

무선 센서 네트워크에서 효율적인 데이터 전달을 위한 라우팅 기법¹

이남규, 이해영, 조대호

School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University
300 Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 440-746, Korea

Tel: +82-31-290-7221, Fax: +82-31-290-7230, E-mail: lee1915@nate.com, {software,taecho}@ece.skku.ac.kr

성균관대학교 정보통신공학부

경기도 수원시 장안구 천천동 300, 440-746

Tel: +82-31-290-7221, Fax: +82-31-290-7230, E-mail: lee1915@nate.com, {software,taecho}@ece.skku.ac.kr

Abstract

무선 센서 네트워크는 감지, 연산 그리고 무선 통신 능력을 갖는 수많은 작은 센서 노드들로 구성된다. 센서 네트워크에는 전장 감시, 침입자 추적, 그리고 고속 도로 감시 등과 같은 많은 응용분야가 있다. 이러한 분야에서는 사용자의 관심 대상이 되는 지역에서 발생 하는 사건들을 감시하기 위하여, 제한적인 에너지 자원과 연산 능력을 가진 센서 노드들로부터 감지된 데이터를 수집한다. 그러므로 센서 네트워크 응용분야에서의 데이터 수집과 전달, 센서 노드의 효율적인 에너지 소모는 매우 중요하며, 이를 위하여 센서 네트워크를 위한 라우팅, 전력 관리, 그리고 데이터 보급 프로토콜들의 설계에서는 이러한 제약 사항들이 반드시 고려되어야 한다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 효율적인 데이터 전달을 위한 라우팅 방법을 제안한다. 제안된 방법은 센서 노드의 트래픽 량, 잔여 에너지 량, 그리고 베이스 스테이션까지의 최단경로를 고려하여 데이터 전송 경로를 결정하여, 센서 네트워크에서의 에너지 효율적이면서도 안정적인 감지 데이터 전송을 가능하게 한다.

Keywords:

무선 센서 네트워크; 라우팅 프로토콜; 길 찾기; 트래픽 제어

서론

무선 통신과 전자 공학의 진보는 낮은 전력을 가진 소형 노드로 이루어진 센서 네트워크의 개발을 가능하게 한다[1]. 탐지, 계산 그리고 무선 통신 능력들을 가진 소형 노드들은 센서 네트워크를

구성한다. 센서 네트워크에서 센서는 배포된 환경에서 주위 상황을 측정하고 측정된 현상에서 나타난 특징을 처리한 후 신호 형태로 전송한다. 많은 수의 센서가 사용자의 조작을 필요로 하지 않는 응용과 네트워크 형태를 이루는 것이 무선 센서 네트워크(wireless sensor network)이다[1]. 센서 네트워크는 가정 보안, 기계 고장 진단, 의료 모니터링, 서식지, 군사적 응용을 포함한 다양한 응용환경의 신뢰할 수 있는 모니터링이 가능하다[2]. 무선 센서 네트워크의 센서 노드들은 감지를 통한 정보의 수집, 처리 그리고 전송을 수행하며, 중간에 위치한 노드들은 받은 메시지를 재전송하는 라우터(router)로서의 역할을 겸한 구조이며, 그림 1과 같다.

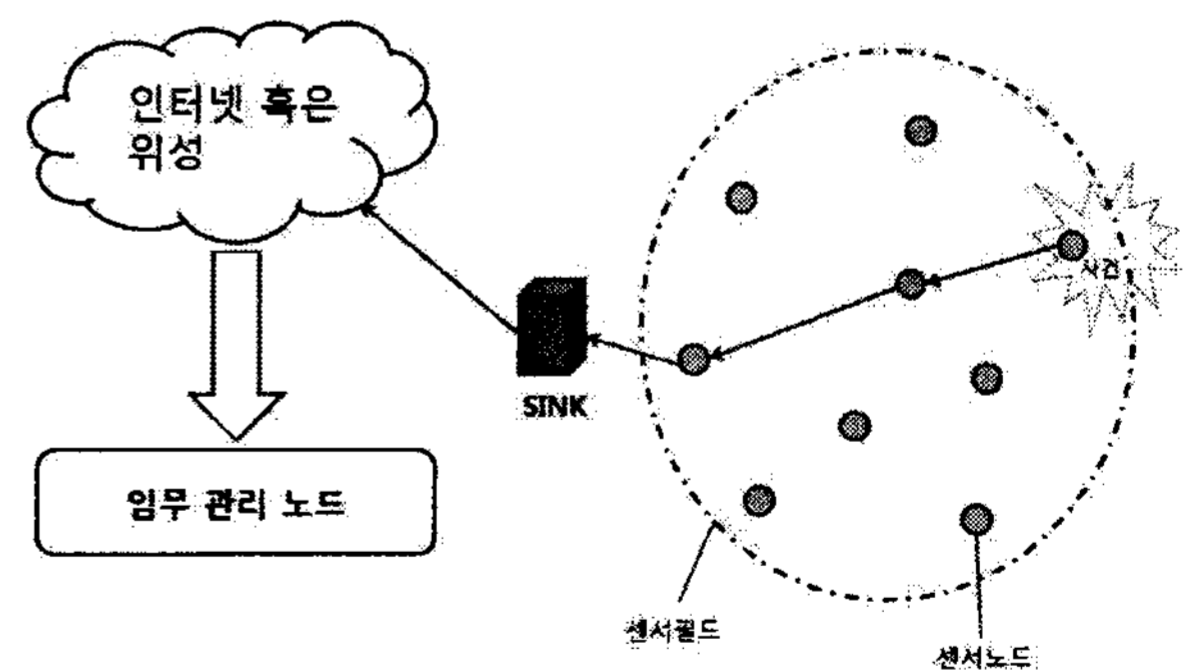


그림 1 무선 센서 네트워크의 구조

일반적으로 센서 노드는 악조건의 환경에 조밀하게 배치되며 노드 크기의 특성상 프로세서, 메모리

¹ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2007-C1090-0701-0028)

등의 성능이 좋지 않고, 충전되거나 교체되지 않는 배터리 전원으로 동작한다고 가정한다. 이런 이유로 무선 센서 네트워크의 에너지 문제, 데이터 트래픽 문제, 경로문제가 뒤따른다. 최근 하드웨어 기술의 발달 덕분에 노드가 더 작아지고, 저렴해지고 있다. 하지만, 여전히 라우팅 관련 문제는 가장 큰 고려사항이다.

무선 센서 네트워크에는 많은 종류의 라우팅 방법이 있다. 네트워크에서 감지된 데이터는 라우팅 방법에 따라서 목적지로 전달된다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 효율적인 데이터 전달을 위한 라우팅 방법을 제안한다. 제안된 방법은 센서 노드의 트래픽 량, 잔여 에너지 량, 그리고 베이스 스테이션까지의 최단경로를 고려하여 데이터 전송 경로를 결정하여, 센서 네트워크에서의 에너지 효율적이면서도 안정적인 감지 데이터 전송을 가능하게 한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서네트워크의 라우팅 방법과 그 중에서 디렉티드 디퓨전(directed diffusion)에 대해 소개하고 기본적인 동작 과정을 설명한다. 3장에서는 디렉티드 디퓨전을 이용한 데이터의 전달 신뢰성을 효율적으로 향상시키는 기법을 제안하고, 4장에서는 결론을 논의하도록 한다.

라우팅 프로토콜

라우팅 방법 개요

일반적으로 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 3가지로 분류될 수 있다. 플랫(float) 기반의 라우팅에서는 모든 노드의 역할이 동일하다. 반면에 클러스터(cluster) 기반의 라우팅은 노드의 역할이 다르다. 직접 통신(direct communication) 기반의 라우팅은 모든 노드가 기지 노드(base station; 이하 BS)로 직접 데이터를 전송한다. 이 프로토콜에서, 네트워크의 직경이 매우 길면, 센서노드의 에너지는 매우 빠르게 소모된다. 플랫 기반의 라우팅에서, 센서 노드가 BS로 데이터를 전송할 때, BS까지의 경로는 다수 홉의 조합으로 구성된다. 클러스터 기반의 라우팅은 BS로 데이터 전송을 위해 데이터 수집과 전송을 혼합 수행하여 클러스터 내의 에너지 소모를 줄이는 효과적인 방법이다.

디렉티드 디퓨전(Directed Diffusion)

본 논문에서 제안하는 효율적인 데이터 전달 기법은 디렉티드 디퓨전을 기반으로 한 트래픽 감소를 위한 기법이 되겠다. Flat 기반의 라우팅인 디렉티드 디퓨전은 세가지 단계를 거쳐 센싱된 데이터를 전송하게 된다[3-5]. 먼저 싱크 노드가 망 전체의 센싱 노드들에게 질의에 해당하는 인터레스트(interest)를 플러딩(flooding) 혹은 특정

노드에게 전달하게 된다. 둘째 단계는 인터레스트를 전달하는 중간 노드들이 인터레스트를 전송한 직전 노드의 정보를 자신의 라우팅 정보인 그라디언트(gradient)로 저장하는 단계이다. 이 그라디언트는 추후에 센싱 데이터를 전송할 때 정보 수집 노드를 향하여 올바르게 전송할 수 있도록 하는 라우팅 정보 역할을 한다. 이러한 과정을 거쳐 인터레스트가 센싱 노드에게까지 전달 되고 센싱 노드로부터 정보 수집 노드까지 다중의 경로가 생성된다. 셋째 단계는 센서 노드가 센싱한 데이터를 다중의 경로로 전송하게 되면 데이터를 받은 싱크 노드는 불필요한 데이터 전송을 방지하기 위하여 특정한 경사를 강화(reinforcement)한다. 이 단계를 거치고 나면 생성된 다중의 경로 중에서 트래픽이 가장 적은 최적 경로만이 데이터를 전송하게 되고, 나머지 경로는 사용하지 않게 된다. 그림 2는 디렉티드 디퓨전의 동작 방법을 자세히 보여주고 있다.

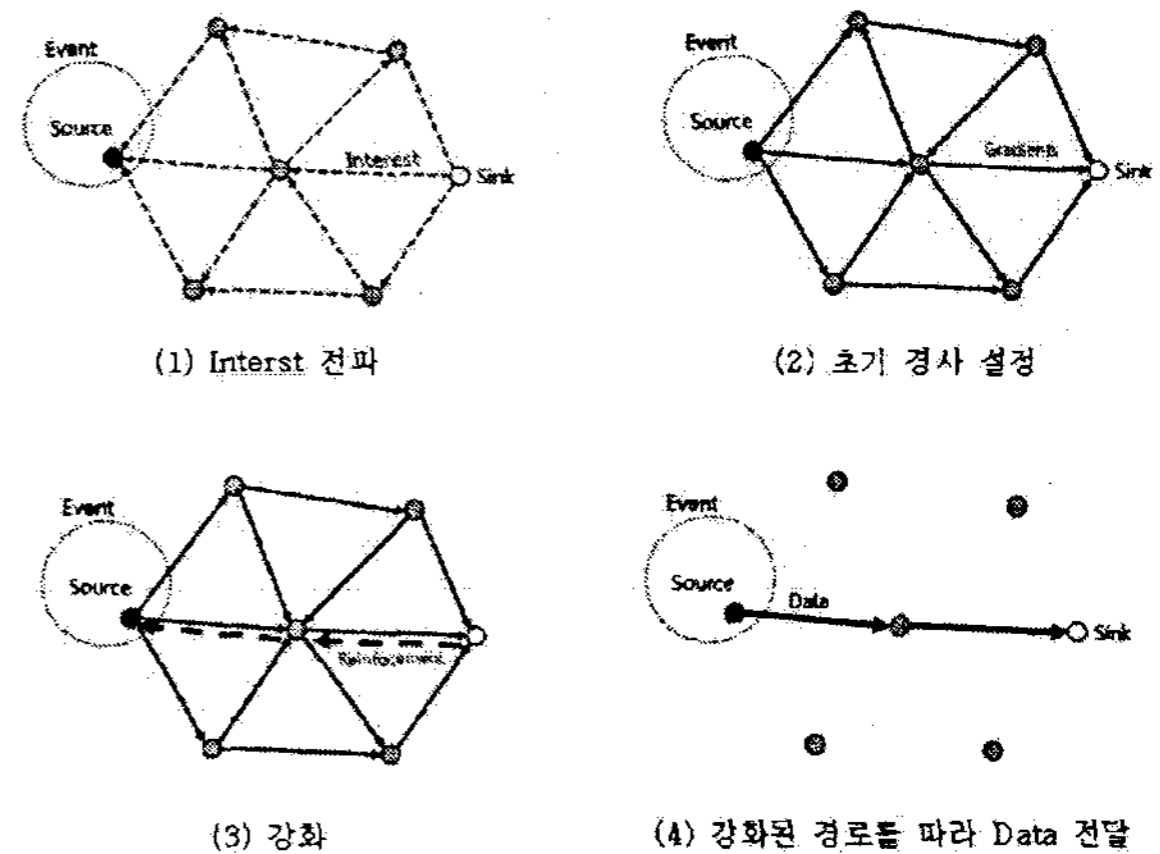


그림 2 디렉티드 디퓨전의 동작

라우팅 경로 선택 방법

경로의 선택

본 장에서는 디렉티드 디퓨전을 이용한 효율성 있는 데이터 전달 기법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 BS 방향으로 데이터를 전송할 때 최소한의 트래픽 경로를 강화함으로써 데이터를 효율적으로 전달하는 알고리즘이다. 그림 3을 예를 들어 설명하면, 그림 3은 센서 노드의 트래픽을 고려한 라우팅 경로의 설정을 보여준다. 센서 노드 N_1 부터 BS까지의 데이터 전송 경로는 $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_3 \rightarrow N_4 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6 \rightarrow N_7 \rightarrow BS$ 이다. 그러나 센서 노드 N_4 와 N_6 이 수용할 수 있는 데이터 처리 공간이 부족하다. 그러므로 N_4 와 N_6 으로 보내진 데이터는 모두 버려지게 된다.

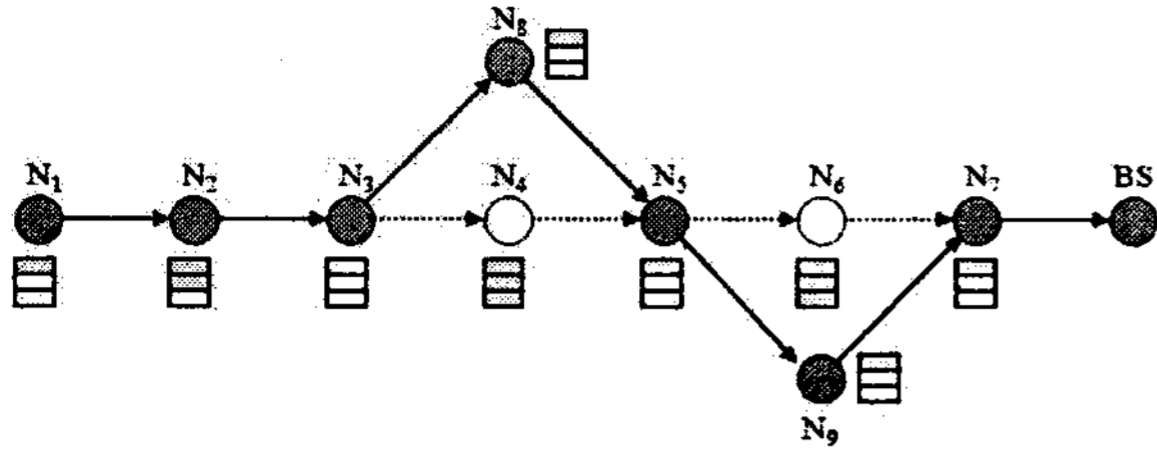


그림 3 센서 노드의 트래픽을 고려한 라우팅 설정

이러한 이유로 데이터의 신뢰도 향상을 위해서는 노드 N_8 와 N_9 를 선택 $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_3 \rightarrow N_8 \rightarrow N_5 \rightarrow N_9 \rightarrow N_7 \rightarrow BS$ 이라는 새로운 경로를 강화하여 데이터 전송을 할 수 있다.

그리고, BS 방향으로 데이터 전송시 강화된 경로상의 잔류 에너지량도 고려되어야 한다. 각 센서 노드의 이용 횟수에 따라 잔류 에너지량은 노드마다 다를 수 있다. 이러한 경우, 경로상의 잔류 에너지가 없는 노드는 네트워크 분리나 센싱 홀의 원인이 되어 데이터 전송 및 센싱의 기능을 상실하게 된다[6]. 이런 문제점을 해결하기 위하여 제안하는 알고리즘은 경로상의 잔류 에너지가 최대가 되는 경로를 강화 해 데이터를 전달하는 방법이다. 그림 4를 예로 들어 설명하면, 그림 4는 센서 노드의 잔류 에너지량을 고려한 라우팅 경로의 설정을 보여준다. 센서 노드 N_1 부터 BS까지의 데이터 전송 경로는 $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_3 \rightarrow N_4 \rightarrow N_5 \rightarrow N_6 \rightarrow N_7 \rightarrow BS$ 이다. 그러나 센서 노드 N_4 와 N_6 의 잔류 에너지가 존재하지 않으므로, 네트워크 분리가 생기게 되므로 데이터를 전송할 수 없게 된다. 데이터 신뢰도 및 네트워크 존속 시간의 향상을 위해서 노드 N_8 와 N_9 를 선택 $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_3 \rightarrow N_8 \rightarrow N_5 \rightarrow N_9 \rightarrow N_7 \rightarrow BS$ 로 경로를 강화하여 데이터 전송을 할 수 있다.

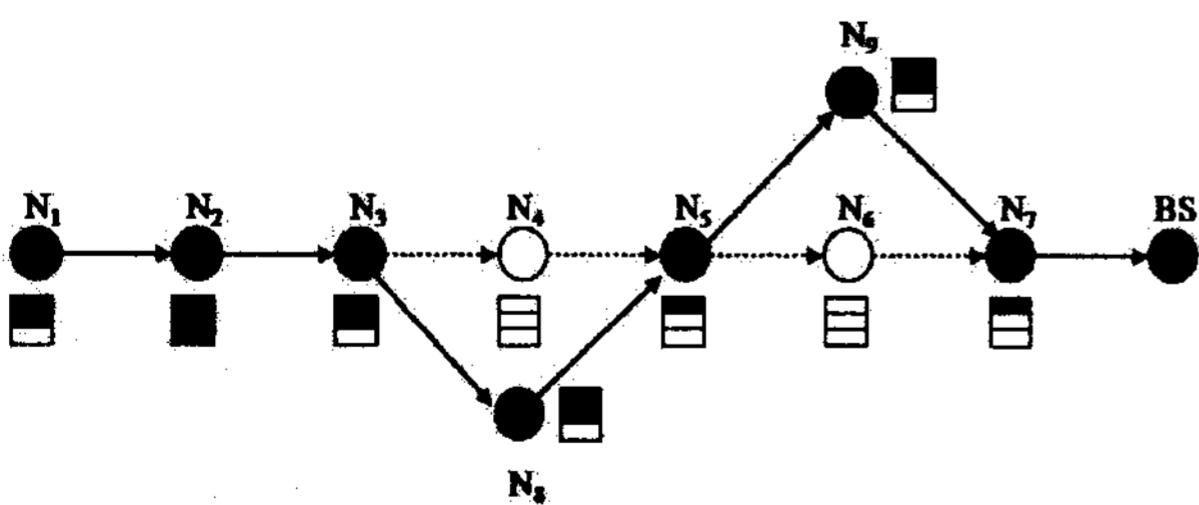


그림 4 노드의 잔류 에너지량을 고려한 라우팅 설정
구체적인 방법

본 장에서는 위 장에서 제안한 알고리즘을 좀 더 구체적이고 개선된 방법으로 제안한다. 위 장에서

제안한 개별적 알고리즘들만을 고려할 경우 데이터의 딜레이 측면과 네트워크 존속 시간 및 트래픽 측면의 성능 향상을 모두 충족시키기 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최단 경로와 최소 트래픽 그리고 최대 잔류 에너지량이라는 세가지 요소를 분배해 효율적인 데이터 전달을 실현하려 한다.

먼저 트래픽의 경우 센서노드에서 BS까지 경로의 트래픽의 총 합

$$T(p) = \min\left(\sum_1^p (T_k, BS)\right),$$

이라는 식을 세울 수 있다. 여기서 T_k = 센서노드에서의 데이터 처리 테이블의 양, p = 경로의 수이다.

또한 잔류 에너지 량을 고려하여,

$$E(p) = \max\left(\sum_1^p (E_k, BS)\right),$$

와 같은 식을 얻을 수 있다. E_k = 센서노드에서의 잔류 에너지 량이며, p 는 경로의 수를 의미한다.

그리고 최단경로에 대한 식은

$$D(p) = \min(n(p)), \quad (n(p) = \text{경로까지의 홑 수})$$

이다.

단, 위 식들에서 각 센서 노드의 데이터 처리 테이블이 가득 차 데이터가 드롭되거나, 노드의 잔류 에너지가 0이어서 센싱홀이 생기는 경우를 제외 한다고 가정한다.

그러면 최적의 데이터 전달의 신뢰성과 데이터의 전달 속도를 고려하는 식을 다음과 같이 제안할 수 있다.

$$Q(p) = \alpha \frac{1}{T(p)} + \beta \frac{1}{E(p)} + \gamma \frac{1}{D(p)},$$

단, 위 식에서 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 이다.

위 식에서 α, β, γ 의 값에 따라 데이터의 전달 속도, 신뢰성, 센서 네트워크의 존속시간 등을 상황에 맞게 조절 할 수 있다. 예를 들어, 그림 5의 네트워크 상황에서 노드 N_0 가 상황에 맞는 데이터를

전달하기 위해 선택 할 수 있는 노드를 결정하는 것을 보여주고 있다.

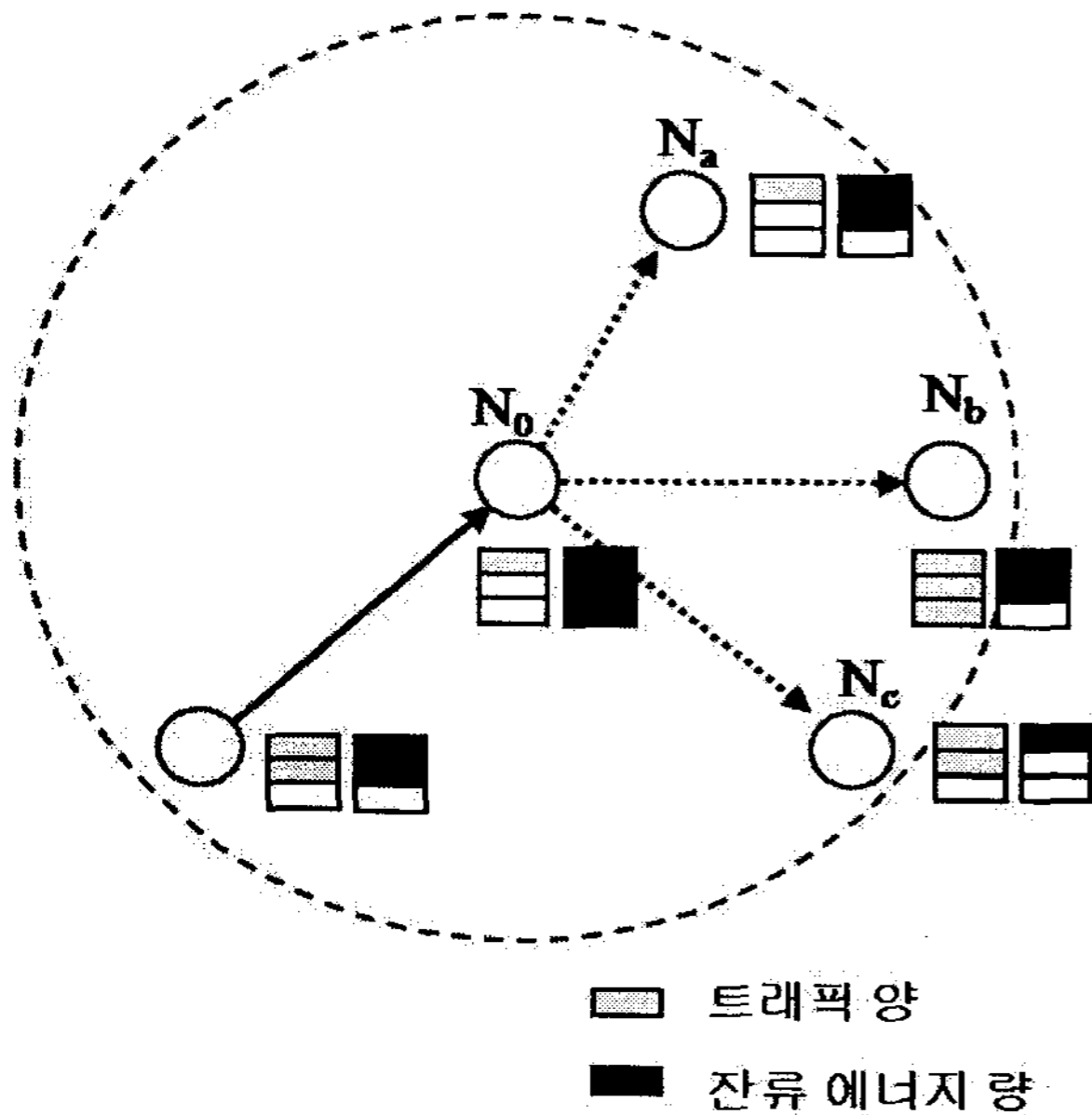


그림 5 신뢰성 있는 데이터 전달을 위한 경로설정

결론

센서 네트워크의 특성상 가정 보안, 기계 고장 진단, 의료 모니터링, 서식지, 군사적 응용을 포함한 다양한 응용환경의 신뢰할 수 있는 모니터링이 가능하다는 여러가지 장점이 있지만 제한된 자원을 효율적으로 사용해야 한다는 요구조건이 뒤따른다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 플랫폼 기반의 라우팅인 디렉티드를 이용하여 네트워크의 설치 환경 및 목적에 따라 효율성 있게 데이터를 전달하는 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘은 BS까지의 최단경로, 잔류 에너지 량, 트래픽 량의 가중치에 따라 네트워크 존속시간, 데이터의 신뢰성 등이 달라질 수 있다는 것을 보여주었다. 네트워크의 구축 목적 및 사용 빈도에 따라 각 변수의 가중치를 다르게 함으로써 최적의 네트워크 환경을 제공 할 수 있겠다. 향후에는 위에 제안한 알고리즘의 변수를 직접 제어, 실험함으로써 서로 다른 무선 센서 네트워크 환경에 적합한 성능 평가를 진행할 것이다.

References

- [1] Jiang, Q., Manivannan, D. (2004). "Routing protocols for sensor networks," *Proc. CCNC*, pp. 93-98.
- [2] Al-Karaki, J.N., Kamal, A.E., (2004). "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *Wireless Communications*, vol. 11.
- [3] Chalermek Intanagonwivat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, (2000). "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," *Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 56-67.
- [4] Chalermek Intanagonwivat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, John Heidemann, Fabio Silva, (2003). "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol. 11, no. 1, pp. 2-16.
- [5] Fabio Silva, John Heidemann, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, (2004). "Directed Diffusion," *USC/ISI Technical Report ISI-TR-2004-586*.
- [6] R.C Shah and J.M. Rabaey, (2002) "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," *Proc. IEEE WCNC 2002*, vol. 1, pp. 350-355.