유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동 기법

A Survey on Integration Schemes of Wireless Sensor Networks and Internet for Ubiquitous Sensor Networks

백상헌 · 장 민 · 장덕현 · 조기덕 · 최양희 · 권태경
Sangheon Pack · Min Zhang · Dukhyun Chang · Kiduck Cho
Yanghee Choi · Taekyoung Kwon

최근 유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)를 구성하여 미래의 유비쿼터스 환경을 구축하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서는 무선 센서 네트워크 상의 센싱 장치를 통해 주변의 상태 정보를 습득하고 이를 처리한 후 무선 인터페이스를 통해 다른 노드로 전달하게 된다. 이러한 무선 센서 네트워크의 가장 대표적인 응용 프로그램은 우리 주변에 산재한 물리적 현상을 감지하여 이를 수집, 모니터링하는 데이터 수집 응용 프로그램이다. 이러한 응용 프로그램의 경우 무선 센서 네트워크는 하나의 데이터 베이스로 간주할 수 있고 무선 센서 네트워크에 대한 질의는 일반적으로 인터넷에 연결된 호스트가 보내게 된다. 따라서 무선 센서 네트워크와 인터넷을 효과적으로 연동하는 기술은 유비쿼터스 센서 네트워크 구현을 위한 핵심 기술이다. 본 논문에서는 지금까지 제안된 다양한 무선 센서 네트워크와 인터넷의 연동 기법들에 대해서 살펴본다. 연동 기법은 크게 무선 센서 네트워크와 인터넷 사이에 위치하는 게이트웨이를 이용하여 두 네트워크 사이의 변환을 처리하는 게이트웨이 기법과 인터넷 또는 센서 네트워크 상에 별도의 오버레이 네트워크를 구성하여 연동하는 기법으로 나뉠 수 있다. 그리고 오버레이 기법은 무선 센서 네트워크 상에 IP 오버레이 네트워크를 구성하는 기법과 인터넷 호스트 상에 센서 네트워크의 프로토콜을 구현하여 오버레이 무선 센서 네트워크를 구성하는 기법으로 나뉠 수 있다. 본 논문에서는 이러한 각 기법의 특성을 기술하고 각 기법이 가지는 장점과 단점을 비교한다. 그리고 무선 센서 네트워크와 인터넷의 연동과 관련된 이슈와 추후 연구 주제 등에 대해서 정리한다.

주제어: 유비쿼터스 센서 네트워크, 무선 센서 네트워크, 인터넷, 게이트웨이, 오버레이 네트워크

Recently, there are many researches to enable future ubiquitous environments based on ubiquitous sensor networks (USNs). In USNs, various sensing devices deployed in wireless sensor networks (WSNs) collect meaningful data from physical environments and the data are delivered to neighbor node through radio interfaces for further processing. The representative application in WSNs is a data collecting system, which monitors physical phenomena and gathers data around our life. In this system, WSNs can be considered as a kind of database and hosts connected to the Internet, in most cases, initiate some queries destined to WSNs and collect query responses from WSNs. Therefore, how to integrate WSNs with the Internet is one of the most critical issues in USNs. In this paper, we summarize existing schemes regarding to integration of WSNs with the Internet. We first classify various schemes into two categories: 1) a gateway approach where gateways between WSNs and the Internet are utilized to perform the protocol translation from one protocol to another. 2) an overlay approach that constructs an overlay network on the Internet or WSNs. The overlay approach can be divided into two subcategories: IP overlay network over WSNs and overlay WSNs over the Internet. We describe the characteristics of these schemes and evaluate their strengths and weaknesses. As a conclusion, we present future research issues related to the integration of WSNs with the Internet.

Keyword: Ubiquitous sensor networks, Wireless sensor networks, Internet, Gateway, Overlay network

백상헌, 장민, 장덕현, 조기덕, 최양희, 권태경: 서울대학교

I. 서 론

최근 활발히 논의되고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)는 우리 주변의 물리적 현상을 감지하는 센서 장치에 네트워크 개념을 추가해 사물의 존재 여부 및 위치 등의 감지한 정보를 네트워크와 연동, 실시간으로 관리, 제어하는 개념이다. 즉 우리 생활 공간의 필요로 하는 모든 사물에 전자 태그를 부착하고 이를 통해 기본적인 사물의 인식 정보는 물론, 주변의 환경 정보(온도, 습도, 오염 정보, 균열 정보 등)까지 탐지하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하고 관리함으로써 미래의 유비쿼터스 환경을 구축하려는 새로운 시도로 볼 수 있다.

이와 같은 유비쿼터스 센서 네트워크의 핵심 기술은 바로 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network) 기술이다. MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems), 나노 기술 등과 같은 초소형 마이크로 센서의 하드웨어 기술이 발전함에 따라 다양한 기능의 센서를 이용한 무선 센서 네트워크의 구축이 가능하게 되었다. 무선 센서 네트워크는 현실 세계에서 발생하는 여러 이벤트를 감지하여 이를 네트워크를 통해 수집, 처리하는 방식에 기반하고 있다. 무선 센서 네트워크의 주된 응용은 과학용이나 군사용을 들 수 있다. 즉, 직접적인 접근이 어려운 전쟁터에서의 적국의 감시, 강수량, 지질 상태 등을 모니터링하는 시스템, 교통 감시와 제어를 위한 지능형 교통 통제 시스템, 장기간의 환경 관찰을 통해 생태를 감시하는 시스템 등 미래의 유비쿼터스 환경에서 폭 넓게 사용될 것이다[1]. 뿐 만 아니라 무선 센서 네트워크는 감지된 정보에 기반하여 작동장치(Actuator)에게 특정 행위를 지시하는 무선 센서/장치 네트워크(WSAN: Wireless Sensor and Actor Networks)의 형태로 활용될 수도 있다[2]. 최근에는 해양 생태계 분석과 모니터링을 위한 해양 센서 네트워크에 대한 연구도 진행되고 있다[3],[4]. 이러한 다양한 센서 네트워크의 발전은 미래의 유비쿼터스 환경을 보다 우리의 일상 생활에 가깝게 만들어 줄 것이다.

하지만 무선 센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크와 판이하게 다른 특성을 가지고 있다. 즉 무선 센서 네트워크는 초소형의 센서 노드들로 구성이 되기 때문에 배터리 전력에 따른 한정된 에너지 자원을 가지게 된다. 또한 각 센서 노드들은 제한된 연산 처리 능력만을 가지고 있다. 뿐 만 아니라 무선 센서 네트워크는 기존의 셀룰라 통신망과는 달리 특정 인프라 구조가 없이 각 센서 노드들이 애드혹의 형태로서 구성되어 통신을 하게 된다. 이러한 애드혹 환경으로 인해 센서 노드 간에 전송되는 데이터가 외부에 쉽게 노출되거나 변조될 위험이 존재 한다.

이와 같은 무선 센서 네트워크 고유의 특성으로 인해 전력 소모를 최소화하는 MAC 프로토콜, 기존의 주소 기반의 라우팅이 아닌 데이터 질의에 기반한 라우팅 프로토콜(예를 들면, Directed Diffusion[5]), 보안성을 강화하기 위한 키 분배 기법 등과 관련해서 폭넓은 연구가 활발히 진행되고 있다.

무선 센서 네트워크와 관련된 연구는 크게 물리적 계층, 데이터 링크 계층, 네트워크 계층, 전송 계층으로 나뉘어서 진행되고 있다. 각 계층에서 효과적으로 무선 센서 네트워크를 구축하기 위한 이슈들은 다음과 같다 [1].

- 물리적 계층: 데이터 계층이나 네트워크 계층에 비해서 물리적 계층은 활발히 연구가 되지 않은 분야이기 때문에 전력 소비를 최소화하는 신호 변조 기법에 대한 연구가 필요하다. 또한 신호 전파 과정에서의 신호 손실을 최소화할 수 있는 기법도 필요하다. 기본적으로 센서 노드는 가능한 적은 생산 단가를 제공해야 하기 때문에 저전력, 저비용으로 센서 노드 하드웨어를 설계, 구현하는 것도 필수적인 요구 사항이다.
- 데이터 링크 계층: 무선 센서 네트워크를 위한 기존의 많은 매체 제어 프로토콜(MAC: Medium access protocol)[6]은 대부분은 센서 노드의 이동성이 적은 경우를 가정하여 설계 되었다. 하지만 무선 센서 네트워크의 응용에 따라 센서 노드가 이동하는 경우도 발생할 수 있기 때문에 센서 노드의 이동성이 존재하는 경우의 효과적인 매체 제어 프로토콜에 대한 연구가 필요하다. 또한 에너지 절감을 위한 수면 주기에 대한 스케줄링과 에러 제어 코딩 기법 또한 데이터 링크 계층에서 연구되어야 한다. 무선 센서 네트워크의 대표적인 매체 제어 프로토콜인 S-MAC[7]은 센서 노드의 동작 구간을 수면 구간과 활성 구간으로 구분하여 데이터 전송이 없는 경우에는 전력 소모가 아주 적은 수면 상태를 유지하여 에너지 절감 효과를 얻을 수 있도록 해준다.
- 네트워크 계층: 네트워크 계층은 무선 센서 네트워크에서 가장 활발히 연구되고 있는 분야이다[8]. 네트워크 계층이 담당하는 데이터 라우팅의 관점에서 무선 센서 네트워크는 기존의 인터넷 라우팅과 큰 차이점을 가진다. 즉 기존 인터넷에서는 목적지에 대한 주소를 통해 데이터를 전송하는 주소 기반의 라우팅 기법을 사용하지만, 무선 센서 네트워크에서는 현재 어떠한 센서 노드가 원하는 이벤트를 수집했는지에 대한 정보를 알 수가 없다. 따라서 무선 센서 네트워크에서는 주소 기반의 라우팅보다는 데이터 중심의 라우팅 기법이 널리 응용되고 있다[5]. 또한 라우팅 과정에서 전력 소비를 최소화하는 것도 중요한 문제이다. 이를 위해서는 에너지 소비를 고려한 다중 홉 라우팅 기법이나 데이터 집약 기법[9] 등이 논의되고 있다.
- 전송 계층: 인터넷의 경우 전송 계층 프로토콜인 TCP를 통해서 종단간의 신뢰성 있는 전송을 담당하게 된다. 하지만 무선 센서 네트워크의 센서 노드들은 극히 제한된 처리 능력을 가지기 때문에 기존의

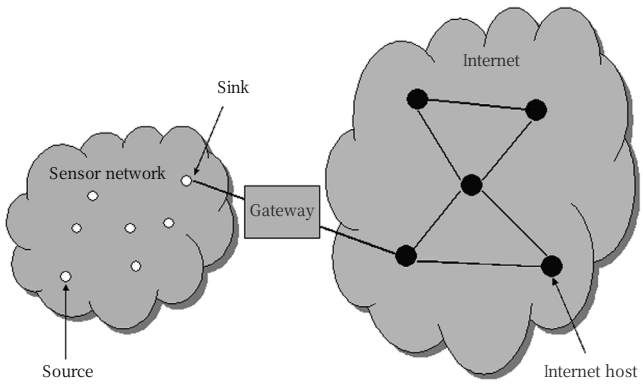


그림 1. 무선 센서 네트워크와 인터넷의 연동 구조

TCP와 같이 응답(Acknowledgement)에 기반한 방법은 적용되기 어렵다. 따라서 무선 센서 네트워크에서는 종단간 연결을 분리하여 중간의 에이전트를 통해 신뢰성을 보장할 수 있는 프락시를 이용한 기법 등이 연구되어야 한다.

- 무선 센서 네트워크 분야의 각 네트워크 계층에서의 연구는 비교적 활발히 진행되고 있는데 비해 무선 센서 네트워크를 인터넷과 효과적으로 연동하기 위한 연구는 그다지 활발히 진행되고 있지 않다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 무선 센서 네트워크의 다양한 응용 프로그램은 대부분 물리적 현상을 모니터링하고 이를 수집해서 분석하거나 수집한 정보에 기반하여 특정 행위를 취하는 방법에 기반하고 있다. 이러한 분석과 사후 동작은 대부분 인터넷 상에 연결되어 있는 호스트들에 의해서 이루어진다. 비록 모바일 애드혹 네트워크(MANET: Mobile Ad-hoc Network)와 인터넷의 연동에 대한 연구[10]가 일부 진행되었지만 무선 센서 네트워크는 모바일 애드혹 네트워크와 상이한 특성을 가지고 있기 때문에 기존의 기법들을 직접 무선 센서 네트워크에 적용시키기는 힘들다. 따라서 유비쿼터스 센서 네트워크에서의 다양한 응용 프로그램을 효과적으로 구현하기 위해서는 무선 센서 네트워크와 인터넷과의 효과적인 연동 구조와 기법에 대한 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 먼저 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동을 위한 기본적인 아키텍쳐를 기술한다. 그런 다음 현재 논의되고 있는 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동 기법을 두 가지로 분류하여 비교, 분석한다. 마지막으로 무선 센서 네트워크와 인터넷의 연동과 관련된 연구 이슈들을 정리하면서 끝을 맺는다.

II. 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동 아키텍쳐

앞서 이야기한 바와 같이 무선 센서 네트워크는 미래의 유비쿼터스 환경에서 광범위하게 사용될 것이다. 그 중에서 가장 대표적인 응용은 무선 센서 네트워크에서 다양한 센서 노드를 통해 수집된 정보를 인터넷으로 전송하여 인터넷에서 처리, 이용하는 데이터 수집 응용 프로그램이다[11]. 이러한 데이터 수집 응용 프로그램의 경우 무선 센서 네트워크는 하나의 데이터 베이스로 간주된다. 즉 인터넷에 있는 호스트를 통해 얻고자 하는 정보에 대한 질의를 보내면 무선 센서 네트워크에서는 이러한 질의를 해석하여 원하는 정보를 수집한 후, 이를 다시 인터넷으로 응답 메시지를 통해 보내게 된다.

그림 1은 무선 센서 네트워크와 인터넷의 기본적인 연동 아키텍쳐를 보여준다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 주변 환경에서 발생한 이벤트 데이터를 수집하는 소스(Source) 노드와 이러한 데이터를 모으는 싱크(Sink) 노드로 구성된다. 센서 노드의 수가 아주 많은 경우에는 무선 센서 네트워크는 클러스터(Cluster)의 형태로 분할되어 관리될 수 있다[12]. 이러한 클러스터 구조는 계층적인 라우팅을 가능하도록 한다는 점에서 보다 효과적이다. 이러한 클러스터 구조에서는 클러스터 헤드(Head)의 역할을 하는 노드가 존재한다. 뒤에서 설명할 오버레이 기반의 연동 기법에서는 모든 센서 노드에 IP 프로토콜을 구현하는 것이 사실상 불가능할 수 있기 때문에 클러스터 헤드에만 IP 프로토콜을 구현하여 오버레이 네트워크를 구성하는 방법을 사용한다.

인터넷의 경우 호스트들을 데이터 수집을 위해 질의를 보내는 클라이언트와 이러한 질의를 받아서 처리하는 서버로 구분하게 된다. 질의 서버의 경우 해당 질의를 해결하기 위하여 무선 센서 네트워크와 연동을 하게 되고 이러한 연동은 무선 센서 네트워크와 인터넷 사이

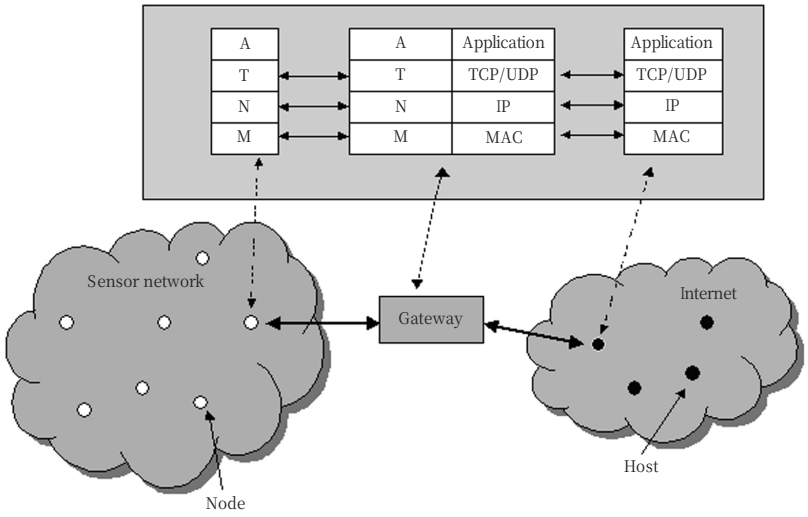


그림 2. 응용 계층 게이트웨이를 통한 연동

에 위치한 게이트웨이 노드가 담당하게 된다. 이러한 게이트웨이 노드는 무선 센서 네트워크 상의 싱크가 될 수도 있고 인터넷 상의 질의 서버 호스트가 될 수도 있다. 인터넷을 통한 질의의 경우 SQL과 같은 질의어가 사용될 수 있고 무선 센서 네트워크에서는 Mote와 같은 센서 노드를 위해 경량화된 TinyDB [13] 등을 사용하게 된다.

III. 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동 기법

기존 무선 센서 네트워크와 관련된 연구는 주로 MAC 프로토콜, 라우팅 프로토콜, 센서 노드의 위치 관리 등에 초점을 맞추어 진행되었다. 하지만 앞서 이야기한 바와 같이 대부분의 응용 프로그램이 센서 네트워크와 인터넷의 연동을 필요로 하고 또한 무선 센서 네트워크는 기존의 인터넷과 상의한 특성을 가지고 있기 때문에 두 네트워크를 효과적으로 연동하기 위한 기법에 대한 연구가 필요하다. 이러한 이유로 인해 최근에 무선 센서 네트워크와 인터넷의 연동과 관련된 연구가 몇몇 연구 그룹에서 진행되고 있다[14] ~ [16].

이러한 연구들은 크게 두 네트워크 사이에 위치한 게이트웨이에 의존하는 기법과 센서 네트워크 또는 인터넷 상의 오버레이 네트워크를 구성하여 연동하는 기법으로 나뉠 수 있다. 게이트웨이에 기반한 기법의 경우 응용 계층에서의 게이트웨이 기법과 Delay Tolerant Networking(DTN) 게이트웨이를 이용하는 기법으로 다시 분류할 수 있다. 오버레이 기법의 경우 무선 센서 네트워크 위에 가상의 인터넷 계층, 즉 오버레이 IP 네트워크를 구현하는 기법과 인터넷 위에 가상의 오버레이 센서 네트워크를 구현하는 방법으로 나뉠 수 있다. 그러면 각 기법들에 대해서 보다 자세히 알아보자.

1. 게이트웨이 기반의 연동 기법

1.1. 응용 계층 게이트웨이

그림 1에서 살펴본 바와 같이 무선 센서 네트워크와 인터넷을 연동하는 경우 두 네트워크를 연결하기 위한 게이트웨이가 필수적이다. 즉, 인터넷의 경우 TCP/IP에 기반한 프로토콜을 사용하게 되고 센서 네트워크에서는 S-MAC, Directed Diffusion 등과 같은 특성화된 프로토콜을 사용하기 때문에 두 네트워크 사이의 연동, 변환을 담당하는 게이트웨이가 두 네트워크 사이에 위치하게 된다. 여기서 기술하는 게이트웨이 기법은 뒤에서 설명할 DTN 기법과는 다르게 응용 계층 게이트웨이를 사용하는 기법을 의미한다. 응용 계층 게이트웨이란 무선 센서 네트워크와 인터넷의 연동을 위해서 응용 계층에서 그림 2와 같이 두 네트워크의 특성에 맞도록 프로토콜을 변환시켜주는 게이트웨이를 의미한다.

응용 계층 게이트웨이는 다음과 같은 역할을 수행한다[15]. 첫번째 기능은 전달(Relay) 기능으로 인터넷의 사용자가 응용 계층 게이트웨이에 자신이 필요로 하는 정보를 미리 게이트웨이에 등록해 놓고 센서 네트워크를 통해 수집된 정보 중 미리 등록된 내용에 부합하는 데이터만을 인터넷으로 전달해주는 기능이다. 응용 계층 게이트웨이는 이와 같은 단순 전달 기능 뿐 만 아니라 프런트 엔드 서버(Front end server)로 동작하여 센서 네트워크 상의 다양한 정보를 미리 수집해 별도의 데

이터 베이스에 저장을 한 뒤 인터넷의 사용자가 필요에 의해 질의를 보내면 질의에 해당하는 정보를 보내주거나[15] 또는 사용자의 질의를 센서 네트워크의 응용 프로그램 특성에 맞도록 번역하고 그에 맞는 결과를 반환시켜주는 역할을 할 수 있다[17]. 예를 들어, 인터넷 호스트 상의 사용자가 SQL 구문을 통해 센서 네트워크의 정보를 얻고 싶다라는 질의를 하게 되면 응용 계층의 게이트웨이는 수신한 SQL 구문 형식의 질의를 자신이 미리 데이터 베이스에 저장해 두었던 내용을 검색을 해서 결과를 반환 시켜주거나 센서 네트워크에서 동작하는 데이터 중심의 라우팅 프로토콜인 Directed Diffusion의 형태로 질의문을 변환하여 이를 센서 네트워크 상에 전파하여 새롭게 원하는 데이터를 수집할 수도 있다.

응용 계층의 게이트웨이를 이용하는 연동 기법은 인터넷과 센서 네트워크를 사이에 변환 기능을 담당하는 게이트웨이를 둠으로써 쉽게 연동 기능을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 즉 인터넷 상의 호스트나 센서 네트워크의 노드들에 특별히 다른 추가적인 구현을 할 필요가 없이 단지 게이트웨이의 응용 계층에 필요한 작업을 수행할 수 있도록 변화 기능을 구현하면 된다. 따라서 구현하기가 편하고, 구현과 적용에 따른 초기 비용이 매우 절감될 수 있다. 또한 두 개의 망, 즉 인터넷과 센서 네트워크을 완전히 분리시킨 상태에서 운영할 수 있으므로 각각의 망에 최적화된 프로토콜을 그대로 사용하는 것이 가능하다[15].

하지만 게이트웨이가 인터넷과 센서 네트워크 사이의 모든 연동 과정을 처리하기 때문에 게이트웨이가 연동 기능에 대한 병목 지점이 될 수 있다. 특히, 게이트웨이가 무선 노드인 경우 일반 센서 노드보다 더 많은 작업을 처리하기 때문에 일반 센서 노드보다 훨씬 더 많은 에너지를 소비할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 한 방법은 여러 개의 게이트웨이를 사용하는 방법이다. 여러 게이트웨이를 사용함으로써 한 게이트웨이에 문제가 발생했을 때 다른 게이트웨이를 사용하여 손실을 최소화 시킬 수는 있지만 이를 지원하기 위해서는 여러 게이트웨이 사이의 동기화와 같은 복잡한 문제라든지 게이트웨이 사이의 부하 분배 등과 같은 새로운 이슈가 발생하게 된다. 또한 이 기법에서는 게이트웨이 주변의 센서 노드들이 소스 노드들로부터 게이트웨이로 이어지는 여러 데이터 전달 경로에 포함될 확률이 높기 때문에 다른 센서 노드들에 비해 더 많은 에너지를 소비하게 되고 이는 결국 센서 네트워크의 균일성을 깨거나 센서 네트워크를 인터넷과 고립시키는 결과를 초래할 수 있다. 뿐 만 아니라, 응용 계층 게이트웨이 기법의 경우 응용 계층의 변환을 통해 연동이 이루어지기 때문에 특정 응용 프로그램(예를 들면, SQL 구문과 Directed Diffusion) 사이의 연동만을 지원한다는 단점이 있다. 따라서 각 응용 프로그램마다 별도의 응용 계층 게이트웨이를 구현해야 하는 문제가 발생한다. 뿐만 아니라, 서로 다른 응용 계층 게이트웨이 사이의 라우팅을 담당하는 일반적인 기법을 구현하기는 상당히 어렵다.

1.2. DTN 기반의 게이트웨이

게이트웨이 기반의 인터넷 연동 기법 중에는 Delay tolerant network(DTN) 게이트웨이를 활용하는 기법이 있다[15]. DTN[18]이란 지역(Region) 네트워크들로 구성된 또 다른 네트워크라고 정의할 수 있다. 여기서 한 지역은 동질한 형태로 통신이 이루어지는 네트워크를 지칭한다. 무선 센서 네트워크와 인터넷이 결합된 경우 무선 센서 네트워크와 인터넷이 각각 하나의 지역이 되는 것이다.

DTN은 지역 네트워크 사이의 긴 지연 시간을 조절하고, 지역 네트워크 사이의 서로 다른 특성의 통신 프로토콜을 효과적으로 변환하여 지역 네트워크 사이의 상호 운용성을 제공하게 된다. 따라서 DTN은 기존의 동질적인 형태의 인터넷이 아닌 서로 다른 특성을 가진 이질적인 네트워크가 혼재된 환경에서 보다 효과적인 연동을 지원하기 위해 만들어진 네트워크이다. 이러한 이질적인 네트워크는 길고 가변적인 지연 시간, 잦은 네트워크 분할, 높은 비트 에러율, 비대칭적인 데이터 처리율 등의 특성을 가지게 된다. 이와 같은 이질적인 네트워크 환경에서 현재의 TCP/IP는 다음과 같은 기본 가정으로 인해 적합한 성능을 제공하기가 힘들다.

- 데이터를 전송하는 동안에는 항상 전송자와 수신자 사이에는 종단간 경로가 존재한다.
- 패킷 당 최대 왕복 시간(RTT: Round trip time)은 상대적으로 작고 안정적이다.
- 패킷 손실은 상대적으로 적다.

위와 같은 가정들이 성립하지 않는 새로운 통신 환경에서 기존의 TCP와 같은 서비스를 제공하기 위해서 DTN은 몇 가지 새로운 기법들을 제공한다. 네트워크의 분할이 자주 일어나고, 비트 에러율 또한 높은 상황에서 데이터를 성공적으로 전송하기 위해 DTN은 저장 후 메시지 전달(store-and-forward message switching) 이라는 기법을 사용한다. 이 기법을 통해 DTN에서 한 패킷은 다음 홉으로 전송이 되기 전까지는 DTN 노드에서 저장이 된다. 이 기법의 장점은 종단간 재전송만을 지원하는 기존의 TCP와는 달리 재전송을 수행하는 지점을 최대한 목적지 노드에 가깝게 둘 수 있다는 점이다.

DTN 구조는 저장 후 메시지 전달 기법을 구현하기 위해서 특정 지역에 한정적으로 사용되는 하위 계층(전송 계층, 네트워크 계층, MAC) 위에 새로운 프로토콜 계층인 번들 계층(Bundle layer)을 오버레이의 형태로 구현한다[18]. 여기서 번들은 저장 후 메시지 전달 기

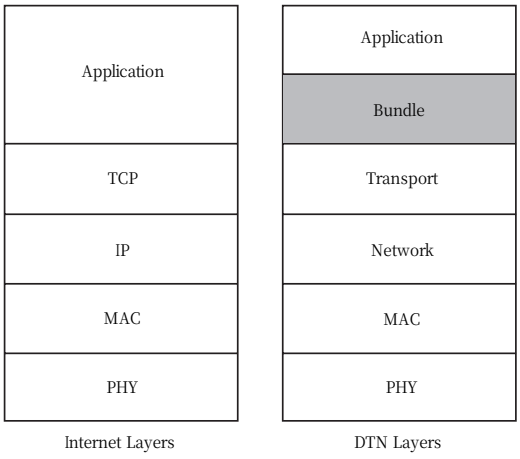


그림 3. 인터넷과 DTN의 프로토콜 계층 비교

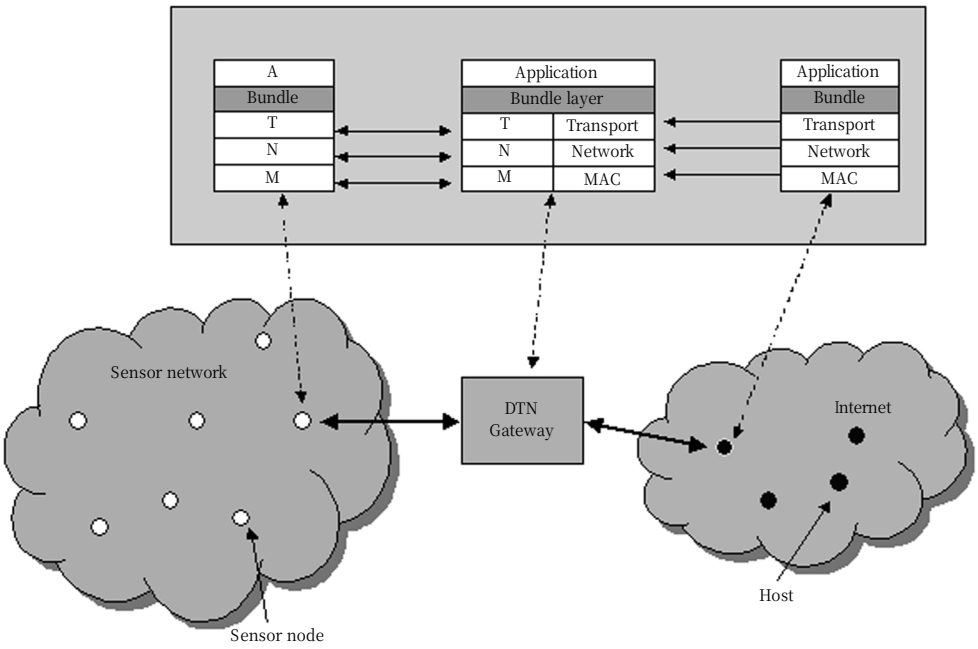


그림 4. DTN을 이용한 연동 기법

법에서의 메시지를 의미하는 것이다. 그림 3은 이러한 DTN의 프로토콜 스택과 현재 인터넷의 프로토콜 스택을 비교하여 보여준다.

DTN의 번들 계층을 통해 서로 다른 네트워크 사이에서의 메시지 교환을 가능하도록 해준다. DTN의 게이트웨이 노드는 서로 다른 지역 네트워크를 연결하고, 한 지역의 번들 계층에서 처리되는 메시지를 다른 지역의 번들 계층의 메시지 형태로 변환하는 역할을 수행 한다. 그림 4는 이러한 DTN의 특성을 이용하여 무선 센서 네트워크와 인터넷을 연결한 경우를 보여준다. 그림 4에서는 TCP/IP 프로토콜을 사용하는 인터넷이란 한 지역과 센서 네트워크의 프로토콜(전송 계층, 네트워크, 데이터 링크)을 사용하는 센서 네트워크라는 한 지역을 DTN 게이트웨이와 번들 계층을 통해 연동하고 있다.

DTN 기반의 연동 기법에서 TCP/IP 프로토콜에 의해 전달되는 인터넷 패킷을 센서 네트워크로 전달하기 위해서 DTN 게이트웨이는 해당 패킷에 대한 변환 작업을 담당한다. DTN 게이트웨이는 번들 계층 아래

의 계층을 목적지 지역 네트워크인 센서 네트워크의 계층으로 변환한 후 인터넷 패킷을 센서 네트워크로 전달한다. 이 때, 무선 센서 네트워크의 특성상 링크가 끊어져서 경로가 존재하지 않거나 무선 링크상의 높은 에러율로 인해 패킷이 제대로 전송되지 않을 수 있는데, 이 때는 번들 계층에서 지원되는 저장 후 전달 기법을 통해 패킷을 관리한다.

DTN 게이트웨이에 의한 기법은 앞서 설명한 응용 계층의 게이트웨이와는 달리 번들 계층이라고 하는 별도의 계층을 통해 연동이 이루어지므로 응용 계층에서 처리되는 부하를 줄일 수 있고 상이한 특성을 가지는 인터넷과 무선 센서 네트워크를 보다 효과적으로 결합할 수 있는 기능을 제공하는 장점이 있다[19]. 이러한 장점으로 인해 비단 인터넷과 센서 네트워크의 연동 뿐 만이 아니라 다양한 분야에서 DTN을 사용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다[18].

2. 오버레이 기반의 연동 기법

2.1. IP 오버레이 네트워크

오버레이 기법을 통한 무선 센서 네트워크와 인터넷의 결합 기법은 무선 센서 네트워크 상에 IP 오버레이 네트워크를 구성하는 방법이다[14],[15]. 이 기법의 핵심 아이디어는 무선 센서 네트워크 상의 센서 노드들에게 IP 프로토콜 스택을 구현하고 IP 주소를 부여하여 IP 패킷을 통해 데이터를 주고 받는 오버레이 네트워크를 구성하는 것이다. 하지만 무선 센서 네트워크 상의 수많은 센서 노드에 IP 프로토콜을 구현하는 것은 사실상 불가능하기 때문에 센서 노드 중에서 처리 능력이 뛰어나거나 에너지 잔여량이 많은 노드를 클러스터 헤드(Cluster head)로 선택하여 IP 노드로 구현하게 된다.

무선 센서 네트워크 상의 IP 오버레이 네트워크를 구성하는 경우 가장 먼저 생각해야 할 문제는 센서 노드들에게 어떻게 IP 주소를 할당해야 할 것인가 하는 문제이다. 이러한 문제는 모바일 애드혹 네트워크에서 IP 주소 문제와[20] 연계하여 생각해 볼 수도 있다. 최근에 제안된 기법에서는 센서 노드의 지리적 위치 정보를 이용하여 IP 주소를 부여하고 효과적인 라우팅을 위해 서브넷을 구성하는 기법을 사용하고 있다[15].

IP 오버레이 네트워크 기법의 또 다른 이슈는 주소 기반의 라우팅을 사용하는 인터넷과 데이터 중심의 라우팅을 사용하는 무선 센서 네트워크 사이의 라우팅을 효과적으로 결합하는 문제이다. 이를 위해서 일반적으로 센서 노드들(일반적으로 클러스터 헤드) 사이에서 인터넷과 동일하게 주소에 기반한 라우팅이 가능하도록 터널링을 형성하게 된다.

무선 센서 네트워크에서 클러스터 헤드들은 일반적으로 여러 개의 센서 노드들에 의한 다중 홉으로 연결되기 때문에 IP 오버레이 네트워크를 구성하기 위해서 클러스터 헤드 사이의 센서 노드들로 구성된 경로를 링크 추상화(Link abstraction)하는 것이 필요하다. 즉 IP 주소가 없는 센서 노드들 사이의 라우팅은 일반 무선 센서 네트워크에서 사용되는 데이터 중심의 라우팅을 사용한다.

IP 오버레이 네트워크 상에서 터널의 형성과 사용은 무선 센서 네트워크의 특성에 따라 달라질 수 있다. 만약 응용 프로그램이 무선 센서 네트워크 내에서 많은 IP 트래픽을 발생시킨다면 센서 노드 사이의 균형적인 에너지 소비를 위해 여러 개의 경로를 만들어서 사용하는 것이 유리하다. 반면에 IP 트래픽이 적게 발생하는 응용 프로그램이라면 하나의 경로를 통해서 데이터를 전달하는 것이 오히려 더 효율적일 것이다. 이러한 특징을 고려하여 무선 센서 네트워크 내에서 많은 트래픽이 예측된다면 플러딩(Flooding) 방식의 질의를 통해 다중 경로를 쉽게 찾을 수 있는 라우팅 프로토콜인 Directed Diffusion을 사용할 수 있고, 이와 반대로 네트워크 상에서 발생하는 트래픽이 적은 경우에는 플러딩으로 인한 부하를 줄일 수 있는 ACQUIRE[21]와 같은 라우팅 프로토콜을 사용하여 터널을 생성할 수 있다. Directed Diffusion의 경우 자신이 원하는 질의를 플러딩의 형태로 네트워크 전체에 보내면 이에 해당하는 센서 노드가 응답을 하게 되고 데이터를 모으는 싱크는 그 중에서 하나 이상에 대해서 데이터를 보내라고 하는 확인 과정을 거치게 된다. 이러한 과정은 신뢰성의 측면에서는 이점이 있지만 전체적인 네트워크의 부하가 증가한다는 단점이 있다. 이러한 부하를 줄이기 위해서 ACQUIRE에서는 이웃 노드가 지역 캐쉬를 이용해서 부분적으로 질의에 대한 응답을 보낼 수도 있고 질의 역시 플러딩을 통해 모든 이웃 노드에 보내는 것이 아니라 임의로 또는 특정 기준에 의해 선택된 센서 노드들에게만 전달하게 된다.

본 장에서는 Directed Diffusion을 사용하여 IP 오버레이 네트워크를 구성하는 방법을 설명한다. 앞서 언급한 바와 같이 Directed Diffusion은 데이터 중심의 라우팅 프로토콜로 이벤트가 발생한 소스와 이를 수집하는 싱크 사이의 다중 경로를 생성하는데 유용하다. Directed Diffusion에서는 플러딩을 통해 수집하고자 하는 데이터의 특성을 기술한 interest를 전달하게 되는데 IP 오버레이 네트워크를 구성하기 위한 interest는 다음과 같이 구성할 수 있다 [17].

Type: IP-addressable
Interval: 10ms
Duration: 300ms

위의 interest는 플러딩을 통해 무선 센서 네트워크의 센서 노드들로 전파되는데 이를 받은 노드 중에서

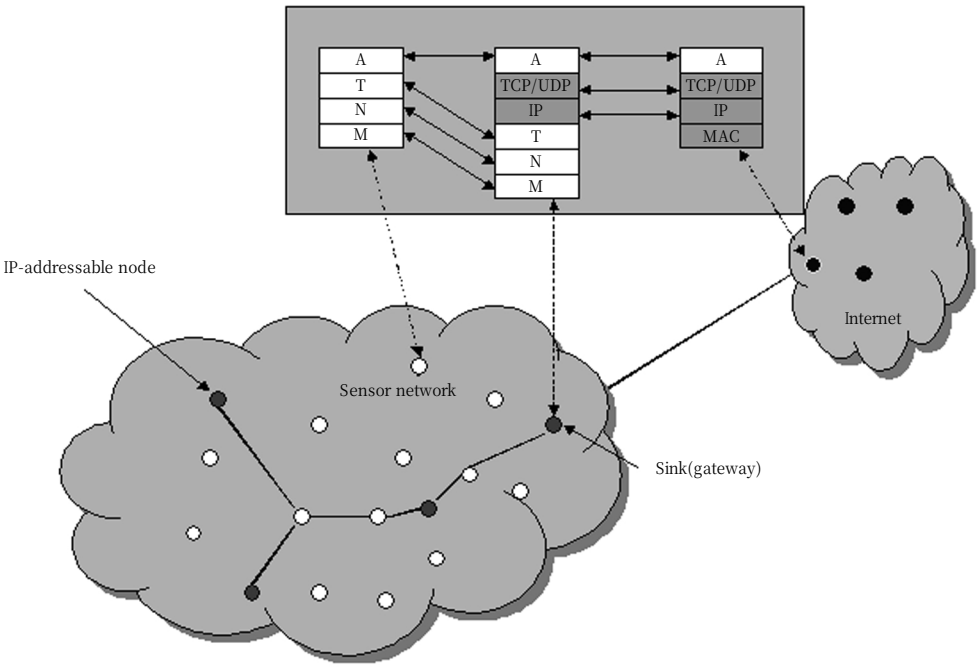


그림 5. 오버레이 IP 네트워크를 통한 연동 기법

IP 스택을 가지고 있는 노드는 다음과 같은 형태의 응답을 통해 자신의 IP 주소를 알려주게 되고 이를 이용해서 IP 오버레이 네트워크에서 터널링을 구성하게 된다.

Type: IP-addressable
Address: IP-address

발생하는 IP 트래픽의 양이 많지 않고 IP 스택을 가지고 있는 센서 노드의 수가 미리 알려진 경우에는 Directed Diffusion보다 더 에너지 효율적인 라우팅 기법인 ACQUIRE를 쓸 수 있다. ACQUIRE에서는 플러딩을 통해 질의를 보내는 것이 아니라 랜덤하게 선택되었거나 특정 방향에 있는 노드들에게만 질의를 보내서 IP 스택을 가지고 있는 센서 노드를 찾게 된다. 이러한 방법은 이웃한 모든 노드들에게 플러딩하는 기법에 비해서 에너지 소비를 크게 줄일 수 있지만 더 긴 지연시간을 제공한다는 단점이 있다.

무선 센서 네트워크 위에 IP 오버레이 네트워크를 구성하는 기법의 장점은 인터넷 상의 호스트에서 IP 주소를 가지고 있는 센서 네트워크 상의 특정 노드에게 플러딩과 같은 과정 없이 직접적으로 메시지를 보낼 수 있다는 점이다. 예를 들어, 대형 건물 내의 조명 관리 시스템을 생각해 보자. 한 사무실에 사람이 모두 퇴실했다는 정보를 감지한 뒤 이러한 정보는 센서 네트워크를 통해 싱크를 거쳐 인터넷 상의 서버로 전달이 된다. 그런 다음, 관리자는 이러한 정보를 확인한 후 해당 사무실의 전등을 끄라는 명령을 특정 작동 장치(Actuator)로 보내게 되는데 이러한 경우 명령의 전달은 센서 네트워크에서 사용되는 데이터 중심의 라우팅 보다는 IP 주소를 통한 주소 기반 라우팅이 보다 더 효과적이다. 따라서 전등을 소등할 수 있는 작동기를 IP 노드로 구성을 해서 관리자에 의한 효과적인 제어가 가능하도록 한다(그림 5 참조).

2.2. 오버레이 센서 네트워크

두 번째 오버레이 기법은 인터넷에 위치한 호스트에 무선 센서 네트워크와 연동할 수 있도록 오버레이 센서 네트워크를 구성하는 방법이다[16]. 이러한 연동 기법에서는 센서 네트워크에서 수집된 데이터가 인터넷과 연결되는 게이트웨이에 도착하면 해당 데이터를 IP 패킷의 페이로드 부분에 캡슐화시켜 해당하는 인터넷 상의 호스트로 전달하게 된다. 즉 이 방법은 데이터 중심의 센서 네트워크 라우팅 기법을 인터넷 상에서 응용 계층 오버레이 센서 네트워크로 확장하여 인터넷과 센서 네트워크를 결합하는 기법이다.

그림 6은 오버레이 센서 네트워크 기법의 동작 과정과 주요 노드에서의 프로토콜 스택을 보여준다. 무선 센서 네트워크에서 온 패킷이 인터넷의 경계에 도착하면 이 패킷들은 TCP/IP(또는 UDP/IP) 패킷으로 캡슐

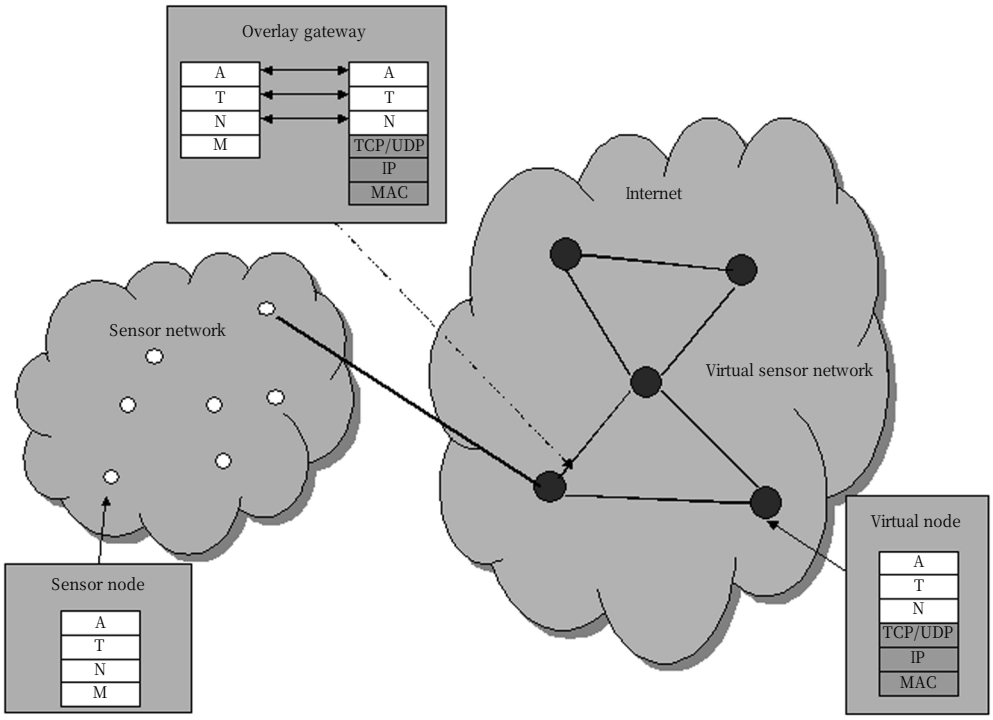


그림 6. 오버레이 센서 네트워크를 통한 연동 기법

화되어 인터넷의 특정 호스트로 전달이 된다. 따라서 인터넷 상의 연동을 위한 호스트는 기존의 TCP/IP 프로토콜 스택 위에 센서 네트워크의 프로토콜 스택을 구현한 형태로 기술된다.

오버레이 센서 네트워크 기법의 주요한 구성 요소로는 인터넷 상에서 동작하는 가상 노드(Virtual node)와 오버레이 게이트웨이가 있다. 가상 노드는 무선 센서 네트워크에 있는 센서 노드들과 통신을 하기 위해서 TCP/IP 프로토콜 스택 위에 센서 네트워크의 프로토콜 스택(MAC, 라우팅, 응용 계층)을 구현한 노드를 말한다. 이러한 가상 노드들은 인터넷 상의 오버레이 센서 네트워크를 형성한다. 가상 노드는 실제 센서 노드에서 지원하는 프로토콜 스택을 가지고 있기 때문에 센서 노드와 동일한 방법으로 패킷 라우팅을 수행할 수 있다. 즉, 각각의 가상 노드는 인터넷 상에서 센서 네트워크 패킷에 대해서 라우터 역할을 수행한다. 또한 실제 센서 노드가 전송 계층의 패킷을 처리하는 것과 동일하게 가상 노드도 패킷을 처리하게 된다.

오버레이 게이트웨이 노드의 경우 이러한 가상 노드의 동작을 가능하도록 하기 위해서 센서 네트워크에서 형성된 각 계층의 헤더와 응용 계층의 페이로드를 TCP/IP 패킷으로 캡슐화하여 인터넷으로 보내게 된다. 즉, 센서 네트워크의 패킷이 오버레이 게이트웨이 노드에 도착할 때는 센서 네트워크에서 유효한 MAC, 네트워크, 응용 계층의 헤더를 가지고 있는데 이는 오버레이 게이트웨이에 의해 인터넷의 응용 계층으로 인식되어 처리된다.

오버레이 센서 네트워크의 가장 큰 단점은 가상 노드의 경우 TCP/IP 프로토콜 스택과 함께 센서 네트워크의 프로토콜 스택도 처리해야 하기 때문에 프로토콜 헤더의 오버헤드가 커진다는 단점이 있다. 하지만 인터넷의 경우 무선 센서 네트워크보다 훨씬 더 큰 네트워크 대역폭과 처리 능력을 제공하기 때문에 큰 문제로 보기는 힘들다. 오버레이 센서 네트워크의 장점은 센서 네트워크의 데이터가 인터넷 프로토콜의 응용 계층 메시지로 처리되기 때문에 인터넷 호스트 상의 프로그래밍을 통해 쉽게 가상 노드를 구현하고 이를 통해 쉽게 연동할 수 있다는 점이다. 또한 인터넷의 노드가 센서 네트워크의 가상 노드 역할을 할 수 있으므로 지리적으로 떨어져 있는 센서 네트워크들을 이 가상 노드를 통해서 하나의 센서 네트워크로 연결할 수 있게 된다. 이 방법은 센서 노드를 배치하는 데도 유용하게 쓰일 수 있다. 즉, 가상 노드를 통해 인터넷 상에 오버레이 센서 네트워크를 구축한 뒤에 이를 바탕으로 실제 무선 센서 노드로 확장, 대체해 나가는 방식을 사용한다면 효과적으로 광범위한 무선 센서 네트워크를 구축할 수 있다.

IV. 효과적인 연동을 위한 연구 이슈

앞서 살펴본 바와 같이 무선 센서 네트워크를 인터넷에 연동하기 위해서 몇몇 기법이 제안되었다. 하지만 효과적인 연동을 위해서는 다음과 같은 이슈들에 대한 보다 깊은 연구가 진행되어야 한다.

1. IP 주소의 할당

무선 센서 네트워크 상에서 오버레이 계층을 통해 IP 네트워크를 구성하는 경우 무선 센서 네트워크 상의 몇몇 노드는 IP 프로토콜 스택을 구성하게 된다. 이런 경우 IP 프로토콜 스택을 가진 센서 노드는 IP 주소를 통해 통신을 하기 때문에 IP 주소를 어떻게 할당할 것인가가 중요한 이슈이다. 무선 센서 네트워크의 경우 센서 노드의 수가 많고 자가 구성(Self organizing)의 형태를 띄기 때문에 중앙 집중식의 주소 할당이 어렵다. 이러한 무선 센서 네트워크와 유사한 특성을 가지는 이동 애드혹 네트워크의 경우 다양한 IP 주소 할당 기법이 제안되었지만 이러한 기법들은 대부분 이동 애드혹 네트워크 안에서의 별도의 프락시 서버나 이웃 노드와의 연동을 통해 주소를 할당 받는 방식이기 때문에 무선 센서 네트워크에 직접적으로 적용하기에는 어려운 점이 많다[20]. 왜냐하면 무선 센서 네트워크의 경우 이웃 노드가 IP 주소 구성 능력이 없는 단순한 센서 노드일 경우가 더 많기 때문이다.

무선 센서 네트워크에서의 효과적인 IP 주소 할당 기법 중의 하나는 센서 노드의 지역적 위치를 고려하여 IP 주소를 할당하는 방법이다[15]. 즉, IP 주소 할당이 필요한 센서 노드의 경우 GPS 등의 기법을 통해 자신의 지역적 위치를 파악한 다음 해당 위치를 특정 IP 주소로 매핑시켜주는 방법을 사용하게 된다. 이러한 기법에서 해결해야 할 문제는 동일한 지역적 위치에 존재하는 두 센서 노드가 동일한 IP 주소를 할당하였을 경우에 이러한 충돌을 어떻게 해결할 것인가 하는 문제와 효율적인 라우팅을 위해서 할당한 IP 주소를 계층화 시키는 문제 등이 있다.

2. 프로토콜 부하의 절감

TCP(Transmission Control Protocol)은 현재 인터넷상에서 가장 널리 사용되는 프로토콜이다. 따라서 무선 센서 네트워크와 인터넷이 연동되어 사용되는 경우에도 TCP는 전송 프로토콜로 중요한 역할을 하게 될 것이다. 하지만 TCP는 신뢰성이 있는 데이터 전송을 위해서 슬라이딩 윈도우 기법에 기반한 재전송과 흐름 제어 등을 담당하기 때문에 제한된 처리 능력만을 가지는 센서 노드에 구현될 경우 많은 오버헤드가 발생하게 된다. 뿐 만 아니라 센서 네트워크의 응용에 따라 현재 유선망에서 설계된 TCP의 기능 중의 일부는 필요 없는 경우도 발생할 수 있다. 이러한 TCP/IP 프로토콜 구현 상의 오버헤드를 줄이기 위해서 몇몇 연구가 진행되고 있다[22],[23].

이러한 연구들에서는 TCP/IP 프로토콜 스택에서 발생하는 헤더 오버헤드를 압축 기법을 통해 줄이는 기법이라든지 무선 다중 홉에서의 TCP 성능을 향상시키기 위해서 캐싱 기법을 적용하는 기법을 주로 연구하고 있다.

3. 에너지 절감 기법

무선 센서 네트워크의 가장 중요한 특징 중의 하나는 센서 노드들이 일반적으로 배터리에 의존해서 동작하기 때문에 최소한의 에너지로 최대한의 노드 수명을 보장해야 한다는 점이다. 따라서 이러한 에너지 절감 기법을 MAC, 라우팅 기법들에 적용한 연구가 활발히 연구되고 있다[6],[7].

이러한 무선 센서 네트워크를 인터넷과 결합하는 경우에도 에너지 소비를 최소화하는 것은 중요한 이슈이다. 게이트웨이 기반의 연동 기법의 경우 두 개의 프로토콜 스택과 인터페이스를 유지해야 하는 게이트웨이에서의 에너지 절감 기법이 필요하다. 예를 들어, 게이트웨이 노드가 무선 랜 표준인 IEEE 802.11[24]을 통해 인터넷에, 그리고 무선 개인 영역 네트워크 표준인 IEEE 802.15.4[25]를 통해 무선 센서 네트워크와 연결되어 있는 경우 IEEE 802.11의 Power saving mode(PSM)과 S-MAC 등의 기법을 통해 게이트웨이의 수면 주기를 조정할 수 있다. 또한 센서 네트워크의 응용이 인터넷을 통해 보내진 질의에 대해서 수집된 정보를 다시 인터넷으로 응답 메시지를 통해 보내는 형태라고 가정한다면 이러한 응용의 특성에 맞추어 게이트웨이의 수면 주기를 조정하는 방법도 가능할 것이다.

오버레이 기반의 연동 기법의 경우 IP 스택을 가지고 있는 센서 노드의 에너지 소비를 줄이는 것이 필요하다. 일반적으로 무선 네트워크에서의 데이터를 전송할 때의 에너지 소비는 보내는 데이터의 크기에 비례하게 된다[9]. 따라서 가능한 전송하는 데이터의 크기를 줄이는 것이 필요하고 이를 위해서 앞서 언급한 바와 같이 헤더 압축 등을 이용하는 방법을 사용할 수 있다. 특히, 인터넷에서 무선 센서 네트워크로 전송되는 요청 메시지의 경우 CGI, SIP 등과 같은 텍스트 기반의 프로토콜이 널리 이용될 가능성이 큰데 이러한 경우 큰 길이의 텍스트 메시지를 대역폭이 작은 무선 센서 네트워크에서 압축해서 보내는 것은 아주 중요하다. 이러한 목적을 위해서 정보 이론이나[26] 웨이블렛과 같은 영상의 압축 기법을[27] 응용하는 것도 가능하다.

4. 결합 허용성의 지원

오버레이 기법과 비교해서 게이트웨이 기법이 가지

는 가장 큰 단점 중의 하나는 인터넷과 무선 센서 네트워크와의 연동을 담당하는 게이트웨이에 결함이 발생하여 정상적인 동작이 어려운 경우 전체 네트워크의 가용성이 크게 떨어지는 점이다. 따라서 게이트웨이 기법의 경우 결함 허용성을 보장하는 기법이 필수적이다.

가장 일반적인 기법이 두 개 이상의 게이트웨이를 관리, 운용하는 방법이다. 이러한 경우 한 게이트웨이에 결함이 발생한 경우 다른 게이트웨이가 그 역할을 대신하게 된다. 이 기법에서는 게이트웨이의 결함을 어떻게 빨리 인식할 것인가 하는 문제와 게이트웨이 사이의 정보 교환을 어떤 식으로 지원할 것인가 하는 문제를 해결해야 한다.

또 다른 결함 허용 기법은 게이트웨이가 인터넷에 연결되어 있는 유무선 링크에 문제가 발생한 경우 멀티호밍[28] 기법을 통해 결함 허용성을 지원하는 것이다. 즉, 인터넷에 연결되어 있는 게이트웨이는 두 개의 네트워크 인터페이스를 통해 인터넷에 연결이 되고 한 인터페이스에 문제가 발생한 경우 다른 인터페이스를 통해 지속적인 연동 서비스를 제공할 수 있다. 현재 IPv6에서 이러한 멀티호밍 기술을 어떻게 이용할 것인가와 관련해서 많은 논의가 이루어지고 있다.

오버레이 기법에서도 이러한 결함 허용의 문제가 발생할 수 있는데 이는 오버레이 네트워크를 구성하는 한 노드에 결함이 발생하였을 때 어떤 식으로 오버레이 네트워크를 재구성할 것인가 하는 문제이다. 이를 위해서 다중 경로 기법[29] 등을 통해 결함 허용성을 보장할 수 있다.

5. 이동 인터넷과의 연동

무선 센서 네트워크는 미래의 유비쿼터스 환경에서 다양한 형태로 사용될 것이다. 여러 무선 센서 네트워크의 응용 중에서 센서 네트워크에서 정보를 수집하는 싱크가 이동 노드가 되는 경우도 발생할 수 있다. 싱크가 여러 곳을 이동하면서 전쟁터에서 사방에 분배되어 있는 센서 노드로부터 적군의 상황 등을 수시로 수집하는 데이터 수집 시스템이 이러한 이동 싱크 노드의 대표적인 예이다.

이러한 이동 싱크 응용 프로그램에서 인터넷을 통해 무선 센서 네트워크에 질의를 보내는 경우 이동 싱크 노드의 현재 위치를 파악하는 것이 필요하다. 즉 인터넷을 통한 데이터 전달을 위해서 현재 이동 싱크가 사용하고 있는 임시 주소(CoA: Care-of address)를 파악할 필요가 있다.

이를 위해서 인터넷에서의 위치 관리 프로토콜인 Mobile IP[30]를 사용할 수 있다. 즉, 게이트웨이 역할을 하는 이동 싱크에 Mobile IP 스택을 구현하여 이동 싱크가 다른 서브넷으로 이동하였을 때 새롭게 할당받은 자신의 새로운 임시 주소를 홈 에이전트(Home agent)에 등록을 하게 한다. 그러면 무선 센서 네트워크로 데이터 수집 질의를 보내려고 하는 인터넷의 노드는 해당 질의 메시지를 이동 싱크의 홈 IP 주소를 통해 보내게 되고 보내진 요청 메시지는 홈 에이전트에 의해서 가로채어지고 이는 다시 이동 싱크의 현재 임시 주소로 전달된다. 비록 Mobile IP의 구현을 통해 이동 싱크를 지원할 수는 있지만 이동 싱크의 에너지 소비를 줄이기 위해서 Mobile IP 스택의 간략화 등과 같은 작업이 필요하다.

또한, 이동 싱크의 지원을 위해서 SIP[31]와 같은 프로토콜을 이용할 수 있다. 앞서 말한 바와 같이 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동의 대표적인 예는 데이터 수집 응용 프로그램이다. 이러한 응용 프로그램의 경우 데이터 수집을 위한 질의와 이에 대한 응답으로 이루어진다. 이러한 데이터 중심의 라우팅을 위해서 무선 센서 네트워크에서는 Directed Diffusion 등과 같은 프로토콜이 제안되었다. SIP는 원래 인터넷상에서 멀티미디어 세션 관리를 위해서 만들어진 프로토콜로 인터넷 전화, 3G에서의 멀티미디어 세션 관리를 위한 IMS(IP Multimedia Subsystem)[32] 등에서 널리 사용되는 프로토콜이다. SIP의 메시지 흐름 역시 센서망에서 사용되는 질의-응답과 유사하게 요청 메시지에 대한 응답 메시지를 받는 형태로 동작하게 된다. 또한 멀티미디어 세션의 구체적인 정보(네트워크 주소, 포트 번호, 인코딩 기법 등)를 기술하는 프로토콜인 SDP[33]를 통해 원하는 질의에 대한 세부 사항을 기술하도록 확장할 수 있다. 이동 싱크 지원의 관점에서도 SIP는 효과적인 이동성 지원 기법을 제공한다[34],[35]. 따라서 SIP와 Directed Diffusion 등의 프로토콜을 결합함으로써 인터 넷과 무선 센서 네트워크를 효과적으로 연동하면서 동시에 이동 싱크에 대한 이동성을 지원하는 것이 가능하다.

V. 결 론

미래의 컴퓨팅 환경은 다양한 센서 등을 통해 수집된 정보를 사용자들의 편의를 위해 수집, 처리하는 유비쿼터스 센서 네트워크에 기반하여 발전하게 될 것이다. 이러한 유비쿼터스 센서 네트워크는 무선 센서 네트워크 기술과 인터넷 기술이 융합되어 연동될 때 그 기능을 최대화시킬 수 있다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크와 인터넷을 연동하기 위한 다양한 기법들을 검토하였다. 그리고 보다 효과적인 연동을 위한 다양한 이슈들을 제시하였다. 이러한 이슈들을 고려하여 앞으로 새로운 형태의 무선 센서 네트워크와 인터넷의 연동 아키텍쳐를 제안하고 이를 실제 센서 노드를 통해 테스트베드로 구현할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 두뇌 한국 21, 국가지정연구실 사업과 한국과학재단의 특정기초연구사업(No. R01-2004-000-10372-0)의 지원을 받아 수행되었음.

[참고문헌]

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, and Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Elservier Computer Networks*, Vol. 38, No. 4, Mar.2002, pp. 393-422.

[2] I. F. Akyildiz and I. H. Kasimoglu, "Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges," *Elservier Ad Hoc Networks*, Vol. 2, No. 4, Oct. 2004, pp. 351-367.

[3] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks," *ACM Sigbed Review*, Vol. 1, No. 2, Jul. 2004.

[4] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges," *Elsevier Ad Hoc Networks*, Vol. 3, No. 3, May 2005, pp. 257-279.

[5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," in *Proc. ACM MOBICOM 2000*, Aug.2000, pp. 56-67.

[6] G. Halkes, T. van Dam, and K. Langendoen, "Comparing Energy-Saving MAC Protocols for Wireless Sensor Networks," to appear in *ACM/Kluwer MONET*, 2005.

[7] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proc. INFOCOM 2002*, Jun. 2002.

[8] J. Al-Karaki and A. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, No. 6, Dec. 2004, pp. 6-28.

[9] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, "The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," in *Proc. DEBS 2002*, Jul. 2002.

[10] T. Wu, C. Huang, and H. Chao, "A Survey of Mobile IP in Cellular and Mobile Ad-Hoc Network Environments," *Elservier Ad Hoc Networks*, Vol. 3, No. 3, May 2005, pp. 351-370.

[11] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring," in *Proc. ACM WSNA 2002*, Sep. 2002.

[12] S. Bandyopadhyay and E.J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," in *Proc. INFOCOM 2003*, Mar. 2003.

[13] TinyDB homepage: http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/.

[14] A. Dunkels, J. Alonso, T. Voigt, H. Ritter, and J. Schiller, "Connecting Wireless Sensornets with TCP/IP Networks," in *Proc. WWIC 2004*, Feb. 2004.

[15] A. Dunkels, J. Alonso, and T. Voigt, "Making TCP/IP Viable for Wireless Sensor Networks," in *Proc. EWSN 2004*, Jan. 2004.

[16] H. Dai and R. Han, "Unifying Micro Sensor Networks with the Internet via Overlay Networking," in *Proc. IEEE Emnets-I*, Nov. 2004.

[17] M. Zuniga and B. Krishnamachari, "Integrating Future Large-Scale Wireless Sensor Networks with the Internet," *USC Computer Science Technical Report CS 03-792*, 2003.

[18] K. Fall, "A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets," in *Proc. SIGCOMM 2003*, Aug. 2003.

[19] M. Ho and K. Fall, "Delay Tolerant Networking for Sensor Networks," in *Proc. IEEE SECON 2004 Poster Session*, Oct. 2004.

[20] K. Weniger and M. Zitterbart, "Address Autoconfiguration in Mobile Ad Hoc Networks: Current Approaches and Future Directions," *IEEE Network*, VOl. 18, No. 4, Jul./Aug. 2004, pp. 6-11.

[21] N. Sadagopan, B. Krishnamachari, and A. Helmy, "The ACQUIRE Mechanism for Efficient Querying in Sensor Networks," in *Proc. IEEE SNPA 2003*, May 2003.

[22] A. Dunkels, "Full TCP/IP for 8-bit Architecture," in *Proc. ACM MOBISYS 2003*, May 2003.

[23] uIP - a TCP/IP Stack for 8- and 16-bit microcontrollers homepage: http://dunkels.com/adam/uIP

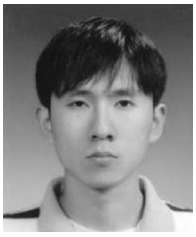
[24] IEEE 802.11b WG, Part 11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification: High-speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band," IEEE, Sep. 1999.

[25] IEEE 802.15 WG, Standard for Part 15.4, "Wireless Medium Access Control Layer (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," IEEE, Oct. 2003.

[26] A. Roy, S. K. Das, and A. Misra, "Exploiting Information Theory for Adaptive Mobility and Resource Management in Future Cellular Networks," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, No. 4, Aug.2004, pp. 59-65.

[27] A. Deligiannakis, Y. Kotidis, and N. Roussopoulos,

"Compressing Historical Information in Sensor Networks," in *Proc. ACM SIGMOD 2004*, Jun. 2004.
[28] IETF Site Multihoming in IPv6 Working Group: http://www.ietf.org/html.charters/multi6-charter.html
[29] S. De, C. Qiao, and H. Wu. "Meshed Multipath Routing with Selective Forwarding: An Efficient Strategy in Wireless Sensor Networks," *Elservier Computer Networks*, Vol. 43, No. 4, Nov. 2003,pp. 418-497.
[30] IETF Mobile IP Working Group: http://www.ietf.org/html.charters/mobileip-charter.html.
[31] M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, and J. Rosenberg, "SIP: Session Initiation Protocol," *Internet RFC 2543*, Mar. 1999.
[32] Gonzalo Camarillo and Miguel A. Garcia-Martin, "*The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular Worlds*," John Wiley & Sons, Aug. 2004.
[33] M. Handley, and V. Jacobson, "SDP: session description protocol," *Internet RFC 2327*, Apr. 1998.
[34] E. Wedlund and H. Schulzrinne, "Mobility Support using SIP," in *Proc. ACM WoWMoM 1999*, Aug. 1999.
[35] N. Banerjee, W. Wu, K. Basu, and S. K. Das, "Analysis of SIP-Based Mobility Management in 4G Wireless Networks," *Elservier Computer Communications*, Vol 27, No. 8, 2004, pp 697-707.

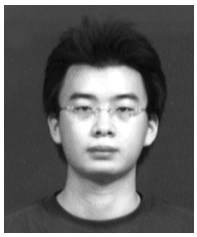


백 상 헌
(Sangheon Pack)

2000. 2: 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
2005. 2: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2005. 3 ~ 현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사 후 연구원
관심분야: IP 이동성, 차세대 인터넷, 무선 센서 네트워크,
E-mail: shpack@mmlab.snu.ac.kr
Tel: +82-2-880-1832
Fax: +82-2-872-2045

장 민
(Min Zhang)

2004. 6: 연변대학교 컴퓨터공학과 학사
2004. 8 ~ 현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정
관심분야: 무선 센서 네트워크, 센서 네트워크-인터넷 연동
Email: mzhang@mmlab.snu.ac.kr
Tel: +82-2-876-7170
Fax: +82-2-876-7170



장 덕 현
(Dukhuyn Chang)

2004. 8: 서울대학교 컴퓨터공학부 학사
2004. 8 ~ 현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정
관심분야: 무선 센서 네트워크, 인터넷 트래픽 측정
Email: dhchang@mmlab.snu.ac.kr
Tel: +82-2-880-1832
Fax: +82-2-872-2045

최 양 희
(Yanghee Choi)

1977. 2: 한국과학기술원 전기공학과 석사
1984. 6: 프랑스 ENST 컴퓨터공학과 박사
1991 ~ 현재: 서울대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 고속통신망, 멀티미디어통신, 인터넷
Email: yhchoi@snu.ac.kr
Tel: +82-2-880-7303
Fax: +82-2-872-2045

조 기 덕
(Kiduck Cho)

2004. 2: 서울대학교 컴퓨터공학부 학사
2004. 8 ~ 현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정
관심분야: 무선 센서 네트워크, 위치 관리 기법
Email: kdcho@mmlab.snu.ac.kr
Tel: +82-2-876-7170
Fax: +82-2-876-7170

권 태 경
(Taekyoung Kwon)

1995. 2: 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
2000. 8: 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
2004. 3 ~ 현재: 서울대학교 전기 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 무선 센서 네트워크, P2P, 차세대이동통신
Email: tkkwon@snu.ac.kr
Tel: +82-2-880-1832
Fax: +82-2-872-2045