

IEEE 802.15.4 기반 WPAN을 위한 신뢰적 채널 스위칭 프로토콜 구현

조동희⁰, 이혁준, 박인, 김정연
광운대학교 컴퓨터 공학과

chodohi⁰@kw.ac.kr, hlee@daisy.kw.ac.kr, {inpark, goodlife}@kw.ac.kr

Implementation of reliable channel switching protocol for WPAN based on IEEE 802.15.4

Donghee Cho⁰, Hyukjoon Lee, In Park, Jungyoen Kim
Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon University

요 약

초소형 저전력 기기간의 무선 통신을 위한 표준인 IEEE 802.15.4는 하나의 PAN 내부에서의 데이터 교환을 위한 메커니즘만을 제공한다. 따라서 다수의 PAN이 인접해 있을 경우 비콘 프레임 및 데이터 프레임의 충돌이 발생할 수 있으며 이러한 문제는 PAN의 이동성이 증가됨에 따라 더욱 심각해진다. 또한 ISM 주파수 대역을 사용하는 다른 무선 통신 장치들과의 충돌이 발생할 수 있다. 그러나 현재 IEEE 802.15.4에서는 이러한 혼잡한 채널을 회피할 수 있는 메커니즘이 없다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해소하기 위하여 PAN을 구성하는 코디네이터와 종단장치들의 채널 변경을 통한 신뢰성 있는 혼잡 채널 회피 기능을 제공하는 채널 스위칭 프로토콜(Channel Switching Protocol, CSP)을 제안하며, 제안한 프로토콜 모듈을 상용 임베디드 장치인 옥타컴의 Nano-24에 구현하여 동작을 검증 하였다.

1. 서 론

IEEE 802.15.4 LR-WPAN(Low-Rate Wireless Personal Area Network)[1]은 저속, 저전력을 지향하는 초소형 기기간의 무선 통신을 위한 MAC/PHY 계층 표준이다. IEEE 802.15.4는 하나의 코디네이터와 다수의 종단장치로 구성된 하나의 PAN으로 동작하며, 모든 단말 장치들이 코디네이터의 비콘 프레임에 동기화되어 duty cycle에 맞춰 RF 모듈의 전원을 켜고 끄는 동작을 수행함으로써 저전력 WPAN 네트워크 구성이 가능하다. 또한 IEEE 802.15.4 PHY는 868~868.6MHz, 902~928MHz, 2.4GHz~2.4835GHz 주파수 대역을 27개의 논리적인 채널로 나누어 정의하였다.

이전에는 IEEE 802.15.4가 고정된 장치 간의 네트워크에 적용되었으나, 최근 IEEE 802.15.4 기술이 모바일 장치에 적용됨에 따라 PAN의 이동성에 대한 고려가 필요하다. 또한 현재 IEEE 802.15.4는 통신 범위 내에서 독립적으로 동작하던 다른 PAN과 적응적으로 동작하기 위한 메커니즘을 제시하고 있지 않다. 따라서 주변에 존재하는 다수의 PAN들에 의해 비콘 및 데이터 프레임 충돌이 발생할 수 있다. 뿐만 아니라 IEEE 802.15.4는 2.4GHz의 ISM(Industrial Scientific Medical) 주파수 대역을 사용하기 때문에 통신 영역 내에 같은 ISM 주파수 대역을 사용하는 IEEE 802.11b, IEEE 802.15.3 기반 무선 장치들이 존재할 경우 상호간섭이 발생하게 된다. 비콘 프레임은 네트워크 유지를 위한 매우 중요한 정보들을 포함하고 있기 때문에 충돌로 인한 비콘 프레임 유실

은 네트워크의 성능의 심각한 저하를 초래한다.

[2]에서는 비콘 전송 가능(beacon-enabled) 상태에서 현재의 채널을 스캐닝(scanning)하여 동일한 채널을 사용하는 인접한 PAN들에 적응하기 위하여 비콘 간격을 조정하는 비콘 스케줄링 기법이 제안되었다. 하지만 이 기법은 두 PAN이 겹칠 되는 것을 전제로 하여 제안되었기 때문에 네트워크를 구성하는 파라미터를 동일하게 조절하여야 한다는 단점이 있다. 또한 비콘 스케줄링만으로는 ISM 주파수 대역에서의 신호 간섭에 대한 해결책이 되지 못한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해소하기 위한 혼잡 채널 회피 기법으로써 채널 스위칭 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜은 RF 모듈로 CC2420 칩을 탑재한 상용 임베디드 장치인 옥타컴의 Nano-24에 구현하여 동작을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 IEEE 802.15.4에서 사용되는 채널에 대해 논의하며, 3 장에서는 혼잡 채널에 대한 기존 연구에 대해 논의한다. 4 장에서는 채널 스위칭 메커니즘을 위한 프로토콜을 정의하고 알고리즘을 논의한다. 5 장에서는 임베디드 장치를 이용한 모의 네트워크 구현을 통해 프로토콜의 동작을 검증하고 성능을 분석하며, 6 장에서는 결론 및 향후 계획을 논의한다.

2. 연구 배경

그림 1과 같이 IEEE 802.15.4 PHY는 총 27개의 채널을 제공한다. 제공된 채널은 유럽에서 사용하는 868~868.6MHz 주파수 대역에서 1개의 채널, 북미지역

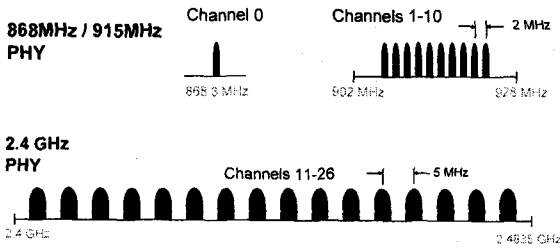


그림 1. 주파수 대역의 채널 할당

에서 사용되는 902~928MHz 주파수 대역에서 10개의 채널, 공용으로 사용하고 있는 2.4GHz~2.4835GHz 주파수 대역에서 16개의 채널로 구성된다. 현재 사용가능한 채널은 비 라이선스인 ISM 주파수 대역에 정의된 16개의 채널이다. PAN은 이 16개의 채널 중 하나를 코디네이터 장치에서 초기값으로 선택하게 되고, PAN이 구성되어 있는 동안 초기에 설정된 채널로 계속 유지된다. 하지만 IEEE 802.15.4의 명세서에는 하나의 PAN이 구성된 상태에서 코디네이터와 종단장치들이 동시에 다른 채널로 변경할 수 있는 메커니즘이 없다.

3. 관련 연구

2.4GHz의 ISM 주파수 대역은 라이선스 획득 절차를 거치지 않고 사용이 가능하기 때문에 다양한 종류의 무선 장치들이 ISM 주파수 대역을 채택하고 있다. ISM 주파수 대역을 사용하는 무선 장치들로는 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식을 사용하는 Bluetooth[3], DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 방식을 사용하는 WiFi[4], UWB[5], ZigBee가 있다. Bluetooth는 FHSS 변조 방식을 사용하기 때문에 Bluetooth 기반 장치로 구성된 피코넷은 독자적인 의사 무작위 주파수 호핑 패턴을 통해 피코넷 간의 간섭을 줄일 수 있다. 반면, WiFi, UWB, ZigBee는 DSSS 변조 방식을 사용하고 있기 때문에 상호간에 간섭이 발생할 수 있다. [6]에서 R.W. Woodings는 DSSS 시스템이 FHSS 변조 방식을 사용하는 시스템과 같은 주파수 가변 기능을 갖도록 하기 위하여 네트워크 모니터링을 통한 접근 방법을 제안하였다. 이 방법은 폴 방식의 프로토콜(pollled protocol)을 사용하는 DSSS 시스템에서, 마스터(master) 노드가 패킷의 전송 실패 횟수 및 수신한 패킷의 오류 횟수를 측정함으로써 채널의 상태를 모니터링하고, 채널의 상태가 악화 되었을 경우 다른 채널로 전환한다.

[7]에서 D.Zrno는 2.4GHz 주파수 대역의 네트워크에서 IEEE 802.11b WLAN 장비의 범위와 성능에 간섭을 주는 두 가지 요소인 인접한 WLAN 채널과 Bluetooth와 같은 인트라 시스템의 간섭 효과를 연구하였다.

4. 채널 스위칭 프로토콜

본 논문에서는 IEEE 802.15.4에서의 신뢰적인 혼잡 채널 회피 기법으로 채널 변경을 수행하는 채널 스위칭

메커니즘을 정의한다. 채널 스위칭 메커니즘은 IEEE 802.15.4에서의 PAN이 코디네이터와 종단장치 간의 동작으로 구성되기 때문에 두 가지의 경우로 나누어 고려해야 한다. 이에 대한 동작 절차를 채널 스위칭 프로토콜(Channel Switching Protocol, CSP)이라 정의한다.

CSP의 동작은 하나의 PAN이 이동함에 따라서 같은 채널을 사용하는 하나 이상의 다른 PAN이 POS(personal operating space) 내에 존재하게 되었을 때 코디네이터로부터 시작된다. 코디네이터는 자신의 종단장치들에게 채널 스위칭 이벤트가 발생했음을 알려주기 위해 이벤트 발생 직후 다음 바콘 프레임의 바콘 페이로드 필드에 채널 스위칭 메시지를 설정하게 된다. 채널 스위칭 이벤트를 전달받은 종단장치는 채널 스위칭 단계(Channel Switching Phase, CS_Phase)로 자신의 상태를 변경한다. CS_Phase는 종단 장치에서 CSP가 동작하는 구간을 의미하며, 신뢰적인 채널 스위칭 프로토콜의 동작을 유지하기 위해 CS_Phase 이전에 수행했던 동작을 중지하게 되고 데이터 프레임이나 MAC command 프레임을 전송하는 동작을 허용하지 않는다. 만약 변경한 채널에 PAN이 존재한다면 비콘 스케줄링 기법을 통해 새로운 PANid와 바콘 간격을 위한 조정자(StartTime)를 반환받은 후 자신의 PAN의 정보를 변경해야 한다. 바콘 프레임을 이용한 이벤트 전송은 다른 프레임의 전송과 무관하게 주기적으로 전송되기 때문에 데이터 프레임이나 MAC command 프레임으로 종단장치에게 이벤트를 전달하는 것보다 지연이 적고 프레임의 손실률이 낮은 장점이 있다. 다음 절에서 채널 스위칭 이벤트 메시지를 나타내는 채널 스위칭 표시 및 메시지의 프레임 포맷, 코디네이터와 종단장치에서 프로토콜의 절차를 정의한다.

4.1. 채널 스위칭 표시와 프레임 포맷 정의

채널 스위칭 표시(Channel Switching Indication, CS_IND)는 CSP에서 코디네이터와 종단장치 간에 프로토콜을 제어하기 위한 메시지를 의미한다. CS_IND는 프로토콜 제어 필드와 데이터 필드로 구성된다. 또한 CS_IND는 크게 두 종류로 나뉘는데 하나는 채널 변경을 위한 채널 스위칭 CS_IND이고 나머지 하나는 PANid와 바콘 간격을 조정하는 업데이트 CS_IND인 경우이다. 따라서 CSP는 전체 동작 중 2번의 CS_IND를 종단장치에게 전송한다. 단, 업데이트 CS_IND는 업데이트할 필요성이 없을 경우 프로토콜 제어 필드의 업데이트 가능(update-enabled) 서브필드를 FALSE로 설정한다.

그림 2는 바콘 프레임의 바콘 페이로드 필드를 사용하는 CS_IND의 프레임 포맷을 보여준다. CS_IND는 1 byte 크기의 프로토콜 제어 필드와 1 byte 또는 6 byte의 프로토콜 데이터 필드로 구성된다. 프로토콜 제어 필드는 CS_IND의 메시지 종류를 결정하는 역할을 하는데 프로토콜 타입 서브필드가 0이라면 채널 스위칭 CS_IND를 나타내고 1이라면 업데이트 CS_IND를 나타낸다. 2번째 bit인 업데이트 가능(update-enabled) 서브필드는 프로토콜 타입 서브필드가 1일 때만 유효하며, 1이라면 새로운 PANid와 바콘 간격을 변경하라는 업데이트를 뜻하

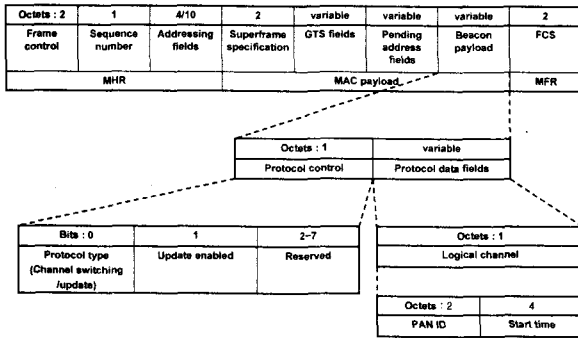


그림 2. 프레임 포맷

고 0이라면 업데이트의 필요성이 없다는 것을 의미한다. CS_IND의 두 번째 필드인 프로토콜 데이터 필드는 프로토콜 타입에 의해 각각 다른 내용을 담고 있다. 채널 스위칭 CS_IND일 경우 새로 변경할 1 byte의 논리적 채널을 서브필드로 갖고 있다. 업데이트 CS_IND일 경우 데이터 제어 필드의 업데이트 가능(update-enabled) 서브필드가 1일 때 프로토콜 데이터 필드가 유효하다. 이 때 새로 변경할 2 byte의 PANid를 가지며 비콘 간격을 조정하기 위한 4 byte의 StartTime를 포함한 2개의 서브필드가 포함된다. CS_IND는 CSP가 동작할 때만 비콘 페이로드에 포함되기 때문에 일반적인 비콘 전송에는 영향을 끼치지 않는다. 또한 주기적으로 전송하는 비콘 프레임은 이용함으로써 신속하고 정확한 동작을 기대할 수 있다.

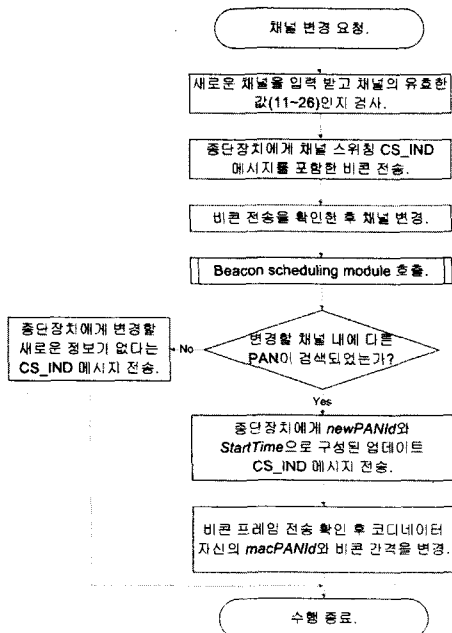


그림 3. 코디네이터에서의 CSP 동작

4.2. 채널 스위칭 프로토콜의 절차

CSP는 코디네이터와 중단장치로 나누어 동작한다. 그림 3은 코디네이터에서의 CSP의 동작 절차를 보여준다. 코디네이터에서의 CSP는 채널 변경의 요청을 받아 시작된다. 코디네이터는 입력받은 논리적인 채널이 유효한지 검사하고 유효하지 않다면 CSP를 종료한다. 이 때 중단장치는 CSP 동작에 관여하지 않는다. 유효한 논리적인 채널값으로 자신의 채널을 변경한 후 새로운 채널에 다른 PAN의 존재하는지 검색을 위해 비콘 스케줄링 기법을 사용한다. 이를 통해 인접 PAN의 존재를 알리고 PAN이 존재한다면 비콘 스케줄링으로부터 검색된 PAN의 정보를 얻어온 후 중단장치들에게 업데이트 CS_IND를 포함한 비콘 프레임을 전송하고 전송이 확인된 이후 코디네이터 자신을 새로운 PANid와 비콘 간격으로 변경한다. 인접 PAN이 존재하지 않을 경우에는 업데이트 CS_IND의 업데이트 가능(update-enabled) 서브필드의 값을 FALSE로 설정함으로써 중단장치가 업데이트 CS_IND를 수신하되 추가적인 업데이트 동작을 수행하지 않게 제어할 수 있다. 업데이트를 수행했다면 이는 다음 active 구간부터 적용된다.

그림 5는 중단장치에서의 CSP의 동작 절차를 보여준다. 중단장치에서의 CSP는 코디네이터로부터 채널 스위칭 CS_IND를 수신했을 때 시작된다. CS_IND의 수신은 CS_Phase의 시작을 의미하고 CS_Phase는 기존의 코디네이터와의 관계를 유지하면서 CSP 동작을 수행한다. 중단장치는 CS_Phase가 시작된 후 새로운 채널로 변경한 후 업데이트 CS_IND를 포함한 비콘 프레임이 수신될 때까지 대기한다. 업데이트 CS_IND가 수신된 이후 업데이트 가능(update-enabled) 서브필드를 확인한 후 FALSE라면 CS_Phase를 종료함으로써 CSP 동작을 마

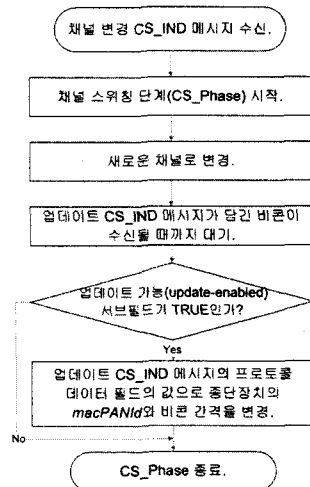


그림 4. 중단장치에서의 CSP 동작

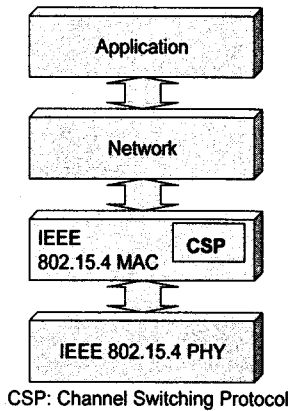


그림 5. 프로토콜 스택

치고, TRUE라면 종단장치 자신의 새로운 PANid와 비콘 간격으로 변경한 후 CSP를 종료한다. 만약 코디네이터의 종단장치 중 라우터가 있다면 이 라우터 역시 종단장치에 대한 동작을 수행한다. 그 후에 라우터 역시 종단장치를 가지고 있으므로 전과는 반대로 코디네이터에서의 동작을 수행한다.

5. 구현 및 동작 검증

5.1. CSP의 구현

그림 5는 채널 스위칭 프로토콜을 포함한 IEEE 802.15.4의 프로토콜 스택을 보여준다. 채널 스위칭 메커니즘의 절차를 정의한 채널 스위칭 프로토콜(Channel Switching Protocol)은 기존의 IEEE 802.15.4의 MAC 계층과 다음 상위 계층(next high layer)사이 독립적인 모듈로 존재함으로써 높은 이식성을 제공하며, 기존의 프로토콜 스택 상에 투명하게(transparent) 동작할 수 있도록 서브 계층의 형태로 구현된다.

본 구현에서는 CSP를 기존의 IEEE 802.15.4와 연동시키기 위해 한국정보통신원(ETRI)에서 개발한 운영체제 Qplusn을 사용하였다. Qplusn은 센서 저전력 네트워크에 적합한 12KB 초소형 커널로 동작되며, 다양한 스케줄러를 사용하여 분산, 실시간, 상황인식의 특징을 가지기 때문에 초소형 저전력을 지향하는 IEEE 802.15.4 네트워크에 적합한 운영체제이다. CSP는 채널을 변경하는 방법으로 CC2420에서 제공한 RF 주파수를 변경하는 msupSetChannel() 함수를 사용하였다. 또한 CSP는 채널 변경과 PANid, 비콘 간격 등을 변경하기 위하여 코디네이터에서 비콘 프레임의 전송을 인지할 필요가 있다. 채널 스위칭 CS_IND를 포함한 비콘 프레임이 전송되기 전에 코디네이터가 자신의 채널을 변경한다면 그 이유는 종단장치가 채널을 변경하기 전에 새로운 채널로 비콘을 전송하기 때문이다. 기존에 Qplusn에 구현된 IEEE 802.15.4 MAC은 이에 대한 방안이 없기 때문에 추가적인 구현이 필요하다. 종단장치는 코디네이터와는 다르게 CS_IND를 수신한 즉시 채널을 변경하고 업데이트를 수

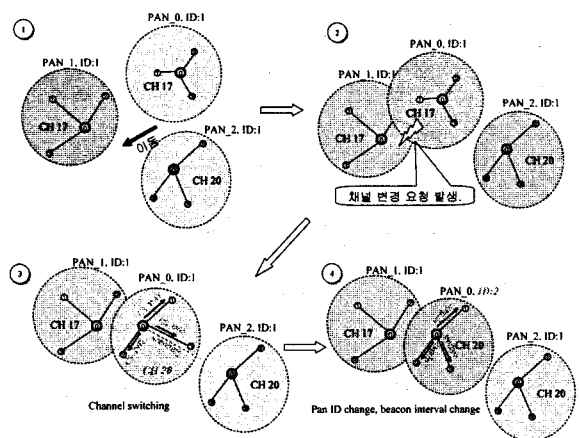


그림 6. 채널 스위칭 프로토콜 동작 검증 시나리오

행해야 한다. 새로 변경된 정보가 다음 active 구간에서 즉시 적용되기 때문이다.

5.2. CSP 동작 검증

동작 검증을 위해 본 논문에서는 상용 임베디드 장치인 옥타컴의 Nano-24를 사용하여 모의 네트워크를 구성하였다. Nano-24는 IEEE 802.15.4 기반의 임베디드 통신 모듈이다. 그림 6은 채널 스위칭 프로토콜을 적용한 네트워크 모의 시나리오이다.

- 서로 같은 채널에서 동작하는 두 개의 피코넷과 새로운 채널에 존재하는 하나의 피코넷으로 구성
- 채널 스위칭 요청을 받은 피코넷의 코디네이터는 CSP를 시작하고 종단장치와 함께 새로운 채널로 변경한 후 비콘 스케줄러 기법을 통해 인접한 피코넷을 발견
- 비콘 스케줄링 기법을 통해 얻은 새로운 PANID와 비콘 간격을 코디네이터와 종단장치에 적용
- CSP 종료 후 모의 네트워크 상의 데이터 전송과정 확인

같은 채널에서의 두 개의 인접한 PAN은 데이터 및 비콘 프레임 충돌을 발생시킬 수 있으며, 네트워크 성능의 저하를 야기할 수 있다. CSP는 채널 변경을 통해 효과적인 혼잡 채널 회피 동작을 보여주었다.

5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반의 인접 PAN 및 ISM 주파수 대역을 사용하는 IEEE 802 장치 간에 충돌을 방지하기 위한 효과적인 대안으로 채널 스위칭 프로토콜을 제안하였다. 채널 스위칭 프로토콜은 하나의 PAN과 종단장치와 함께 채널을 변경하는 절차를 정의하였고 기존의 IEEE 802.15.4의 모듈에 독립적으로 구현함에 따라 높은 이식성을 제공하였다. 제안한 프로토콜

은 상용 임베디드 Nano-24 장치를 사용하여 동작을 검증하였고, 채널 변경 후에도 정상적인 패킷의 송수신을 확인하였다. 차후에는 종단장치가 confirm 메시지를 코디네이터에게 전송하여 채널 또는 PANid 등을 정상적으로 변경했는지 확인하는 방법 등을 통해 CSP를 개선하는 연구를 진행할 계획이다.

6. 참고 자료

- [1] ANSI/IEEE "Std 802.15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications", <http://www.ieee.org>, 2003.
- [2] ZigBee Alliance: "ZigBee Document 053474r06, Version 1.0", <http://www.zigbee.org>, 2005
- [3] IEEE Std. 802.11b, Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, IEEE Std. 802.11b-1999, 1999.
- [4] ANSI/IEEE "Std 802.15.3: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", <http://www.ieee.org>, 2003.
- [5] ANSI/IEEE "Std 802.15.1: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," <http://www.ieee.org>, 2002.
- [6] R.W. Woodings and M.Gerrior, "Avoiding interference in the 2.4-GHz ISM band", Microwave Engineering, Feb.2005
- [7] Zrno Damir, Simunic Dina, "Influence of interference on performance of 802.11b equipment", Proc.28th International Union of Radio Science, General Assembly-2005/Kumar, Vikram(ed.), New Delhi: URSI, 2005