

고정 노드와 이동 노드가 상존하는 센서 네트워크에서 이동 노드 몰림 현상으로 인한 폭주 현상 해결을 위한 펌핑 노드 구조

정회원 이 동 규*, 준회원 김 병 철*, 정회원 박 성 호*, 종신회원 강 순 주**

The Pumping Node Architecture to Solve the Traffic Congestion Problem due to the Crowds of Mobile Nodes in Wireless Sensor Networks

Dong-Kyu Lee* *Regular Member*, Byung-Chul Kim** *Associate Member*,
Sung-Ho Park** *Regular Member*, Soon-Ju Kang**^o *Lifelong Member*

요 약

고정형 무선 센서 노드(고정 노드)와 이동형 무선 센서 노드(이동 노드)가 상존하는 무선 센서 네트워크에서 이동 노드들의 위치 변화는 네트워크 재구성을 유발하여 무선 센서 네트워크의 통신 환경을 변화시킨다. 특히 다수의 이동 노드들이 특정 지역에 밀집하여 위치하는 경우 이동 노드들이 다량의 통신량을 발생시킬 수 있다. 통신량 폭주가 발생하면 센서 노드들은 다른 센서 노드들과 통신용 무선 채널을 점유하기 위한 경쟁이 증가하게 되고 전송 데이터 손실 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 광대역 네트워크를 지원하는 새로운 형태의 고정 노드인 펌핑 노드를 제안한다. 펌핑 노드는 무선 센서 네트워크 내의 데이터를 광대역 네트워크로 펌핑 하여 무선 센서 네트워크의 통신량을 감소시키는 역할을 한다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에 펌핑 노드를 참여시켜 네트워크를 구성함으로써 전송 데이터 손실이 줄어들어 무선 센서 네트워크의 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 증명하였다.

Key Words : Pumping Node, Wireless Sensor Network, IEEE802.15.4 MAC, Mobility

ABSTRACT

In recent wireless sensor networks, stationary nodes and mobile nodes co-exist to provide a diverse service. However, because there are multiple mobile nodes located in the wireless sensor network, there is a potential for the instability due to the frequent network reconfiguration and the traffic caused by densely concentration of mobile nodes while mobile nodes are switching locations. In order to solve this problem, we propose the pumping node architecture to solve this traffic congestion problem due to the crowds of mobile nodes. The pumping node can be reduced heavy traffic by pumping through the backbone network caused by the densely concentration of the mobile nodes. As a result, the architecture reduces the traffic in the sensor network with high reliability.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2009-C1090-0902-0020).

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 실시간시스템 연구실({edongq, gos337, siblue, sjkang^o})@ee.knu.ac.kr(^o : 교신저자)

논문번호 : KICS2009-04-139, 접수일자 : 2009년 4월 1일, 최종논문접수일자 : 2009년 7월 29일

I. 서 론

최근 각종 센서들을 내장하여 환경의 변화를 실시간으로 감지하는 무선 센서 네트워크 기술이 활발히 연구되고 있다. 각각의 센서 노드들은 환경 정보 수집이 필요한 위치에 배치되어 다른 센서 노드들과 무선으로 연결하여 유기적인 무선 센서 네트워크를 형성한다^[1]. 초기에는 무선 센서 노드들이 환경 정보 수집은 필요하나 사람이 접근하기 힘든 지역에 무작위로 배포하는 용도로 개발되었으나 최근에는 특정 위치에 설치되어 실시간으로 환경 정보를 수집하는 목적으로 많이 개발되고 있다. 이 경우 무선 센서 네트워크는 고정된 위치에서 환경 정보를 수집하는 고정형 센서 노드(고정 노드)와 무선 센서 네트워크 내부를 이동하며 환경 정보를 수집하는 이동형 센서 노드(이동 노드)가 함께 무선 센서 네트워크를 구축하기도 한다^[2].

무선 센서 노드는 작은 메모리 공간을 가지며 이는 하나의 센서 노드와 연결할 수 있는 센서 노드의 수를 제한하는 원인이 된다. 또한 무선 센서 네트워크는 저전력을 위하여 미리 네트워크를 구성해 놓은 후 필요한 경우에만 데이터를 전송하는 구조이며 네트워크 환경에 따라 유기적으로 네트워크를 재구성하기도 한다. 네트워크 환경의 변화에 따른 네트워크 재구성이 증가하게 되면 통신량 및 에너지 소모가 증가한다. 이동 노드들의 위치 변화는 네트워크 재구성을 유발하여 네트워크 환경을 변화시킨다. 특히 다수의 이동 노드들이 특정 지역에 밀집하여 존재한다면 이동 노드들에 의한 네트워크 재구성 데이터 및 환경 정보 전송 등으로 통신량을 증가시킨다. 센서 노드들은 다른 센서 노드들과 통신용 무선 채널을 점유하기 위한 센서 노드들간의 경쟁이 증가하고 무선 센서 네트워크의 협소 대역폭으로 전송 데이터 손실 및 데이터 전송 지연이 발생한다^[3]. 그리고 증가된 통신량은 고정 노드가 수집한 환경 정보를 서버로 전송하는 기본적인 서비스를 방해하기도 한다.

본 논문에서는 이러한 이동 노드의 밀집으로 인한 전송 지연 및 손실 문제를 해결하기 위하여 무선 센서 네트워크 프로토콜의 수정 없이 무선 센서 네트워크에 참여하여 광대역 네트워크를 지원하는 새로운 형태의 고정 노드인 펌핑 노드를 제안한다. 펌핑 노드는 무선 센서 네트워크 데이터를 광대역 네트워크로 펌핑하는 역할을 한다. 또한 펌핑 노드는 다수의 이동 노드들에 의하여 통신량이 증가하

더라도 전송 지연 및 데이터 손실을 줄임으로써 무선 센서 네트워크의 신뢰성 향상에 도움을 준다.

서론에 이어 2장에서는 본 논문에서 적용되는 센서 네트워크 도메인 설명과 연구 배경에 대하여 소개하고 3장에서는 제안하는 시스템을 설계하기 위한 디자인 고려사항에 대하여 살펴본다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 펌핑 노드 기반 무선 센서 네트워크 구조와 펌핑 노드의 상세 설계에 대하여 설명한다. 그리고 5장에서는 펌핑 노드의 성능을 테스트하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 도메인 설명 및 연구 배경

2.1 도메인 설명

무선 센서 네트워크는 사람이 다니기 힘든 산악 지형이나 전쟁 지역 등에 다수의 센서 노드를 무작위로 배포하여 환경 정보를 수집하는 용도로 개발되었다. 그러나 최근에는 유비쿼터스 컴퓨팅과 네트워크 환경의 발전으로 환경 정보 수집을 원하는 다양한 지역에 무선 센서 네트워크를 구축하고 수집한 데이터를 이용하여 다양한 서비스를 제공하고 있다.

그림 1은 대형 물류 창고에 무선 센서 네트워크를 적용한 그림이다. 물류 창고는 보관하는 물품의 변질을 막기 위하여 물품의 종류에 따라 각기 다른 보관 환경을 제공하여야 한다. 상온에서 변질이 쉬운 식품의 경우에는 낮은 습도를 유지하는 보관 창고에 보관하여야 한다. 이처럼 보관되는 물품의 종류에 따라 창고의 보관 환경도 달라져야하므로 물류 창고에 설치되는 센서 노드는 그 목적에 맞는 센서들을 탑재하여 원하는 환경 정보들을 수집하게 된다.

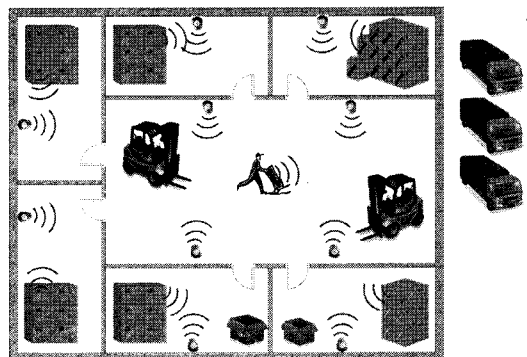


그림 1. 고정 노드와 이동 노드가 상존하는 무선 센서 네트워크를 적용한 창고 물류 관리 시스템

이러한 시스템에 설치되는 센서 노드들은 장소에 따라 각기 다른 센서를 필요로 하므로 무작위로 배포되는 것이 아니라 각각 정해진 위치에 설치되어 무선 센서 네트워크를 구축한다. 그래서 각 센서 노드들은 고정된 장소에 위치하여 환경 정보를 실시간으로 수집하여 서버로 전달하고 서버는 수집된 정보를 분석하여 물품 보관에 적합한 환경을 유지하도록 관리한다. 그러나 최근에는 여기에 그치지 않고 보관하고 있는 물품에 이동 노드들을 장착하여 물품의 종류, 수량, 위치 정보, 반출입 여부 등을 실시간으로 관리할 수 있는 서비스들이 요구되고 있다.

이처럼 물류 창고 시스템에 설치되는 각 센서 노드들은 목적에 맞는 센서를 내장하고 각 센서의 감지 거리를 감안하여 환경 정보 수집이 필요한 지역에 적절한 수의 고정 노드들을 설치하여 무선 센서 네트워크를 구축한다. 그리고 물품에는 이동 노드들이 부착되어 물품의 종류, 수량, 위치 등의 정보를 기설치된 고정 노드로 전송하고 고정 노드는 이 데이터를 무선 센서 네트워크를 거쳐 서버로 전송한다. 이러한 물류 창고 시스템에는 고정 노드의 수에 비해 다수의 이동 노드가 존재할 수 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 하나의 Personal Area Network (PAN)으로 구축하고 환경 정보 수집을 담당하는 고정 노드들과 다수의 이동 노드들이 존재하는 무선 센서 네트워크를 가정하였다.

2.2 연구 배경

무선 센서 네트워크는 센서 노드들 사이에 무선으로 연결하여 네트워크를 구성하고 통신 환경에 따라 그 연결을 유동적으로 변화시키며 동작한다. 이러한 무선 센서 네트워크에 다수의 이동 노드들이 존재하고 그 위치를 자유롭게 변화시킨다면, 변화된 위치에서 발생하는 이동 노드들의 네트워크 재참여와 통신 환경의 변화로 네트워크 재구성이 빈번하게 발생하게 된다. 무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 제한된 저장 공간을 가지고 있어 다른 센서 노드들과의 연결을 생성하고 유지할 수 있는 수가 제한적이며 무선 센서 네트워크의 대역폭 또한 수십 Kbps이하로 제한적이다^[4]. 따라서 일정 수 이상의 센서 노드들이 네트워크를 구성하거나 데이터를 전송하는 경우, 센서 노드들이 무선 센서 네트워크에 참여하지 못하거나 다량의 통신량으로 무선 센서 네트워크 대역폭이 부족해질 수 있다^[5].

그림 2와 같이 고정 노드와 이동 노드가 상존하

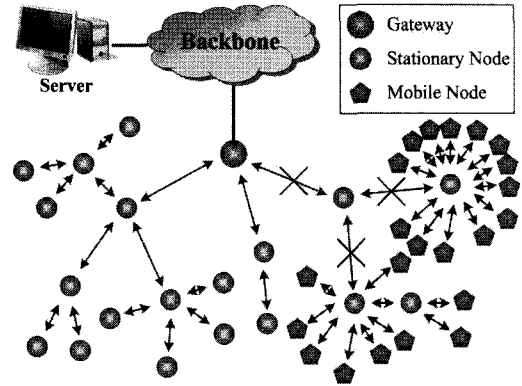


그림 2. 다수의 이동 노드 밀집에 의한 통신량 증가

는 무선 센서 네트워크에서 다수의 이동 노드들이 특정 지역에 밀집하여 존재한다면 이동 노드들에 의한 네트워크 재구성 데이터 및 센싱 데이터 전송 요청 등으로 통신량이 늘어나게 된다^[6]. 이러한 경우 센서 노드들 사이에 무선 채널 점유를 위한 경쟁이 증가한다. 또한 대역폭 부족으로 전송 데이터 손실 및 전송 지연도 증가한다. 빈번한 네트워크 재구성은 고정 노드가 수집한 환경 정보 전송에도 영향을 주어 정상적인 데이터 전송을 방해하게 된다. 그리고 특정 지역에서 발생한 무선 센서 네트워크 대역폭 부족 문제는 그 지역에만 국한되지 않고 상위 지역에도 통신 트래픽이 전달되어 전반적인 대역폭 부족 문제를 야기한다^[7].

이러한 문제를 해결하기 위하여 무선 센서 네트워크를 여러 개의 PAN으로 네트워크를 구성할 수도 있다. 그러나 다수의 PAN으로 구성된 무선 센서 네트워크에서 한 센서 노드에서 다른 PAN에 있는 센서 노드로 데이터를 전송한다면 데이터가 서버에 전달된 다음 다시 다른 PAN으로 전달되는 등 추가적인 작업이 필요하다. 또한 이동 노드들이 다른 PAN으로 위치를 변화시키는 경우 PAN간 핸드오버를 위한 오버헤드 등이 발생하게 된다. 이러한 다수 PAN으로 구성된 무선 센서 네트워크의 복잡도를 줄이면서 이동 노드 밀집으로 인한 네트워크 폭주 문제를 막기 위한 시스템을 고려하게 되었다.

III. 디자인 고려사항

다수 이동 노드들의 밀집으로 무선 센서 네트워크의 통신량이 증가하게 된다. 이러한 경우 발생하는 데이터 전송 지연 및 데이터 손실 문제 해결을 위해 펌핑 노드 기반 무선 센서 네트워크 구조를

제안하고 그 시스템 구축을 위하여 다음의 몇 가지 사항을 고려하여야 한다.

첫째, 기존의 무선 센서 네트워크 노드와 연동이 되어야 한다. 이동 노드에 의한 과도한 통신량을 줄이면서도 기존의 무선 센서 네트워크와 연동되어 하나의 시스템처럼 동작하여야 한다. 이동 노드가 무선 센서 네트워크에 미치는 영향을 줄이면서 기존의 무선 센서 네트워크 프로토콜과 연동을 하여 외부에서 보기에는 동일한 프로토콜로 동작하는 것처럼 작동을 하여야 한다. 무선 센서 네트워크에 존재하는 새로운 형태의 노드가 아니라 기존의 고정 노드와 동일한 노드로 인식되어야 한다.

둘째, 백본 네트워크와 센서 네트워크의 차이를 고려하여야 한다. 백본 네트워크는 수십 Kbps의 대역폭을 가지는 센서 네트워크와는 달리 대부분 수십 Mbps 이상의 광대역 네트워크이다. 따라서 센서 네트워크 데이터가 수십 byte의 크기를 가지는데 반해 백본 네트워크 데이터는 수백 byte 이상의 데이터를 전송할 수 있다. 무선 센서 네트워크 데이터를 백본 네트워크 데이터로 변환하는데 있어 이러한 차이를 고려하여 백본 네트워크를 효율적으로 사용할 수 있어야 한다.

셋째, 전송 데이터의 우선순위에 따른 처리가 가능하여야 한다. 무선 센서 노드로부터 수집되는 센싱 데이터의 경우 일반적으로는 저전력인 센서 네트워크의 특성에 맞추어 시간에 종속적이지 않은 경우가 많으나 응용분야에 따라 실시간으로 전송되지 않으면 심각한 문제가 발생할 수도 있다. 전송 데이터의 우선순위를 구분하여 우선순위에 따른 데이터 처리를 고려하여야 한다.

IV. 제안 시스템 구조

4.1 제안하는 펌핑 노드 기반 무선 센서 네트워크 구조

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 다수의 이동 노드 밀집으로 인한 통신량 증가 문제를 해결하기 위하여 새로운 형태의 고정 노드인 펌핑 노드를 제안하였다. 펌핑 노드는 멀티 홉 라우팅 기능 등 기존의 무선 센서 네트워크 프로토콜과 광대역 네트워크인 백본 네트워크를 지원한다. 이 펌핑 노드는 다수의 이동 노드들이 특정 지역에 밀집하여 네트워크 재구성 및 데이터 전송 요청 등으로 다량의 트래픽을 발생하는 경우 펌핑 노드들 경유하는 데이터를 확인하여 펌핑이 가능한 데이터를 백본

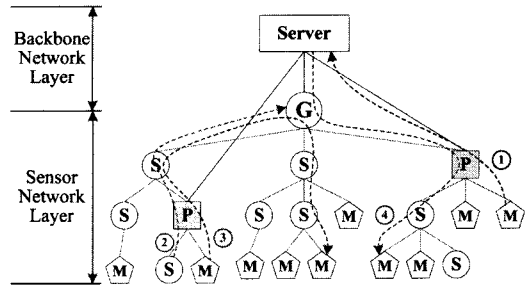


그림 3. 펌핑 노드를 적용한 무선 센서 네트워크 개념도

네트워크로 펌핑하여 서버로 전달한다. 그림 3은 펌핑 노드 기반 무선 센서 네트워크 시스템의 개념도이다.

그림 3에서 보듯이 펌핑 노드를 경유하는 데이터의 흐름은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 먼저 그림 3의 ①은 센서 노드에서 서버로 전달되는 데이터의 흐름이다. 센서 노드는 수집한 환경 정보 또는 자신의 위치 정보 등을 가공하여 무선 센서 네트워크를 거쳐 서버에 전달한다. 이 과정에서 전송 데이터가 펌핑 노드를 경유하게 되면 펌핑 노드는 데이터를 센서 네트워크로 라우팅하지 않고 백본 네트워크로 펌핑을 하여 서버로 전달한다. 두 번째로는 그림 3의 ②와 같이 센서 노드가 네트워크 구성 및 관리에 필요한 데이터를 전송하는 경우이다. 무선 센서 네트워크 구성과 관련된 데이터는 서버로 전달되지 않고 무선 센서 네트워크 내에서 조상 노드나 코디네이터 노드로 전달이 되어야 한다. 따라서 펌핑 노드는 이 데이터를 백본 네트워크로 펌핑을 하지 않고 무선 센서 네트워크로 라우팅을 하여 조상 노드 또는 코디네이터 노드로 전달한다. 세 번째로는 그림 3의 ③과 같이 센서 노드들이 다른 센서 노드로 데이터를 전송하는 경우이다. 이 경우 역시 서버로 전달되는 데이터가 아니므로 펌핑 노드는 무선 센서 네트워크의 다른 센서 노드로 데이터가 전달되도록 펌핑을 하지 않고 라우팅을 한다. 마지막으로 그림 3의 ④와 같이 서버에서 센서 노드로 데이터를 전달하는 경우이다. 목적 센서 노드가 펌핑 노드 자손 노드라 하더라도 서버는 펌핑 노드로 데이터를 전달하는 것이 아니라 게이트웨이를 거쳐 무선 센서 네트워크로 데이터를 전달한다. 펌핑 노드는 이 과정에서 일반 고정 노드로 동작을 한다.

이처럼 펌핑 노드는 펌핑 노드 상위로 가는 데이터 중에서 펌핑이 가능한 데이터를 백본 네트워크로 펌핑을 하여 서버로 전송하므로 펌핑 노드 상위

의 무선 센서 네트워크로 전달되는 데이터의 양을 줄이는 역할을 한다. 이를 이용함으로써 펌핑 노드는 협소 대역폭을 지닌 무선 센서 네트워크에서 특정 지역에 이동 노드 밀집으로 인한 통신량 증가로 인한 대역폭 부족으로 발생하는 네트워크 불안정이 조상 노드로 전파되는 문제를 줄이는 역할을 한다.

그리고 펌핑 노드를 설치함에 있어 그 위치는 응용 서비스에 따라 결정하여야 한다. 일반적인 센서 네트워크에서 이동 노드의 위치는 예측이 불가능하다. 그러나 응용 서비스에 따라 이동 노드의 밀집이 발생 가능한 위치의 예측은 가능하다. 예를 들어 물류 관리 시스템에서는 다수의 물품에 이동 노드들이 부착되어 있으므로 이동 노드들이 몰려있는 곳에 펌핑 노드를 설치하면 된다. 일반 사무실 등에는 환경 정보 수집을 위한 고정 노드를 설치하며 물품의 반출입을 처리하는 곳은 펌핑 노드를 설치할 수 있다. 물품의 반출입을 처리하는 데 있어 대량으로 취급하다 보면 대기하는 경우가 많으므로 이동 노드가 밀집할 확률이 높으므로 펌핑 노드를 설치하여 네트워크의 통신량을 줄이는 것이 가능하다.

4.2 펌핑 노드 상세 설계

그림 4는 본 논문에서 제안하는 무선 센서 네트워크 프로토콜과 광대역 네트워크를 지원하는 펌핑 노드의 소프트웨어 구조이며 펌핑 노드를 경유하는 데이터의 흐름은 ①, ②와 같다. 그림 4의 ①은 펌핑을 하지 않고 무선 센서 네트워크로 라우팅을 하는 데이터로서 펌핑 노드의 물리 계층과 MAC 계층을 거쳐 펌핑 유무를 결정하고 네트워크 계층에서 라우팅 경로를 확인하여 MAC 계층과 물리 계층을 거쳐 다시 무선 센서 네트워크로 전달이 된다.

그림 4의 ②는 펌핑되는 데이터의 흐름으로서 펌핑 노드의 물리 계층을 거쳐 전달된 데이터를 MAC 계층에서 펌핑 유무를 판단하고 펌핑할 데이터의 경우 펌핑 미들웨어로 전달하여 백본 네트워크로 전달이 된다.

펌핑 노드는 무선 센서 네트워크를 담당하는 모듈, 백본 네트워크를 담당하는 모듈, 무선 센서 네트워크와 백본 네트워크를 연결하는 Pumping Middleware로 구성된다.

무선 센서 네트워크 모듈은 무선 센서 네트워크 프로토콜 스택의 물리 계층, 무선 MAC 계층, 네트워크 계층으로 구성되어 있다. 먼저 물리 계층은 무선 센서 네트워크의 무선 통신을 담당하며 기존의 무선 센서 네트워크와 동일한 물리 구조를 가진다. 그리고 네트워크 계층은 네트워크 관리, 보안 관리, 라우팅 관리, 네트워크 메시지 브로커 등의 기능을 지원하여 무선 센서 네트워크와의 호환성을 보장한다. 무선 MAC 계층은 Packet Monitoring Manager (PM Manager), Legacy Wireless MAC Manager (LWM Manager), Wireless Pumping Manager (WP Manager)로 구성되어 있다. PM Manager는 물리 계층으로부터 전달받은 데이터를 분석하여 백본 네트워크로의 펌핑 유무를 결정한다. PM Manager가 백본 네트워크로 펌핑을 결정한 데이터는 WP Manager로 전달되어 펌핑 과정을 거치게 되고 그렇지 않은 데이터는 LWM Manager로 전달되어 무선 센서 네트워크 데이터로서 처리를 한다. LWM Manager는 무선 센서 네트워크의 MAC 계층의 역할을 하여 MAC 통신과 관련된 기능을 지원하며 PM Manager로부터 전달받은 데이터를 처리하여 무선 센서 네트워크의 네트워크 계층으로 전달하는 역할을 한다. WP Manager는 PM Manager로부터 전달받은 데이터를 Pumping Middle로 전달하는 역할을 하며 펌핑 데이터의 우선순위를 결정하여 Pumping Middle의 Priority Data Queue (PD Queue)에 전달한다. 소스 센서 노드가 데이터를 전송하는 과정에서 Acknowledge 등의 요구를 하는 경우가 있다. 만약 펌핑을 하는 과정에서 펌핑 노드가 Acknowledge 처리를 하지 않으면 소스 센서 노드는 데이터 전달이 정상적으로 이루어졌음을 인지하지 못하고 재전송 과정을 거치게 되어 데이터의 중복 전송이 발생한다. 따라서 WP Manager가 이러한 작업들을 처리해줌으로서 소스 센서 노드는 데이터 전송이 정상적으로 이루어진 것으로 인식하게 된다. 그림 5는 Wireless MAC 계층에서 데이터를 펌핑할 때

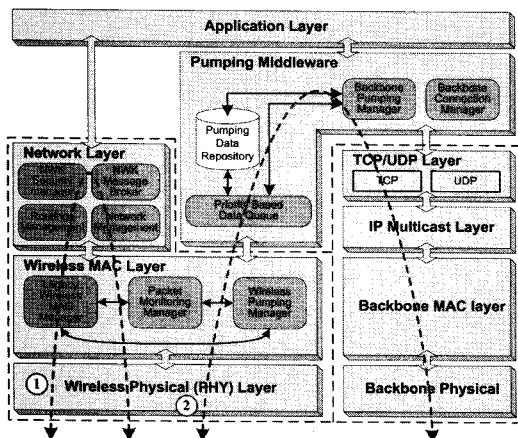


그림 4. 제안하는 펌핑 노드 소프트웨어 구조

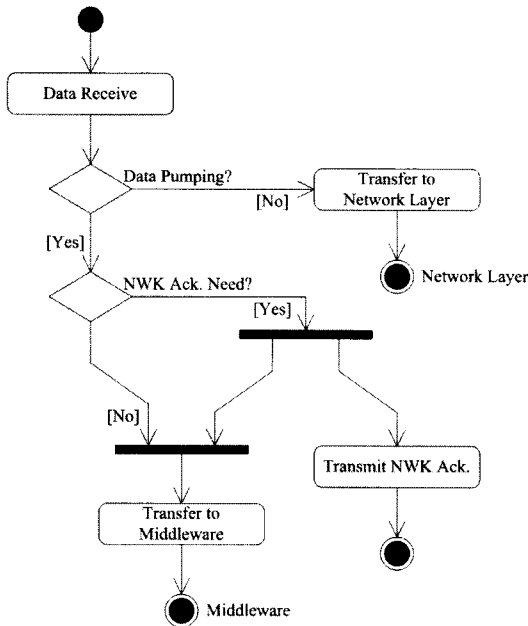


그림 5. Wireless MAC 모듈에서의 데이터 펌핑을 위한 활동 다이어그램

Acknowledge 및 데이터 흐름을 보여주는 활동 다이어그램이다.

백본 네트워크 모듈은 백본 물리 계층과, 백본 MAC 계층, 백본 네트워크 계층으로 구성되어 있다. 백본 네트워크 모듈은 백본 네트워크를 통하여 펌핑 노드와 서버간의 물리적 연결을 담당하고 무선 센서 네트워크에서 펌핑 과정을 거쳐 서버로 전달하여야 할 데이터들을 백본 네트워크를 통해 서버로 전달하는 역할을 한다.

Pumping Middleware는 Priority Data Queue (PD Queue), Backbone Connection Manager (BC Manager), Backbone Pumping Manager (BP Manager), Pumping Data Repository (PD Repository)로 구성되어 있다. BC Manager는 펌핑 노드와 서버간의 통신을 위하여 백본으로 연결을 생성하고 유지하는 역할을 한다. 이후 펌핑 노드에서 서버로 전달되는 데이터는 BC Manager가 구축해놓은 연결을 통하여 서버로 전달된다. PD Queue는 무선 MAC 계층의 WP Manager에서 우선순위가 구분된 데이터를 전달받아 저장한다. BP Manager는 데이터의 펌핑 순서와 펌핑 데이터 구성 등 백본 네트워크를 통한 펌핑 관리를 한다. BP Manager는 서버로 실시간 전송되어야 하는 높은 우선순위의 데이터를 우선적으로 처리한다. 백본 네트워크와 무선 센서 네트워크는 그 특성에 많은 차이가 있으며 각각의 데이터는 각각

의 네트워크에 맞게 구성되어 있다. 무선 센서 네트워크 데이터를 백본 네트워크 데이터로 변환하여 서버로 전송하는데 있어 하나씩 전송하여도 광대역 네트워크인 백본 네트워크 특성상 문제는 없으나 다수의 무선 센서 네트워크 데이터를 모아서 한 번에 전송하는 것이 백본 네트워크를 효율적으로 사용하는 것이다. 그래서 BP Manager는 우선순위가 높은 데이터는 실시간으로 처리하나 그렇지 않은 데이터는 PD Repository에 저장하여 데이터양이 일정량을 초과하였거나 일정 시간을 경과하는 경우에서 서버로 전송한다.

V. 구현 및 검증

5.1 실험 환경

본 논문에서 제안하는 펌핑 노드를 구현하기 위하여 무선 센서 네트워크 프로토콜로는 ZigBee^[8]를 사용하였고 백본 네트워크로는 이더넷을 사용하였다. 본 논문에서 제안하는 펌핑 노드는 Atmel사의 AT91SAM7X256 메인 MCU와 DM9161AE Ethernet PHY 계층 모듈을 통합하여 개발하였다. AT91SAM7X256은 ARM7TDMI 코어 기반에 USART, SPI, CAN, Ethernet MAC 등의 통신 인터페이스를 제공한다. 펌핑 노드의 미들웨어는 실시간 운영체제인 FreeRTOS 기반으로 실행되며 TCP/IP 스택은 LwIP Ethernet 프로토콜 스택을 사용하였다. ZigBee 모듈의 하드웨어는 IEEE802.15.4 물리계층을 지원하는 RF와 8051 Core를 내장하고 있는 TI사의 CC2430 모듈을 사용하였다. ZigBee 프로토콜 스택은 TI사의 프로토콜 스택을 사용하였다.

5.2 실험적 분석

게이트웨이는 ZigBee 네트워크의 코디네이터 모듈을 탑재하였으며 서버와 이더넷을 통하여 연결하였다. 펌핑 노드는 수십 Kbps의 대역폭을 가지는 무선 센서 네트워크와 수백 Mbps의 대역폭을 가지는 광대역 네트워크 모두를 지원한다. 펌핑 노드의 성능은 광대역 네트워크 보다는 적은 대역폭을 가지는 무선 센서 네트워크의 성능에 따라 결정된다. 따라서 논문에서는 펌핑 노드의 무선 센서 네트워크 영역의 성능을 중심으로 평가하였다. 그리고 펌핑 노드는 펌핑을 하지 않는 경우에는 고정 노드인 라우터 노드로 동작을 한다. 그래서 우리는 펌핑 노드의 성능을 측정하고 비교 분석하기 위하여 동일한 위치에 라우터 노드와 펌핑 노드를 바꾸어가며

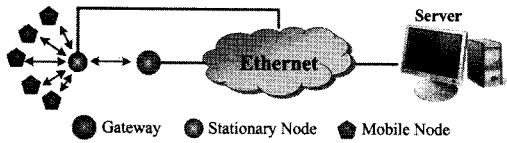


그림 6. 펌핑 노드 성능 테스트를 위한 실험 환경

실험하였다. 그림 6은 구현된 펌핑 노드 기반 무선 센서 네트워크 시스템을 검증하기 위하여 시스템을 구성한 것이다.

우리는 ZigBee 네트워크의 라우터 노드와 비교를 위하여 이동 노드의 수와 ZigBee Application Payload를 변화시키며 성능을 측정하였다. 먼저 기존 무선 센서 네트워크에서 이동 노드들을 네트워크에 참여시키고 트래픽을 발생시켜 데이터 전송 성공률을 측정하고 다음으로 라우터 노드를 펌핑 노드로 변경하여 데이터 전송 성공률을 측정하였다. 각각의 이동 노드를 50ms의 주기로 데이터를 전송하며 ZigBee APS Payload를 20byte, 40byte, 60byte의 크기로 증가시켰으며 각각의 실험 환경에서 이동 노드의 수를 증가시키면서 데이터 전송 성공률을 측정하였다. 그림 7은 이동 노드들의 수의 증가에 따른 데이터 전송 성공률이다. 기존의 ZigBee 네트워크를 이용한 경우 이동 노드가 증가함에 따라 데이터 전송 성공률이 급격히 줄어들었으며 ZigBee 네트워크의 병목지점인 라우터 노드에서 전송 데이터 손실이 발생한 것이다. 그러나 ZigBee 네트워크에서 라우터 노드 대신 펌핑 노드를 사용한 경우 데이터 손실이 기존의 ZigBee 네트워크에 비해 많이 줄어들었음을 알 수 있다.

펌핑 노드는 IEEE802.15.4 MAC 기반 통신을 지원한다. IEEE802.15.4 MAC은 패킷 전송을 위한 CSMA-CA 알고리즘의 Markov chain 모델을 사용한다⁹⁾. Markov chain 모델에서 패킷하나를 전송하

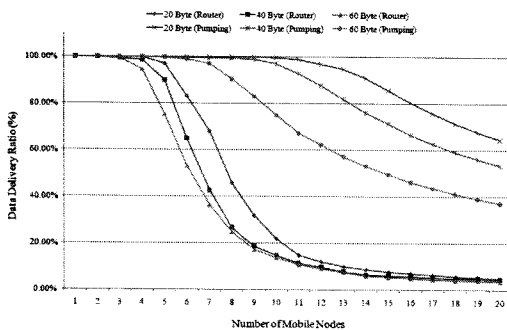


그림 7. 고정 노드를 펌핑 노드를 배치한 경우와 일반 라우터 노드를 설치한 경우의 데이터 전송 성공률

는데 걸리는 시간은 CSMA-CA를 이용한 전송 가능 여부 확인 시간, 패킷 전송 시간, RF 송수신 변경 시간, ACK 전송 시간, 프레임간의 대기 시간의 합으로 결정된다¹⁰⁾. 펌핑 노드와 통신을 하는 각 노드들이 차지하는 대역폭 $T_{TX(i)}$ 는 수식 (1)과 같다.

$$T_{TX(i)} = \frac{T_{CCA} + T_{DATA(i)} + 2T_{TA} + T_{ACK}}{T_{BW(i)}} \quad (1)$$

그리고 펌핑 노드들로 데이터를 전송하는 각 노드들의 전송 성공률은 $P_{success}$ 는 수식 (2)와 같다.

$$P_{success} = \frac{1 - P_{inactive}}{T_{TX(i)} \times (n - 1)} \quad (2)$$

수식 (1)과 (2)를 이용하여 펌핑 노드를 포함하여 n개의 노드들이 전송을 하기위하여 경쟁을 하는 경우 데이터 전송이 성공하는 경우의 전송 성공률을 계산하면 수식 (3)과 같다. 전체 전송 성공률 $P_{inactive}$ 는 각 노드들이 전송 성공할 확률에서 펌핑 노드가 데이터를 전송할 확률을 제외한 확률이 된다.

$$P_{inactive} = 1 - \left(\sum_{i=1}^n T_{TX(i)} - T_{TX(p)} \right) \times P_{success} \quad (3)$$

펌핑 노드의 최대 처리량을 구하기 위하여 T_{CCA} , T_{TA} , T_{ACK} , T_{IFS} , T_{BW} 은 각각 8 symbol, 12 symbol, 22 symbol, 40 symbol, 3250 symbol로 설정하였다. 이론적인 최대 처리량은 120Kbps가 나온다. 그림 8은 펌핑 노드의 이론적인 최고 처리량과 실험 결과상의 처리량을 보여주고 있다. ZigBee APS Payload를 증가시키면서 테스트를 진행하였다. 펌핑 노드 실험에서 ZigBee APS Payload에 따라 최대 처리량이 달라짐을 알 수 있다.

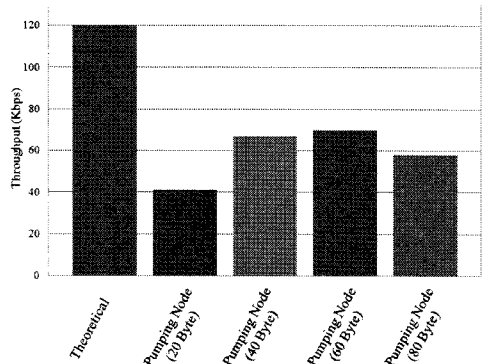


그림 8. 펌핑 노드의 이론적 성능과 테스트 결과

5.3 성능 평가 및 고찰

위의 실험 결과와 같이 이동 노드의 수와 전송 데이터의 크기에 따라 전송 성공률에 차이가 발생한다. 그림 7에서 보듯이 다수의 이동 노드가 다량의 트래픽을 발생하는 경우 라우터 노드를 펌핑 노드로 변경함으로써 데이터의 전송 성공률이 증가함을 알 수 있다. 그리고 실험 환경에서 백본 네트워크로 사용한 Ethernet이 센서 네트워크 프로토콜로 사용한 ZigBee 네트워크보다 수백 배의 대역폭을 가진다. 따라서 펌핑 노드의 백본 네트워크의 처리 능력과는 무관하게 무선 센서 네트워크의 처리 능력을 평가함으로써 펌핑 노드 자체의 성능을 확인할 수 있다.

펌핑 노드 성능 테스트의 결과를 보면 먼저 전송 데이터의 크기에 따라 전송 성공률의 차이가 발생함을 알 수 있다. 그림 7에서는 무선 센서 네트워크에서 데이터 전송 성공률을 높이려면 전송 데이터의 크기를 줄임으로써 더욱 안정적으로 통신이 가능해진다. 전송 데이터 크기에 따라 펌핑 노드의 처리량에 달라지기 때문이다. 그림 8을 보면 전송 데이터에 따라 최대 처리량이 변화하는 것을 알 수 있다. 이동 노드들로부터 서버로 전송되는 데이터의 성공률이 중요한 응용 시스템에서는 최대한 전송 데이터의 크기를 작게 하는 방향으로 설계하여야 한다. 그리고 이동 노드로부터 데이터를 전송함에 있어 그 처리량의 총량을 우선시하는 응용 시스템에서는 적당한 크기의 전송 데이터를 정하는 것이 중요하다. 본 실험에서는 펌핑 노드에서 처리하는 전송 데이터의 크기가 60 byte인 경우에 최대 처리량을 나타내었다. 따라서 전송 데이터의 크기를 결정함에 있어 응용 시스템에 따라 전송 데이터의 크기를 결정하여야 한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 고정 노드와 이동 노드가 상존하는 무선 센서 네트워크에 다수의 이동 노드 몰림 현상으로 인한 폭주 문제를 해결하기 위하여 광대역 네트워크를 지원하는 새로운 형태의 고정 노드인 펌핑 노드를 제안하였다. 그리고 펌핑 노드 기반의 무선 센서 네트워크를 구축하고 구축한 실험 환경에서 실험을 통해 그 효용성을 검증하였다.

제안하는 펌핑 노드는 다수의 이동 노드들이 특정지역에 밀집하는 경우 펌핑 노드를 거쳐 전달되는 데이터를 검사하여 펌핑이 가능한 데이터는 광

대역 네트워크인 백본 네트워크로 펌핑을 하여 서버로 전달한다. 이 결과로 무선 센서 네트워크 내의 통신량이 줄어들어 대역폭 부족으로 발생하는 센서 노드들 간의 무선 채널 점유를 위한 경쟁과 전송 데이터 손실을 줄였다. 또한 무선 센서 네트워크 데이터를 광대역 네트워크인 백본 네트워크의 특성에 맞게 변환하여 백본 네트워크로 전송함으로써 백본 네트워크를 효율적으로 사용하였다. 그리고 재난 감지 같은 특정 어플리케이션에서는 데이터의 전송 지연으로 인하여 심각한 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 패킷에 우선순위를 두어 우선순위가 높은 데이터의 경우 펌핑 노드에서 우선적으로 처리하도록 하였다. 또한 무선 센서 네트워크에 참여하여 기존의 고정 노드와 평상시에는 동일한 작업이 가능하도록 기존의 무선 센서 네트워크 프로토콜을 지원하여 연동을 가능하도록 하였다.

본 논문에서는 다수의 이동 노드들의 밀집으로 발생할 수 있는 폭주 현상을 막기 위해 펌핑 노드를 제안하였으며 이를 이용하여 펌핑 노드 기반 무선 센서 네트워크를 설계, 구현 및 검증하였다. 앞으로 무선 센서 네트워크에 고정 노드뿐만 아니라 이동 노드가 참여하는 경우가 늘어날 것이다. 이러한 시스템에 펌핑 노드는 좋은 해결책의 하나로서 사용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Bertocco, G. Gamba, A. Sona, and S. Vitturi, "Experimental characterization of wireless sensor networks for industrial applications," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 57, pp. 1537-1546, Aug 2008.
- [2] A.T. Erman, L.van Hoesel, P. Havinga, and J. Wu, "Enabling Mobility in Heterogeneous Wireless Sensor Networks Cooperating with Uavs for Mission-Critical Management," *IEEE Wireless Communications*, vol. 15, pp. 38-46, Dec 2008.
- [3] J.S. Lee, "Performance evaluation of IEEE 802.15.4 for low-rate wireless personal area networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 52, pp. 742-749, Aug 2006.
- [4] J.L. Zheng and M.J. Lee, "Will IEEE 802.15.4 make ubiquitous networking a reality? A discussion on a potential low power, low bit rate

