

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜

(Energy Efficient Routing Protocol in Wireless Sensor Network)

손 병 략*, 김 중 규**
(Byungrak Son, Junggyu Kim)

요약 최근에 통신 기술과 하드웨어 기술의 발전으로 아주 작은 센서노드로 무선 센서 네트워크를 구성하는 것이 가능하게 되었다. 무선 센서 노드들은 이용 가능한 자원이 극히 제한되기 때문에, 노드들은 장시간 동안 활동하기 위해서 에너지 소모를 최소화 하는 것이 관건이다. 무선 센서 네트워크는 애드 혹 망과 매우 유사하지만, 통신, 전력소모 그리고 계산능력 측면에서 제약을 받는다. 각 노드들의 응용계층에서는 적은 양의 데이터를 생성하고, 느린 속도로 전송되는 특징을 가진다. 각각의 센서 노드는 소스(source)와 싱크(sink)가 될 수 있는 일반적인 애드 혹 환경과는 달리 하나의 기지국(base station)이 싱크의 역할을 하고 싱크를 제외한 노드들은 소스의 역할을 하게 된다. 또한 무선 센서 네트워크는 설치된 후 지속적으로 주변을 관찰하고 고정된 상태로 있는 것이 대부분이다. 기존 애드 혹 망에서 라우팅 프로토콜은 이러한 무선 센서 네트워크의 특징을 만족할 수 없다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 통신 형태의 특징을 고려하여 트리 기반 라우팅 프로토콜을 확장한 에너지 측면에서 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다.

핵심주제어 : 무선 센서 네트워크, 트리 기반 라우팅 프로토콜, 애드 혹, 에너지 효율적 라우팅

Abstract By the progress of communication and hardware technology, it is possible to organize wireless sensor nodes using the tiny sensor in recently. It is a critical aspect to minimize energy consumption for long-term lively sensor because wireless sensor nodes are associated with the available resources. The wireless sensor network is restricted in communication, exhaustion of power, and computation but it is very similar an Ad-Hoc network. Each sensor node products a few data and application layer of each sensor has slow transmitting feature. Unlike Ad-hoc, which is usually source or sink, base station of the each sensor nodes works as sink and the other nodes except sink node works as source. Generally, wireless sensor network keep staying fixed state and observing circumstances continuously after setting up. It doesnt fit for the wireless sensor networks under functioning of existing ad-hoc networks because original Ad-Hoc network routing protocol couldnt operate for wireless sensor network features. This thesis propose the effective routing protocol way in the filed of the expanded routing protocol based on tree with considering on the characteristic of wireless sensor networks pattern.

Key Words : Wireless Sensor Network, Tree based routing protocol, Ad-hoc, Energy Efficient Routing

* 대구대학교 대학원 정보통신공학과

** 대구대학교 정보통신공학부 교수

1. 서론

최근 다양한 정보 환경의 변화에 따른 무선 통신 기술, 센서 기술, MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술, 저 전력 전자 공학 기술, 저 전력 RF 설계 기술 등의 발달로 새로운 통신 분야인 무선 센서 네트워크가 등장하고 있다. 이러한 센서 노드들은 센싱, 데이터 처리, 통신 요소들로 구성된다. 매우 많은 센서 노드들은 밀접한 지역에 배치되어 무선 센서 네트워크를 형성하여 외부 침입을 감지할 수 있는 홈 네트워크, 사람이 접근하기 곤란한 3D 산업의 공장자동화, 지진, 폭발 등과 같은 재난 감시 등 다양한 환경에 대한 모니터링 서비스를 제공하고, 헬스, 군사적인 용도, 항만, 의료 등 여러 분야에서 유용한 정보를 수집하는데 이용되고 있다.

<그림 1>은 무선 센서 네트워크의 기본적인 구조를 보여주며, 무선 센서 네트워크는 <그림 1>과 같이 센서 노드들이 배치된 센서 필드(sensor field)와 외부망을 연결하는 기지국(base station)으로 구성된다. 즉 사용자나 응용은 기지국을 통하여 센서 필드에 질의를 전달하거나 센서 필드에서 수집된 데이터를 전송할 수 있다.

<그림 2(a)>과 <그림 2(b)>는 무선 센서 네트워크를 기초로 하는 RFID 시스템(Radio Frequency Identification system)의 예를 보여 준다. USN(Ubiquitous Sensor Network)은 제조, 물류·유통, 병원 그리고 공장에 배치된 센서 망으로부터 데이터를 수집하여 처리할 수 있는 센서 망을 예로 보여주고 있다.

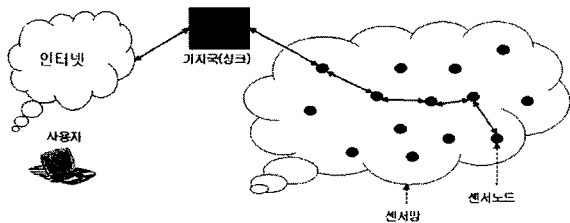


그림 1. 무선 센서 네트워크의 기본적인 구조

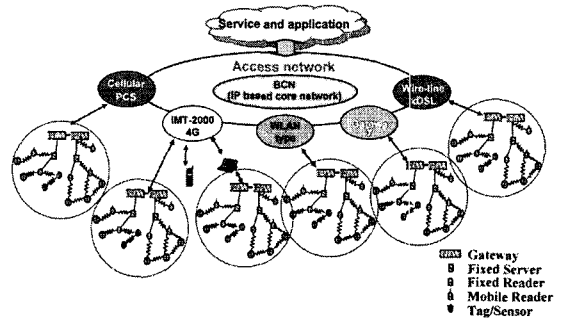


그림 2(a). RFID 시스템 구조

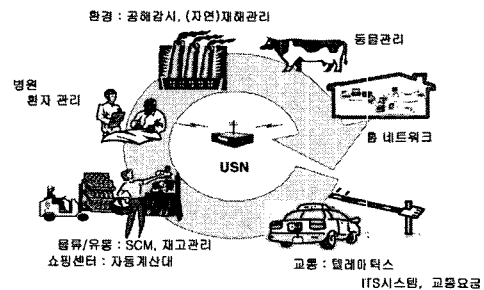


그림 2(b). 무선 센서 네트워크 기반 RFID 시스템 개요도

무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 산업 현장이나 자연 재해를 대비해 접근이 어려운 지역에 임의로 배치될 수 있으면 무선 센서 네트워크의 프로토콜은 자기 구성(Self-organizing) 능력을 가지며 센서 노드들은 서로 협동하여 동작한다.

이들로 구성된 무선 센서 네트워크는 애드 혹 망과 유사하지만 센서 노드의 크기가 작고 제한된 에너지 자원과 무선 통신 능력을 가진 마이크로 센서들로 구성되어 있다. 그러나 기존의 애드 혹 망에서 사용되는 노드들은 에너지 잔량이 부족할 경우 충전할 수 있지만 무선 센서 네트워크에서는 충전이 불가능한 특징을 가지고 있다. 따라서 센서 노드는 제공된 에너지 자원을 모두 사용하게 되면 더 이상 부모 노드와 통신할 수 없게 된다. 무선 센서 네트워크에서 노드의 에너지 문제는 해결되어야 할 가장 중요한 요인으로 뽑을 수 있다[1][16].

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에 사용되는 노드들의 제한된 에너지 정보를 이용하여 무선

센서 네트워크에서 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 우선 2장에서 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜에 대한 기본적인 개요와 관련연구를 살펴보고, 3장에서는 트리 기반 라우팅 프로토콜(tree based routing protocol)을 확장하여 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안하는 라우팅 프로토콜의 성능을 분석하고 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 개요

2.1 라우팅 프로토콜

무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 주로 에너지 소모를 줄이는 방향을 연구되고 있다. 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 주 기능은 센싱(sensing), 데이터 처리(computation), 전력소모(power consumption), 그리고 무선 통신(radio communication)을 한다. 이 중에서 에너지 소모는 대부분 무선통신을 이용할 때 발생된다[6]. 그러므로 통신 양을 줄이고자 하는 연구가 주로 수행되고 있다.

통신 양을 줄이기 위해 데이터를 통합(agggregation)하여 전송함으로써 통신을 줄이는 방식인 TAG(Tiny AGgregation)[7]가 제안되었다. 이 방식은 기본적으로 트리 기반 라우팅 프로토콜을 사용하므로 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜과 쉽게 통합된다. 무선 센서 네트워크에 데이터를 수집할 때 모든 노드에게 요청하는 것이 아니라 실제 데이터가 필요한 노드에게만 요청(query)함으로써 불필요한 에너지 소모를 줄이는 방식도 제안되었다[8].

무선 센서 네트워크는 센서 노드들의 협동으로 데이터를 생성한다. 그래서 무선 센서 네트워크에서는 통합된 데이터가 필요하며, 이러한 특징을 바탕으로 사용자가 요구한 데이터를 시간당 데이터 수를 만족시키기 위해 노드의 관찰 주기를 설정하여 기지국(base station)으로 전송되는 데이터양을 줄임으로써 노드의 에너지 소모를 줄이는 연구가 수행되고 있다[9].

무선 센서 네트워크는 주기적으로 대량의 데이

터를 전송하기 때문에 기지국에서 충돌(collision)이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 통신 안정성 측면에서 많은 연구가 되어 왔다. 무선 센서 네트워크에서 안정성 있는 통신 재설정을 위해 PSFQ(Pump Slowly, Fetch Quickly)[10]가 제안되었다. 이 메커니즘은 저속으로 패킷을 전송하고, 홵 간(hop by hop) 패킷 손실 복구를 수행하여 통신 안정성을 확보한다. PSFQ는 홵간 패킷 손실 복구를 지원하지만, 라우팅 경로의 종 단간(end to end) 통신 안정성을 보장하지 않는다. 센서 노드가 기지국으로의 안정성 있는 데이터 전송을 위해 ESRT(Event-to-Sink Reliable Transport)[9]가 제안되었다.

또한 센서 네트워크를 위해 제안된 대표적인 클러스터링 기반 라우팅 기법인 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 “데이터 퓨전(data fusion)”을 통해 데이터를 와서 직접 싱크로 전달한다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 퓨전 하는 기법이 제안되었다[17].

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고, LEACH와 유사하게 동작한다. TEEN은 지진 폭발 등과 같은 응용에서 요구되는 시간 임계적인 데이터가 실시간적으로 전달되고, 임계값이 클러스터 형성 결정 시간에 방송되므로 응용에 따라 사용자가 에너지소비와 네트워크 상태 판단의 정확성을 조절할 수 있다는 특징을 가진다[18].

2.2 데이터 수집

무선 센서 네트워크는 수많은 센서 노드로 구성된다[12]. 이 망은 관찰 데이터를 수집하기 위해 질의어(query language)를 이용하여 처리하는 방식이 주로 사용된다[11]. 센서 노드가 수집하는

데이터의 형태는 다양하다.

각각의 센서들은 측정된 데이터를 몇 개의 필드(field)를 갖는 레코드(record)로 처리하게 된다. 필드는 그 레코드를 생성한 센서의 번호(id)와 생성된 시간(time stamp)을 포함한다. 이러한 레코드들이 통합되어 분산된 형태의 테이블(table)로 인식한다. 이런 방식으로 데이터를 처리함으로써 센서 망의 데이터들은 결과적으로 분산 데이터베이스 시스템으로 간주될 수 있다.

<표 1> 질의문의 형태와 예제

Query Template		Example Aggregate Query	
SELECT	{attributes, aggregates}	SELECT	AVG(R.concentration)
FROM	{Sensordata S}	FROM	ChemicalSensor R
WHERE	{predicate}	WHERE	R.Loc In region
GROUP BY	{attributes}	GROUP BY	-
HAVING	{predicate}	HAVING	AVG(R.concentration) > T
DURATION	Time interval	DURATION	(now,now+3600)
EVERY	Time span e	EVERY	10

간단한 형태의 질의어의 형태와 예제를 <표 1>에서 보여준다. 일반적인 데이터베이스 시스템의 질의어와 유사하다. 하지만, 차이점은 지속적으로 새로운 데이터를 읽어 오기 위해 주기(period)와 시간 간격(time stamp)을 명시하는 구문이 추가되었다는 점이다. 관찰주기는 무선 센서 네트워크의 부하 양을 줄일 수 있다. 시간 간격을 둠으로써 불필요한 에너지 소비를 줄일 수 있다.

2.3 트리 기반 라우팅 프로토콜

무선 센서 네트워크는 매우 간단한 형태의 트리 기반 라우팅 프로토콜을 사용한다. 또한 기존의 애드 혹 망에서 프로토콜은 무선 센서 네트워크에서 통신 형태의 특징을 잘 반영하고 있지 않다. 무선 센서 네트워크의 통신 형태는 기존 애드 혹 망에서와는 다른 특징을 갖는다. 각각의 노드들이 소스(source)와 싱크(sink)가 될 수 있는 일반적인 애드 혹 환경과는 달리 하나의 기지국(base station)이 싱크의 역할까지 하고 다른 센서 노드들은 소스의 역할을 하게 된다. 즉 통신의 데이터 흐름은 센서 노드로부터 기지국까지 한 방향으로 집중되게 된다. 또한 무선 센서 네트워크는 한번 설치된 후에는 지속적으로 주변 환경을 관찰하며 각각의 노드들은 움직임이 없이

고정된 상태로 유지된다. 기존에 애드 혹 망의 라우팅 프로토콜은 무선 센서 네트워크의 특징을 반영할 수 없다.

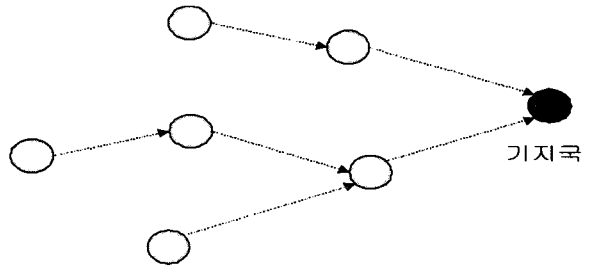


그림 3. 트리 기반 라우팅

<그림 3>과 같이 트리 기반 라우팅 프로토콜을 사용함으로써 멀티 홉(multi-hop) 통신을 지원하고 라우팅 프로토콜이 차지하는 부하를 줄여 센서 노드에 쉽게 적용된다. 센서 망에서 소스에서 싱크까지 통신에 적절하게 적용된다. 애드 혹 라우팅 프로토콜은 데이터를 보낼 때마다 라우팅 설정 단계가 필요하나 트리 기반 라우팅 프로토콜은 한 번의 경로 설정 단계를 통해 모든 소스에서 싱크까지 경로를 설정함으로써 부가적인 단계를 수행할 필요가 없으므로 통신 부하를 줄일 수 있다.

트리 기반 라우팅 프로토콜에서 라우팅 경로를 설정하기 위한 1단계는 싱크가 되는 기지국이 주변 소스 노드에게 경로 설정 메시지를 브로드캐스트(broadcast)하게 된다. 이를 수신한 소스 노드는 자신의 경로 상의 부모 노드를 기지국으로 설정하게 된다. 경로 설정 메시지를 수신한 노드들은 기지국과의 통신이 한 홉에 이루어 질 수 있는 거리에 있다. 자신의 부모 노드를 기지국으로 설정한 후 자신의 노드번호를 수신한 메시지에 추가하여 주변 노드에게 재전송하게 된다. 이로써 2홉 이상의 거리에 있는 노드도 전체 트리 구조의 라우팅 경로에 참여할 수 있게 된다.

애드 혹 망은 자신이 필요한 데이터를 전송하는 역할 이외에 주변 노드의 연결성(connectivity)을 보장해야 하기 때문에 주변 노드의 통신에 참여하게 된다. 이런 특징은 불필요한 에너지를 낭비하게 된다. 즉, 얼마나 많은 라우팅에 참여하는지에 따라 에너지 소모율과 직결된다. 이 특

정은 센서 망에서도 나타난다. 특정 노드가 통신 집중으로 인해 대부분의 에너지를 소모하여 수명이 짧아지는 경우가 발생한다. 만약 이 노드가 더 이상 통신에 참여하지 못하면 그 노드를 라우팅 경로로 사용하던 노드들의 연결성은 보장할 수 없게 된다. 이런 경우가 발생할 경우 전체 무선 센서 네트워크가 제공할 수 있는 전체 서비스 시간은 짧아지게 된다.

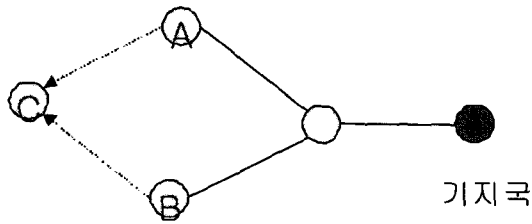


그림 4. 두 개의 부모 노드를 가지는 상황

이런 문제점을 보완하기 위해 라우팅 경로를 설정하는 단계에서 각 노드의 에너지 상태를 고려해서 경로를 설정하는 방법을 제안한다. 만약, 각 노드의 에너지 상태를 알 수 있고 경로 설정 메시지를 전송할 때 에너지 상태를 전송할 수 있다면[13] 라우팅 설정 단계에서 이 정보를 이용하여 통신 부하를 분산시킬 수 있다. 에너지 측면에서 가장 효율적인 경로를 선택하는 것이 무선 센서 네트워크의 전체 서비스 시간을 증가시키는 가장 효율적인 방법이다.

<그림 4>는 노드 C가 부모 노드 A와 노드 B를 동시에 가질 때, 노드 C가 경로 설정 메시지를 받고 양 부모 노드의 에너지 상태를 비교하여 효율적인 경로를 갱신하는 작업을 하게 된다.

3. 제안한 라우팅 프로토콜

에너지를 고려한 라우팅 프로토콜은 트리 기반 라우팅 프로토콜에서 기지국까지의 이용 가능한 모든 경로 중에서 에너지 측면에서 가장 효율적인 경로를 선택하는데 필요한 메트릭(metric)을 제시한다.

먼저, 기지국까지 데이터를 송수신하는데 필요한 총 에너지를 최소화 하는 경로를 설정하는 것이다.

$$e_j = \sum_{i=1}^{k-1} T(n_i, n_{i+1}) \quad (\text{수식 1})$$

$$T(a, b) = k \quad (\text{수식 2})$$

하나의 데이터를 수집하여 기지국까지 데이터를 전송하는데 필요한 모든 에너지의 총 합이 가장 작은 경로를 선택하는 것이 가장 효율적인 경로 설정이다. 수식 1에서 $T(a, b)$ 는 노드 a가 부모 노드 b에게 데이터를 보낼 때 소모되는 에너지이다. 그리고 소스 노드 n_i 부터 소스 노드 n_k 까지의 경로를 통해서 데이터가 전달되는 경우 e_j 는 소스 노드 n_i 부터 소스 노드 n_k 까지 통신하는데 소모되는 전체 에너지다. 여기서 각 노드는 데이터를 전송하는데 필요한 에너지와 데이터를 받는데 필요한 에너지가 동일하다면 $T(a, b) = k$ 인 일정한 상수로 볼 수 있고, 결국 e_j 는 데이터가 전송되는 전체 경로의 홉 수에 비례한다고 볼 수 있다. 결국 두 경로를 비교하여 홉 수가 적은 경로를 선택한다면 데이터를 전송하는데 필요한 전체 에너지가 최소인 경로를 이용함으로써 에너지 소모를 최소화하여 전체 서비스 시간을 향상시킬 수 있다.

둘째 센서 노드가 현재 가진 에너지 상태를 고려해서 에너지가 적은 노드가 에너지가 많은 노드보다 빨리 멈추는 문제를 보완할 수 있는 메트릭을 적용하는 것이다. <그림 5>에서 노드 C가 부모 노드 A와 B의 에너지 상태만 비교하지 않고 노드 D와 E의 에너지 상태까지 비교하여 에너지 효율적인 경로를 설정한다. 이 방법을 사용하여 무선 센서 네트워크 전체 서비스 시간을 향상시킬 수 있다.

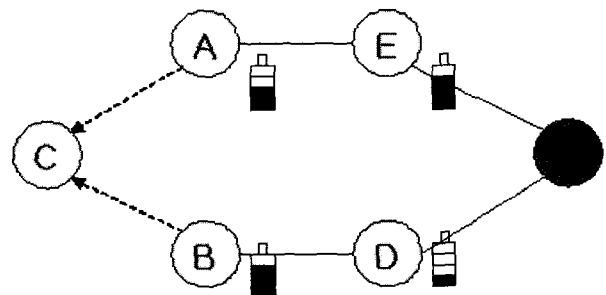


그림 5. Min-max 방법을 이용한 경로 설정

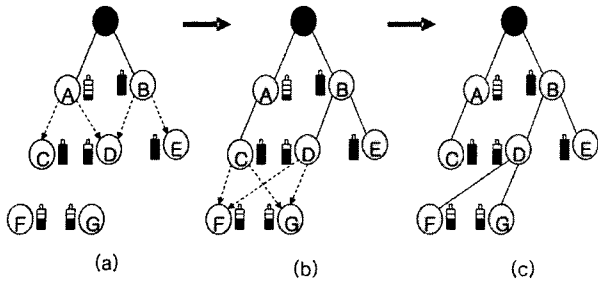


그림 6. Min-max 메트릭을 이용한 라우팅 경로 설정 과정

셋째, 모든 노드의 에너지 상태를 고려해서 경로를 선택하는 것이다. 모든 노드의 에너지 상태를 비교하기 위해 기존 애드 혹 망에서 고안된 Min-max 메트릭을 적용한다. <그림 6>은 Min-max 메트릭을 사용하여 라우팅 경로를 만들어 가는 과정이다.

본 논문에서는 위에서 제시한 메트릭을 혼합하여 사용한다. 시뮬레이션에서는 우선 위에서 제시한 메트릭 중에서 소스 노드에서 기지국까지 데이터를 전송하는데 필요한 에너지를 최소로 하는 메트릭을 사용하여 기지국까지의 전체 홉 수를 최소화하여 단위 데이터를 전송하는데 필요한 에너지를 최소화시킨다. 이 방식을 사용하면 소모되는 에너지 측면과 전체 홉 수 모두가 줄어들어 센서 망의 통신 부하를 줄이고 데이터 전송 지연시간(delay)이 줄어드는 이점이 있다.

만약 노드들이 같은 홉 수를 가지면 트리 기반 라우팅 프로토콜에서 사용하는 min-max 메트릭을 적용함으로써 경로 유지시간을 증가시킬 수 있다. 이 기법을 사용하면 통신 부하를 에너지가 많은 노드에게 분산시킬 수 있고, 각 노드의 에너지 소모율을 최소화시킬 수 있다.

4. 시뮬레이션

에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 평가하기 위해 시뮬레이션 해 본 후 각 센서 노드들의 동작을 기본적인 트리 기반 라우팅 프로토콜과 비교한다. 기존의 트리 기반 라우팅 프로토콜에는 부모 노드를 선택할 때 앞에서 제시한 최소 홉 메트릭 만을 사용하였고, 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜에는 추가적으로 트리 기반 라우팅 프로토콜에서 사용하는 Min-max 메트릭을 사용하

였다. 시뮬레이션을 위한 환경은 표2와 같다.

<표 2> 시뮬레이션 환경

무선 센서 네트워크 크기	200* 200m
센서 노드 수	100개
노드 통신 가능 거리	60m
노드의 위치	랜덤
노드의 에너지 상태	랜덤
관찰주기	1초
시뮬레이션 횟수	10회

<그림 7(a)>는 위의 환경에서 시뮬레이션 하였을 때 기본적인 트리 기반 라우팅 프로토콜의 라우팅 경로 설정 단계에서 생성되는 라우팅 경로 트리이다. <그림 7(b)>는 3장에서 제안한 기지국까지의 전체 홉 수를 줄이는 메트릭과 트리 기반 라우팅 프로토콜의 Min-max 메트릭을 통합해서 사용하여 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 구현하였을 때, 라우팅 경로 설정 단계에서 생성되는 라우팅 경로이다.

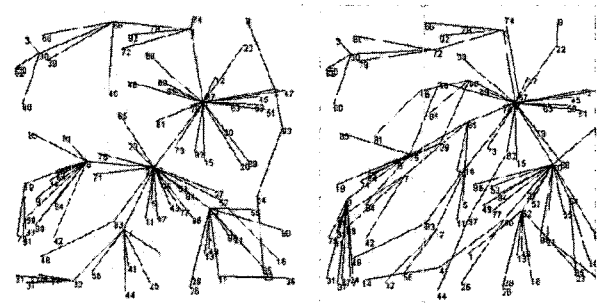


그림 7. 생성되는 라우팅 경로

시뮬레이션을 통한 무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 평가하기 위한 수치로 서비스 시간(service time)을 사용한다. 서비스 시간은 센서 노드가 가지고 있는 에너지가 모두 소모되어 노드를 사용할 수 없는 시간이 아니라 센서 노드간 통신을 통하여 데이터를 송수신 할 수 있는 시간을 말한다. 시뮬레이션은 센서 망의 노드 초기 위치와 초기 에너지를 임의로 설정하여 10회 반복한다. <그림 8>은 각각의 시뮬레이션에 대한 노드들의 서비스 시간(service time)의 평균치를 나타낸다.

<그림 8>의 그래프를 보면, 평균적으로 Min-max 메트릭을 적용한 라우팅 알고리즘이 최대 26% 향상된 서비스 시간을 제공하고 평균적으로는 15% 정도의 향상된 서비스 시간을 제공하는 것을 알 수 있다. 라우팅 경로를 선택하는데 있어 Min-max 메트릭을 적용함으로써 경로 유지 시간이 증가하게 되고, 이로 인해 각 노드의 서비스 시간이 늘어나는 경향을 확인할 수 있다.

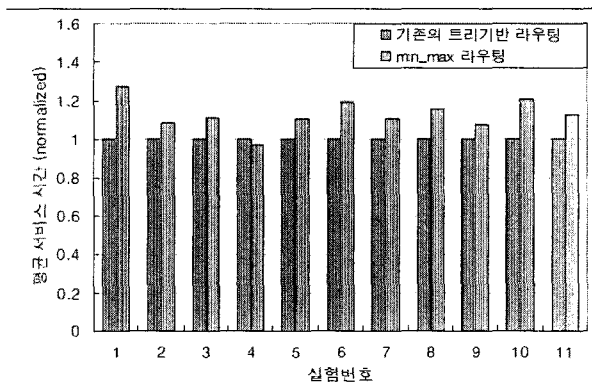


그림 8. 평균 서비스 시간

<그림 9>는 Min-max 메트릭을 적용한 라우팅 알고리즘의 경우 에너지 상태에 따라 통신 부하량을 할당해 줌으로써 시간이 지날수록 전체 노드의 에너지 상태가 비슷해지는 경향을 확인할 수 있다.

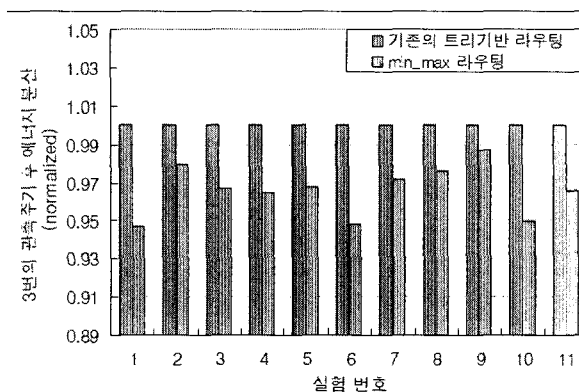


그림 9. 노드의 에너지 상태 분산값

<그림 10>의 그래프는 실제 노드들의 시간에 따른 동작 상황을 자세히 알아보기 위해 관찰 주기가 지날 때마다 기지국에 도착하는 데이터의 총 수를 측정하여 나타낸 그래프이다. 그림 10의

그래프를 보면 약 60번째 관찰 주기까지 두 방식 모두 100개의 관찰 데이터를 기지국에서 받을 수 있음을 알 수 있다. 즉 60번의 관찰 주기가 지날 때까지는 모든 노드들이 정상적으로 데이터를 기지국에 보내오고 있다.

하지만 60번째 관찰 주기를 넘어가면서 기본적인 트리 기반 라우팅 프로토콜의 경우 40개미만의 데이터만을 받게 된다. 이 말은 통신 부하가 많이 걸리는 중간 노드가 에너지를 모두 소모하고 정지됨으로써 경로가 끊기게 되어 절반 이상의 관찰 데이터가 기지국으로 전달되지 못함을 의미한다. 즉, 그림 8의 결과와 일치함을 알 수 있다. 이러한 일련의 시뮬레이션들을 통해서 에너지를 고려한 라우팅의 경우 Min-max 메트릭을 이용하여 통신 부하량을 에너지 상태가 높은 노드에 분산시켜줌으로써 기존의 트리 기반 라우팅에 비해 높은 경로 유지 시간을 보이는 것을 알 수 있다.

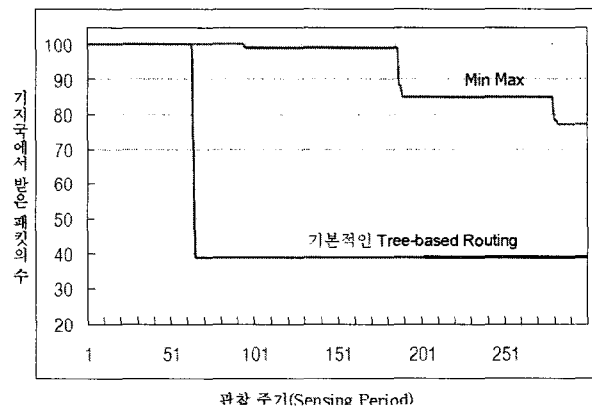


그림 10. 주기마다 수집된 데이터량의 변화

5. 결론

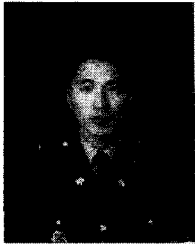
무선 통신의 발전과 더불어 컴퓨터 기술의 발전은 매우 작은 크기의 센서들로 이루어진 무선 센서 네트워크를 구성하는 것을 가능하게 했고, 이를 이용해 무선 센서 네트워크를 구성하고 여러 분야에 응용하는 것이 가능해졌다. 무선 센서 네트워크는 애드 혹 망의 한 응용으로 관찰하고자 하는 환경에 설치된 작은 센서노드들이 데이터를 수집하여 사용자에게 전달하는 역할을 한

다. 무선 센서 네트워크는 기존의 애드 혹 통신망의 성격을 가지고 있지만 일반적으로 기존의 애드 혹 망과 비교하여 더욱 제한된 자원을 가지고 있다. 그렇기에 기존에 연구되어 온 애드 혹 망의 라우팅 프로토콜을 그대로 적용시키기에는 어려운 점이 있다. 실제 연구용으로 사용되는 센서 노드의 경우 매우 간단한 형태의 라우팅 프로토콜을 지원할 뿐이다. 본 논문에서는 실제 무선 센서 네트워크에서 많이 사용되는 트리 기반 라우팅 프로토콜을 기반으로 하여 에너지를 고려한 min-max 메트릭을 적용함으로써 에너지 측면에서 보다 효율적으로 동작하는 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜을 이용하면 기존 라우팅 프로토콜에 비해 2배 이상 경로유지시간을 연장시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, W. Heinzelman, "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models," ACM Mobile Computing and Communication Review, Vol. 6, Num. 2, April 2002
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "애드 혹 On-Demand Distance Vector(AODV) Routing," RFC 3561, July 2003.
- [3] W. Heinzelman, "Application Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2000
- [4] Charles Perkins and Pravin Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing(DSDV) for mobile computers," ACM SIGCOMM '94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, Aug. 1994, pp. 234-244
- [5] D. Johnson, D. Maltz, Y-C. Hu, and J. jetcheva, "The dynamic source routing protocol for mobile ad-hoc networks," Internet Draft
- [6] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi and J. Pottie, "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," IEEE Personal communications, Oct 2000
- [7] S. Madden, M. Franklin and J. Hellerstein, "TAG : a Tiny Aggregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks," ACM SIGOPS Operating Systems Review, Volume 36, Issue SI, pages 131-146, Winter 2002
- [8] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein. "The Design of an Acquisitional Query Processor for Sensor Networks," In Proc. Of SIGMOD, pages 491-502, 2003
- [9] Y. Sankarasubramaniam, O. Akan, and I. Akyildiz. "ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks," In Proc. OfMOBIHOC, pages 177-188, 2003
- [10] C. Wan, A. Campbell and L. Krishnamurthy. "PSFQ : A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks." In Proc. Of WSNA, pages 1-11, 2002
- [11] Y. Yao and J. Gehrke. "Query Processing for Sensor Networks." In proc. Of CIDR, 2003
- [12] G. J. Pottie and W. J. Kaiser. "Embedding the Internet : wireless integrated network sensors." Communications of the ACM, 43(5):51-51, May 2000
- [13] Smart Battery System Implementers Forum (<http://www.sbs-forum.org>)
- [14] P. Bahl and V. Padmanabhan. "RADAR : An In-Building RF-based User Location and Tracking System," In Proc. of INFOCOM, pages 775-784, 2000.
- [15] K. Whitehouse. "RF Characterization over Distance,"In localization. millennium. berkeley. edu / data_repository.html
- [16] Edgar H., Jr. Callaway, Edgar H. Callaway "Wireless Sensor Networks : Architectures and Protocols," AUERBACH, 2003
- [17] Wendi B. Heinzelman et al., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.1, No.4, Oct. 2002, pp.660-670
- [18] Arati Manjeshwar et al., "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless

Sensor Networks," Proc. Second Int'l Workshop
Parallel and Distributed Computing Issues
in Wireless Networks and Mobile Computing,
2001.

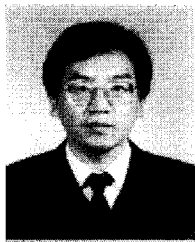


손 병 략 (Byungrak Son)

2000년 2월 대구대학교 정보통신공학부 전자공학전공 졸업(공학사)

2003년 3월 ~ 현재 대구대학교 대학원 정보통신공학과 재학

(관심분야 : 인터넷 QoS, 라우팅 프로토콜, 무선 센서 네트워크)



김 중 규 (Junggyu Kim)

1984년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1992년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2000년 9월 ~ 2001년 8월 University of Massachusetts 방문 교수

1992년 3월 ~ 현재 대구대학교 정보통신공학부 교수

(관심분야 : 컴퓨터네트워크, 인터넷 QoS, 센서 네트워크)