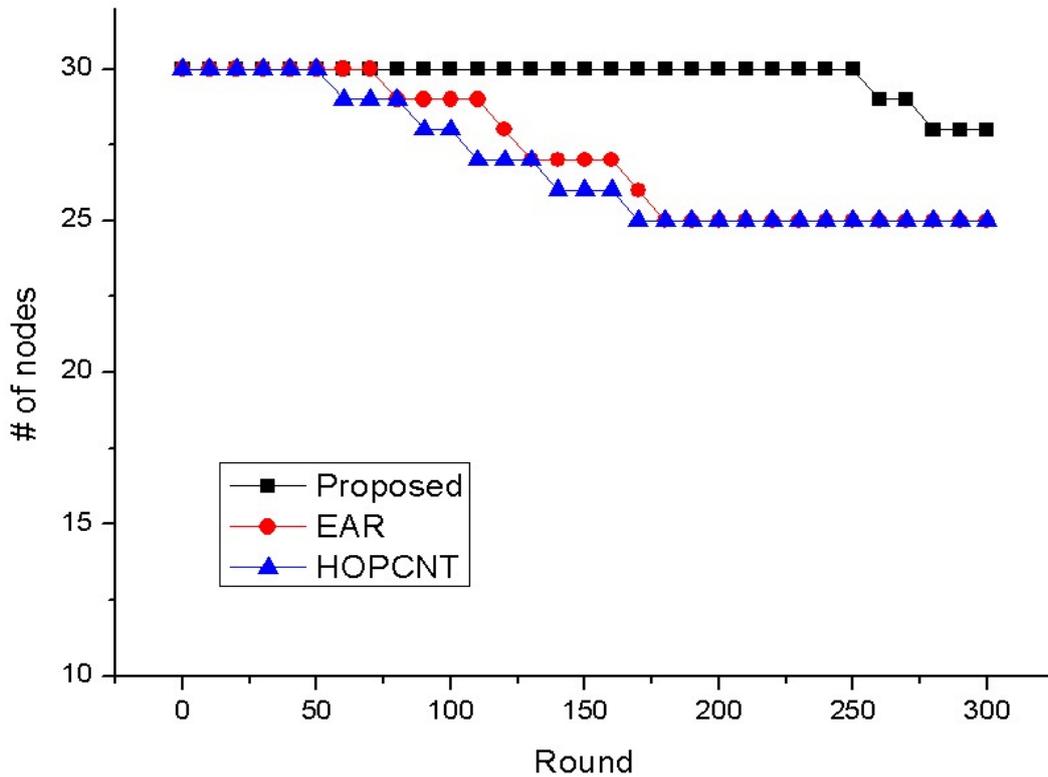


그림 17 메디컬 장치가 50%일 때 알고리즘 별 디바이스의 생존 개수

[그림 18은]은 필드내의 메디컬 장치가 80%일 때 각 라운드가 증가할 때마다 알고리즘별로 장치들의 생존 개수를 나타낸다. 메디컬 장치가 80%일 때 WSN라우팅 알고리즘의 생존하는 노드의 개수가 30%, 50%일 때보다 더욱 급격하게 줄어드는 것 볼 수 있다. 그러나 제안하는 알고리즘은 300라운드가 지나도 수명을 다하는 노드들이 발생 하지 않을 정도로 시스템 수명이 증가 하였다.

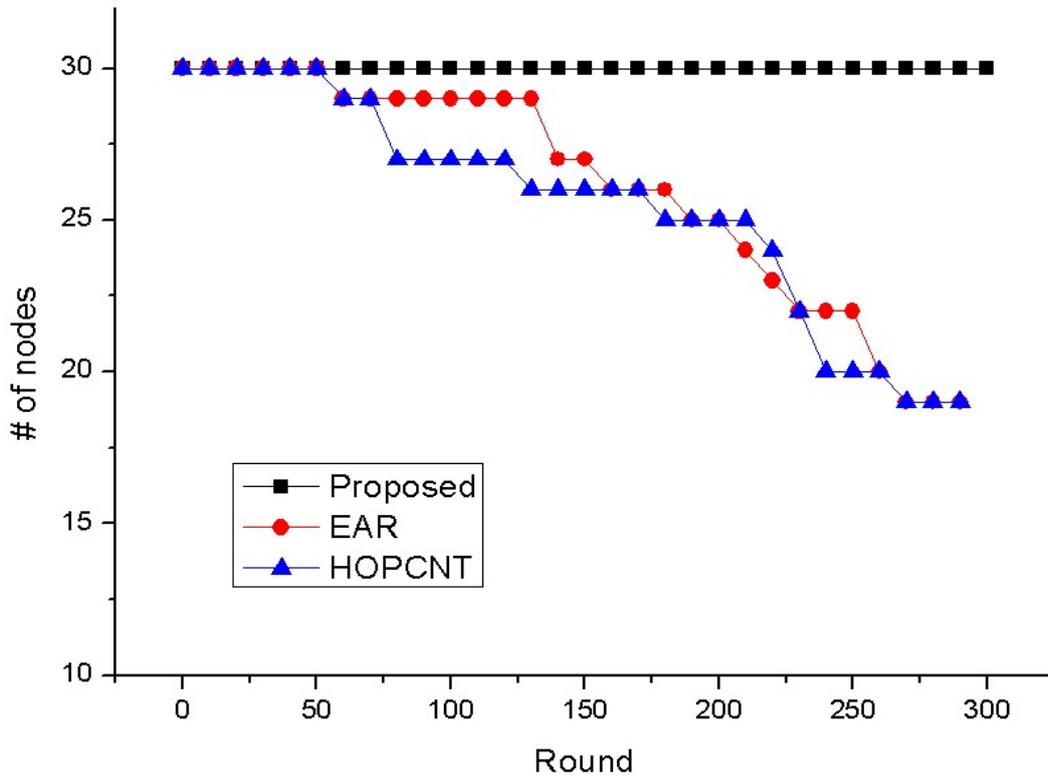


그림 18 메디컬 장치가 80%일 때 알고리즘 별 디바이스의 생존 개수

[그림 19]는 데이터 전송 중 link state가 불안하여 전송이 실패 한 횟수를 백분율로 표현한 그래프이다. 그래프의 x축은 field에서 메디컬 장치들의 개수를 표현하고, y축은 전송 실패율을 표현한다. 그림에서 보는 것과 같이 기존 WSN 라우팅 알고리즘들은 field 내의 메디컬 장치의 비율이 증가 할수록 에러율도 함께 증가한다. 이유는 field 내의 메디컬 장치의 비율이 증가 할수록 메디컬 장치들의 수명이 급격하게 줄어들기 때문에 전송 실패하는 경우가 증가하기 때문이다. 그러나 제안하는 알고리즘은 장치들의 수명도 높고 error상황이 발생하더라도 바로 다른 경로로 회피하여 보낼 수 있는 대체 경로를 가지고 있기 때문에 전송이 실패하

는 경우가 발생하지 않는다.

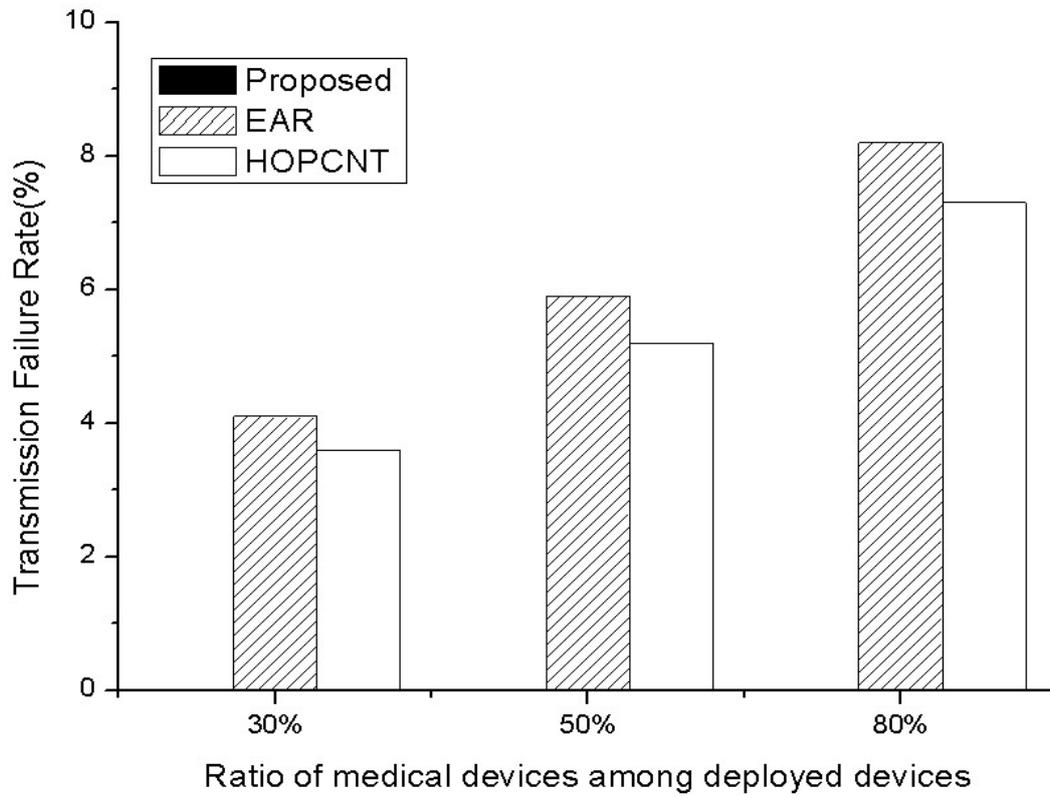


그림 19 각 알고리즘별 전송 실패율

V. 결론

현재 표준화 진행 중인 WBAN이 지원 할 수 있는 다양한 유비쿼터스 스마트 서비스를 지원하기 위하여 기존 WSN 라우팅 프로토콜의 적용으로는 많은 문제가 발생한다. 그래서 우리는 WBAN의 특성에 맞고 표준화 목표에 적합한 새로운 라우팅 알고리즘을 제안 한다. 제안하는 알고리즘인 EABR은 거리와 잔존 에너지양을 고려하여 전송 시 최소 에너지를 소모하고 네트워크의 수명을 최대화 시켜줄 수 있는 방안을 제시 하였다. 그리고 medical 장치와 non-medical 장치의 특성을 고려한 라우팅으로 저 사양 하드웨어 장치인 메디컬 장치의 수명과 안전성을 최대화 시켜 줄 수 있었고, link 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 WSN라우팅 알고리즘들 보다 노드들의 수명을 증가 시켜 줬다. 또한 link error 상황을 회피하는 알고리즘으로 데이터 전송 실패율을 최소화 한 것을 볼 수 있었다.

VI. 참고 문헌

- [1] 남홍순, 이형수, 김재영, “WBAN 응용서비스 동향”, 전자통신동향분석 제24권 제5호 2009. 10
- [2] 배정숙, 김성희, “ 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜”
- [3] Jamal N. Al_Karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Wireless Communication Magazine, 2005
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] 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.

[7] 이성협, 윤양문, 김도현, "IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내의 표준화 동향", 한국통신학회지 제25권 제2호, 2008. 2

[8] 김학수, 조진성, "무선 애드혹 및 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜 연구", 멀티미디어기술연구논문집, 제9권, 제1호, 2009.2.

[9] Jin Wang, Jinsung Cho, Sungyoung Lee, "Hop-based Energy Aware Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks", IEICE Transactions on Communications, 2009

[10] Perkins, Royer, "Ad-hoc on demand distance vector routing", WMCSA, 1999

[11] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>

[12] <http://www.ieee802.org/15/>

[13] Anna Hac, "WIRELESS SENSOR NETWORK DESIGNS"

[14] Holger Karl and Andreas Willig, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks"

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

Abstract

EABR: Environment Adaptive WBAN (Wireless Body Area Network) Routing

Wee Yeon Kim

School of Electronics and Information

Kyung Hee University

This paper presents a novel EABR (Environment Adaptive WBAN Routing) routing algorithm which is adopted in the WBAN environments. Along with the development of the WPAN technology like as WSN, the ubiquitous services like healthcare, lifecare would be offered to users. The WSN technology which is based on IEEE 802.15.4 standard was used to monitor the circumjacent environment was structured by a lot of tiny devices. The devices of WSN operate by using extremely limited resources. However, in order to supply the ubiquitous smart services in the future, the network will not only be designed in power-saving way which is considered by devices using limited resources. The ubiquitous smart services will be included not only monitoring the circumjacent environment which is using tiny devices, but the event-driven devices. Furthermore, it will become a problem that offers the smart services in only using the WSN technology. The WPAN Standard group confirmed that the WBAN technology would be a next generation technology after recognizing the problem and The IEEE 802.15.6 TG BAN had established a

standard since Nov, 2007.

The WBAN will supply the services in the incommensurable environments including the human inside, outside, and circumference whose radius is 3 meters and the network devices like medical devices and CE devices will communicate by each other through the center device name as coordinator. Moreover, in order to supply the various ubiquitous smart services, the WBAN will provide the 10Kbps ~ 10Mbps transmission data rates, in addition, in order to make the communication safe in the human inside, the WBAN will support to use the MICS and ISM spectrum band. However, a lot of new problems has arisen that adopt the exist WSN routing protocols to the WBAN environment which is structured by various different kinds of WBAN devices.

Therefore, we proposed a novel routing algorithm which is suitable for WBAN characteristics and supporting the goal of standard such as ultra low power, high reliable transmission.