

# 무선 센서 망에서 에너지 효율적 라우팅 프로토콜

김중규\*, 손병락\*\*  
대구대학교 정보통신공학부\*  
대구대학교 정보통신공학과\*\*

## Energy Efficient Routing Protocol in Wireless Sensor Network

Jung-gyu Kim\*, Byung-rak Son\*\*

Department of Information and Communication Engineering, Daegu University\*  
Information and Communication Engineering, Daegu University\*\*

### 요 약

무선 센서 망을 구성하는 각 노드는 크기가 작고 가진 에너지 또한 매우 적기 때문에 오랜 시간 동안 노드가 활동하기 위해서는 에너지 소모를 최소화 하는 것이 관건이다. 무선 센서 망은 애드 혹 망과 매우 유사하지만, 통신, 전력소모 그리고 계산능력 측면에서 제약을 받는다. 각 노드들은 응용 계층에서는 적은 양의 데이터를 생성하고, 느린 속도로 전송되는 특징을 가진다. 각각의 노드들은 소스(source)와 싱크(sink)가 될 수 있는 일반적인 애드 혹 환경과는 달리 하나의 기지국(base station)이 싱크의 역할을 하고 싱크를 제외한 노드들은 소스의 역할을 하게 된다. 또한 무선 센서 망은 설치된 후 지속적으로 주변을 관찰하고 고정된 상태로 있는 것이 대부분이다. 기존 애드 혹 망에서 라우팅 프로토콜은 이러한 무선 센서 망의 특징을 만족할 수 없다. 본 논문에서는 무선 센서 망의 통신 형태의 특징을 고려하여 트리 기반 라우팅 프로토콜을 확장한 에너지 측면에서 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다.

### 1. 서론

최근 들어 다양한 정보 환경의 변화에 따른 무선 통신 기술의 발달로 새로운 통신분야인 무선 센서 망이 등장하고 있다. 이러한 무선 센서 망은 애드 혹 망과 유사하지만 각각의 노드의 크기가 작고 제한된 에너지 자원과 무선 통신 기능을 가진 마이크로 센서들로 구성되어 있으며 다양한 환경에 대한 모니터링 서비스를 제공하고 다방면에서 유용한 정보를 수집하는데 이용되고 있다.

이 무선 센서 망은 제한된 에너지를 가지고 동작한다. 그러나 기존의 애드 혹 망에서 사용되는 노드들은 에너지 잔량이 없을 경우 충전할 수 있지만

센서 망에서는 충전하기는 불가능하다. 따라서 센서 노드는 제공된 에너지를 모두 사용하게 되면 수명이 다하게 된다. 무선 센서 망에서 노드의 에너지 문제는 해결되어야 할 가장 중요한 요인으로 뽑을 수 있다[1][16].

본 논문에서는 무선 센서 망에 사용되는 노드들의 위치 정보를 이용한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 우선 2장에서 에너지 효율적 라우팅 프로토콜에 대한 개요를 살펴보고, 3장에서는 간단한 형태의 트리 기반 라우팅 프로토콜(tree based routing protocol)을 확장하여 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 실험을

통하여 성능을 분석하고 마지막으로 결론을 맺는다.

## 2. 개요

무선 센서 망의 라우팅 프로토콜은 주로 에너지 소모를 줄이는 방향으로 연구되고 있다. 무선 센서 망에서 에너지 소모는 대부분 통신시에 발생된다[6]. 그러므로 통신 양을 줄이고자 하는 연구가 주로 수행되고 있다. 이를 위해 데이터를 통합하여 전송함으로써 통신을 줄이는 방식인 TAG[7]가 제안되었다. 이 방식은 기본적으로 트리 기반 라우팅 프로토콜을 사용하므로 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜과 쉽게 통합된다. 무선 센서 망에 데이터를 수집할 때 모든 노드에게 요청하는 것이 아니라 실제 필요한 노드에게 요청함으로써 불필요한 에너지 소모를 줄이는 방식도 제안되었다[8].

무선 센서 망에서는 통합된 데이터가 필요한 것이 대부분이다. 이러한 특징을 바탕으로 사용자가 요구한 데이터를 시간당 데이터 수를 만족시키도록 노드의 관찰 주기를 설정하여 기지국(base station)으로 전송하는 데이터 양을 줄임으로써 에너지 소모와 데이터 양을 줄이는 연구도 수행되고 있다[9].

무선 센서 망은 주기적으로 대량의 데이터를 전송하기 때문에 기지국에서 충돌(collision)이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 통신 안정성 측면에서 많은 연구가 되어 왔다. 무선 센서 망에서 안정성 있는 재설정을 위해 PSFQ[10]가 제시되었다. 이 메커니즘은 저속으로 패킷을 전송하고, 홉 간(hop by hop) 패킷 손실 복구를 수행하여 통신 안정성을 확보한다. PSFQ는 홉간 패킷 손실 복구를 지원하지 않지만, 라우팅 경로의 종단간(end to end) 통신 안정성을 보장하지 않는다. 센서 노드가 기지국으로의 안정성 있는 데이터 전송을 위해 ESRT[9]가 제안되었다.

### 2.1 데이터 수집

무선 센서 망은 수많은 센서 노드로 구성된다[12]. 이 망은 관찰 데이터를 수집하기 위해 질의어(query language)를 이용하여 처리하는 방식이 주로 사용된다[11]. 센서 노드가 수집하는 데이터의 형태

<표 1> 질의문의 형태와 예제

Query Template	Example Aggregate Query
SELECT {attributes, aggregates}	SELECT AVG(R.concentration)
FROM {Sensordata S}	FROM ChemicalSensor R
WHERE {predicate}	WHERE R.Loc In region
GROUP BY {attributes}	GROUP BY -
HAVING {predicate}	HAVING AVG(R.concentration) > T
DURATION Time interval	DURATION (now.now+3600)
EVERY Time span e	EVERY 10

는 다양하다. 각각의 센서들은 측정된 데이터를 몇 개의 필드(field)를 갖는 레코드(record)로 처리하게 된다. 필드는 그 레코드를 생성한 센서의 번호(id)와 생성된 시간(timestamp)을 포함한다. 이러한 레코드들이 통합되어 분산된 형태의 테이블(table)로 인식한다. 이런 방식으로 데이터를 처리함으로써 센서 망의 데이터들은 결과적으로 분산 데이터베이스 시스템으로 간주될 수 있다.

간단한 형태의 질의어의 형태와 예제를 <표 1>에서 보여준다. 일반적인 데이터 베이스 시스템의 질의어와 유사하지만, 다른 점은 지속적인 새로운 레코드를 읽어 오기 위해 주기와 시간 간격을 명시하는 구문이 추가되었다는 점이다. 관찰주기는 무선 센서 망의 부하 양을 줄일 수 있다.

### 2.2 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜

무선 센서 망은 트리 기반 라우팅 방식을 사용한다. 그림 1과 같이 트리 기반 라우팅 프로토콜을 사용함으로써 멀티 홉(multi-hop) 통신을 지원하고 라우팅 프로토콜이 차지하는 부하를 줄여 센서 노드에 쉽게 적용된다. 센서 망에서 소스에서 싱크까지 통신에 적절하게 적용된다. 애드 혹 라우팅 프로토콜은 데이터를 보낼 때 마다 라우팅 설정 단계가 필요하나 트리 기반 라우팅 프로토콜은 한번의 경로 설정 단계를 통해 모든 소스에서 싱크까지 경로를 설정함으로써 부가적인 단계를 수행할 필요가 없으므로 통신 부하를 줄일 수 있다.

트리 기반 라우팅 프로토콜에서 라우팅 경로를 설정하기 위한 1단계는 싱크가 되는 기지국이 주변 소스 노드에게 경로 설정 메시지를 브로드캐스트(broadcast)하게 된다. 이를 수신한 소스 노드는 자

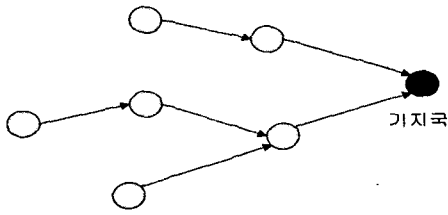


그림 1. 트리 기반 라우팅

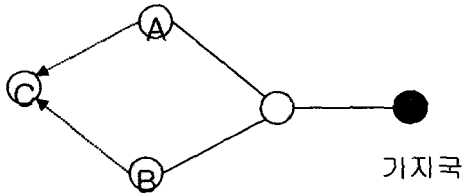


그림 2. 두 개의 부모 노드를 가지는 상황

신의 경로 상의 부모 노드를 기지국으로 설정하게 된다. 경로 설정 메시지를 수신한 노드들은 기지국과의 통신이 한 홉에 이루어 질 수 있는 거리에 있다. 자신의 부모 노드를 기지국으로 설정한 후 자신의 노드번호를 수신한 메시지에 추가하여 주변 노드에게 재전송하게 된다. 이로써 2홉 이상의 거리에 있는 노드도 전체 트리 구조의 라우팅 경로에 참여할 수 있게 된다.

애드 혹 망은 자신이 필요한 데이터를 전송하는 역할 이외에 주변 노드의 연결성(connectivity)을 보장해야 하기 때문에 주변 노드의 통신에 참여하게 된다. 이런 특징은 불필요한 에너지를 낭비하게 된다. 즉, 얼마나 많은 라우팅에 참여하는지에 따라 에너지 소모율과 직결 된다. 이 특징은 센서 망에서도 나타난다. 특정 노드가 통신 집중으로 인해 수명이 짧아지는 경우가 발생한다. 만약 이 노드가 멈추면 그 노드를 라우팅 경로로 사용하던 노드들의 연결성 또한 보장할 수 없게 된다.

이런 문제점을 보완하기 위해 라우팅 경로를 설정하는 단계에서 각 노드의 에너지 상태를 고려해서 경로를 설정하는 방법을 제안한다. 만약, 각 노드의 에너지 상태를 알 수 있다면[13] 라우팅 설정 단계에서 이 정보를 이용하여 통신 부하를 분산시킬 수 있다. 에너지 측면에서 가장 효율적인 경로를 선택

하는 것이 가장 효율적이다. 그림 2는 노드 C가 부모 노드A와 노드B를 가질 때, 경로 설정 메시지를 받고 비교하여 효율적인 경로를 갱신하는 작업을 하게 된다.

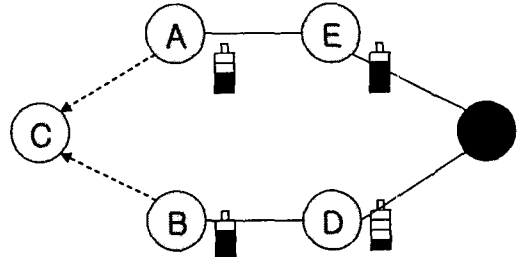


그림 3. Min-max 방법을 이용한 경로 설정

### 3. 제안하는 라우팅 프로토콜

에너지를 고려한 라우팅 프로토콜은 트리 기반 라우팅 프로토콜에서 기지국까지의 모든 가능한 경로 중 가장 에너지 측면에서 효율적인 경로를 선택하는데 필요한 메트릭을 제시한다.

첫째, 기지국까지 데이터를 전달하는데 필요한 총 에너지를 최소로 하는 경로를 설정하는 것이다.

$$e_j = \sum_{i=1}^{k-1} T(n_i, n_{i+1}) \quad (\text{수식 1})$$

하나의 데이터를 수집하여 기지국까지 데이터를 전달하는데 필요한 모든 에너지의 총 합이 가장 작은 경로를 선택하는 것이 유리하다. 수식 1에서  $T(a,b)$ 를 a노드가 b노드에게 데이터를 보낼 때 소모되는 에너지, 소스 노드  $n_i$ 부터  $n_k$ 까지의 경로를 통해 데이터가 전달되는 경우  $e_j$ 가 통신하는데 소모되는 에너지이다. 여기서 각 노드는 데이터를 전송하는데 필요한 에너지와 데이터를 받는데 필요한 에너지가 동일하다면  $T(a,b)=k$ 인 일정한 상수로 볼 수 있고 결국  $e_j$ 는 경로의 총 홉의 수에 비례한다고 볼 수 있다. 결국 두 경로를 비교하여 홉 수가 적은 경로를 선택함으로써 데이터를 전송하는데 필요한 에너지가 최소인 경로를 이용할 수 있다.

둘째, 노드의 현재 에너지 상태를 고려해 에너지가 적은 노드가 에너지가 많은 노드보다 빨리 멈추는 문제를 보완할 수 있는 메트릭이다. 그림 3에서 에너지 상태를 비교하여 라우팅 경로를 설정한다.

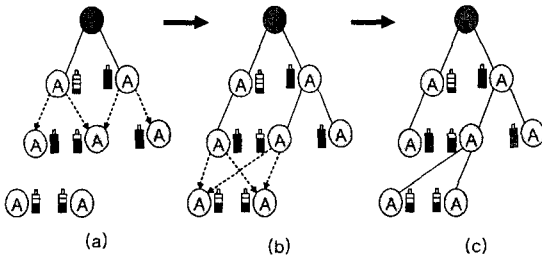


그림 4. Min-max를 이용한 라우팅 경로 설정 과정

셋째, 모든 노드의 에너지를 고려해서 경로를 선택하는 것이다. 기존 애드 혹 망에서 고안된 메트릭인 Min-max 메트릭을 적용한다. 그림 4는 Min-max 메트릭을 사용하여 라우팅 경로를 만들어 가는 과정이다.

본 논문에서는 위에서 제시한 세가지 메트릭을 혼합하여 사용한다. 실험에서는 우선 위에서 제시한 세가지 메트릭 중 첫 번째 메트릭을 사용하여 기지국까지의 홉 수를 최소화하여 단위 데이터를 전송하는데 필요한 에너지를 최소화 시킨다. 이 방식을 사용하면 에너지 측면과 홉 수가 모두 줄어들어 센서 망의 통신량을 줄이고 지연시간(delay)이 줄어드는 이점이 있다. 만약 노드들이 같은 홉 수를 가지면 세 번째 메트릭을 트리 기반 라우팅 프로토콜에 적용함으로써 라우팅 경로의 유지시간을 증가시킬 수 있다.

이 기법을 사용하면 통신 부하를 에너지가 많은 노드에 분산시킬 수 있고, 노드의 에너지 소모율을 극복할 수 있다.

#### 4. 실험

에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 평가하기 위해 시뮬레이션 해 본 후 각 센서 노드들의 동작을 기본적인 트리 기반 라우팅 프로토콜과 비교해 보았다. 기존의 트리 기반 라우팅 프로토콜에는 부모 노드를 선택할 때 3장에서 제시한 첫 번째 메트릭인 최소 홉 메트릭만을 사용하였고, 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜에는 추가적으로 Min-max 메트릭을 사용하였다.

그림 5(a)는 위의 환경에서 실험하였을 때 기본

적인 트리 기반 라우팅 프로토콜의 라우팅 경로 설정 단계에서 생성되는 라우팅 경로 트리이다. 그림 5(b)는 3장에서 제안한 기지국까지의 홉 수를 줄이는 메트릭과 Min-max 메트릭을 통합해서 사용하여 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 구현하였을 때, 라우팅 경로 설정 단계에서 생성되는 라우팅 경로 트리이다.

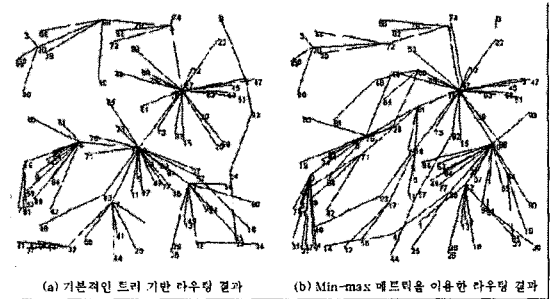


그림 5. 생성되는 라우팅 경로

실험을 통한 무선 센서 망의 에너지 효율성을 평가하기 위한 수치로 서비스 시간(service time)을 사용한다. 실험은 센서 망의 노드 초기 위치와 초기 에너지를 바꾸어가며 10회 반복하였다. 그림 6은 각각의 실험에 대한 노드들의 서비스 시간(service time)의 평균치를 나타낸다.

그림 6의 그래프를 보면, 평균적으로 Min-max 에너지 메트릭을 적용한 라우팅 알고리즘이 최대 26% 향상된 서비스 시간을 제공하고 평균적으로는 15% 정도의 향상된 서비스 시간을 제공하는 것을 알 수 있다. 라우팅 경로를 선택하는데 있어 Min-max 메트릭을 적용함으로써 경로의 유지 시간이 증가하게 되고, 이로 인해 각 노드의 서비스 시간이 늘어나는 경향을 확인할 수 있다.

그림 7은 Min-max 에너지 메트릭을 적용한 라우팅 알고리즘의 경우 에너지 상태에 따라 통신 부하량을 할당해 줌으로써 시간이 지날수록 전체 노드의 에너지 상태가 비슷해 지는 경향을 확인할 수 있다. 그림 8의 그래프는 실제 노드들의 시간에 따른 동작 상황을 자세히 알아보기 위해 관찰주기가 지날 때마다 기지국에 도착하는 데이터의 총 수를 측정하여 나타낸 그래프이다. 그림 10의 그래프를 보면 60번

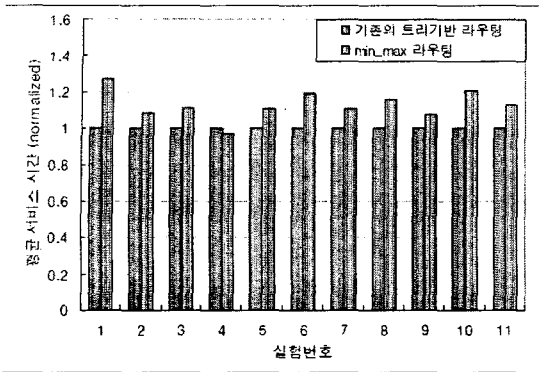


그림 6. 평균 서비스 시간

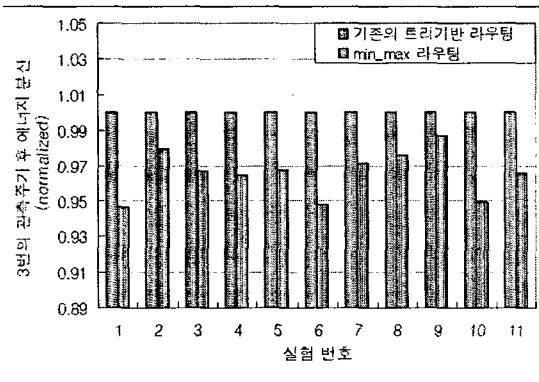


그림 7. 3번의 관측주기 후 노드의 에너지 상태 분산값

제 관찰 주기까지는 두 방식 모두 100개의 관찰 데이터를 기지국에서 받을 수 있음을 알 수 있다. 즉 60번의 관찰 주기가 지날 때까지는 모든 노드들이 정상적으로 데이터를 기지국에 보내오고 있다. 하지만 60번째 관찰 주기를 넘어가면서 기본적인 트리 기반 라우팅의 경우 40개 미만의 데이터만을 받게 된다. 이 말은 통신 부하가 많이 걸리는 중간 노드가 에너지를 모두 소모하고 정지됨으로써 경로가 끊기게 되어 많은 관찰 데이터가 기지국으로 전달되지 못함을 의미한다. 즉, 그림 6의 결과와 일치함을 알 수 있다. 이러한 일련의 실험들을 통해서 에너지를 고려한 라우팅의 경우 Min-max 메트릭을 이용하여 통신 부하량을 에너지 상태가 높은 노드에 분산시켜주므로 기존의 트리 기반 라우팅에 비해 높은 경로 유지 시간을 보이는 것을 알 수 있다.

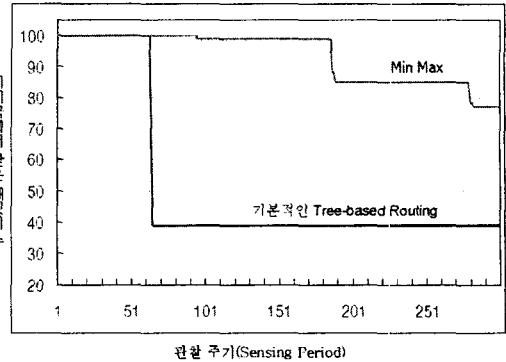


그림 8. 시간에 따른 수집된 데이터량의 변화

## 5. 결론

무선 통신의 발전과 더불어 컴퓨터 기술의 발전은 매우 작은 크기의 센서들로 이루어진 무선 망을 구성하는 것을 가능하게 했고, 이를 이용해 무선 센서 망을 구성하고 이를 여러 분야에 응용하는 것이 가능해졌다. 무선 센서 망은 애드 혹 통신 망의 한 응용으로 관찰하고자 하는 환경에 설치된 작은 센서 노드들이 데이터를 수집하여 사용자에게 전달하는 역할을 한다.

무선 센서 망은 기존의 애드 혹 통신 망의 성격을 가지고 있지만 일반적으로 기존의 애드 혹 망과 비교하여 더욱 제한된 자원을 가지고 있다. 그렇기에 기존에 연구되어 온 애드 혹 망의 라우팅 프로토콜을 그대로 적용시키기에는 어려운 점이 있다. 실제 연구용으로 사용되는 센서 노드의 경우 매우 간단한 형태의 라우팅 프로토콜을 지원할 뿐이다.

실제 무선 센서 망에서 많이 사용되는 트리 기반 라우팅 프로토콜을 기반으로 하여 에너지를 고려한 메트릭을 적용함으로써 에너지 측면에서 효율적으로 동작하는 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜을 이용하면 기존 라우팅 프로토콜에 비해 2배 이상 경로유지시간을 연장시킬 수 있음을 실험을 통하여 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, W. Heinzelman, "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models," *ACM Mobile Computing and Communication Review*, Vol. 6, Num. 2, April 2002
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "애드 홉 On-Demand Distance Vector(AODV) Routing," *RFC 3561*, July 2003.
- [3] W. Heinzelman, "Application -Specific Protocol Architectures for Wireless Networks." Ph. D. thesis, *Massachusetts Institute of Technology*, 2000
- [4] Charles Perkins and Pravin Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing(DSDV) for mobile computers," *ACM SIGCOMM '94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications*, Aug. 1994, pp. 234-244
- [5] D. Johnson, D. Maltz, Y-C. Hu, and J. jetcheva, "The dynamic source routing protocol for mobile 애드 홉 networks," *Internet Draft*, <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-09.txt>
- [6] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi and J. Pottie, "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal communications*, Oct 2000
- [7] S. Madden, M. Franklin and J. Hellerstein, "TAG : a Tiny Aggregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks," *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, Volume 36, Issue S1, pages 131-146, Winter 2002
- [8] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein. "The Design of an Acquisitional Query Processor for Sensor Networks," *In Proc. Of SIGMOD*, pages 491-502, 2003
- [9] Y. Sankarasubramaniam, O. Akan, and I. Akyildiz. "ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks," *In Proc. Of MOBIHOC*, pages 177-188, 2003
- [10] C. Wan, A. Campbell and L. Krishnamurthy. "PSFQ : A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks." *In Proc. Of WSNA*, pages 1-11, 2002
- [11] Y. Yao and J. Gehrke. "Query Processing for Sensor Networks." *In proc. Of CIDR*, 2003
- [12] G. J. Pottie and W. J. Kaiser. "Embedding the Internet : wireless integrated network sensors." *Communications of the ACM*, 43(5):51-51, May 2000
- [13] Smart Battery System Implementers Forum (<http://www.sbs-forum.org>)
- [14] P. Bahl and V. Padmanabhan. "RADAR : An In-Building RF-based User Location and Tracking System," *In Proc. of INFOCOM*, pages 775-784, 2000.
- [15] K. Whitehouse. "RF Characterization over Distance," *In localization . millennium . berkeley . edu / data\_repository.htm*
- [16] Edgar H., Jr. Callaway, Edgar H. Callaway "Wireless Sensor Networks : Architectures and Protocols," AUERBACH, 2003