

최소 신장 트리를 이용한 센서 네트워크의 효과적인 구성

An Efficient Design of Sensor Network Using Minimum Spanning Tree

김 인 범(Inbum Kim)¹⁾

요약

본 논문은 센서 네트워크를 구성하는 센서노드와 베이스 스테이션들을 제한 길이 간선 최소 신장 트리를 이용하여 신속하고 효과적으로 연결하는 방법을 제안한다. 이 방법은 센서 네트워크에서 라우팅 등에 활용될 수 있는 연결 트리를 신속하게 구축한다. 2000개 입력 노드 대상의 실험에서, 제안된 방법은 단순 최소 신장 트리 방법과 비교하여 네트워크 길이의 증가 없이 네트워크 구축 시간을 94.7% 단축하였다. 이것은 제안된 방법이 센서 네트워크를 신속히 구축해야 하는 응용 등에 잘 적용될 수 있음을 보인다.

Abstract

This paper proposes a mechanism for prompt and efficient construction of sensor network connecting sensor nodes and base stations using limited length edges minimum spanning tree. This mechanism can rapidly build a connecting tree which may be used in routing of sensor network. In an experiment for 2000 input terminal nodes, this mechanism can curtail 94.7% construction time comparing with the method by naive minimum spanning tree without tree length overheads. This shows the proposed mechanism can apply well to the application of swift construction of a sensor network.

논문 접수 : 2009. 5. 12.

심사 완료 : 2009. 5. 25.

1) 정회원 : 김포대학 인터넷정보과 부교수

※ 본 논문은 2008년도 전문대학 교원 산업체연수 결과물입니다.

I 서론

센서 네트워크는 인간의 일상 생활에 관련된 것들에 전자태그를 장착하여 이를 네트워크화 하거나, 사람의 접근이 힘든 위치 혹은 구역에 수백 개의 센서 노드를 설치하여, 센서노드에서 수집한 정보를 무선으로 구성하여 감시 활동을 할 수 있다 [1]. 최근에는 무선 개인영역 네트워크(Wireless Personal Area Network) 기술 및 초소형 네트워크 디바이스 기술 등이 발전함에 힘입어 센서 네트워크 기술이 점차 활성화되고 있으며 다양한 분야에 널리 활용될 전망이다. 실용적인 센서 네트워크를 위해서 저 전력, 저가의 무선통신 기술, 초소형 마이크로프로세서 기술, Ad-hoc 네트워크 기술, 다양한 스마트 센서 기술, 임베디드 시스템 기술 등이 필요하다. 센서 네트워크에서 센서 노드는 감지 기능, 계산처리, 무선통신 기능이 있으며, 베이스 스테이션은 게이트웨이 또는 데이터 집중국 기능을 담당한다. 센서 노드는 감지된 정보를 베이스 스테이션으로 전달하고, 베이스 스테이션은 기존의 네트워크를 통하여 사용자에게 해당 정보 제공한다. 센서 노드들은 기존에 설치된 네트워크의 이용 없이 스스로 Ad-Hoc 네트워크를 구성하여 베이스 스테이션에게 데이터를 전송한다.

본 논문에서는 센서 네트워크를 구성하는 많은 센서노드와 베이스 스테이션을 연결함에 있어, 제한 길이의 간선으로 구성된 최소 신장 트리를 적용하는 방법을 제안한다. 이 방법에서 센서 네트워크의 각 노드들의 최대 전송 거리를 제한 길이로 설정하여, 이 길이 이내에 위치한 노드들을 우선적으로 연결하는 간선을 생성하고, 다음 단계에서 연결되지 못한 노드들을 찾아내어 적절한 방법으로 연결하는 간선을 생성한다. 이들 노드들과 생성된 간선들을 이용하여 최소 신장트리를 생성한 후, 제한 길이를 초과하는 간선들에 대해, 이들을 분해하여 제한 길이의 간선으로 대체하는 연결들을 생성한다. 이 방법으로 생성된 최종 트리가 센

서 네트워크이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 센서 네트워크와 최소 신장 트리에 대한 관련 연구 내용이고, 3장은 본 논문에서 제안하는 제한 길이 간선 최소 신장 트리를 이용한 센서네트워크 구축 방법에 관한 내용이다. 4장에서는 제안된 방법으로 센서네트워크의 생성 실험 및 비교이고 5장은 결론이다.

II 센서네트워크와 최소 신장 트리

센서 네트워크의 설계에 있어서 저 전력 설계는 매우 중요하다. 센서 네트워크의 대부분 응용에서는 전원 공급이 원활하지 않기 때문에 물리적으로 최대한 전력소모가 적게 설계하여 센서 노드의 수명을 최대화하여야 한다. 또한 센서 노드는 대량 생산되는 제품에 내장될 수 있으므로 가격이 비교적 저렴하며, 네트워크 토폴로지 변화에 잘 적응할 수 있어야 한다. 센서네트워크에서 센서 노드들은, 자동으로 구성 가능한 Ad-Hoc 네트워크를 형성한 후 내부에서 서로 정보를 교환하거나 전달하며, 외부 통신은 베이스 스테이션을 이용한다. 따라서 센서 노드는 발생 가능한 여러 상황에 잘 적응하여, 매우 가변적인 네트워크 토폴로지 문제를 해결하여 통신을 해야 한다.

센서 네트워크의 하드웨어는 전원공급을 담당하는 장치, 무선통신을 위한 무선 트랜시버, 다양한 센서와 아날로그/디지털 변환기로 구성된 센싱 장치(Sensing Unit), 실행 소프트웨어를 탑재한 프로세싱 장치(Processing Unit), 센서 노드 자신의 정확한 위치 정보 측정하기 위한 위치 추정 시스템, 물리적 이동성을 제공하는 이동장치(Mobilizer) 등이 있다. 이와 함께, 센서 네트워크를 구성하기 위한 초소형 운영체제 기술, 저 전력 네트워크 프로토콜 기술, 동기 및 위치인식 기술, 미들웨어 기술, 보안기술 등이 필요하다. 센서 네트워크에서, 운영체제는

작은 크기, 저 전력소모, 프로세스와 메모리의 효율적 관리, 정확한 동시 수행 (concurrency) 처리 기능 등을 제공해야 한다. 또한 유연성과 모듈성의 특징 보유해야 하며, fault-tolerant 기능, ad-hoc 라우팅 프로토콜과 프로그래밍이 용이해야 한다. 저 전력 네트워크 프로토콜 기술은 저 전력 라우팅 및 데이터 기반 라우팅 기술을 제공하고 다른 센서 네트워크 및 상위 네트워크와의 상호 운용성이 보장되어야 한다. 또한 네트워크 계층에서는 최소 에너지 소모를 보장하는 라우팅 기법, 데이터 기반 라우팅 기법, 전력소모를 최소화시켜 주는 위치 기반 라우팅 기법 등이 제공되어야 한다. 센서 네트워크의 구조는 멀티-홉 기반의 Ad-hoc 네트워크이기 때문에 정확한 동기화 및 위치인식 기술이 요구된다. 위치인식은 센서 노드의 위치를 집중적, 분산적인 방법으로 인지하는 기술로 정확한 위치 정보는 위치 기반 응용에서 필수적인 데이터이다. 미들웨어 기술은 응용 소프트웨어와 운영체제 및 네트워크 스택 사이에 존재하는 것으로 이종 센서 노드 기반의 응용 시스템 개발을 지원한다. 센서 네트워크를 안전하게 활용하기 위해서 센서 네트워크와 교환되는 정보에 대한 보안기술이 필수적이다. 그러나 각 노드가 공격의 대상이 될 수가 있으나, 개별 노드에 대하여 항상 감시와 보호하는 것은 거의 불가능하며, 개별적인 센서 노드에 대하여 재 프로그램 공격에 쉽게 노출된다. 공격의 유형에는 센서 데이터 조작, 개인 정보 추출, 서비스 거부 등이 있다.

일반적인 최소 신장 트리(Minimum Spanning Tree) 문제는 모든 입력 노드들을 일부 입력 간선들을 이용하여 연결할 때, 최소의 가중치의 합을 가지는 트리를 찾는 문제이다. 이 문제에 대한 대표적인 알고리즘으로 Kruskal과 Prim의 알고리즘이 유명하다[2]. 유클리드 최소 신장 트리 문제는 간선이 입력으로 주어지지 않는 것이 일반적인 최소 신장 트리 문제와의 가장 큰 차이점이다. 이를 위한 단순한 방법은, 우선 주어진 모든 입력 노드 N

개에 대해서, 다른 노드들 (N-1)개를 모두 연결하는 $1/2 \times N \times (N-1)$ 개의 간선들을 생성하고, 이들 노드들과 간선들을 기존의 최소 신장 트리 알고리즘에 입력하는 것이다. 이 알고리즘에 의해 생성되는 트리가 유클리드 최소 신장 트리가 될 것이다.

센서네트워크에서 최소 신장 트리는 네트워크 토폴로지 구성과 라우팅에 사용된다. 감지 능력, 계산능력, 무선 통신능력을 갖춘 센서 노드들은 제한된 에너지원을 갖고 있으므로, 센서네트워크의 토폴로지를 구성 시, 전체 네트워크의 수명 극대화 및 라우팅 에너지 효율성을 심각히 고려해야 한다. 대부분의 프로토콜은 최대 전송 파워등과 같은 고정된 전송범위를 가지고 토폴로지를 구성하는데, 이 방법은 네트워크 구성이 상대적으로 간단하지만 에너지 측면에서 비효율적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 M. Sanchez 등은 최적의 전송 범위를 결정하는 방법을 제안하였고 [3], J. Li 등은 라우팅 측면에서 최소 신장 트리를 기반으로 토폴로지를 구성하는 방법을 연구하였다[4]. 최적 전송 범위 방법은 최적의 전송 범위를 정의하여 네트워크상의 모든 노드가 이 전송 범위로 토폴로지를 구성하는 것이다. 최소 신장 트리 기반 방식은 특정 기준에서 최고라고 생각되는 것만을 선택하는 방식으로, 각 노드는 자기 고유의 전송 범위로 파워를 조절하며 전송한다. 모든 센서 노드가 직접 베이스 스테이션과 통신하는 라우팅 방식 중에서 PEDAP는 라우팅 트리로 최소 비용 신장 트리를 사용하는데, 다른 라우팅 알고리즘에 비해 라우팅 트리의 총 길이와 측정 소모 에너지가 가장 적다 [5]. 그러나 최소 신장 트리에서는 많은 정점, 즉 노드들의 연결차수가 3개 이상인 경우가 많으므로, PEDAP는 최소의 에너지를 사용하는 대신, 각 노드의 에너지의 잔량분포를 불균형하게 만들게 되므로, 전체 네트워크의 수명을 단축시킬 수 있다. 이에 대한 개선으로, PEDAP에서 사용했던 링크 값인 일회전송 에너지 값 W 대신에 W를 에너지 잔량으로 나눈

값을 새로운 링크 값으로 사용한 PEDAP-PA가 연구되었다 [5]. 이 방법은 네트워크 각 노드에서의 에너지 잔량의 분포를 어느 정도 균일하게 하지만 총 소비 에너지는 증가할 수 있다.

III 제안 방법

Naive 최소 길이 센서 네트워크의 구성방법은 센서 노드들과 베이스 스테이션들을 모델링하는 각 노드들에 대하여, 다른 노드들을 모두 연결하는 간선들을 생성하고 이들 노드들과 간선을 이용하여 최소 신장 트리를 생성하는 것이다. 생성된 최소 신장 트리에 대하여 각 간선의 길이를 점검하여 노드의 최대 전송 거리를 초과하는 것에 대해서는 최대 전송 거리 단위로 두 노드 사이에 중계 노드를 설치하는 것이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 입력 노드들에 대하여 최대 전송 거리 이내에 위치하는 모든 노드들과 연결하는 간선들을 먼저 생성한다. 이때 연결 차수가 1이하인 노드들은 같은 그룹의 모든 노드들과 연결하고 간선들을 생성한다. 또한 각 그룹을 연결하는 간선들을 생성한다. 이 노드들과 생성된 간선들에 대하여 최소 신장 트리를 생성한다. 생성된 최소 신장 트리의 간선 중에서 최대 전송거리를 초과하는 간선에 대하여 최대 전송 거리 단위로 두 노드 사이에 중계 노드를 추가한다. 이렇게 구성된 센서 네트워크는 필요한 정보를 이 네트워크의 경로에 따라 내부적으로 정보를 전송할 수 있거나 다른 외부 네트워크와 연결하여 송수신할 수 있다.

센서 노드와 베이스 스테이션, 중계기 등으로 구성된 센서네트워크를 신속하고 효율적으로 구성하기 위해 본 논문에서 제안하는 단계별 과정은 다음과 같다.

- 단계 1: 각 그룹에 대해 속한 입력 노드들에 대해 최대 전송 길이 내에 있는 모든 노드들을 연결하여 간선을 생성한다.
- 단계 2: 각 노드들의 연결 차수를 조사하여 그 값이 1이하인 노드들이 존재하면 단계 3으로 이동하고 존재하지 않으면 단계 4로 이동한다.
- 단계 3: 연결 차수가 1이하인 노드를 그것이 속한 그룹 내의 다른 모든 노드들과 연결 하고 해당 연결 간선에 M을 표시한다.
- 단계 4: 각 그룹들을 최소 길이로 연결 가능한 노드들을 찾아 연결하고 해당 연결 간선에 M을 표시한다.
- 단계 5: 입력 노드들과 새로 생성된 간선들을 이용하여 최소 신장 트리를 생성한다.
- 단계 6: 생성된 최소 신장 트리의 간선 중에서 M으로 표시된 간선에 대하여 최대 전송 길이 단위로 중계 노드들을 설치한다.
- 단계 7: 생성된 최소 신장 트리를 센서 네트워크로 출력한다.

그림 1은 8개의 그룹으로 형성된 80개의 입

력 단말노드를 보이고 있다. 각 그룹의 대표 노드와 일반 노드들은 센서네트워크의 베이스 스테이션과 센서 노드로 모델링할 수 있다. 그림 2는 이들 노드들에 대해 최대 전송 거리인 1 이내에 존재하는 노드들의 연결들이 보인다.

그림 3은 연결 차수가 1인 노드들의 연결 생성 및 각 그룹간의 연결 생성 결과를 보인다. 그림 4는 그림 3의 노드들과 생성된 간선들을 이용하여 최소 신장 트리를 생성하고, 간선의 길이가 최대 전송 길이를 초과한 경우, 최대 전송길이 단위로 중계 노드를 생성하여 구축한 센서네트워크를 보인다. 이 때 중계 노드는 센서네트워크의 중계기로 모델링 할 수 있다.

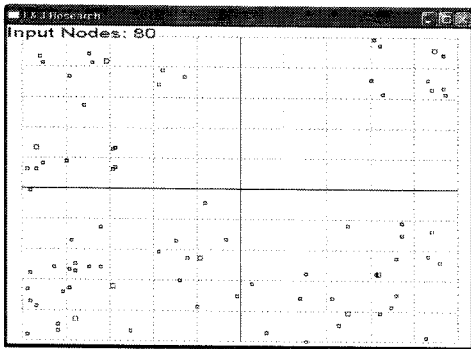


그림 1. 80개의 입력노드

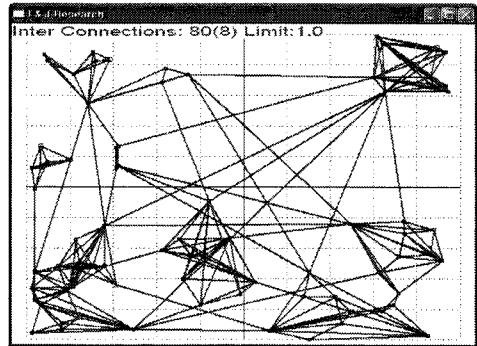


그림 3. 연결차수가 1 이하인 노드들의 연결생성 및 각 그룹 간의 연결생성

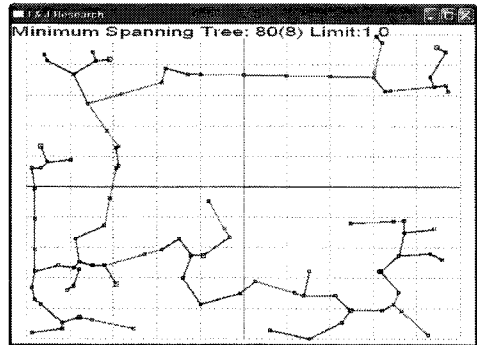


그림 4. 제안된 방법으로 생성된 센서네트워크(입력: 그림 3의 노드와 간선)

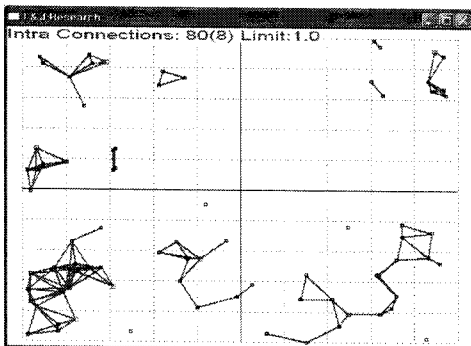


그림 2. 최대 통신 거리 이내에 위치한 노드 연결

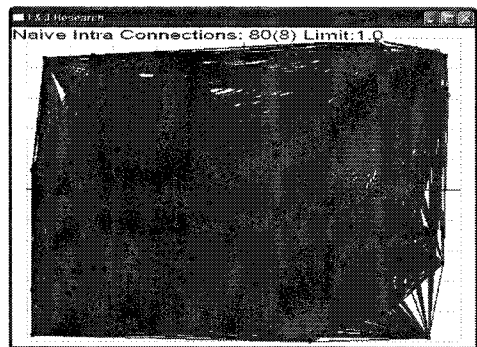


그림 5. naive 방식에서, 입력노드들의 완전 연결로 형성된 간선

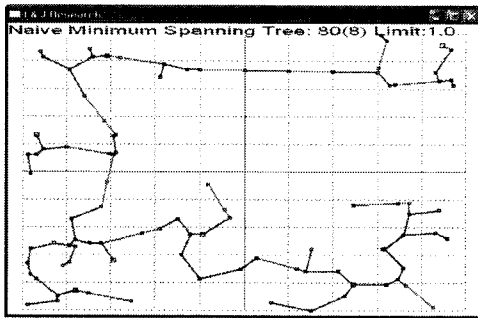


그림 6. naive 방식으로 생성된 센서네트워크(입력: 그림 5의 노드와 간선)

그림 5는 그림 1의 80개의 입력 노드에 대하여 naive 방식으로 센서 네트워크를 생성하기 위해 입력 노드들을 모두 연결하는 완전연결을 보이고 있다. 입력 노드들과 생성된 간선들을 이용하여 최소 신장 트리를 생성하고 이 트리의 간선 중에서 그 길이가 최대 전송 거리를 초과하는 것에 대해 중계 노드들을 생성한 naive 센서 네트워크를 그림 6에서 보이고 있다. 4장에서는 이 방법으로 생성된 naive 센서 네트워크를 우리가 제안하는 방법으로 생성된 것과 비교한다.

그림 7과 8은 8개 그룹과 이들에 각각 속하는 2000개의 입력노드와 최대 전송거리가 1인 입력에 대해, 본 논문에서 제안한 방법으로 생성된 센서 네트워크와 naive 방식으로 생성된 센서 네트워크를 보이고 있다.

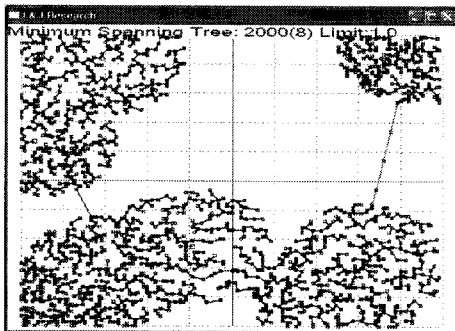


그림 7. 제안된 방법으로 생성된 센서네트워크(입력노드: 2000, 최대통신거리:1)

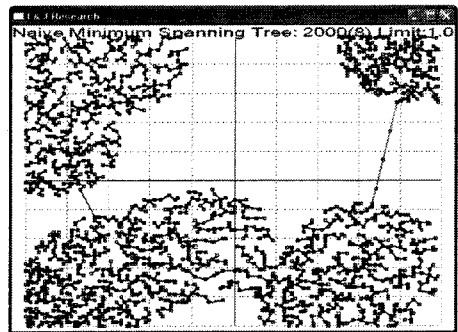


그림 8. naive 방식으로 생성된 센서네트워크(입력노드: 2000, 최대통신거리:1)

IV 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 검증하기 위한 실험의 인자로 입력 노드의 수가 이용된다. 관찰하고자 하는 결과는 생성된 센서 네트워크의 트리 길이 및 생성 시간이다. 센서 네트워크의 트리 길이와 생성 시간은 3장에서 기술한 naive 센서 네트워크와 본 논문에서 제안한 방법의 센서 네트워크와 비교된다. 실험을 위해 무작위로 생성된 노드의 수는 400, 800, 1200, 1600, 2000개이다. 각 노드들을 생성하는 방법은 먼저 무작위로 8개의 중심 노드를 생성하고 이들을 기준으로 임의의 거리만큼 떨어진 노드들을 생성한다. 생성된 입력 노드들은 서로 중복되지 않는, -5.0과 5.0 사이의 x, y 좌표 값을 가지게 된다. 실험 환경은 Intel 2.66 GHz (T5600) 프로세서와 1기가 램의 개인용 컴퓨터이고, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 C++로 구현하였다.

그림 9에는 각 입력 노드 수에 따른 생성된 센서 네트워크 트리의 길이를 보이고 있다. 노드 수가 증가함에 따라 센서 네트워크의 트리의 길이는 증가하지만, naive 방법이나 본 논문에서 제안하는 방법의 차이는 없음을 확인할 수 있다. 그림 10에는 각 입력 노드 수에 따른 센서 네트워크의 생성 시간을 보이고 있다. 노드 수가 증가함에 따라 두 방법으로 생성되는

센서 네트워크의 트리의 생성 시간은 모두 증가한다. naive 방법과 본 논문에서 제안하는 방법의 센서 네트워크의 생성 시간의 큰 차이를 확인할 수 있다. 표 1에서 보이는 것처럼, 입력 노드의 수가 2000개 인 경우, 본 논문에서 제안하는 방법은 naive 생성 방식에 비해 약 94.7%의 시간 절감을 얻을 수 있었다.

V 결론

센서 네트워크는 각종 센서 노드에서 수집한 정보를 무선으로 연결하여 구성한 네트워크로, 이를 활용한 유용한 예로는, 접근이 어려운 위치에 많은 센서 노드들을 설치하여, 사람이 감시하는 것과 동일한 효과를 얻게 하는 것 등이 있다. 정보통신 기술의 발전함에 따라 센서 네트워크의 응용분야는 다양하고 또한 점차 활성화되고 있다. 센서 네트워크의 특성 상 네트워크 트래픽 감소와 전송 거리의 단축은 물론 신속한 센서 네트워크의 구축 또한 중요하다고 할 수 있다.

최소 신장 트리는 특정 노드와 이들 사이의 간선이 입력으로 주어졌을 때, 모든 입력 정점들을 일부 입력 간선들을 이용하여, 최소 비용으로 연결하는 트리이다.

본 논문에서는 센서 네트워크의 신속한 구축을 위해, 각 노드에 존재하는 최대 전송 거리의 제약을 이용하여 제한 거리 이내에 위치하는 노드들을 연결하는 간선을 생성하고, 연결이 되지 않은 노드들을 적절히 연결하는 간선을 생성하고, 이를 이용해 유클리드 최소 신장트리를 생성하여 센서 네트워크를 신속하게 구축하는 방법을 제안하였다. 이는 모든 노드를 연결하는 기존의 유클리드 신장트리를 활용하여 구축한 naive 센서 네트워크에 비해 네트워크 트리의 길이는 거의 같고, 생성 시간은 노드들의 수가 2000인 경우에 약 94.7% 절감할 수 있었다. 이는 본 논문에서 제안하는 방법으로 생성된 센서 네트워크가 네트워크 트리

길이의 오버헤드 없이, 신속하게 생성할 수 있음을 보인 것으로, ad-hoc 센서 네트워크, 이동 센서 네트워크에서 라우팅 등에 잘 활용될 수 있을 것이다.

향 후 연구는, 생성되는 센서 네트워크의 네트워크 트리 길이를 단축시키기 위한 방안으로, 최소 스타이너 트리(Steiner Minimum Tree)를 적용하는 방법에 관한 것이다 [6]. 최소 스타이너 트리 문제는 NP 문제로 알려져 있으므로 적절한 휴리스틱의 고안이 필요하다. 또한 센서 네트워크의 생성 문제에서 야기될 수 있는, 매우 많은 노드들을 효과적으로 처리하기 위해 다항적 시간 근사구조 (Polynomial Time Approximation Scheme)의 적용을 연구하려 한다 [7].

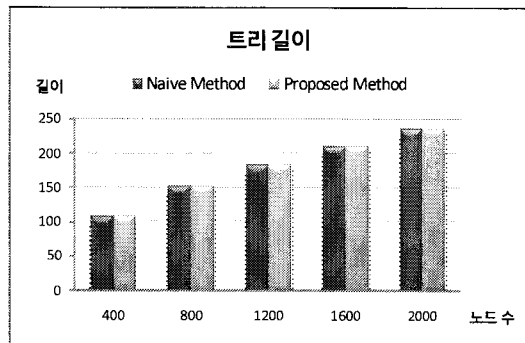


그림 9. 생성된 센서네트워크의 길이 비교

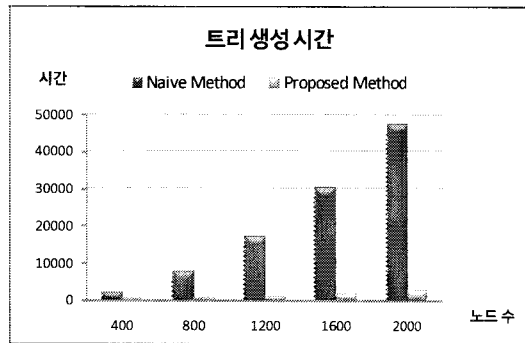


그림 10. 센서네트워크의 생성 시간 비교

표 1. 제안된 방법으로 생성된
센서네트워크의 생성 시간 단축 비율

노드 수	400	800	1200	1600	2000
단축율 (%)	85.9	92.4	93.9	94.4	94.7

김인범



2007년 University of Wisconsin- Milwaukee,
Computer Science (공학박사)

1996년 ~ 현재: 김포대학 인터넷정보과 부교
수

주관심 분야: 네트워크 알고리즘, 컴퓨터이론,
데이터베이스

참 고 문 헌

[1] 누리텔레콤, “원격검침시스템”, <http://www.nuritelecom.co.kr>, 2009

[2] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest and C. Stein, Introduction to Algorithm, 2ndEd., MITPress, 2001

[3] M. Sanchez, P. Manzoni and Z.J. Hass, “Determination of Critical Transmission Ranges in Ad Hoc Network”, Proceedings of MMT, Oct 1999

[4] J. Li, D. Cordes and J. Zhang, “Power aware Routing Protocols in Ad Hoc Wireless Sensor Networks”, Wireless Communications, IEEE Vol. 12, No.6, pp.69-81, Dec 2005

[5] H.O. Tan and I. Korpeoglu, “Power Efficient Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Networks”, ACM SIGMOD Record Vol.32, No.4, pp.66-71, Dec 2003

[6] A. Agrawal, P. Klein and R. Ravi, “When Tree Collide: An Approximation Algorithm for the Generalized Steiner Problem on Networks”, SIAM Journal on Computing, Vol.24, pp.440-456, 1995

[7] J. Kim, M. Cardei, I. Cardei and X. Jia, “A Polynomial Time Approximation Scheme for the Grade of Services Steiner Minimum Tree Problem,” Journal of Global Optimization, Vol. 24, pp.437-448, 2002