

WinMacSim: 인체이식 가능한 극저전력의 WBAN MAC 시뮬레이터 개발

김태형⁰¹ 정하중¹ 김영환¹ 홍지만²

¹전자부품연구원, ²송실대학교 컴퓨터공학부

epsilon104@gmail.com, chjung@keti.re.kr, yhkim93@keti.re.kr, jiman@ssu.ac.kr

Development of MAC Simulator based Ultra Low Power for Implantable WBAN

TaeHyoung Kim⁰¹, HaJoong Jeong¹, YoungHwan Kim¹, Jiman Hong²

¹Korea Electronics Technology Institute, ²School of computing, Soongsil University

요 약

최근 진보된 무선 통신 기술과 발전된 의료 기술로 인하여 u-Health의 핵심 기술인 WBAN에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인체에 이식 가능한 WBAN 장치는 전원 공급에 제한이 있으므로 소비전력을 최소화하기 위한 MAC 프로토콜이 필요하다. 본 논문은 WBAN 장치의 다양한 무선 통신 특성을 적용한 시뮬레이터에 관한 것으로 MICS 대역의 채널 특성을 적용하였고, 데이터의 신뢰성과 에너지 효율성을 향상시키기 위해 가변 패킷 및 비트맵 기반의 패킷 블록 전송기법을 적용한 MAC 프로토콜을 사용한다.

1. 서 론

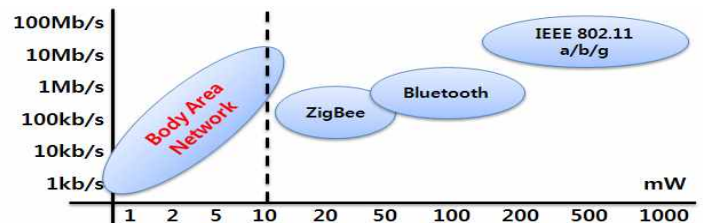
최근 질병과 건강에 대한 관심이 증대되면서 의료 서비스는 과거의 치료 위주에서 예방 및 관리 위주로 변화해 가고 있는 상황이다. 이는 의료 서비스 패러다임의 변화와 디지털 병원의 출현 등을 가져왔고 이로 인해, 기존의 의료 정보 시스템 보다 지능화 된 u-Health 개념이 등장하였다. u-Health는 유무선 네트워킹 기술과 센싱 기술을 이용하여 사람의 생체신호를 측정하고 상태를 지속적으로 모니터링 하는 등 언제 어디서나 건강관리 및 의료서비스를 가능하게 한다.

이러한 u-Health 및 IT-BT 융합기술의 발달로 무선을 이용한 근거리 통신 기술인 WBAN(Wireless Body Area Network) 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. WBAN 기술은 전파의 도달거리를 기준으로 하여 인체의 내부 및 외부 약 3m 이내에 부착되는 장치들을 무선 네트워크로 연결하여 기기 간 상호 통신을 제공하는 근거리 무선 통신 기술로써 하나의 WBAN 코디네이터와 다수의 WBAN 장치들로 구성된다[1].

WBAN 장치는 인체에 삽입 혹은 부착하므로 크기가 작고 전원 공급이 매우 제한되기 때문에 그림 1과 같이 10mW 이하의 낮은 전력 소비를 요구하며, 의료 서비스(ECG, EEG, EMG 등)에서 1Kbps~1Mbps, 비의료 서비스(오디오, 비디오, 엔터테인먼트 등)에서 10Mbps 이하의 데이터 전송 범위를 가진다[2][3].

WBAN 장치는 소비전력을 절약하기 위한 최소 기능만 동작하는 수면(Sleep) 상태와 외부와의 통신 관련 기능이 동작되는 활성(Active) 상태로 운용된다. 이러한 상태 제어는 MAC에서 수행하며 WBAN MAC은 전송속

도, 듀티 사이클(duty cycle), 레이턴시(latency)와 밀접한 관련을 갖는다.



[그림 1] WBAN의 데이터 전송률 및 전력 요구사항

본 논문은 인체이식 가능한 WBAN 장치의 다양한 무선 통신 특성을 적용한 시뮬레이터에 관한 것으로 의료 전용의 402-405MHz MICS(Medical Implant Communication Service) 대역에서의 채널 특성을 적용하였고, 소비전력의 극대화를 위해 별도의 2.45GHz Wakeup 신호를 통해 WBAN장치의 활성(Active)/수면(Sleep) 상태를 제어한다. 또한 고 신뢰성의 MAC를 지원하기 위해 비트맵기반의 블록 전송기법을 통한 MAC 프로토콜을 사용하였다[4].

MAC 프로토콜은 데이터의 신뢰성 및 에너지 효율성을 증대시키기 위해서 가변 패킷 및 패킷을 블록 단위로 나누는 구조를 사용하였다[5]. 크기가 작은 패킷의 경우 잡음에 강하므로 ECG, EEG 등의 의료 데이터는 패킷의 크기를 작게 하여 패킷 에러율을 낮춘다. 또한 패킷을 블록 단위로 나눔으로써 패킷 에러 발생 시 에러가 발생한 블록만 재전송하여 데이터 신뢰성 및 에너지 효율성을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 제 2장에서는 관련 연구를 보이고, 제 3장에서는 WinMacSim 시뮬레이터에서 사용한 MAC 구조 및 시뮬레이터의 설계와 구현 사항을 보인다. 제 4장에서는 WinMacSim 시뮬레이터를 수행하여 나온 결과를 살펴보고, 마지막으로 결론을 맺었다.

2. 관련 연구

WBAN MAC 프로토콜은 IEEE 802.15 WPAN WG에서 정의한 기존의 MAC 프로토콜들과 밀접한 관련이 있으며, 추가로 저전력 통신, QoS 보장, 높은 보안성, 확장성, 신뢰성 있는 전송 등을 요구한다[6][7].

특히 WBAN 장치 중 체내에 이식하는 장치는 재충전이 어렵고, 적어도 몇 년 이상은 동작할 수 있어야 하기 때문에 기존의 WPAN에 비해서 훨씬 낮은 전력 소비량이 요구된다. 전력 소비를 줄이기 위해선 데이터 송수신 시만 WBAN 장치를 활성(Active) 상태로 바꾸고, 그 외엔 수면(Sleep) 상태로 변경하는 방법이 있다. 이 경우 각 장치 내 프레임의 활성/수면 주기(duty cycle)를 결정하거나 데이터 통신과는 다른 영역의 Wakeup용 주파수를 사용하여 활성/수면 상태를 변경할 수 있다[8].

무선 센서 네트워크에서의 MAC 프로토콜은 크게 경쟁(contention) 기반과 TDMA 기반의 MAC 프로토콜, 두 가지 방향으로 전개되고 있다. 경쟁 기반 MAC 프로토콜은 하나의 프레임을 활성 및 수면구간으로 나누며, duty cycle로써 활성구간을 조절하여 에너지 소비를 줄인다. TDMA 기반 MAC 프로토콜은 각 노드마다 전송할 수 있는 타임 슬롯을 정해두고, 해당 슬롯에서만 데이터를 전송할 수 있게 한다. 따라서 경쟁 기반의 MAC 프로토콜에 비해 충돌이 적으며, RTS/CTS 같은 패킷이 필요하지 않으므로 오버헤드가 적다.

데이터 통신용 주파수 외 Wakeup용 주파수를 따로 사용하여 노드의 활성/수면 상태를 변경시키는 방식은 서로 겹치지 않는 Wakeup 채널과 데이터 채널을 유지한 상태에서 Wakeup 채널이 데이터를 전송하고자 하는 노드를 발견하였을 경우 데이터 채널의 전원을 ON 상태로 전환시켜서 데이터 통신을 수행한다. 따라서 노드 간 충돌에 대한 고려가 필요 없으며, 발견 시간이 짧고 전력 소비를 줄일 수 있다.

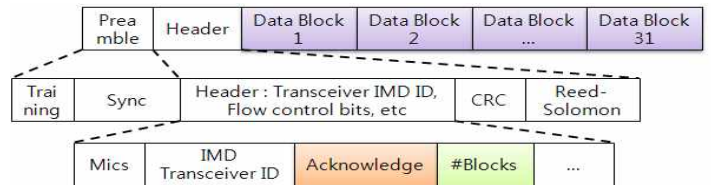
본 논문은 이러한 Wakeup용 주파수를 따로 두어 노드의 활성/수면 상태를 관리하는 제어 블록과 고신뢰성을 위한 재전송 MAC 프로토콜을 사용하며, 추가적으로 가변 패킷과 비트맵 기반의 패킷 블록화를 통해서 에너지 효율성과 데이터 신뢰성을 높였다.

3. 시뮬레이터 설계 및 구현

3.1 시뮬레이터의 MAC 알고리즘

본 논문에서 사용한 MAC 프로토콜은 가변 패킷 및 비트맵 기반의 패킷 블록화 구조를 사용하여 데이터 신뢰성과 에너지 효율성을 보장한다.

패킷은 그림 2와 같이 헤더와 데이터 부분으로 나뉜다. 헤더 부분에는 전송하는 장치의 ID, 블록 비트맵(Acknowledge), 블록의 수(#Blocks) 등이 존재하고, 데이터는 최대 31개의 블록으로 나눌 수 있다. 블록의 개수는 전체 데이터 크기에서 블록 데이터의 크기를 나눌 수이며, 블록 비트맵에는 데이터 블록의 존재 유무에 따라서 1 또는 0으로 체크된다.(패킷 재전송 시에는 재전송을 요구하는 블록을 블록 비트맵에 체크한다.)



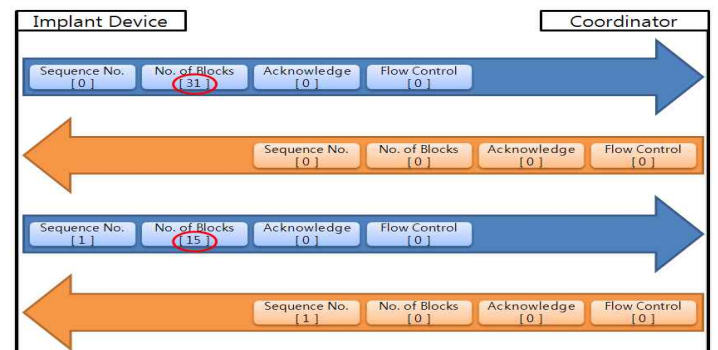
[그림 2] 패킷 구조

패킷의 전송은 패킷의 유실, 패킷 에러 등과 같이 패킷 상태에 따라서 그림 3, 4, 5와 같이 여러 형태의 전송 과정을 보인다. 각 전송 시퀀스는 Implant Device로 부터 Coordinator로 데이터가 포함된 패킷(DATA)이 전달되고 Coordinator가 그에 따른 응답 패킷(ACK)을 전송하는 형태로 진행된다.

각 전송 항목 중 Sequence Number는 패킷 전송 시퀀스를 나타내며 패킷의 전달과 응답이 완료되는 시점에서 Number가 0에서 1 또는 1에서 0으로 바뀐다. Number of Blocks는 전송하는 패킷의 데이터 블록 수를 말하며 Acknowledge는 블록 비트맵, Flow Control을 패킷 흐름 제어 비트를 나타낸다.

■ 일반 전송

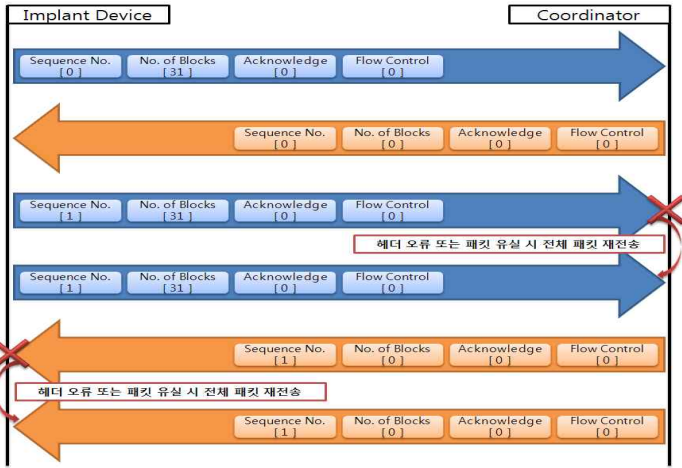
Implant Device에서 Coordinator로 패킷이 에러 없이 전달되면 Coordinator에서는 응답 패킷을 Implant Device로 보낸다. 패킷의 크기는 가변적이며 또한 블록의 크기 역시 변경 가능하므로 전체 블록의 수는 최소 1개에서 최대 31개까지 가능하다.



[그림 3] 일반 전송

■ 전체 패킷 재전송

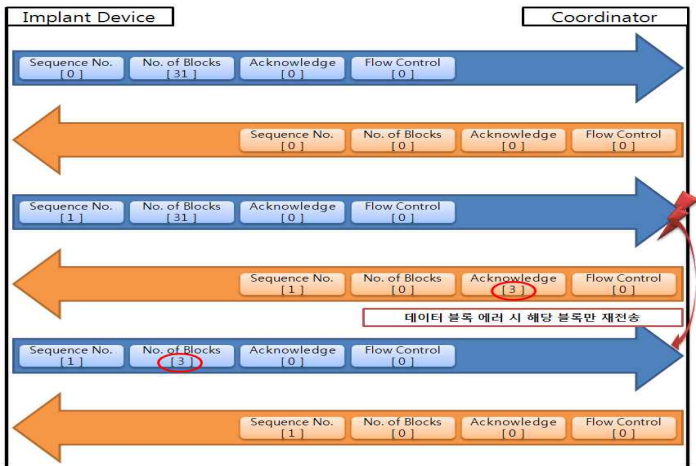
데이터 통신 시 패킷의 헤더에 오류가 발생하거나 또는 패킷이 유실되었을 경우 일정 시간 뒤에 패킷을 다시 재전송 한다.



[그림 4] 전체 패킷 재전송

■ 데이터 블록 재전송

패킷 전송 과정에서 패킷의 헤더가 아닌 데이터 블록 내 에러 비트가 발견되면 Coordinator는 에러 비트가 발생한 데이터 블록을 찾아 ACK 패킷의 블록 비트맵에 표시하여 전송한다. Implant Device는 ACK 패킷을 통해 오류가 발생한 블록만을 Coordinator로 재전송한다.

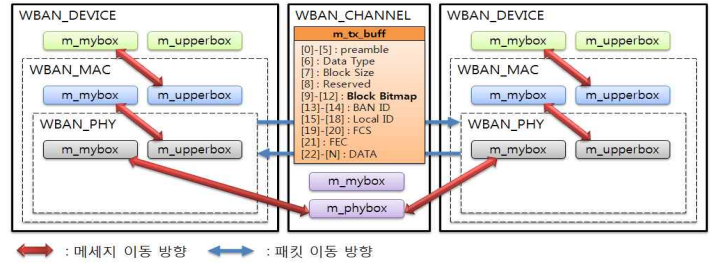


[그림 5] 데이터 블록 재전송

3.2 시뮬레이터 구조

본 논문에서 구현한 WinMacSim 시뮬레이터는 그림 6과 같이 WBAN_DEVICE, WBAN_MAC, WBAN_PHY, WBAN_CHANNEL 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 개별적인 Thread로 구성되어 있어 독립적으로 수행하며 서로 메시지를 이용하여 통신한다.

메세지는 각 모듈의 현재 상태, 수행 결과 등의 대해서 정의하고 있어 메세지 통신을 통해 패킷 전송 처리, 채널 사용 여부 및 패킷 에러 여부 확인 등의 작업을 수행한다. 패킷은 Preamble, 데이터 타입, 데이터 블록 크기, 데이터 블록 비트맵, 장치 ID 등 데이터 통신을 위한 정보들이 담겨 있으며 WBAN_PHY 모듈에 의해서 채널을 통해 송수신 된다.



[그림 6] 시뮬레이터 모듈 구조

■ WBAN_DEVICE 모듈

WBAN_DEVICE 모듈은 WBAN Coordinator와 Implant 장치를 추상화한 개체이며 WBAN_MAC 모듈과 통신하기 위한 메세지 큐 버퍼를 가지고 있다. 데이터의 송/수신 여부에 따라서 Tx 혹은 Rx 모드로 변경되고, 데이터 전송 주기 및 시작 시점을 설정할 수 있다. 또한 WBAN_DEVICE 모듈은 매 주기마다 전송할 데이터가 존재하게 되면 WBAN_MAC 모듈로 메세지와 데이터를 전달한다.

■ WBAN_MAC 모듈

WBAN_MAC 모듈은 장치의 MAC 프로토콜을 추상화한 개체이며 WBAN_DEVICE 모듈 및 WBAN_PHY 모듈과 통신하기 위한 메세지 큐 버퍼를 가지고 있다. WBAN_MAC 모듈은 패킷 송신 및 수신에 따라서 Encode와 Decode 동작을 수행한다.

WBAN_MAC은 패킷 송신 시 WBAN_DEVICE로 부터 넘겨 받은 데이터를 포함하는 패킷을 구성하는데, 데이터 타입(DATA 또는 ACK)에 따라 WBAN_MAC 헤더(데이터 타입, 블록 크기, WBAN_DEVICE ID, 블록 비트맵 등의 정보를 포함)를 달리 구성한다. 또한 패킷 수신 시 에러 비트가 없으면 패킷에서 데이터 부분만을 추출하고 에러 비트가 존재한다면 해당 에러 비트가 존재하는 데이터 블록만 체크하여 재전송을 요구한다.

■ WBAN_PHY 모듈

WBAN_PHY 모듈은 패킷 송수신을 위한 PHY 프로토콜을 추상화한 개체이며 WBAN_MAC 모듈 및 WBAN_CHANNEL 모듈과 통신하기 위한 메세지 큐 버퍼를 가지고 있다. WBAN_PHY 모듈은 WBAN_MAC에서 받은 패킷에 WBAN_PHY 헤더를 덧붙여서 최종 패킷을 완성한 후 채널을 통해 패킷을 전달한다. WBAN_PHY 모듈에서 패킷 수신 시 헤더 파일에 오류 비트가 발생했을 경우 전체 패킷의 재전송을 요구하며, 데이터 블록 일부에 에러 비트가 존재할 경우 WBAN_MAC 모듈에서 해당 블록의 재전송 처리를 할 수 있도록 패킷을 WBAN_MAC 모듈로 전달한다.

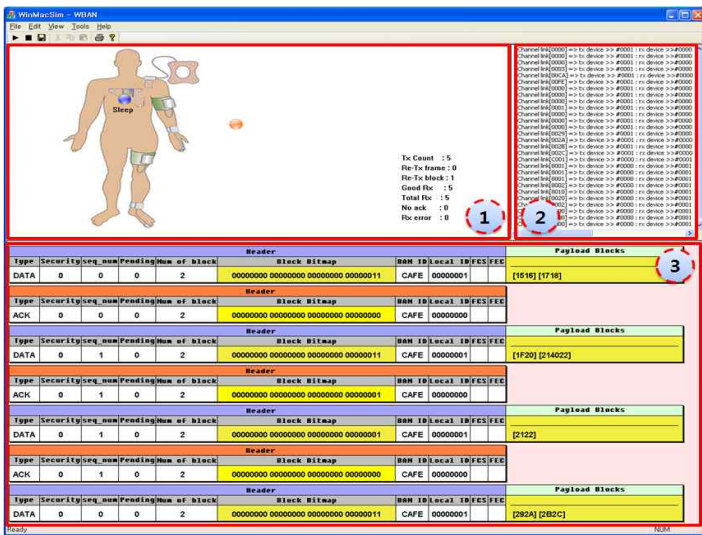
■ WBAN_CHANNEL 모듈

WBAN_CHANNEL 모듈은 패킷이 송수신 되는 통로를 추상화한 개체이며 WBAN_PHY 모듈과 통신하기 위한 메세지 큐 버퍼를 가지고 있다. WBAN_CHANNEL은 IDLE, BUSY, COLLISION 상태로 분류되며 IDLE은 아무런 통신이 없는 상태, BUSY는 패킷이 전송되고 있는 상태, COLLISION은 BUSY 상태에서 추가로 같은 채널에 패킷을 전송할 때 나타난다. 채널을 사용 중이면 해당 채널의 사용이 끝날 때까지 대기한 뒤에 채널이 비어 있으면 패킷을 전송하는 방식을 사용한다.

3.3 시뮬레이터 구현

본 논문에서 구현한 WinMacSim 시뮬레이터는 그림 7과 같이 3개의 서브 윈도우로 구성되어 있다. 첫 번째 윈도우는 데이터 통신 시 패킷의 전송 및 수신 횟수와 오류가 발생했을 경우 전체 패킷을 다시 보냈는지 아니면 오류가 발생한 블록만 재전송했는지에 대한 횟수가 표시된다. 두 번째 윈도우는 채널을 통하여 패킷이 송수신 되는 과정을 출력하고, 세 번째 윈도우는 데이터 통신 시 패킷의 구조를 보여준다.

본 시뮬레이터는 패킷의 크기와 블록의 크기를 지정한 뒤 실행하면 랜덤한 데이터를 가지는 패킷을 생성하여 데이터 통신을 수행한다. 데이터 통신 시 일정한 확률로 에러비트가 생성되어 헤더 또는 데이터 블록에 추가됨으로써 패킷 재전송에 대한 진행 과정을 살펴볼 수 있도록 구성하였다.



[그림 7] WinMacSim 시뮬레이터

4. 시뮬레이션 결과

WinMacSim 시뮬레이터는 각각의 WBAN 장치(Implant Device)와 Coordinator와의 데이터 통신 흐름을 보여준다. 시뮬레이터에서 사용하는 데이터의 크기는 6bytes, 블록의 크기는 2bytes, BER(Bit Error Rate)은 10^{-6} 으로 설정하였고, 데이터의 내용은 0x00부터 0xFF까지 임의로 지정하였다. 시뮬레이션에 따른 패킷 전송 과정은 그림 8과 같다.

이 때 WBAN 장치에서 Coordinator 쪽으로 전송하는 패킷의 타입은 DATA, Coordinator에서 WBAN 장치쪽으로 전송하는 패킷의 타입은 ACK가 된다. 블록의 갯수는 데이터의 크기에 블록의 크기를 나눈 3이 되고, 블록 비트맵은 가장 마지막 3비트가 1로 채워진다.

WBAN 장치에서 전송한 패킷 내 데이터에 에러가 발생할 경우 Coordinator는 에러가 발생한 데이터 블록의 비트맵을 체크하여 ACK를 WBAN 장치로 보낸다. 이 때 WBAN 장치는 아직 버퍼에 남아있는 데이터 블록들 중에서 해당 비트맵에 해당하는 데이터만을 재전송하고,

Coordinator가 제대로 수신하였으면 비트맵을 0으로 초기화 한 뒤 ACK를 보낸다. 또한 패킷의 헤더에 에러가 발생했을 경우엔 전체 패킷을 재전송한다.

Type	Security	seq. num	Pending	Num of block	Block Bitmap	BAN ID	Local ID	FCS	FEC	Payload Blocks
DATA	0	0	0	3	00000111	CAFE	00000001			[1516][1718][191A]
ACK	0	0	0	3	00000000	CAFE	00000000			
DATA	0	1	0	3	00000111	CAFE	00000001			[1B1C][1D1E][1F20432]
ACK	0	1	0	3	00000001	CAFE	00000000			
DATA	0	1	0	3	00000001	CAFE	00000001			[1F20]
ACK	0	1	0	3	00000000	CAFE	00000000			
DATA	0	0	0	3	00000111	CAFE	00000001			[2122][2324][2526]

[그림 8] 데이터 통신 시 패킷 구조

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 Wakeup용 주파수를 사용하는 시스템에 적용된 MAC 프로토콜을 테스트하기 위한 시뮬레이터를 구현하여, 해당 프로토콜을 통한 데이터 통신이 발생했을 경우 발생하는 패킷의 구조와 흐름 그리고 제약조건들을 확인하였다.

시뮬레이터는 패킷의 전송과정에 있어 패킷의 크기 조정이 가능하고, 오류 패킷이 발생한 경우에 오류가 발생한 블록만을 재전송함으로써 데이터의 신뢰성을 높임과 동시에 에너지 효율성을 향상시켰다. 향후 거리에 따른 BER의 조정과 전력 소모량 측정 및 다양한 MAC 프로토콜이 적용 가능하도록 수정하면 다양한 WBAN 환경에서의 시뮬레이션이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] Body Area Network(BAN) Technical Requirements, IEEE 802.15-07-0867-03-0ban.
- [2] S. Drude, "Requirements and application scenarios for body area networks", in Proc. Mobile Wireless Commun. Summit, 16th IST, pp.1-5, Jul 2007
- [3] BAN application matrix, IEEE 802.15-07-0735-00-ban.
- [4] Henry Higgins, "Body Implant Communication- Making It Possible", Antennas and Propagation, EuCAP2007, The Second European Conference on, pp.1-4, 2007
- [5] ZL70101 Design Manual, available from http://www.zarlink.com/zarlink/hs/82_ZL70101.htm
- [6] Open issues on the BAN, IEEE 802.15-07-0534-00-0ban.
- [7] The MAC Protocol Requirements for BAN, IEEE 802.15-08-0053-01-0006.
- [8] V. Jain, R. Biswas and D. P. Agrawal, "Energy-Efficient and Reliable Medium Access in Sensor Networks", World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, WoWMoM 2007, pp.1-8, 2007