

무선 센서 네트워크에서 이동 객체 간 대칭적인 상호 통신

김상대*, 김천용*, 조현중*, 양태훈*, 김상하*

Symmetric Inter-Communication Scheme among Mobile Objects in Wireless Sensor Networks

Sangdae Kim*, Cheonyong Kim*, Hyunchong Cho*, Taehun Yang*, Sang-Ha Kim*

요약

무선 센서 네트워크는 특정 지역의 정보를 수집하거나 상태를 관찰하는 등의 특수한 목적을 가진 네트워크이다. 이를 위해, 센서 네트워크는 이벤트를 감지하고 정보를 전달하는 센서 노드와, 센서 노드로부터 전달받은 정보를 수집하는 싱크노드로 구성되어 있고, 센서 노드가 싱크노드에게 단순히 비대칭적으로 정보를 전달하는 형태로 연구가 진행되어 왔다. 하지만, 센서 네트워크가 단순히 데이터를 수집하기보다는 이동성을 지닌 사물이나 사람과 같은 객체들이 정보를 주고받으며 서비스를 제공하는 사물인터넷, CPS 등과 같은 서비스로의 활용 범위가 늘어나고 있기 때문에, 지금까지의 일방적인 정보를 전달하는 형태 뿐 만아니라 센서 네트워크 위에서 이동 객체들이 서로 정보를 교환하는 상호 대칭적인 형태의 통신 방안이 필요하다. 즉, 변화되어가는 서비스 환경과 사용자의 요구 사항에 따라 센서 네트워크 내의 이동 객체들 간에 정보를 직접 교환하는 대칭적인 형태로의 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크 내에서 이동 객체 간의 상호 대칭적인 통신을 지원하는 프로토콜을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안방안이 기존의 방법들에 비해 더 나은 에너지 효율성 및 전송 성공률을 가진다는 것을 증명한다.

Key Words : Symmetric, Connectivity, Mobility, Scalability, Wireless Sensor Networks(WSNs)

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (WSNs) are special network which has purpose of usage for gathering information of certain area and observing situation. WSNs consist of small nodes with sensing event such as temperature, movement or certain objects. The sensor has the capabilities to collect data and route data back to the sink. The sensors route data either to other sensors or back to a sink in one direction. That is, traditional WSNs communicate asymmetrically. However, under the new paradigm of the Internet of Things (IoTs) or Cyber Physical system (CPS), WSNs have potential to be used as important area. So, more research is necessary to communicate with each moving objects symmetrically in WSNs. In this paper, we proposed symmetric communication scheme among mobile objects in wireless sensor network. Simulation results show that our scheme is superior th the existing ones in terms of energy consumption and transmission success ratio.

* 이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2015R1A2A2A010 06442)

♦ First Author : Chungnam National Univ. Department of Computer Engineering, sdkim@cclab.cnu.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Chungnam National Univ. Department of Computer Engineering, shkim@cnu.ac.kr, 중신회원

* 충남대학교 컴퓨터 공학과 네트워크 연구실 {cykim, hccho, thyang}@cclab.cnu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2015-06-176, Received June 8, 2015; Revised September 5, 2015; Accepted October 6, 2015

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 사용자가 원하는 데이터를 수집하기 위해 간단하게 구성할 수 있는 ad-hoc 네트워크의 하나로, 온도, 움직임, 소리, 빛 등의 주변 환경의 물리적인 현상을 감지할 수 있는 많은 수의 센서 노드들로 구성되어있다. 이 센서 노드들은 자신 주변의 물리적 현상 변화를 감지할 수 있게 제작되었고 (sensing), 이를 데이터로 만들어 싱크노드에게 전달하는 기능(processing & transmitting)을 가지고 있다^[1]. 싱크노드는 변화를 감지한 센서 노드들이 전송한 데이터를 수집하는 노드로써, 사용자는 이 싱크노드를 통해서 원하는 데이터를 획득할 수 있다. 이러한 센서들의 특징으로 인해, 무선 센서 네트워크는 관심지역에 전개되어 사용자가 원하는 정보를 모니터링 하거나, 객체를 추적하는 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다^[2-4]. 이러한 무선 센서 네트워크는 어플리케이션의 목적에 따라 다양하게 활용될 수 있기 때문에, 특히 다양한 사물을 비롯한 사람들이 서로 간에 정보를 주고받으며, 상황에 적절한 서비스를 제공하는 사물인터넷이나 CPS에서의 주요 기술로 주목받고 있다^[5,6].

하지만 앞서 언급했듯이 기존의 무선 센서 네트워크는 사용자가 원하는 데이터를 수집하기 위해 구성된 네트워크이기 때문에, 센서 노드들이 감지한 데이터를 단지 싱크노드에게 전달하는 비대칭적인 방향의 통신만을 고려해왔다. 따라서 스스로 주변 환경의 변화를 감지하고 주변 객체들과 정보를 주고받아 상황에 맞는 적절한 서비스를 제공하는 사물인터넷과 CPS 등과 같은 서비스에 활용하기 위한 무선 센서 네트워크는 객체간의 상호 통신을 위한 대칭적인 형태의 통신을 고려해야 한다.

그림 1을 통해 설명하면, 그림 1 (a)는 기존의 무선 센서 네트워크를 나타낸 것으로, 화재를 감지한 센서들은 단순히 감지된 정보를 고정된 싱크에게 전달하며, 정보를 전달받은 싱크에서 모든 정보를 처리하는 비대칭적인 통신이다. 이와 다르게, 그림 1 (b)에서는, 화재를 감지한 센서들은 이를 처리할 수 있는 적절한 방화벽이나 스프링클러와 같은 객체들에게 화재 사실을 알려 즉시 화재에 대응하고, 또한 네트워크에 위치한 사용자들 역시 네트워크를 통해 서로 화재사실을 알리거나 위치를 파악할 수 있다. 즉, 기존의 센서 네트워크는 단순히 감지된 정보를 고정된 싱크에게 전달해주는 데이터 수집의 역할이 전부였다면, 앞으로 활용될 센서 네트워크는 감지된 정보를 적절한 대상

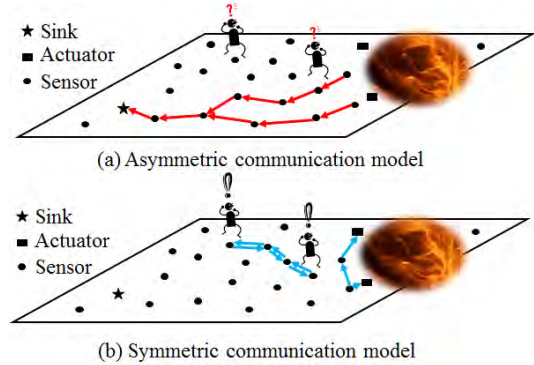


그림 1. 통신 모델 예시
Fig. 1. Communication model example

에게 전달해주는 동시에, 이동성을 지닌 사물 또는 사용자들 역시 네트워크 자원을 활용하여 통신이 가능해야 한다. 따라서 본 논문에서는 사물인터넷과 CPS 등과 같은 환경의 특성에 따라 확산되는 무선 센서 네트워크를 이용한 객체간의 대칭적인 통신 방안을 제안한다.

제안 방안은 무선 센서 네트워크에서 객체간의 상호 대칭적인 통신을 지원하기 위해서 네트워크에 객체들의 위치를 수집 및 저장하는 가상의 구조를 형성한다. 이 가상의 구조를 통하여 객체들은 통신을 위한 객체 간 연결성을 확립할 수 있고, 이를 기반으로 객체들은 센서 네트워크를 통해 대칭적으로 데이터를 주고받을 수 있다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 사물인터넷과 CPS에서 활용될 센서 네트워크에서의 객체 간의 대칭적인 통신 모델과 이를 바탕으로 상호 대칭적인 통신을 위해 센서 네트워크가 만족해야 하는 요구사항들을 정리하고, 3장에서는 무선 센서 네트워크에서 객체 간 통신을 위해 진행되고 있는 연구들과 이를 객체 간 상호 대칭적인 사물인터넷 및 CPS와 같은 통신 환경에 적용하였을 때의 문제점에 대해 기술한다. 4장에서는 객체간의 대칭적인 통신을 위해 가상의 구조를 생성하고, 이를 기반으로 통신을 수행하는 방법에 대해 기술한다. 우리의 성능 평가 결과는 5장에 기술되고, 6장에서 본 논문을 결론짓는다.

II. 대칭적인 상호 통신 모델

이 장에서는 사물인터넷과 CPS의 환경에서 무선 센서 네트워크가 활용되는 모델을 보이고, 이를 통해 사물인터넷과 CPS의 환경에서 활용될 센서 네트워크에서 만족해야 하는 요구사항들에 대해 기술한다.

앞으로의 무선 센서 네트워크는 다양한 사물들을 비롯한 사람들이 센서 네트워크를 이용하여 서로 간에 정보를 주고받으며, 상황에 적절한 서비스를 제공할 수 있어야한다. 즉, 기존의 무선 센서 네트워크와 같이 단순히 센서들이 싱크에게 데이터를 전달하는 것이 아니라, 네트워크를 이용하는 객체 간의 상호 대칭적으로 데이터를 전달 및 수신할 수 있어야 한다. 즉, 다른 객체들에게 데이터를 전달하는 소스의 역할을 수행할 수도 있고, 다른 객체로부터 데이터를 전달 받는 싱크의 역할 또한 수행할 수 있다. 이러한 대칭적인 데이터 전달을 위해, 센서 네트워크는 객체간의 통신을 위한 연결성을 확립해주어야 한다. 즉, 위치 정보를 기반으로 데이터를 전달하는 무선 센서 네트워크에서 객체간의 통신을 위해, 네트워크는 데이터 전달을 원하는 객체들에게 데이터를 수신하는 객체의 위치를 알려줄 수 있어야한다. 특히, 사물인터넷과 CPS의 환경에서 활용하기 위해서는 단순히 고정되어 있는 객체의 위치 정보를 알려줄 수 있는 것 뿐 만 아니라, 객체가 이동성을 지니고 있는 경우에도 정상적으로 위치 정보를 알려줄 수 있어야 하고, 이를 통하여 객체 간의 상호 대칭적인 통신이 정상적으로 수행되어야 한다.

이 외에도 무선 센서 네트워크는 다양한 분야에서 활용될 수 있기 때문에, 다양한 환경에서 원활이 동작해야 한다. 즉, 네트워크가 전개될 지역의 규모나, 네트워크를 이용하는 객체의 수에 관계없이 동작이 원활히 수행되어야 한다. 이러한 모델이 원활이 수행되기 위해 요구되는 사항은 크게 다음과 같이 세 가지로 정리될 수 있다.

- **연결성 보장** - 연결성 보장은 객체들 간에 데이터 전송을 위한 경로를 확립해 주는 것이다. 즉, 객체들의 위치를 기반으로 통신을 수행하는 무선 센서 네트워크에서 연결성을 보장하기 위해서는 통신을 수행하는 각 객체들은 서로의 위치를 알고 있어야 한다. 따라서 네트워크는 객체들의 위치를 저장하고, 데이터를 전송, 요청하는 객체 서로간의 위치를 알려줄 수 있어야한다.
- **이동성 지원** - 이동성 지원은 네트워크에서 데이터를 주고받는 객체들이 고정되어 있지 않고 움직일 때에도 원활이 통신이 수행되는 것이다. 즉, 사물인터넷이나 CPS의 환경에서의 로봇이나, 사람 등이 네트워크 내에서 자유롭게 움직이고 있는 경우에도 서로간의 데이터 송수신이 가능해야 한다.

- **확장성 지원** - 확장성 지원은 네트워크의 규모, 객체의 수 등의 요소들이 변하는 환경에서 네트워크의 성능이 유지되는 것이다. 즉, 센서 네트워크가 적용되는 다양한 네트워크의 규모나, 이 네트워크에 참여하는 객체들의 수에 관계없이 네트워크는 정상적으로 동작해야 한다.

III. 관련연구

이 장에서는 비대칭적인 방향의 통신을 수행하는 무선 센서 네트워크에서 이동 객체들의 통신을 지원하기 위한 연구들에 대해 기술하고, 기존의 연구들이 앞서 2장에서 언급한 요구사항들을 만족시키기 어려움을 보인다.

기존의 무선 센서 네트워크에서의 이동성 연구는 크게 싱크 이동성 지원^[7-9]과 이벤트 이동성 지원^[10-12]으로 나뉜다. 싱크 이동성 지원 연구들은 데이터를 수집하는 싱크노드 주변의 노드들의 데이터 집중으로 인한 핫스팟 문제를 해결하기 위한 연구이다. 이벤트를 감지한 고정된 소스 노드들은 네트워크 전체에 가상의 트리를 구성하며, 이동 싱크는 자신의 위치를 트리를 통해 소스 노드에게 알린다. 대표적으로 [7]은 그림 2와 같이 이벤트를 감지한 소스 노드를 중심으로 네트워크에 그리드 형태의 가상 구조를 그리고, 각 그리드 포인트를 이용하여 자신을 루트로 하는 트리를 구성한다. 이동 싱크는 그리드 형태로 분할된 네트워크에서 로컬 플러딩을 이용하여 자신과 가장 가까운 그리드를 통해 소스 노드에게 자신의 위치를 알릴 수 있다. 이를 통해 이동 싱크의 위치를 알게된 소스 노드는 이동 싱크와의 연결성을 확보할 수 있고, 이동

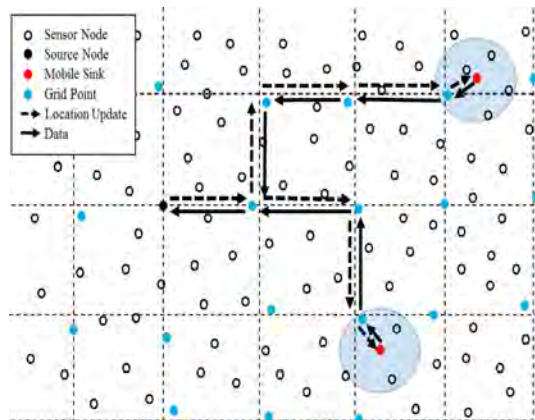


그림 2. TTDD 동작 예시
Fig. 2. A TTDD example

싱크에게 감지한 이벤트에 대한 정보를 전달할 수 있게 된다.

이와 반대로 이벤트 이동성 지원 연구들을 움직이는 이벤트들의 위치를 추적, 관리하는 어플리케이션 등에서 활용되는 연구이다. 데이터를 수집하는 싱크 노드들은 네트워크 전체에 가상의 트리를 구성하며, 이벤트를 감지한 소스 노드들은 해당 이벤트의 위치를 트리를 통해 싱크노드에게 알린다. 대표적으로는 [10]은 네트워크에서 움직이는 이동 객체들의 위치를 수집하기 위하여 네트워크 전체에 싱크노드를 루트로 하는 가상의 트리 구조를 형성한다. 각 리프 노드들은 감지한 이동 객체의 정보를 메시지 프루닝이라는 방법을 활용하여 이동 객체들에 대한 정보를 네트워크에 구성된 가상의 트리에 효율적으로 저장한다. 그림 3을 통해 설명하면, 가상 트리가 구축된 네트워크에서 리프노드 1이 이동객체를 최초로 감지하면, 이동객체에 대한 프루닝 메시지는 1의 모든 조상노드에게 전달되어, 조상노드 B에서는 리프노드 1에 이동객체가 존재함을 알고 있으며, 조상노드 A는 조상노드 B에 이동객체가 존재함을 알게 된다. 하지만 이동객체가 이동하여 리프노드 2에서 감지된다면, 리프노드 2의 프루닝 메시지는 자신의 조상노드 B에게만 전달되어, 조상노드 B는 이동객체가 리프노드 1에서 리프노드 2로 이동했음을 인지하게 된다. 이와 같은 방법으로 리프노드 3에서는 조상노드 A까지, 리프노드 4에서는 조상노드 C까지만 프루닝 메시지를 전달한다. 이를 통하여 에너지 효율적으로 이동 객체의 위치에 대한 정보를 가지고 가상의 트리에 저장시킨다. 이를 통해, 싱크 노드는 이동 객체의 위치정보를 알기 위해 트리에 저장된 이동 객체의 정보를 활용하여 이동 객체의 실제 위치를 찾아낸다.

이러한 싱크 이동성 지원 연구와, 이벤트 이동성 지

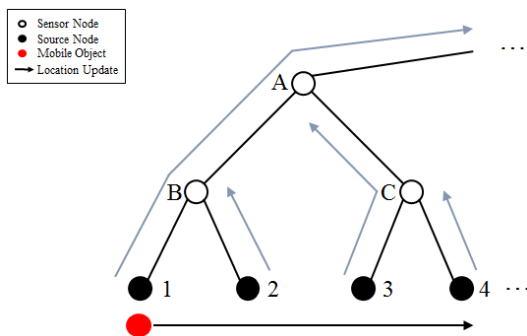


그림 3. STUN 동작 예시
Fig. 3. A STUN example

원 연구는 서로 다른 목적과 어플리케이션을 대상으로 연구가 진행 되었다. 하지만 공통적으로, 고정된 객체를 기준으로 가상의 트리를 구성하고, 이동 객체가 자신의 위치를 알리는 형태이다. 이를 통하여 이동 객체가 고정된 객체에게 자신의 위치를 알리는 과정과, 고정된 객체가 이동 객체에게 질의 및 데이터를 전달하는 과정을 효율적으로 수행할 수 있었다.

하지만, 기존의 이동성 지원 연구들은 데이터를 만드는 소스 노드와 데이터를 수집하는 싱크 노드의 역할이 뚜렷하고, 고정된 객체를 기준으로 트리를 생성하여 싱크에게 데이터를 전달하는 비대칭적인 통신을 수행한다. 따라서, 모든 객체가 데이터를 주고받는 사물인터넷과 CPS와 같은 환경에서는 모든 객체가 데이터를 주고받기 위한 가상 트리를 구성하고 이를 유지해야 한다. 뿐만 아니라, 각 객체가 자유롭게 움직이는 경우 그 움직임에 따라 매번 새로운 가상 트리를 구성해야 하기 때문에 매우 비효율적이고, 통신 경로의 변경 중에 전송되는 메시지의 전송실패가 우려된다.

따라서 다음 4장에서는 2장에서 언급한 요구사항과, 기존의 연구들을 적용하였을 때 생기는 문제점들을 고려하여 객체간의 대칭적인 통신에 적합한 모델을 제시한다.

IV. 제안 방안

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 이동 객체간의 상호 대칭적인 통신을 수행하기 위한 방안을 제시한다. 따라서 무선 센서 네트워크에서 사용되는 라우팅을 위한 기본적인 몇 가지를 가정한다.

객체간의 통신을 위한 센서 노드들은 위치가 고정되어 있으며, 각각은 GPS^[13] 또는 기타 위치서비스^[14,15] 등을 통하여 자신의 위치를 알고 있으며, 각 노드는 네트워크 전개 시에 수동 설정 또는 네트워크 전개 후에 자동 감지 방안들^{[16][17]}을 통하여 자신이 네트워크의 중심에 위치하는지 여부를 알 수 있다. 이를 바탕으로 각 센서 노드들은 비코딩을 통하여 자신의 1-홉 범위 내의 이웃 노드들의 위치정보를 알고 있다. 또한 네트워크에 존재하는 객체들은 자유롭게 움직일 수 있으며, 객체들은 센서 노드들과 통신이 가능하다고 가정한다.

4.1 네트워크 모델

이 단원에서는 객체간의 대칭적인 통신을 위한 네트워크 모델에 대해 설명한다. 제안된 방안은 네트워크에 가상 격자 구조를 기반으로 하는 가상 트리를 구

성한다. 가상 트리는 앞에서 언급하였듯이, 객체들이 효율적으로 자신의 위치를 업데이트하고, 데이터를 전달 받을 수 있는 구조이다. 따라서 본 논문에서는 트리 형태의 구조를 사용하여, 각 객체간의 통신을 위한 위치 제공자로서 네트워크를 활용한다.

4.1.1 가상 트리 구성

제안된 방안은 가상 트리 구조를 만들기 위해 격자 구조를 활용한다. 격자 구조는 한 점을 기준으로 네트워크를 일정크기의 격자로 나누어 이동 객체의 위치 정보를 효율적으로 저장할 수 있는 트리를 형성한다. 제안 방안에서는 이동 객체가 네트워크를 자유롭게 움직이며, 움직임에 일정한 주기가 없다고 가정하기 때문에, 이동 객체의 위치와 무관하게 네트워크의 중심에 위치한 센서 노드를 가상의 트리를 그리기 위한 중심 노드로 선정한다.

선정된 중심노드는 네트워크를 일정 크기의 격자로 나누기 위해 격자의 크기를 결정하고, 자신을 기준으로 네트워크에 위치하게 될 격자의 각 교점을 계산한다. 중심노드는 자신을 기준으로 네트워크를 사분면으로 나누고, 자신의 위치와 격자의 크기(α)를 포함한 격자 생성 메시지를 전송한다. 각 메시지를 전달받은 교점 근처의 노드는 자신이 격자점인 것을 알게 되고, 수신 받은 격자 생성 메시지를 전달한 노드를 부모 노드로 선정한다. 이 후, 중심노드와 마찬가지로, 자신을 중심으로 네트워크를 사분면으로 나누고 격자 생성 메시지를 전송한다. 이를 통하여 네트워크에 가상의 격자 구조를 형성하고, 이동 객체들의 위치를 저장할 수 있는 트리로 사용한다. 이러한 가상 트리를 구성하는 과정을 간략히 나타내면 다음과 같다.

· 가상 트리 구성 - 네트워크의 중심 노드가 선정되었다고 가정.

- 1 중심 노드는 격자 구조의 크기(α)를 결정.
- 2 중심 노드는 자신의 사방위로 격자 구조의 크기를 포함한 격자 생성 메시지를 전송한다.
- 3 if(자신의 위치 == 격자의 교점)
- 4 if(트리에 연결되지 않은 경우)
- 5 격자 생성 메시지를 보낸 노드를 부모로 하는 트리 연결
- 6 자신의 사방위로 격자 구조의 크기를 포함한 격자 생성 메시지 전송
- 7 else 격자 생성 메시지를 무시 end if
- 8 end if

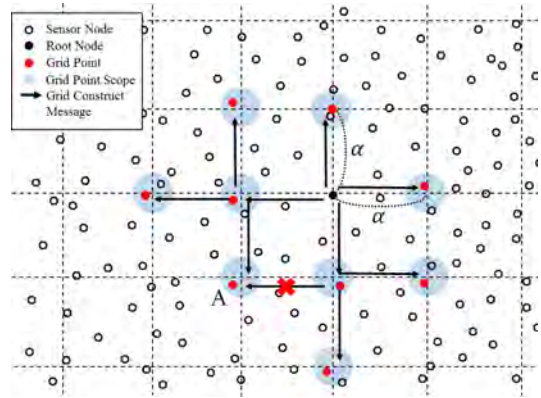


그림 4. 격자 구조 생성 예시
Fig. 4. Grid structure construction example

상기의 과정을 통하여 모든 격자의 교점에 위치한 노드들은 가상의 트리 구축을 완료하게 된다. 이를 그림을 통해 설명하면, 그림 4에서 네트워크가 전개되고 앞서 언급된 방법에 따라, 네트워크의 중심노드는 자신을 중심으로 격자 생성 메시지를 전송하여 네트워크에 가상의 트리를 구성한다. 이때 격자 생성 메시지를 받은 임의의 격자점은 자신에게 격자 생성 메시지를 최초로 전송한 노드를 자신의 부모노드로 선정하고 자신도 격자 생성 메시지를 전송한다. 만약 자신이 격자 생성 메시지를 받고 이미 부모노드를 선정한 뒤에 다른 노드에서 격자 생성 메시지를 전달받으면 해당 메시지를 무시하고, 트리 유지를 위한 백업노드를 선정한다.

4.1.2 가상 트리 유지

무선 센서 네트워크에 센서 노드들은 재충전이 어렵고 비교적 제한된 에너지를 가지고 있기 때문에 고장이나 방전으로 인한 문제가 발생할 수 있다. 각 격자점 노드들은 가상 트리의 주간 노드 역할을 수행하므로 다른 센서 노드들에 비해 문제가 발생할 위험이 비교적 크다. 따라서 격자점들의 문제에 의하여 가상 트리 구조가 정상적인 역할을 수행하지 못할 경우를 대비하여, 각 네트워크 중심 노드를 포함한 모든 격자점들은 백업 노드들을 미리 선택한다.

각 격자점들은 미리 자신의 전송반경 이내의 노드들 중에 임의의 노드를 선택하여, 백업 노드로 사용한다. 백업 노드들은 격자점이 가지고 있는 객체들의 정보와 다른 격자점들과의 연결정보 등을 함께 저장하고 있다. 이 백업 노드들은 주기적으로 격자점의 에너지 상태 및 고장여부를 확인한다. 만약 격자점이 정상적으로 동작하지 않거나, 에너지 잔량이 일정 기준

(Threshold)이하로 떨어지게 되면, 자신이 새로운 격자점이 된다. 새로운 격자점은 인접한 격자점들에게 자신이 새로운 격자점이 되었음을 알린다. 이러한 가상 트리를 유지하는 과정을 간략하게 나타내면 다음과 같다.

- 가상 트리 유지 - 이전 절에 의해 가상트리가 이미 정상적으로 구축되었다고 가정
- 1 백업 노드들은 격자 점 노드의 상태를 주기적으로 파악
- 2
- 3 if(격자 점 노드가 응답이 없음)
- 4 백업 노드가 기존의 격자 점 노드의 역할을 수행
- 5 새로운 격자 점 노드는 새로운 백업노드 선출
- 6 부모 및 자식 격자 점에게 갱신 메시지 전달
- 7 end if

상기의 과정을 통하여 네트워크 초기화 단계에 선출된 격자 점 노드가 고장 및 방전 등의 문제로 인하여 트리의 중간 노드의 기능을 정상적으로 수행하지 못하는 경우, 백업 노드가 중간 노드의 역할을 대신하여 네트워크가 계속 정상적으로 주어진 역할을 수행할 수 있게 한다. 이를 그림으로 설명하면, 그림 5와 같이 네트워크에 격자 구조가 전개되고 작동하는 과정 중에 기존의 격자 점 A가 문제로 인하여 동작하지 않는 경우, 백업노드 B가 새로운 격자점으로 선정되어 이웃 격자점(트리 상에서 부모 및 자식 노드)에게 자신이 새로운 격자점으로 선정되었음을 알리며, 자신이 문제로 인하여 동작하지 않는 경우를 대비하여 또 다른 새로운 백업노드를 선출한다.

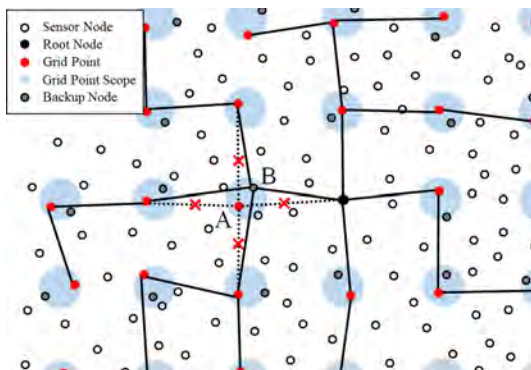


그림 5. 대체 노드 선정 예시
Fig. 5. Backup node selection example

4.2 대칭적 통신 방안

이 단원에서는 이전 단원에서 구성한 가상 트리를 기반으로 네트워크에서 객체간의 대칭적인 통신에 대해 설명한다. 모든 이동 객체들은 네트워크에 구성된 가상의 트리에 자신의 위치를 등록하고, 다른 객체와의 통신을 위하여 네트워크에 질의를 수행한다.

4.2.1 이동 객체 등록

본 논문에서 이동 객체는 여러 개일 수 있고, 네트워크를 자유롭게 움직이며, 움직임에 일정한 주기가 없다고 가정한다. 따라서 서로간의 위치를 기반으로 통신을 수행하는 무선 센서 네트워크에서 객체간의 통신을 위해서, 객체를 감지한 센서 노드는 자신에게 가장 가까운 격자점으로 현재 객체의 위치를 알린다. 격자점은 이동 객체가 자신에게 있음을 트리를 따라 메시지 프루닝을 통하여 중심노드(루트노드)까지 전달하게 되며, 경로 상에 있는 트리의 격자점들은 이를 중계함과 동시에 이동 객체를 알고 있는 자식 노드의 위치를 저장한다. 또한, 이동 객체가 다른 격자로 이동한 경우에 이를 알게 된 다른 격자 점 역시 메시지 프루닝을 통하여 업데이트가 필요한 수준까지 이동 객체의 위치 정보를 전달한다. 이러한 등록과정을 간략하게 나타내면 다음과 같다.

- 이동 객체 등록 - 네트워크에 정상적으로 가상 트리가 구축되었고, 구축된 네트워크에 이동 객체가 진입하는 시나리오를 가정
- 1 이동객체가 특정 격자 내에 진입
- 2
- 3 while(1)
- 4 이동 객체를 감지한 노드는 이동 객체의 위치를 가장 가까운 격자 점 노드로 보고
- 5
- 6 switch(각 격자 점 노드)
- 7 case 일반 센서 노드로부터 보고 :
- 8 if(같은 객체에 대한 위치정보인 경우)
- 9 기존의 객체의 위치정보 갱신 (자식 격자 점 노드 정보)
- 8 else 자신의 상위 클러스터 헤드로 프루닝 메시지 전달 end if
- 9 case 자식 클러스터 헤드 노드로 부터 보고 :
- 10 if(같은 객체가 다른 자식노드에서 이미 보고된 경우)
- 11 기존의 객체의 위치정보 삭제
- 12 else 자신의 상위 클러스터 헤드로 프루닝 메

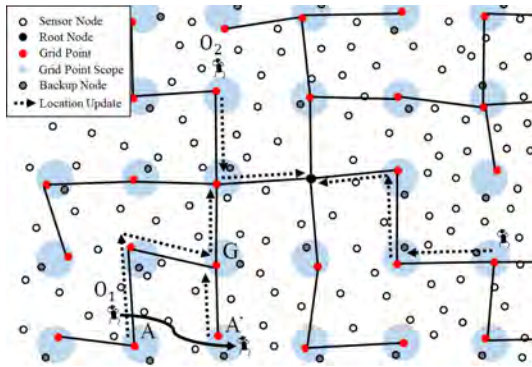


그림 6. 객체 등록 예시
Fig. 6. Object location registration example

시지 전달 end if

```

13 객체의 위치정보 저장 (자식 격자 점 노드 정
    보)
14 end switch
15 end while
    
```

상기의 과정을 그림 6을 통해 설명하면, 객체 O_1 는 자신 근처의 센서 노드에게 감지되어 가까운 격자점 노드 A에 등록된다. 격자점 노드 A는 메시지 프루닝을 통하여 트리를 따라 네트워크의 중심 노드까지 객체에 대한 정보를 전달하게 된다. 경로 상의 각 격자점 노드는 객체의 위치를 저장한다. 이 때 객체가 이동하여 격자점 A'으로 이동한 경우, 격자점 A'역시 메시지 프루닝을 통하여 네트워크의 중심 노드까지 객체 O_1 에 대한 정보전달을 시작한다. 하지만 이미 격자점 A에서 전달한 객체 O_1 에 대한 정보가 격자점 G 이상부터는 이미 존재하기 때문에, 격자점 G는 자신이 알고 있는 객체 O_1 에 대한 기존의 정보만을 갱신하고, 부모 노드에게는 전달하지 않는다.

4.2.2 상호 대칭적인 통신

이동 객체들은 서로간의 대칭적인 통신을 위하여 다른 객체들의 위치를 알아야하고, 이를 위해 통신을 하고자하는 객체의 위치를 네트워크에 질의하게 된다. 이 질의에는 질의를 수행하는 객체의 위치정보와 찾고자하는 객체가 담겨져 있다. 이 질의를 전달받은 센서 노드는 자신에게 가장 가까운 격자점 노드에게 질의를 전달하고, 최초로 질의를 전달받은 격자점 노드는 먼저 자신이 찾고자하는 객체에 대한 정보가 있는지 판단한다. 만약 찾고자하는 객체가 어느 격자점 노드가 가지고 있는지 알고 있다면, 해당 격자점 노

드에게 질의를 전달해주고, 그렇지 않다면, 트리의 중심 노드 방향으로 질의를 전달한다. 만약, 중심노드까지 질의가 전달되면 중심노드가 찾고자하는 객체를 알고 있는 격자점 노드에게 질의를 전달해주게 된다. 이를 통해, 질의를 수행하는 객체의 질의가 찾고자하는 객체에게 전달되면, 질의에 담겨진 질의를 수행하는 객체의 위치정보를 통하여 직접적으로 데이터를 전달하게 된다. 이러한 통신과정 중, 각 격자점 노드들의 동작 과정을 간단히 나타내면 다음과 같다.

```

· 질의 전달 과정 - 이동 객체는 이미 감지되어 메
  시지 프루닝을 통해 루트 노드에게 전달되었으며,
  사용자의 질의는 이미 센서 노드를 통하여 근처
  의 격자점 노드에게 전달되었다고 가정
1 while(1)
2   if(자신이 알지 못하는 객체)
3     자신의 부모 노드에게 질의를 전달
4   else 객체를 알고 있는 격자점 노드에게 질의를
     전달 end if
5   if(근처 센서 노드가 알고 있는 객체)
6     센서 노드를 통해 대상 객체에게 질의를 전달.
7   end while
    
```

상기의 과정을 그림 7을 통해 설명하면, 객체 O_1 이, 자신은 모르는 위치에 있는 O_2 와 통신을 하고자 하려는 상황에서, O_1 의 질의를 전달받은 센서 노드는 자신의 가장 가까운 격자점 노드 A에게 사용자의 질의를 전달한다. 이때 격자점 A는 먼저 자신이 O_2 에 대한 정보를 가지고 있지 않으므로, 트리를 따라 중심 노드 방향의 부모 노드에게 사용자의 질의를 전달한다. 이러한 과정을 각 격자점 노드에서 반복하다가,

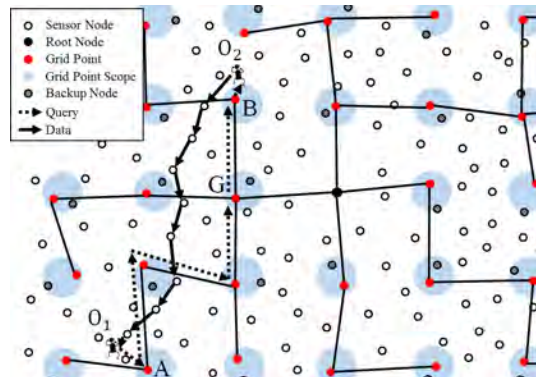


그림 7. 대칭적 통신 예시
Fig. 7. Symmetric communication example

O_2 의 정보를 알고 있는 격자점 G에 사용자의 질의가 도착하게 되면, 격자 점 노드 G는 O_2 의 정보를 알고 있는 자신의 지식노드인 격자 점 노드 B에게 사용자의 질의를 전달하게 된다. 이를 전달 받은 격자 점 노드 B는 O_2 를 알고 있는 센서 노드를 알고 있으므로 해당 센서 노드에게 사용자의 질의를 전달하고, 센서 노드는 O_2 에게 사용자의 질의를 전달한다.

O_1 의 위치를 알게 된 O_2 는 질의에 대한 응답을 기본적인 위치기반 라우팅을 통해서 O_1 의 질의를 전달했던 센서 노드에게 직접적으로 응답을 하게 된다.

V. 성능 평가

이 장에서는 성능 분석 및 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜의 성능을 평가한다. 먼저 성능 분석을 통하여 제안방안을 분석하고, 시뮬레이션을 통하여 분석 결과를 검증한다. 성능분석에서는 제안 방안의 통신비용에 대해 분석하고, 시뮬레이션에서는 시뮬레이션 환경과 성능평가 항목에 대해 서술하고, 이후 대표적인 실시간성 연구인 [7][10]과 비교를 통해 제안방안의 성능을 평가한다.

5.1 성능 분석

이번 절에서는 제안 방안의 비용에 대해서 이론적으로 분석하고, 제안 방안이 기존의 방안들에 비해서 더 나은 성능을 보인다는 것을 보인다. 먼저 이론적인 분석을 위한 용어들을 정의하고, 제안 방안의 비용을 계산하여 기존의 방안들과 비교하여 성능을 평가한다.

우리는 n 개의 센서 노드가 균등하게 분포되어 있는 $m \times m$ 크기의 정사각형의 네트워크를 가정하고, 이에 따라 한 줄에 \sqrt{n} 개의 노드가 있다고 가정한다. 또한, 통신을 위한 k 개의 객체가 네트워크에 존재한다고 가정하고, 네트워크에 전개되어 있는 센서 노드들은 대 T_m 를 전송할 수 있으며, 한 번의 전송에 e 만큼의 에너지가 소비된다고 가정한다. 또한 제안 방안과 [7]에서 사용되는 격자 구조의 크기는 a 라고 가정한다.

제안 방안은 네트워크의 중심으로 부터 격자 구조를 생성하게 된다. 이 때 구조 생성 메시지를 수신하고 구조 생성 메시지를 전송하는 참여 노드의 평균 개수는 $(m/a)^2$ 로 볼 수 있다. 따라서, 이 메시지를 중계해주는 노드를 제외하고, 직접적으로 구조 생성에 참여하는 노드들이 네트워크에 구조를 생성하는데 소모

되는 에너지는 $e(m/a)^2$ 으로 볼 수 있다. 하지만 [7]의 경우에는 이러한 격자 구조를 통신을 수행하기 위한 객체마다 생성하게 되므로, 네트워크에 존재하는 모든 객체가 통신을 원하는 경우에는, 객체의 개수 k 만큼 에너지 소비량이 배로 증가하게 된다. 통신비용을 계산하기 위해, 네트워크의 대각선 끝과 끝에 있는 객체가 통신을 원하는 최악의 경우를 가정하여 계산을 해보면, 제안 방안은 크기 a 의 정사각형 형태의 격자로 네트워크를 구분하고, 각 격자 점을 트리로 형성하기 때문에, 대각선 방향으로 통신을 수행하더라도, $2m$ 만큼의 거리를 이동해야 한다. 이 때, 각 센서 노드들이 최대 전송 거리 T 만큼 이동하더라도, $2m/T$ 번의 전송을 수행해야한다. 따라서 객체가 객체에게 데이터를 한 번 보낼 때 소요되는 에너지는 $2m/Te$ 가 된다.

이와 같은 분석을 통해 살펴보면, 제안 방안이 기존의 방안에 비해 통신비용 측면에서는 큰 차이가 없을 수 있지만, 기존의 방안들은 객체의 수가 늘어남에 따라 격자 구조를 생성하는 부분에 있어서 큰 차이를 가져오고, 에너지 소비량에서 큰 이득을 가져올 수 있다. 하지만, 객체의 통신 여부와 관계없이 네트워크에 구조를 그려야하기 때문에 이를 계속적으로 유지해야하며, 객체들의 위치정보에 대한 테이블을 가지고 있어야 한다. 이에 따라 통신을 수행하지 않는 동안에 소모되는 에너지가 필요하게 된다.

5.2 시뮬레이션

5.2.1 시뮬레이션 환경과 성능 평가 항목

우리는 제안된 프로토콜을 네트워크 시뮬레이터 Qualnet 4.0^[18]로 구현하였다. 500m x 500m 필드에 센서 노드들을 임의로 분산 시켰고, 3m/s의 속도를 가진 4개의 객체가 네트워크를 자유롭게 움직이며 임의로 다른 객체를 선정하여 데이터를 주고받는다. 제안 방안은 앞서 언급한 방안대로 네트워크의 중심으로 부터 a 값을 50m로 가지는 가상의 격자 구조를 전개하고, 여기에서 생성된 격자 점 노드로 가상의 트리 구조를 형성한다. 트리를 구성하는 각 격자 점 노드는 전체 트리 구조를 알고 있는 대신, 자신의 하위 노드와 자신의 부모노드의 정보만을 가지고 있는 분산제어 방식으로 구성되어 있다. 센서 노드의 전송범위는 30m이며, 센서 노드의 전송, 수신, 그리고 대기 전력 소비비율은 MICA specification^[19]을 참조하여 각각 33, 24, 그리고 0.03mW이다. 우리가 제안한 프로토콜의 성능을 분석하고 비교하기 위한 성능평가 항목과

용어들을 정리하면 다음과 같다.

데이터 전송 성공률은 객체로부터 생성된 패킷의 수에 대비하여 다른 객체가 성공적으로 받은 패킷의 수로 정의된다.

에너지 소비량은 제어 메시지, 데이터 패킷의 송수신을 위해 네트워크 내의 전체 센서 노드들이 소비하는 에너지의 총합으로 정의한다.

객체 속도는 네트워크 내에서 객체가 얼마나 빠르게 이동하는지를 나타낸다. 데이터 전송 성공률이 떨어진다.

네트워크의 크기는 센서 노드들이 설치된 네트워크의 크기를 나타낸다. 네트워크가 클수록 에너지 소비량이 증가한다.

객체의 수는 네트워크 내에서 움직이는 객체의 수로, 객체가 늘어날수록 에너지 소비량이 증가한다.

5.2.2 객체 속도에 따른 시뮬레이션 결과

그림 8은 객체의 속도 변화에 따른 데이터 전송 성공률을 측정된 결과 그래프이다. 모든 프로토콜이 객체의 속도가 증가할수록 점차 성공률이 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 객체가 빨라질수록 질의-응답 과정의 지연시간동안 이동 객체가 더 먼 거리를 이동하게 되고 질의를 했던 시점과 응답이 돌아온 시점에서 객체 위치에 오차가 생기기 때문이다. 특히 [7]이나 [10]과 같은 연구들은 싱크 또는 소스로부터 네트워크에 가상의 구조를 형성한다. 이로 인해 이동 객체들이 일정 거리 이상 이동하게 되면 가상의 구조를 새로 생성해야 하기 때문에 속도가 빨라질수록 더 자주 가상의 구조를 생성해야 하고, 이에 따라 객체간의 연결성에 문제가 발생하기 때문에 전송 성공률이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 제안된 방안은 싱크 또는 소스로부터 구조를 형성하는 것이 아닌, 네트워크에 공유되는 가상의 구조를 형성하기 때문에 [8]이나 [11]의 방법에 비해 높은 데이터 전송 성공률을 나타낸다.

그림 9는 객체의 속도 변화에 따른 에너지 소비량을 측정된 결과 그래프이다. 모든 프로토콜이 객체의 속도가 증가할수록 에너지 소비량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 객체가 빠르게 이동하여 같은 시간동안 더 많은 지역을 움직이기 때문에 발생하는 제어 메시지가 더 빈번히 발생하기 때문이고, 특히 객체가 빠르게 이동하여, 가상의 구조를 자주 그리는 [7]과 [10]의 경우, [10]은 노드 단위로 가상의 구조를 생성하기 때문에 네트워크에 일정 크기로 가상의 구조

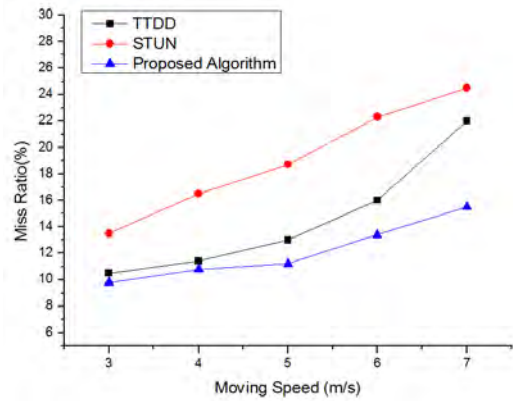


그림 8. 객체 이동속도 대비 전송 실패율
Fig. 8. Miss ratio versus moving speed

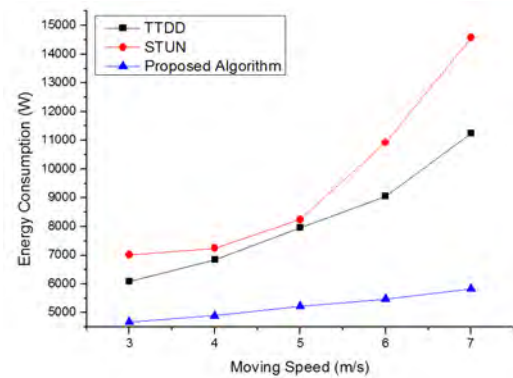


그림 9. 이동 속도 대비 에너지 소비량
Fig. 9. Energy consumption versus moving speed

를 그리는 [7]에 비해 더욱 많은 에너지를 소비하게 된다.

5.2.3 네트워크 크기에 따른 시뮬레이션 결과

그림 10은 이동 객체의 이동 속도를 고정하고 네트워크의 크기에 따른 데이터 전송 성공률을 측정된 결과 그래프이다. 프로토콜 모두 네트워크의 크기가 커질수록 데이터 전송 성공률이 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 네트워크의 크기가 커질수록 질의-응답 과정의 지연시간동안 이동 객체가 더 먼 거리를 이동하게 되고 질의를 했던 시점과 응답이 돌아온 시점에서 객체의 위치에 오차가 생기기 때문이다. 또한 [8]과 [11]의 경우, 이동 객체가 일정 거리 이상 이동하게 되면 연결성 확보를 위하여 가상의 구조를 새로 생성해야 하는데, 네트워크의 크기가 커질수록 구조를 새로 생성하는 동안에 전달되는 데이터들에 대해 전송 실패가 발생한다. 하지만 제안방안의 경우 네트워크에

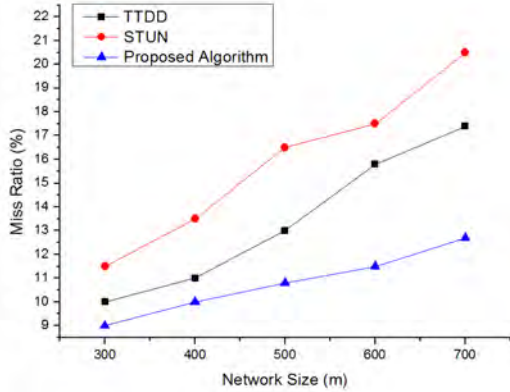


그림 10. 네트워크 크기에 따른 전송 실패율
Fig. 10. Miss ratio versus network size

고정된 가상의 구조를 생성하기 때문에, [8]이나 [11]의 방법에 비해 높은 데이터 전송 성공률을 나타낸다.

그림 11은 이동 객체의 이동 속도를 고정하고 네트워크의 크기에 따른 에너지 소비량을 측정된 결과 그래프이다. 프로토콜 모두 네트워크의 크기가 커질수록 에너지 소비량이 증가하는 모습을 보여준다. 이것은 네트워크의 크기가 커질수록 가상 구조를 형성하는데 많은 에너지를 소비할 뿐 만 아니라, 각 프로토콜이 구성한 가상의 구조에 객체들의 정보를 저장하기 위해 더 많은 노드를 사용하기 때문이다. 특히 [7]과 [10]은 네트워크에 존재하는 객체마다 가상의 구조를 그려야 하기 때문에, 네트워크에 하나의 가상 구조를 생성하는 제안방안보다 훨씬 높은 에너지 소비량을 보여준다.

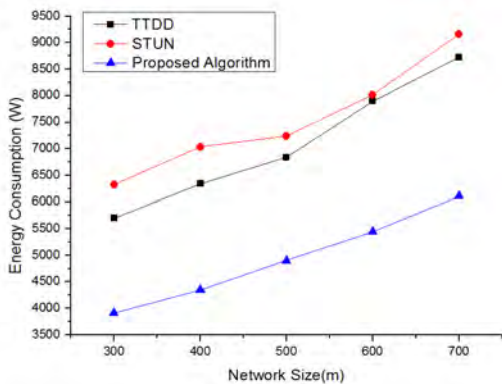


그림 11. 네트워크 크기에 따른 에너지 소비량
Fig. 11. Energy consumption versus network size

5.2.4 객체 수에 따른 시뮬레이션 결과

그림 12는 객체 수에 따른 데이터 에너지 소비량을

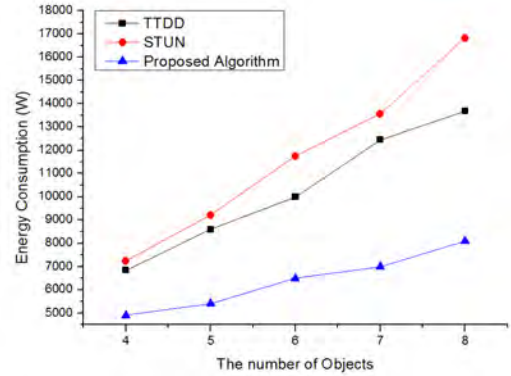


그림 12. 객체 수에 따른 에너지 소비량
Fig. 12. Energy consumption versus the number of objects

측정한 결과 그래프이다. 프로토콜 모두 객체의 수가 증가할수록 그에 비례하여 에너지 소비량이 증가한다. 특히 [8]과 [11]의 경우, 각 객체별로 연결성 확보를 위해 각 객체가 각각의 가상 구조를 가지고 있어야 하기 때문에, 객체의 수가 늘어남에 따라 에너지 소비량이 급격히 증가하게 된다.

VI. 결 론

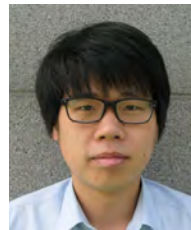
본 논문에서 우리는 이동 객체간의 대칭적인 통신 방안에 대하여 제안하였다. 제안 방안은 네트워크 초기화 단계에서 네트워크를 격자구조 형태로 나누고 각 격자점을 이용하여 가상의 트리를 구성한다. 또한 각 객체들은 통신을 위한 연결성 확보를 위해 자신의 위치를 등록하고, 통신을 원하는 객체는 네트워크에 구성된 트리를 따라 질의를 수행하며, 이 질의를 전달 받은 객체는 직접적으로 데이터를 전달한다. 이러한 과정을 통하여 이동 객체간의 대칭적인 통신을 지원한다. 성능 분석과 시뮬레이션 결과를 통하여 제안방안이 기존의 이동성지원 연구들에 비해 대칭적인 통신을 지원하는데 적합하다는 것을 확인할 수 있다.

References

- [1] I. F. Akyildiz, et al., "A survey on sensor networks," *IEEE Commun.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] E. B. Hamida and G. Chelius, "Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol.

- 15, no. 6, pp. 31-37, Dec. 2008.
- [3] S. D. Kim, et al., "Continuous moving object tracking using query relaying in tree-based sensor network," *J. KICS*, vol. 39, no. 5. pp. 271-280, May 2014.
- [4] S. Park, E. Lee, J. Jung, and S.-H. Kim, "Real-time routing based on on-demand multi-hop lookahead in wireless sensor networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol. 94-B, no. 2, pp. 569-572, Feb. 2011.
- [5] M. Lazarescu, et al., "Design of a WSN platform for long-term environmental monitoring for IoT applications," *IEEE J. Emerging and Sel. Topics in Cir. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 45-54, Mar. 2013.
- [6] F.-J. Wua, Y.-F. Kaob, and Y.-C. Tseng, "From wireless sensor networks towards cyber physical systems," *Pervasive and Mob. Comput.*, vol. 7, no. 4, pp. 397-413, Aug. 2011.
- [7] H. Luo, et al., "TTDD : Two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 11, no. 1, pp. 161-175, Jan. 2005.
- [8] H. S. Kim, T. F. Abdelzaher, and W. H. Kwon, "Minimum-energy asynchronous dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *SenSys*, pp. 193-204, Los Angeles, CA, USA, Nov. 2003.
- [9] Z. H. Mir and Y.-B. Ko, "A quadtree-based hierarchical data dissemination for mobile sensor networks," *Telecommun. Syst.*, vol. 36, no. 1-3, pp. 117-128, Nov. 2007.
- [10] H. T. Kung and D. Vlah, "Efficient location tracking using sensor networks," *WCNC*, pp. 1954-1961, New Orleans, LA, USA, Mar. 2003.
- [11] C.-Y. Lin and Y.-C. Tseng, "Structures for in-network moving object tracking in wireless sensor networks," *BROADNETS*, pp. 718-727, San Jose, California, USA, Oct. 2004.
- [12] M. Naderan, M. Dehghan, and H. Pedram, "Mobile Object tracking techniques in wireless sensor networks," *ICUMT*, pp. 1-8, St. Petersburg, Russia, Oct. 2009.
- [13] J. Hightower and G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *IEEE Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, Aug. 2001.
- [14] E. S. Lee, et al., "Sink location dissemination scheme in geographic routing for wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 34, no. 9, pp. 847-856, Sept. 2009.
- [15] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Pers. Commun. Mag.*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [16] W. S. Lee, H. S. Hong, and S. H. Kim, "Cluster-based continuous object prediction algorithm for energy efficiency in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 36, no. 8, pp. 489-496, Aug. 2011.
- [17] J. A. Bondy and U. S. R. Murty, *Graph theory with applications*, North-Holland: Elsevier, 1976.
- [18] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online]. Available: <http://www.scalable-networks.com>
- [19] J. Hill and D. Culler, "Mica: A wireless platform for deeply embedded networks," *IEEE Micro*, vol. 22, no. 6, pp. 12-24, Nov./Dec. 2002.

김 상 대 (Sangdae Kim)



2013년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2013년 3월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정
 <관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

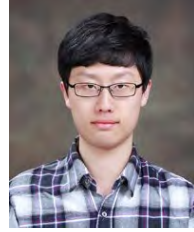
김 천 용 (Cheonyong Kim)



2013년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업
2015년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2015년 2월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

양 태 훈 (Taehun Yang)



2014년 8월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업
2014년 9월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

조 현 중 (Hyunchong Cho)



2013년 2월 : 전북대학교 전자정보공학부 컴퓨터공학과 졸업
2013년 3월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정
<관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)



1980년 : 서울대학교 학사
1984년 : University of Houston 석사
1989년 : University of Houston 박사
1992년~현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등