



특집 13

의료등급 무선통신망 설계 이슈 분석



손성화·박경준 (대구경북과학기술원)

-
- 목 차 »
1. 서 론
 2. 의료등급 무선통신망 설계 이슈
 3. 의료등급 무선통신망 관련 연구
 4. 결 론
-

1. 서 론

우리는 이른바 무선통신의 시대에 살고 있다고 해도 과언이 아니다. 무선통신기기가 없는 세상은 상상할 수 없을 정도로 무선통신기술은 각종 분야에 널리 사용되고 있다. 의료분야역시 그 중 하나로 아직까지는 초기 단계이나 향후 의료분야에의 무선통신기술 적용은 엄청난 가능성을 지니고 있다.

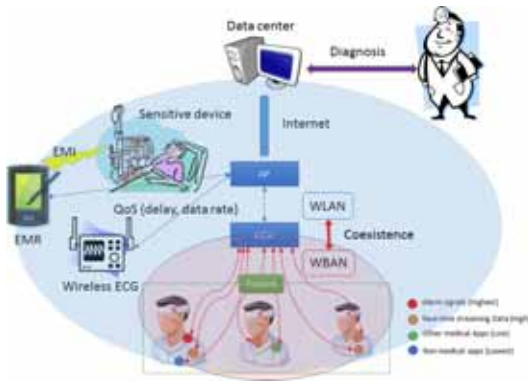
우선 의료기기와 환자들을 연결했던 선들을 제거할 수 있다. 환자의 몸에 부착되어 있던 선들은 환자에게 심리적 긴장감을 유발시키고 활동에 불편함을 야기한다. 더욱 심각한 것은 이렇게 환자에게 연결되어있는 선들 중 일부가 단선되어 통신에 문제가 생기는 경우를 실시간으로 발견하기 어렵다. 이는 환자에게 매우 심각한 문제를 수반할 수 있는 잠재요소이다. 하지만 무선통신기술을 활용함으로써 이러한 잠재적 위험요소를 제거할 수 있다. 이에 더하여 무선통신기술은 환자에게 이동성과 편안함을 제공한다.

본고에서는 의료시스템이 요구하는 서비스품질

을 만족시키는 무선통신기술, 이른바 의료등급 무선통신기술에 관하여 살펴본다. 근래 들어 무선통신기술은 전문 의료기기는 물론 원격재활, 헬스케어 애플리케이션 등 다양한 의료관련 분야에 폭 넓게 적용되고 있다. 또한 이와 관련된 연구가 국내외에서 매우 활발히 진행 중이다. 본고에서는 다양한 관련 분야 중 특히 병원 의료환경에 무선통신기술을 적용할 때 고려해야 할 주요 이슈들에 대해 살펴본다.

무선통신기술이 의료분야에 성공적으로 활용되기 위해서는(그림 1)과 같이 고려해야 할 주요사항들이 몇 가지 존재한다. 의료분야에서의 무선통신기술 연구는 환자의 건강상태와 직결되는 문제가 있어 기존의 무선통신기술 연구와는 다른 서비스 품질을 요구한다. 또한 무선통신기술은 채널자원을 공유하기 때문에 서로 다른 의료기기의 신호들 간에 간섭 및 방해문제와 공존 문제가 존재한다.

이에 본고의 2장에서는 위에서 언급한 의료 환경에 무선통신기술을 적용할 때 고려해야 할 이슈들을 살펴본다. 3장에서는 2장에서 제기한 이슈들에



(그림 1) 의료등급 무선통신망 설계 이슈

대해 연구한 관련논문들을 소개한다. 마지막으로 4 장에서는 본고에서 다룬 내용들을 정리하고 결론을 맺는다.

2. 의료등급 무선통신망 설계 이슈

현재 우리나라에는 의료전용 주파수 대역이 할당되지 않아서 무선통신기술이 적용된 의료기기들은 통상 ISM (Industrial Scientific and Medical) 주파수 대역을 이용하고 있다. ISM 주파수 대역은 비면허 대역으로 본래는 통신용도가 아니라, 국소적으로 전자파를 발생시키는 산업, 과학 및

의료기기를 위해 할당된 주파수대역이었다. 하지만 최근 무선통신기술의 발전 및 무선기기들의 증가로 인해 데이터 전송에 활용되고 있다. 이러한 현 상황에서 의료 환경에서 어떤 이슈들이 존재하는지 살펴해보도록 한다.

의료등급 무선통신망은 환자의 알람신호 같은 의료기기의 다양한 응용상황을 지원하기 위한 것이다. 일반적으로 사용하는 무선통신망과 다르게 의료등급 무선통신망은 환자의 건강상태와 밀접한 관련이 있기 때문에 의료 트래픽의 경우 차별화된 서비스 품질을 보장해 주어야 한다는 것이 가장 큰 차이점이라 할 수 있다. 특히 의료등급 서비스품질은 의료 애플리케이션들마다 요구하는 바가 다르다. 예를 들면 환자의 상태가 나빠졌을 때 의료진에게 알려주는 알람신호는 무엇보다도 시급하고 전달 실패 시 심각한 문제를 야기하기 때문에 최우선적으로 전달되어야 한다. 이에 반해 실시간 생체신호 모니터링은 통상 주기적으로 지속적인 전송이 필요하기 때문에 이에 맞는 서비스품질이 요구된다. 병원에서 사용되는 의료 및 비의료 애플리케이션들이 요구하는 기본적인 서비스 품질은 <표 1>과 같다 [1].

병원 내 환경에서 무선 의료기기 및 의료 애플

<표 1> 의료/비의료 애플리케이션들이 요구하는 기본 서비스 품질

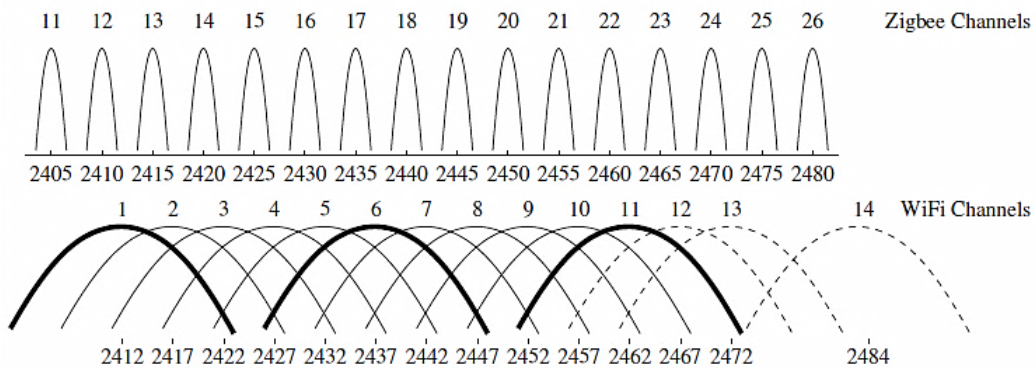
	packets/s	kb/packet	Peak (kb/s)	Average (kb/s)	Events/h or Duty Cycle	Latency (max, ms)
음성	28	3,1	86	86	Stream	50
원격 측정						
진단	5	5,1	25,6	25,6	Stream	200
알람	5	1,0	5,1	0,1	10/h	200
영상 알람	5	2,6	12,8	0,1	20/h	200
바코드 약물 관리	2	0,4	0,8	0,1	30/h	500
게스트 액세스	100	10	1000	30	3%	1000
전자 의료 기록 영상	200	20,5	4100	41	1%	200
수치	4	12,3	49,2	0,1	40/h	200
이메일	200	20,5	4100	41	1%	200
주입펌프						
상태	1	1,0	1	1	Continuous	200
경고	1	1,0	1	0,1	1/h	200

리케이션들은 크게 WLAN (wireless local area network)과 WPAN (wireless personal area network) 장비로 구분할 수 있다. 통상 WLAN은 Wi-Fi (IEEE 802.11), WPAN은 ZigBee (IEEE 802.15.4)를 의미하며 ISM 대역을 공유하기 때문에 근본적인 공존 문제가 존재한다. 두 네트워크가 공존할 때 보통 Wi-Fi의 간섭으로 ZigBee의 성능이 저하되는데 그 원인은 물리계층 및 매체 접근제어계층의 차이에 있다. 주된 차이로는 전송파위의 차이, 전송대역의 차이, 타임슬롯의 차이 등이 있다.

ZigBee는 저전력소모를 목표로 하기에 전송파워 역시 낮으며 실제로 Wi-Fi와의 전송파워 차이는 20 dB에 달한다. 따라서 ZigBee가 전송 중임에도 Wi-Fi가 ZigBee 신호를 감지하지 못하고 자신의 신호를 전송하게 되면 ZigBee 수신단에서는 간섭으로 인해 수신실패가 발생할 수 있다. Wi-Fi는 14개의 채널이 존재하는데 각각 22 MHz를 점유하며 5 MHz씩 떨어져 있다. 반면에 ZigBee는 2.4 GHz 대역에 16개의 채널이 존재하고 각각 2 MHz를 점유하며 5 MHz 간격으로 떨어져 있다. Wi-Fi의 경우 서로 겹치지 않는 세 개의 채널이 존재하고 주변에서 망과 겹치지 않는 채널을 사용한다. (그림 2)와 같이 Wi-Fi채널 하나는 4개의

ZigBee 채널과 겹치게 되어 Wi-Fi망이 밀집된 구조에서는 ZigBee 단말이 Wi-Fi가 사용하지 않는 채널을 찾기가 어렵게 된다^[2,3]. 또한 ZigBee의 매체 접근제어계층의 타임슬롯이 Wi-Fi에 비해 몇 배로 크기 때문에 ZigBee 단말이 CCA (clear channel assessment) 후 안테나를 수신에서 송신으로 전환하는 도중(rx-tx transition time) Wi-Fi가 채널을 선취하여 충돌을 야기할 수 있다.

무선통신기술을 의료기기 및 애플리케이션에 적용하여 사용할 때 고려해야 할 또 다른 사항으로는 전자기 간섭(EMI: electromagnetic interference)이 있다. 이미 IEC (International Electrotechnical Commission) 60601-1-2 표준[4]에서 의료장비에 대한 전자기 간섭 면역에 대해 명시하였다. 하지만 IEEE 802.11 WLAN은 전자기 간섭에 대한 이슈를 고려하지 않았다. 이는 무선 의료기기 및 애플리케이션을 사용하는 환자에게 있어서 잠재적인 위험요소이다. 이상과 같이 의료 애플리케이션의 서비스 품질 보장문제, WLAN과 WPAN의 공존문제와 더불어 전자기 간섭 문제 또한 의료등급 무선통신망을 구축할 때 고려해야 할 중요한 사항이다.



(그림 2) Wi-Fi와 ZigBee 채널 비교

3. 의료등급 무선통신망 관련 연구

이번 장에서는 앞서 언급한 의료등급 무선통신망을 설계할 때 고려해야 할 이슈들인 의료 애플리케이션의 서비스 품질 보장문제, 공존문제, 전자기 간섭 문제들을 다룬 관련 연구들을 살펴본다.

3.1 의료등급 서비스 품질 보장문제

앞서 언급한 바와 같이 의료기기나 애플리케이션은 환자의 건강상태와 밀접한 관련이 있기 때문에 무엇보다도 각각이 요구하는 서비스 품질을 보장해주는 것이 중요하다. 이와 더불어 의료등급 무선통신망에서는 채널이 예측할 수 없이 유동적으로 변화하기 때문에 이러한 채널의 특성은 의료등급 서비스 품질 보장문제를 더욱 어렵게 한다. 기존 통신망의 경우 서비스 품질을 평가하는 척도는 시간 지연, 데이터 처리량, 데이터 전송속도, 데이터 송신 율 등이 일반적으로 사용된다. 의료환경에서도 빠르게 도착해야 하는 알람 신호는 시간 지연, 꾸준한 전송이 필요한 모니터링은 일정한 데이터 전송속도 등이 의료등급 서비스 품질을 평가하는 기본척도로 사용될 수 있다.

하지만 의료 환경에서는 이러한 전형적인 평가 지표 만으로는 의료등급 서비스 품질을 평가하기에 부족하고 의료 애플리케이션의 특성에 따른 특별한 평가지표가 필요하다. 예를 들어 심전도 (electrocardiogram, ECG) 모니터링의 경우, 실시간으로 신호를 보여주기 때문에 작은 시간지연과 일정한 데이터 전송 속도를 요구하지만 이외에도 송신신호와 수신신호 사이에 의학적으로 유의미한 수준의 왜곡이 존재하는지 여부가 매우 중요하다. 심전도 신호가 무선통신망을 통해 전송될 때 송신 단에서 압축되어 보내지고 수신 단에서 복원된다. 이 과정에서 심전도 신호에 왜곡이 일

어날 수 있어 본래 신호에서 왜곡이 일어난 정도를 WDD (weighted diagnostic distortion) 지표로 표현한다 [5]. WDD는 심전도 신호의 특성을 고려한 지표로 기존의 지표와 함께 의료등급 서비스 품질을 판단하는 지표로 활용될 수 있다. 보다 구체적으로는 WDD의 경우 심전도 신호 중 중요한 부분에 가중치를 더 부여하는 방식으로 계산하는 전송성능 평가지표이다^[6]. 이는 비디오 전송시 프레임의 종류에 따라 가중치를 다르게 하여 전송품질을 평가하는 멀티미디어 통신의 경우와 유사하다.

의료 환경에 무선통신망 적용에 대한 많은 연구들이 있었고^[7-13], 이를 바탕으로 최근 의료등급 서비스 품질에 대한 연구들이 진행되었다. 기존의 경우 보통 서비스 품질과 관련된 연구들은 IEEE 802.11 WLAN에서 멀티미디어 통신, 즉 음성과 영상전송과 관련된 연구들이었다^[14-17]. 이 연구들은 CW (contention window)와 TXOP (transmission opportunity) 파라미터 조정을 통해 최적화와 우선순위를 설정하였다. 이를 통해 음성 및 영상 데이터의 서비스품질 향상 방법을 제안하였다.

의료환경을 고려한 연구로는 의료 애플리케이션들 사이에 확실한 우선순위 보장을 위하여 절대 우선순위를 제안한 연구가 있다 [18]. 기존의 IEEE 802.11e 프로토콜은 상대적인 우선순위를 부여하기 때문에 우선순위 역전현상이 일어날 수 있어 의료환경에서는 잠재적인 위험을 안고 있다. 우선순위 역전현상을 방지하고 높은 우선순위를 가진 의료 애플리케이션의 서비스 품질 보장을 위해 AIFS (arbitrary inter-frame spacing)를 아래 식과 같이 조정하였다.

$$AIFS = \begin{cases} AIFS_0, & \text{if } i = 0, \\ AIFS_{i-1} + CW_{i-1}, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

여기서 i 는 우선순위를 의미하는 인자로서 0이 가장 높은 우선순위를 의미한다. 전송할 패킷이 있는 단말은 AIFS 기간 동안 채널 접근을 미루면서 다른 단말들이 사용하지 않으면 backoff 수행 후 전송을 시도하게 된다. 위의 식을 해석하면 우선순위가 낮은 단말은 우선순위가 높은 단말의 AIFS와 backoff 수행시간만큼 자신의 AIFS 값으로 지정하여 항상 높은 우선순위를 가진 단말이 전송에서 우선순위를 가질 수 있게 절대 우선순위가 보장된다.

절대 우선순위 알고리즘이 AIFS 값을 부여된 우선순위마다 다르게 고정시켰다면, 무선통신망의 환경을 관찰하여 AIFS 값을 조절하는 적응 AIFS 알고리즘에 관한 연구가 존재한다^[19]. 의료등급 서비스 품질을 보장하기 위해 데이터 센터를 두어 높은 우선순위를 가진 의료 애플리케이션의 서비스 품질을 판단하는 지표들을 모니터링한다. 정해진 임계값과 현재 측정되는 값을 비교하여 (그림 3)과 같이 낮은 우선순위를 가진 애플리케이션의 AIFS 값을 유동적으로 조절한다. 요약하자면 무선통신망의 상황에 따라 AIFS 값을 조절하여 우선순위가 높은 의료 애플리케이션이 요구하는 서비스 품질을 보장하면서도 우선순위가 낮은 애플리케이션들의 성능

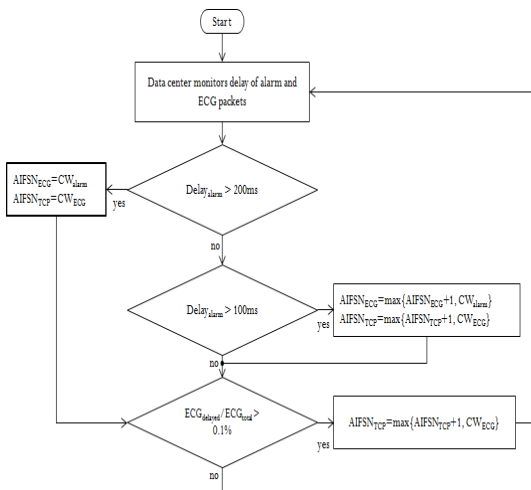
을 향상시켰다.

3.2 WLAN과 WPAN 공존문제

의료환경에서 유비쿼터스한 접근성과 이동성을 제공하기 위해 가장 널리 쓰이는 무선통신망 기술은 Wi-Fi로 대표되는 WLAN과 ZigBee로 대표되는 WPAN이다. 두 기술은 2.4 GHz대역 ISM 주파수영역을 공유하는데 최근 Wi-Fi와 ZigBee 사이의 공존 문제를 다룬 연구들이 다수 존재한다 [20-24]. 연구결과들은 공통적으로 ZigBee의 성능이 Wi-Fi의 영향을 받아 저하되는 것을 보여주었다. 전송파워의 차이로 Wi-Fi 단말이 ZigBee 단말의 전송을 인지하지 못하고 타임슬롯의 차이로 ZigBee 트랜시버가 안테나 모드를 바꾸는 동안 Wi-Fi 신호가 간섭할 수 있으며 전송대역의 차이로 ZigBee가 CCA 동안 Wi-Fi패킷을 부분적으로만 탐지할 수 있는 것 등이 주된 이유다.

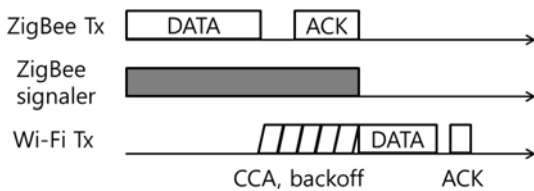
WiCop은 Wi-Fi의 전송 사이에 일시적인 공백을 효과적으로 제어하는 폴리시(policing) 프레임 워크이다^[25]. 이 연구에서는 Fake-PHY-Header와 DSSS Nulling, 두 가지 폴리시 계획을 제안하였다. 우선 Fake-PHY-Header는 WPAN에 폴리시 단말을 부착하였다. 이 폴리시 단말은 WPAN 동작을 제어하고 폴리시 신호를 보내는 WiCop 프레임 워크를 가동한다. 이후, 폴리싱 단말이 Fake-PHY-Header를 전파하며 WPAN의 폴링(polling) 구간이 시작된다. DSSS Nulling은 폴리시 신호를 발생시켜 WPAN 신호를 위한 구간을 만든다. 이 두 가지 방법으로 WiCop은 WPAN의 전달 비율을 40%까지 향상시켰다.

또 다른 연구로는 반송파 신호(carrier signal)를 이용하여 WPAN과 WLAN의 공존문제를 연구한 CCS (cooperative carrier signaling)가 있다^[26]. 여



(그림 3) 적응 AIFS 알고리즘 순서도

기서는 기존 연구와는 다르게 통화 중음(busy tone)을 발생시키는 신호기(signaler) ZigBee 단말을 따로 두었다. 이 신호기의 전송파워는 보통의 ZigBee 단말보다 높아서 Wi-Fi 단말이 인지할 수 있다. CCS에 있어 핵심 과제는 신호기의 통화 중음이 ZigBee 단말의 전송을 방해하지 않는 선에서 동시에 진행되어야 하는 것이다. 이를 위해 temporary channel-hopping 메커니즘을 이용하였는데 이는 데이터 전송과 신호기의 신호를 주파수 영역에서 분리한 것이다. (그림 2)에서 보여준 채널 대역폭의 특성에 따라 신호기에서 발생한 신호는 인접한 ZigBee 채널에서는 감지되지 않지만, 4개의 ZigBee 채널만큼의 대역폭을 가지는 Wi-Fi 단말은 신호기의 신호를 감지하게 된다. 이와 같은 방법으로 (그림 4)와 같이 ZigBee 단말의 전송은 신호기와 Wi-Fi 단말의 간섭 없이 전송될 수 있다.



(그림 4) Cooperative carrier signaling 동작원리.

3.3 전자기 간섭문제

의료환경에서 의료기기 및 의료 애플리케이션이 무선통신을 이용할 경우, 이 무선통신이 다른 장비에 전자기 간섭을 일으킬 수 있다. 만약 전자기파에 민감한 의료장비가 전자기 간섭을 받는다면 작동이 멈추거나 시스템의 재시작, 수신 신호의 왜곡이 일어날 수 있어 잠재적인 위협이 된다^[27].

IEC 60601-1-2 표준에서는 의료장비가 성능의 저하 없이 작동할 수 있는 전자기 방해 수준을 면역

수준이라 정의하였고 면역 수준 이하의 전자기 방해수준을 준수 수준이라 정의하는 등 총 7가지 종류의 전자기 방해 수준을 정의하였다. 하지만 IEEE 802.11 기반의 WLAN은 전자기 간섭 문제를 고려하지 않아 IEC 60601-1-2 표준을 준수하지 않는다. 현재 의료만을 위한 주파수 대역이 할당되어 있지 않아 의료기기 및 의료 애플리케이션들은 ISM 주파수 대역을 다른 기기들과 공유하며 사용한다. 이 때문에 의료등급 무선통신망을 설계할 때 전자기 간섭문제는 간과할 수 없는 중요한 사안이다.

민감한 의료장비들이 전자기 간섭을 받아 성능이 저하되는 것을 피하기 위하여 IEC 60601-1-2 표준을 준수한 전자기 간섭 인지 RTS/CTS (request to send/clear to send) 프로토콜을 제안한 연구가 있다^[28]. 모든 의료기기들이 무선 접근 제어기에 공통된 채널로 연결이 되어있는 상태에서 제어기에서는 접속된 의료기기의 온/오프 상태, 위치, 전자기 간섭 면역 수준 등의 정보를 수집한다. 수집된 정보를 바탕으로 제어기에서는 전자기 간섭을 미치지 않는 범위 내에서 전송파워를 계산한 후 제안한 전자기 간섭 인지 RTS/CTS 프로토콜을 따라 메시지를 주고 받으며 적절한 전송 파워를 해당 기기에 업데이트 해주며 전자기 간섭을 피한다.

전자기 간섭 인지 RTS/CTS 프로토콜을 제안한 연구에서는 비교적 좁은 면적을 대상으로 하여 모든 의료기기가 하나의 무선 접근 제어기와 통신을 하게 되지만 실제 병원과 같이 넓은 공간의 경우 하나의 제어기로 통제를 하기에는 부족하다. 이에 위 연구를 바탕으로 훨씬 더 넓은 면적에서 멀티 채널을 고려한 STDMA (spatial reuse time-division multiple access)망에 초점을 맞추어 발전된 방안이 제안되었다^[29]. 강화된 greedy algorithm을 바탕으로 공동 스케줄링 기법

과 전송과워 제어 알고리즘을 제안하여 의료장비에 유해한 전자기 간섭을 방지하는 한편 채널의 활용도를 높이고 서비스 품질까지 고려하였다.

4. 결론

본고에서는 의료환경에 무선통신기술을 접목할 때 고려해야 할 의료등급 무선통신망 설계 이슈들에 대해 알아보았다. 통상적인 무선 애플리케이션의 서비스품질과 차별화되는 의료환경이 요구하는 서비스품질에 대해 알아보고 관련 연구를 소개하였다. 서로 다른 이종 무선망이 ISM 주파수 대역을 공유하면서 생기는 WLAN과 WPAN의 공존 문제를 알아보고 이와 관련된 연구들 또한 소개하였다. 마지막으로 의료장비의 성능에 영향을 미칠 수 있는 전자기 간섭 문제를 살펴보았다. 의료전용 채널과 통합 네트워크 프로토콜이 없는 현재 앞서 언급한 이슈들을 엄밀히 고려하여 의료등급 무선통신망을 설계한다면 의료환경에 보다 성공적으로 무선통신망을 구축할 수 있으리라 기대하며 본고를 마친다.

참 고 문 헌

[1] S. D. Baker and D. H. Hognudn, "Medical-grade, mission-critical wireless networks", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 27, No. 2, pp. 86-95, 2008.

[2] S. Pollin, M. Ergen, M. Timmers, L. Van Der Perre, F. Catthoor, I. Moerman, and A. Bahai, "Distributed cognitive coexistence of 802.15.4 with 802.11," in Proc. International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks (CrownCom), pp.1-5, 2006.

[3] C. Won, J.-H. Youn, H. Ali, H. Sharif, and J.

Deogun, "Adaptive radio channel allocation for supporting coexistence of 802.15.4 and 802.11b," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Vol. 4, pp. 2522-2526, 2005.

[4] Medical electrical equipment-Part 1-2: General Requirements for Safety-Collateral Standard: Electromagnetic Compatibility-Requirements and Test, National Standard of Canada CAN/CSA-C22.2 No. 60601-1-2:03 (Adopted IEC 60601-1-2:2001), 2003.

[5] Y. Zigel, A. Cohen, and A. Katz, "The weighted diagnostic distortion (WDD) measure for ECG signal compression," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 47, no. 11, pp. 1422-1430, 2000.

[6] K.-J. Park, H. Lee, S. Choi, and K. Kang, "Design of a medical-grade QoS metric for wireless environments," Wiley Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, online published as early view, March 24, 2014.

[7] N. Golmie, D. Cypher, and O. Rebala, "Performance analysis of low rate wireless technologies for medical applications," Computer Communications, vol. 28, no. 10, pp. 1266-1275, June 16, 2005.

[8] K. A. Townsend, J. W. Haslett, T. K. K. Tsang, M. N. El-Gamal, and K. Iniewski, "Recent advances and future trends in low power wireless systems for medical applications," in Proc. 9th International Database Engineering & Application Symposium (IDEAS), July 20-24, 2005.

[9] N. Ansari, "Wireless technology advances and challenges for telemedicine," IEEE Communication Magazine., Apr. 2006.

[10] D. Cypher, N. Chevrollier, N. Montavont, and N. Golmie, "Prevailing over wires in healthcare environments: Benefits and challenges," IEEE Communication Magazine, pp. 56-63, Apr.

- 2006.
- [11] U. Varshney, "Using wireless technologies in healthcare," *International Journal of Mobile Communications*, vol. 4, no. 3, pp. 354-368, 2006.
- [12] K.-J. Park, T. R. Park, C. D. Schmitz, and L. Sha, "Design of robust adaptive frequency hopping for wireless medical telemetry systems," *the Institution of Engineering and Technology (IET) Communications*, vol. 4, no. 2, pp. 178-191, 2010.
- [13] K. Kang, K.-J. Park, J.-J. Song, C.-H. Yoon, and L. Sha, "A medical-grade wireless architecture for remote electrocardiography," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 15, no. 2, pp. 260-267, 2011.
- [14] J. Freitag, N. L. S. da Fonseca, and J. F. de Rezende, "Tuning of 802.11e network parameters," *IEEE Communications Letters*, vol. 10, no. 8, pp. 611-613, 2006.
- [15] X. Chen, H. Zhai, X. Tian, and Y. Fang, "Supporting QoS in IEEE 802.11e wireless LANs," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 8, pp. 2217-2227, 2006.
- [16] L. Romdhani, Q. Ni, and T. Turetli, "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2003)*, vol. 2, pp. 1373-1378, 2003.
- [17] J. Naoum-Sawaya, B. Ghaddar, S. Khawam, H. Safa, H. Artail, and Z. Dawy, "Adaptive approach for QoS support in IEEE 802.11e wireless LAN," in *Proc. IEEE International Conference on Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications (WiMob 2005)*, vol. 2, pp. 167-173, 2005.
- [18] H. Lee, K.-J. Park, Y.-B. Ko, and C.-H. Choi, "Wireless LAN with medical-grade QoS for e-healthcare," *Journal of Communications and Networks*, vol. 13, no. 2, pp. 146-159, 2011.
- [19] S. Son, K.-J. Park, and E.-C. Park, "Design of adaptive IEEE 802.11 WLAN in hospital environments," in *Proc. IEEE 15th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom 2013)*, 2013.
- [20] R. Gummadi, H. Balakrishnan, and S. Seshan, "Metronome: Coordinating spectrum sharing in heterogeneous wireless networks," in *Proc. 1st International Conference on Communication Systems And Networks (COMSNETS)*, pp. 157-166, 2009.
- [21] S. Pollin, I. Tan, B. Hodge, C. Chun, and A. Bahai, "Harmful coexistence between 802.15.4 and 802.11: A measurement-based study," in *Proc. International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks (CrownCom)*, pp. 1-6, 2008.
- [22] J.-H. Hauer, V. Handziski, and A. Wolisz, "Experimental study of the impact of WLAN interference on IEEE 802.15.4 body area networks," in *Proc. 6th European Conference on Wireless Sensor Networks (EWSN)*, pp. 17-32, 2009.
- [23] M. Petrova, L. Wu, P. Mahonen, and J. Riihijarvi, "Interference measurements on performance degradation between collocated IEEE 802.11g/n and IEEE 802.15.4 networks," in *Proc. 6th International Conference on Networking (ICN)*, p. 93, 2007.
- [24] J. Huang, G. Xing, G. Zhou, and R. Zhou, "Beyond co-existence: Exploiting WiFi white space for ZigBee performance assurance," in *Proc. IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, pp. 305-314, 2010.
- [25] Y. Wang, Q. Wang, Z. Zeng, G. Zheng, and R. Zheng, "WiCop: Engineering WiFi temporal

white-spaces for safe operations of wireless body area networks in medical applications," in Proc. IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS), pp. 170-179, 2011.

- [26] X. Zhang and K. G. Shin, "Cooperative carrier signaling: Harmonizing coexisting WPAN and WLAN devices," IEEE Transactions on Networking, vol. 21, no. 2, pp. 426-439, 2013.
- [27] H. Furuhashi, "Electromagnetic interferences of electric medical equipment from hand-held radiocommunication equipment", in Proc. Int. Symp. Electromagn. Compat., pp. 468-471, 1999.
- [28] P. Phunchongharn, D. Niyato, E. Hossain, and S. Camorlinga, "An EMI-aware prioritized wireless access scheme for e-Health applications in hospital environments", IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol. 14, no. 5, pp. 1247-1258, 2010.
- [29] P. Phunchongharn, E. Hossain, and S. Camorlinga, "Electromagnetic interference-aware transmission scheduling and power control for dynamic wireless access in hospital environments", IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol. 15, no. 6, pp. 890-899, 2011.

저 자 약 력



손 성 화

이메일 : ssh@dgist.ac.kr

- 2010년 경북대학교 IT대학 전자공학부 학사
- 2011년~현재 대구경북과학기술원 정보통신융합공학 전공 석박사 통합과정
- 관심분야: 의료등급 무선통신망, 차량간 통신망



박 경 준

이메일 : kjp@dgist.ac.kr

- 1998년 서울대학교 공학사
- 2000년 서울대학교 공학석사
- 2005년 서울대학교 공학박사
- 2005년~2006년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
- 2006년~2010년 일리노이대학교(어바나-샴페인) 박사후연구원
- 2011년~현재 대구경북과학기술원 정보통신융합공학 전공 부교수
- 관심분야: 사이버물리시스템, 의료등급 무선통신망