

이동 센서 네트워크에서 송신출력 제어를 이용한 위치측정

방안

김훈*, 전영준, 신승호

인천대학교 컴퓨터공학과

{kimhoon*, 0961144, shin0354}@incheon.ac.kr

Method of Localized Measurement using Transmit Output Control in Mobile Sensor Network

Hoon Kim*, Young-Jun John, Seung-Ho Shin
Dept. of Computer Engineering, University of Incheon

요약

유비쿼터스 환경의 센서 노드들은 데이터 전달을 위해 무선 통신을 수행한다. 또한 노드들의 위치정보를 활용하면 통신 경로선택에 큰 이점을 가지게 된다. 그래서 이동성을 갖춘 센서 노드 위치를 정확히 측정하기 위해 별도의 GPS, 초음파 센서 등을 부착한다. 그러나 센서 네트워크는 제한된 전력 사용과 낮은 비용 유지가 요구된다. 또한 기존의 애드혹 기반의 위치측정과 전체 망의 생존성을 고려해야 하는 센서 네트워크간의 상황이 적용 모델의 변수로서 작용한다. 본 논문에서는 컴퓨팅 자원이 부족한 센서 네트워크에서 다음의 조건을 만족하는 위치측정 방법을 제안한다. 첫째 빈번하게 이동하는 센서 노드의 이동성을 고려한다. 둘째 위치측정을 위한 별도의 장비를 추가하지 않는다. 셋째 노드의 송신출력 분석에 기반하여 상대적인 위치를 검출한다.

1. 서론

센서 네트워크는 응용 목적을 이루기 위해서 소형화되고 가격은 낮춰지고 있다. 이러한 상황은 장치의 컴퓨팅 자원도 부족하게 만든다. 그래서 저 전력사용이나 효율적인 라우팅 등 자원을 적게 사용하려는 여러 가지 방법이 나오고 있다. 센서 네트워크를 효율적으로 운용하기 위해서 각각의 센서 노드의 위치정보는 통신 경로 결정이나 장치 운용에 매우 중요하다. 그러나 장치의 위치정보를 얻기 위해 추가적으로 초음파 송수신기나 GPS장치 등을 사용하는 것은 비용을 높이는 것으로 센서 네트워크의 현재 흐름에 어긋난다[1].

현재 사용되는 위치정보 시스템의 중요한 관점은 정밀도와 정확도, 측정 규모, 비용 등이 있다. 위치정보시스템의 종류로는 GPS, Active Badges, Active Bats, MotionStar, RADAR 등이 있다[2][3].

하지만 이러한 시스템은 모두 추가적인 장치를 필요로 한다. 본 논문에서 센서네트워크를 다음과 같이 정의한다. 위치 정보를 질의 하는 이동성이 없는 다수의 센서 노드와 이동성을 가지고 수시로 위치를 변경하는 다수의 센서 노드로 나눈다. 여기서 기준 센서노드의 에너지 소모와 관련된 내용과 수신 감도 안테나 이득, 장애물 감쇠 등은 고려하지 않고 센서노드의 송신출력만을 고려하였다. 기준 센서노드는 이동센서노드보다 컴퓨팅 자원이 풍부한 장치로 가정한다. 또한 위치 측정방법으로는 GPS에서 이용되는 삼각측량법을 사용하였다. 삼각측량법을 이용하려면 세 점 이상의 거리가 필요한데 이것을 송신신호강도 제어로 구할 수 있다. 실험에 사용한 Chipcon사의 CC2420은 8단계로 송신신호강도를 제어

할 수 있다. 이동하지 않고 기준이 되는 센서노드는 1 단계의 송신신호강도부터 시작해 8단계의 송신신호 강도로 높여가면서 이동하고 있는 센서노드의 연결을 기다린다. 연결 되면 센서의 송신신호 강도를 점검하여 거리로 환산한다. 즉 초음파센서, 카메라, LAN NIC 등의 추가적인 하드웨어를 사용하지 않고 센서노드의 송신출력 강도로 위치를 구하는 것이 본 연구의 목적이다.

여기서는 위치 추적 및 측정이 유용하게 쓰이는 건물 안을 응용모델로 하였다. 이것은 실외가 아닌 실내에서의 위치를 측정하는 것으로 GPS에서 사용되는 물리적 위치가 아닌 상대적 위치를 측정한다[2].

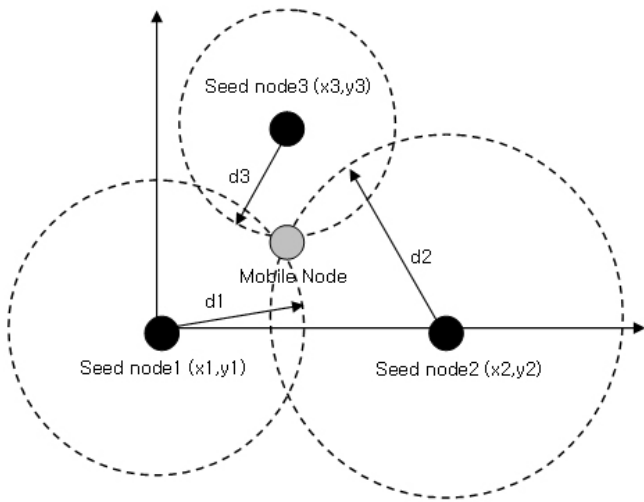
2장 관련연구에서 삼각측량법과 MICAz의 CC2420 RF 모듈에 대해서 간략히 소개하고 3장에서 본 연구에서 제안한 시스템에 대하여 기술하였다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

위치를 측정하기 위한 방법으로 삼각측량법을 사용한다. 또한 삼각측량법을 사용하기 위해 점 대 점 거리를 구해야한다. 이것은 CC2420에서 프로그래머블 송신출력 제어를 사용하여 측정한다. 현재 연구 중인 센서노드의 플랫폼은 MICA2, MICA2DOT, MICAz, Telos, Telosb 등이 있다. 이 플랫폼들에서 RF Transceiver는 대부분 CC2420 및 그 이하 모델을 사용한다. CC2420 RF 모듈은 사용자가 송신출력 제어를 통해 Radio Frequency 출력 범위를 변경할 수 있다. CC2420은 송신출력 제어 단계를 8단계로 변경할 수 있는 모델이다.

2.1 삼각측량법

2차원 평면상에서 이동하는 센서노드의 위치를 측정하기 위해 최소 3개 이상의 기준점이 필요하다 이 기준점은 이동하지 않은 센서 노드이다 검은 점인 Seed Node 가 기준점이 된다. 3개의 기준점 범위 안에 Mobile Node는 이동하고 있는 센서 노드이다 이 Mobile Node를 실내에서 사람이나 동물이 장비할 수 있는 장치라고 가정한다. 세 기준점 범위 안의 한 점의 위치는 각 기준점에서 범위 안의 점까지 거리를 구하면 얻을 수 있다.



<그림 1. 삼각측량>

- d1: Seed node1과 Mobile node사이의 거리
- d2: Seed node2과 Mobile node사이의 거리
- d3: Seed node3과 Mobile node사이의 거리

<그림 1>에서 삼각측량법을 나타내었다. Seed node은 이동성이 없는 고정된 위치의 센서 노드이다 이 Seed node가 송신신호 강도를 조절해 가며 이동하는 노드와 통신을 시도하게 된다. 이것을 기준점으로 가정하고 이동 센서의 위치가 (x,y)라고 하자. 그리고 이동 센서로부터 각 Seed node의 거리를 d₁,d₂,d₃이라 하자. 이 거리를 알면 기준점으로부터 이동 센서의 좌표를 알 수 있다. 다음 식 (1)은 이동노드와 고정노드의 거리를 구한다.

$$\begin{aligned} d_1 &= \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \\ d_2 &= \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} \\ d_3 &= \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 구해진 x,y 좌표는 Seed node1의 상대적인 좌표이다.

2.2 MICAz

MICAz는 TinyOS를 사용하는 센서 노드이다 TinyOS는 이벤트 발생에 의한 상태 천이 방식을 채택한State Machine 기반의 프로그래밍 개념을 사용한 운영체제가

다[4].

MICAz의 CC2420 RF 모듈은 2.4GHz 대역의 주파수를 사용하고 IEEE 802.15.4의 표준을 준수하였다[4]. <표1>[4]은 CC2420의 프로그래머블 송신출력과 소비전력을 나타낸다.

<표1>

TXCTRL register	Output Power [dBm]	Current Consumption[mA]
0xA0FF	0	17.4
0xA0FB	-1	16.5
0xA0F7	-3	15.2
0xA0F3	-5	13.9
0xA0EF	-7	12.5
0xA0EB	-10	11.2
0xA0E7	-15	9.9
0xA0E3	-25	8.5

TXCTRL 레지스터의 값을 변경하면 송신출력을 변경할 수 있다. 직접 레지스터 값을 변경하는 것보다 TinyOS에서 지원하는 기능인 CC2420ControlM의 SetRFPower() 함수를 이용한다

2.3 무선 특성

IEEE802.15.4 표준은 넓은 범위의 송신 출력을 허용하지만 장치는 -3dBm 전송이 가능해야 한다. 또한 수신기는 -85dBm 정도의 입력 신호를 복호할 수 있어야 함이 명시되어있다[5]. 본 논문에서 중요한 것은 자유 공간에서 경로손실에 따른 송신기와 수신기의 거리이다 그러나 경로손실은 주파수 보다는 사용된 안테나 타입에 따라 크게 차이가 난다. 다이폴 안테나를 사용하였을 경우 송신안테나와 수신안테나의 출력 비는 식 (2)[6]와 같다.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \quad (2)$$

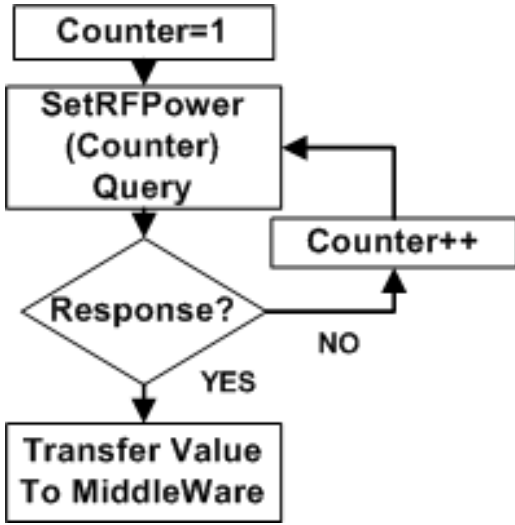
P_R : 수신안테나의 와트출력 P_T : 송신안테나의 와트출력, G_T : 송신안테나의 출력이득, G_R : 수신안테나의 출력이득, c : 광속, f : 주파수, d : 거리

3. 제안 시스템

3.1 기준 센서노드의 동작

각 기준 센서노드로부터 이동센서노드까지의 거리를 구하는 것이 중요하다. 그러기 위해서 각 기준노드와 이동노드간의 질의를 수행한다 이것은 간단한 응답신호로서 이동센서노드가 송신범위 내에 위치하고 있는지를 알아내는 것이다. 기준 센서노드가 수행하는 동작은 송신출력을 한 단계씩 증가시키면서 이동 센서노드에게 질의를 송신하는 것이다 이동 센서노드가 최대 송신출력범위 내에 위치하고 있다고 가정하면 반드시 질의에 응답을 보내게 된다. 질의는 단순히 응답하라는 메시지이다. 그리고 송신출력을 미들웨어에 전송한다 미들웨어는 위치추정을 위한 삼각측량연산을 수행한다 <그림

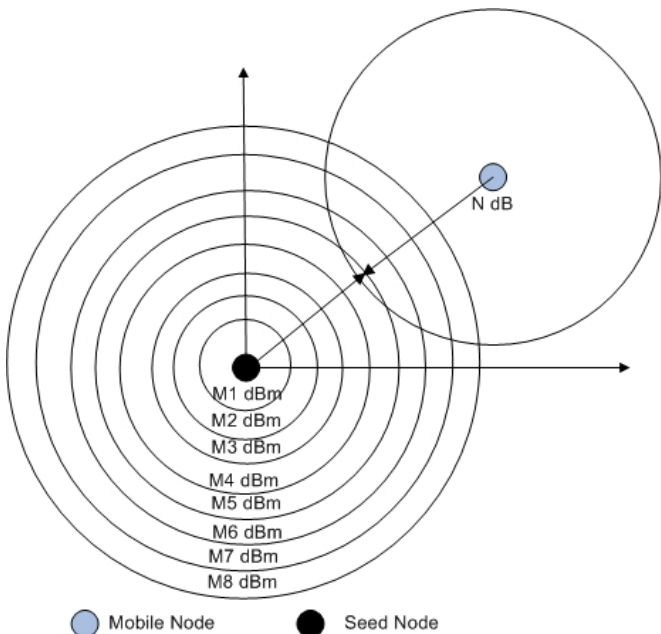
2>는 이동 센서노드의 응답을 기다리는 기준 센서노드의 동작 순서도이다.



<그림2>

Counter : 1-8까지의 값을 가짐,
SetRFPower() : 송신출력을 변경하는 함수

이동 센서노드의 응답이 없을 경우 기준 센서노드의 송신출력을 한 단계 높인다 여기서 타이머의 값은 임의의 작은 값으로 설정한다. 타이머가 만료되었다면 응답이 없는 것으로 간주하고 기준 센서노드의 송신출력을 한 단계 높여 다시 질의하고 응답을 기다린다 이 과정을 RF 모듈이 지원하는 한계까지 반복한다 CC2420은 총 8단계로 되어있다. 이동 센서노드는 수신세기강도를 측정하고 기준 센서노드는 송신세기강도를 측정한다 각 노드의 송수신세기 강도를 거리로 환산 후 더하면 거리가 측정된다. <그림3>은 그 개념을 나타내고 있다 M1 dBm부터 M8 dBm 송신출력 세기와 거리는 정비례한다고 가정하였다.



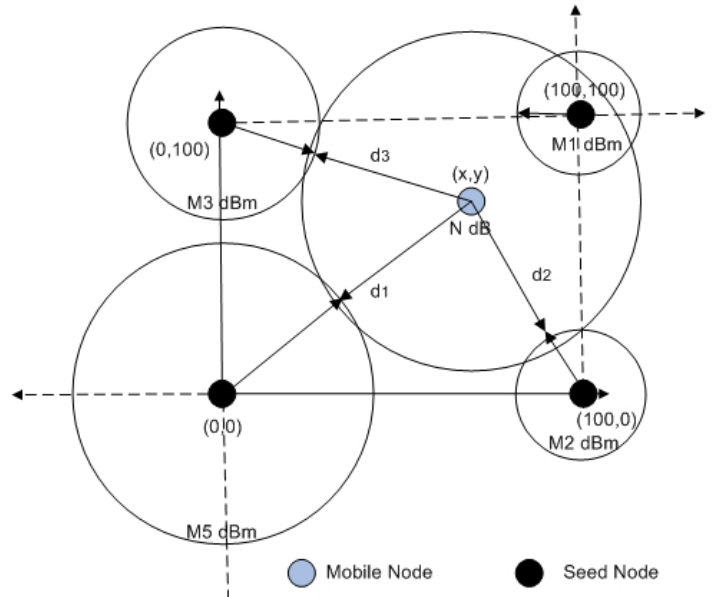
<그림3>

기준 센서노드의 송신출력 세기가 M5 dBm일 때 이동 센서노드와 통신이 가능하다고 가정할 때 각 노드간의 거리는 Friis의 식[7](3)으로 구한다.

$$d = \frac{c}{4\pi f} 10^{\frac{L}{20}} \quad (3)$$

d: 거리, c: 전파속도, f: 주파수, L: 송신신호 손실

예를 들어 <그림3>에서 식 (3)을 이용할 경우 거리 d는 $\frac{3 \times 10^8}{4 \times 3.14 \times 2.4 \times 10^9} 10^{\frac{(M+N)dB}{20}}$ 이 된다. 이 과정을 기준 센서노드 2와3도 수행하여 이동 센서와의 거리를 구한다. 여기서 기준 센서노드의 좌표는 알고 있다고 가정한다. 수신신호 세기(RSSI)는 100dB인 고정된 값으로 가정하였다. 그 이유는 이동 센서노드는 보통 에너지 자원이 풍부하지 못하기 때문이다 그러므로 컴퓨팅자원이 더 풍부한 기준 센서노드가 계속되는 질의 메시지송신을 해야 한다. 이동 센서노드는 각 기준 센서노드의 위치를 물어보는 메시지에 응답만 하면 된다 <그림4>와 같이 센서들을 구성한다



<그림4>

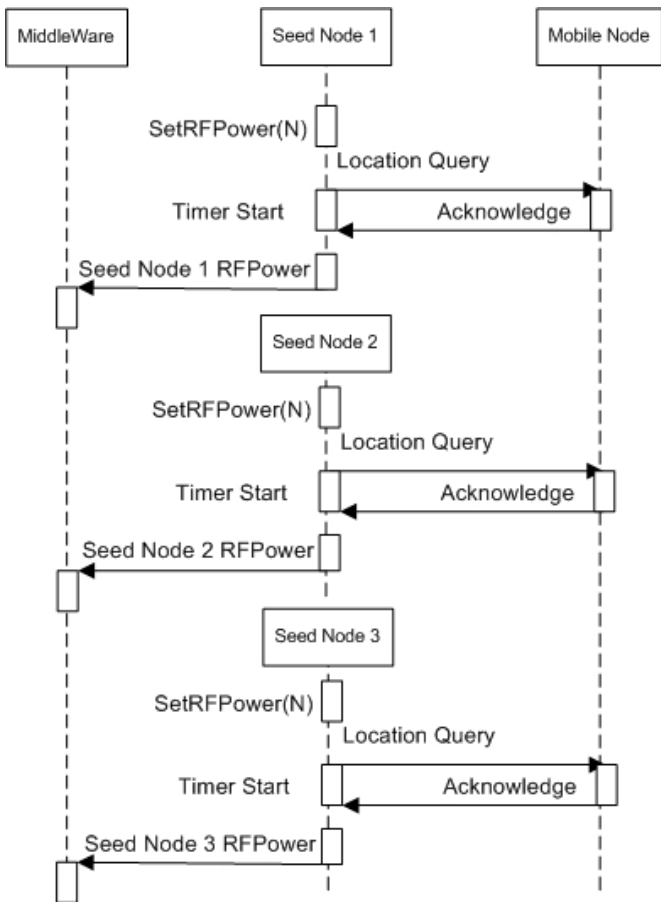
<그림4>처럼 구성된 상태에서 이동 센서노드의 위치를 측정하는 시나리오는 다음과 같다.

1. 먼저 기준 센서노드(0,0)이 이동 센서노드를 찾는다
2. 기준 센서노드(100,0)이 이동 센서노드를 찾는다
3. 기준 센서노드(0,100)이 이동 센서노드를 찾는다
4. 각 기준 센서노드는 최대 송신출력을 유지한다
5. 기준 센서노드(100,0)이 기준 센서노드(0,0)에게 자신이 측정한 송신 출력 값을 전송한다
6. 기준 센서노드(0,100)이 기준 센서노드(0,0)에게 자신이 측정한 송신 출력 값을 전송한다
7. 기준 센서노드(0,0)은 각 기준 센서에서 수신한 위

치 질의 메시지를 싱크노드 또는 미들웨어와 연결되어 있는 노드에 전송한다

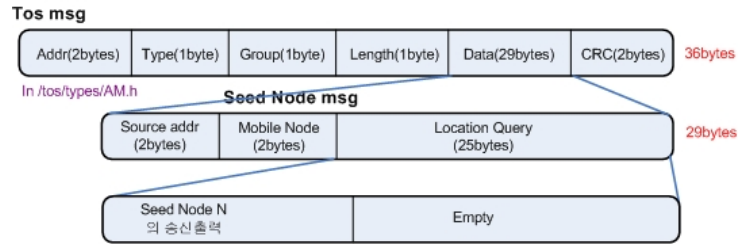
8. 미들웨어는 삼각 측량법을 사용하여 위치를 구한다
 ※ 이동 센서의 응답이 없거나 3개 이상의 기준 센서노드의 응답이 있다고 가정하였고 1개나 2개의 이동 센서노드의 응답은 고려하지 않았다.

<그림5>는 위 시나리오의 시간 흐름도 이다



<그림5>

<그림6>는 앞에서 언급하였던 기준 센서노드의 질의 메시지 구조이다 위치측정을 위한 질의 메시지로서 각 기준 센서노드가 전송한 값의 누적 값을 Location Query 필드에 저장한다. 어떤 기준 센서노드에서 전송한 메시지인지 파악하기 위하여 Source Addr 필드 값을 사용한다. 이동 노드가 여러 개일 경우를 가정하여 Mobile Node 필드도 사용한다. 각 기준 센서노드는 센서의 기능을 수행할 뿐만 아니라 위의 질의 메시지를 생성하여 기준 센서노드(0,0)에 전송한다. 이때 기준 센서노드(0,0)은 위치측정 정보를 수집하는 동작과 상위 노드에게 위치메시지를 송신하는 기능을 수행한다 위치를 측정하라는 명령은 미들웨어에서 한다 그러나 빈번하게 이동 센서노드의 위치를 측정하는 것은 에너지 자원이 부족한 이동 센서노드의 에너지 소모를 유발한다



<그림6>

3.2 구현 및 실험

각 센서노드에는 TinyOS의 코드가 내장 되게 된다 중요한 구현부분은 기준 센서노드의 동작 코드이다 먼저 미들웨어에서 위치측정 명령을 받았다고 가정한다 기준 센서노드는

```

CNT=1;
...
event result_t Timer.fired() {
    call SetRFPower(CNT++);
    call SendMessage.Send(msg);
...

```

과 같은 타이머 코드를 가진다. 타이머가 만료되면 송신출력을 높여 질의 메시지를 송신하게 된다 이동 센서노드가 송신출력 내에 위치하고 있다면 다음과 같은 함수가 호출된다.

```

event TOS_MsgPtr Radio.receive(TOS_MsgPtr Msg)
{
    if(Msg->MobileAddr == 1)
        if(Msg->ACK == true)
            call Timer.stop();
    ...
    call SendMessage.Send(LocMsg);
    ...
}

```

RF 수신기로부터 수신 이벤트가 발생하여 수신한 메시지를 조사한다 먼저 이동 센서노드의 번호를 확인한 후 응답하였다면 타이머를 종료시켜 이동 노드를 찾는 메시지의 송신을 멈춘다. 그리고 기준노드는 위치정보를 가진 메시지를 미들웨어나 상위 노드에 전송한다

4. 결 론

앞에서 보았던 센서 네트워크의 위치를 측정하기 위한 방법이 여러 가지 있지만 그 방법들은 초음파 센서, 카메라, LAN NIC등의 추가적인 비용을 지불해야했다. 이처럼 센서 노드 자체만으로 위치를 측정하는 것은 소프트웨어적인 방법으로 추가적인 하드웨어 비용이 필요 없는 방법으로 위치 측정 방법은 RADAR 방식과 유사하다. 하지만 이 방법은 RF 모듈에서 송신출력을 제어하는 부분이 필요했다. 또한 CC2420 RF모듈은 송신출력강도가 총 8단계이기 때문에 오차가 컸다. 작지만 여러 단계의 송신출력강도를 사용하여야 오차가 줄어든다. 실제로 CC2420보다 상위 모델인 CC2430은 송신출력강도가 총 16단계로 보다 정밀한 위치측정이 가능하다. 이처럼 송신출력을 이용한 상대적 위치측정방법의 정밀도는 RF 송수신 장치에 의존한다. 그렇기 때문에 RF

송수신 장치에 의존하지 않고 상대 위치측정의 정밀도를 높이는 것과 향후 에너지소모를 고려한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Lingxuan Hu, David Evans, "Localization for Mobile Sensor Networks," In Tenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp45-57, 2004
- [2] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," IEEE Computer. Vol 34, No. 8. August 2001.
- [3] Paramvir Hahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system," INFOCOM, March, pp.166-179, 2000
- [4]http://www.chipcon.com/files/CC2420_Data_Sheet_1_4.pdf
- [5] 박승창, 남상엽, "유비쿼터스 센서네트워크 기술" Jinhwan M&B, 2005
- [6] 이원준, 이춘화, "저속 WPAN IEEE802.15.4 센서네트워크" 홍릉과학 출판사, 2005
- [7] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, pp.254-256, 1946