[USN] USN 네트워킹 기술 이슈

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 존재하는 물리적 네트워크를 활용하여 서비스를 제공하기 위한 개념적 네트워크로서, 센서네트워크를 통하여 센싱된 환경 또는 화학 정보 데이터를 인터넷이나 NGN(Next Generation Network)과 같은 인프라 네트워크를 활용하여 인프라 네트워크 연결 가입자에게 언제 어디서나 센싱된 정보가 가공된 지식 정보 서비스를 제공할 수 있도록 하는 서비스 네트워크를 말한다.

센서 네트워크는 오래전부터 환경 또는 화학적 현상을 측정한 센싱 정보를 제공하는데 활용되었으나, 유무선 센서네트워크가 독립된 환경으로 꾸며져 특정 목적에 한정된 형태로 서비스가 제공되었었다. 이러한 제약은 저전력 무선통신, 스마트 센서, 프로세서, 임베디드 컴퓨팅, 미들웨어 등의 발전함에 따라 소형의 근거리 무선통신을 가능하게 하는 저비용, 저전력, 다기능 센서 네트워크의 발전에 의하여 해소된다. 센서, 프로세서, 통신 부품으로 구성된 작은 센서 노드들은 새로운 무선 센서네트워크의 생성에 많은 부분 영향을 끼쳤으며 이는 전통적인 센서 분야의 비약적인 기술적 발전을 나타낸다. 이렇게 네트워크와 관련 기술의 발달로 센서 네트워크를 우리 주변의 일상 환경에 광범위하게 설치하고 센싱된 정보가 인프라 네트워크와 연결되며 다양한 형태로 재가공되어 서비스가 제공될 수 있는 확장된 개념의 센서 네트워크 응용 및 서비스를 USN이라고 이해할 수 있다. 이렇게 확장된 형태를 통하여 서비스의 범위가 확대되고, 재난방재, 환경감시, 지능형 물류관리, 실시간 시큐리티, 모바일 헬스케어 등에 적용을 위한 노력이 진행되고 있다.

이렇게 센싱된 정보가 센서 네트워크를 통하여 인프라 네트워크에서 사용자에게 전달되는 형태로 적용되기 위해서는 해결해야 할 새로운 문제들이 놓여 있다. 이러한 환경 또는 화학 정보 인지를 위하여 우리 주변에 광범위하게 설치하여 데이터가 전달되기 위해서는 이들의 네트워킹 기술이 필수적이다. 기존의 네트워킹 기술이 발달하였음에도 USN 응용 서비스의 실현을 위해서 도전해야 할 네트워킹 문제가 발생하는 이유는 저전력 센서 네트워크가 초소형 메모리, 저속 CPU, 높은 링크 손실율, 짧은 전송 거리 등의 특성이 있기 때문이다. 기존의 네트워킹 기술이 에너지 소모보다는 안정된 데이터 전달 경로를 찾는데 초점이 맞춰져 있기 때문에, 아주 작은 배터리로 1년에서 수년 동안 네트워킹을 해야 하는 센서 네트워크에서는 기존의 네트워킹 기술을 그대로 사용할 수 없다.

관련된 네트워킹 문제를 모두 다루기는 그 범위가 광범위하므로, 본 고에서는 네트워킹 문제에서 가장 기본이 되는 무선 네트워크 기술과 저전력 센서 네트워크의 라우팅 문제에 대하여 간략하게 다루고자 한다.

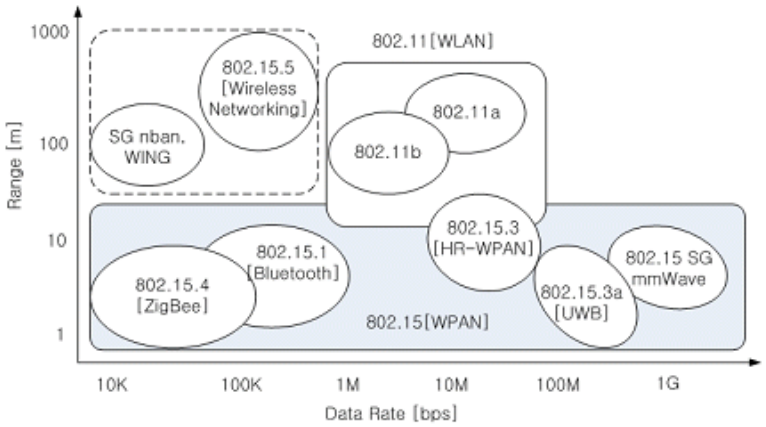
센서 네트워크 무선 통신 기술

유선통신 분야에서의 데이터 고속화와 같이 무선 통신 분야에서도 데이터의 고속화에 초점을 맞추어 Mbps에서 수십 Mbps의 데이터 전송률을 가지는 근거리 무선 LAN(Local Area Network) 기술이 개발되고, 이와 더불어 저속 이동성을 지원하는 근거리 영역 통신을 지원하는 PAN(Personal Area Network)에서도 데이터 전송률이 고속화되면서 수백 kbps에서 수백 Mbps에 이르고 있다. 이와 같이 무선의 고속화와 편이성에 의해 무선의 효용성이 증가되면서 다양한 분야에서 적용되고 있다. 그러나 응용분야에 따라 현재까지의 기술 규격으로는 저속, 저가, 저전력이 소모되는 응용분야의 요구사항을 만족하기에는 적절하지 못한 상태이다.

홈오토메이션의 한 예로 창가의 온도 센서의 경우를 보면, 이 센서는 시간 당 몇 번 정도의 온도만 알려주면 되므로 눈에 띄지 않게 작으며 매우 저가의 소자가 되어야 할 것이다. 유선으로는 선로 배선이 어려울 뿐만 아니라 센서 가격보다 선로 배선이 몇 배의 원가가 소요되므로 적절하지 못하다. 이 같은 응용에서는 낮은 성능이며 저가의 무선 통신소자가 적격이다. 그리고 기술적인 측면에서 전력소모는 극히 저전력 소모형태가 되어야 하며 배터리를 자주 교체해야 한다면 비실용적이 될 것이다. IEEE 802.11의 무선 LAN 기술은 이같이 저속의 연결만을 요구하는 응용에서는 적합하지 않다.

이해 반해 WPAN(Wireless PAN)은 저속과 작은 대역폭을 사용하면서 저전력 센서 네트워킹을 위한 무선 기술로 자리잡으며, 무선기반의 편리성과 이동성을 보장하고 언제, 어디서나 사용자 맞춤형 서비스를 제공하는 유비쿼터스 시대에서 요구하는 일상 생활의 모든 사물들이 통신을 하는 형태를 가능하게 하는 네트워킹 기술로 인식되고 있다. 이 기술은 10m 내외의 비교적 근거리에서 디바이스들 간의 무선연결을 통하여 다양한 정보를 전달할 수 있다. 특히, 가정 빌딩 등 비교적 좁은 영역에서 저전력, 소형, 저가로 개인 무선 네트워크를 구축하는 것으로 센서 네트워크 및 무선 서비스 제공이 가능하여 네트워크를 통한 기기들 간의 상호통신과 원격제어를 가능하게 한다.

<그림 1>은 IEEE 802 기술에 대해 서비스 영역과 전송속도 면을 비교한 것이다. 센서네트워크에는 주로 IEEE 802.15.4와 IEEE802.15.3이 사용되고 있다.



<그림 1> IEEE 802 표준 서비스 영역과 전송속도 비교

저전력 센서네트워크 라우팅 기법

- 라우팅 요구사항

센서 네트워크의 라우팅은 앞서 서론에서 언급한 것처럼 전원공급 없이 배터리로 동작하는 경우를 전제로 한다. 센서 노드의 특성이 몇 Kbyte의 RAM과 겨우 수십 Kbyte의 ROM과 플래쉬 메모리, 적은 MHz로 동작하는 CPU를 가진 동전크기 정도의 컴퓨터이며 링크 또한 짧은 거리에서 적은 대역폭으로 전달되는 특징이 있으므로, 이러한 특징에 맞추어 라우팅 프로토콜이 필요로 하는 계산이나 메모리 요구는 저비용과 저전력 특성을 만족시키는 수준에서 최소화되어야 한다.

또한, 에너지 소모를 늘릴 수 있는 과도한 단편화(fragmentation)와 재조립(reassembly) 없이 하나의 프레임으로 전송할 수 있어야 한다. 따라서, 아주 적은 최적의 정보를 담은 라우팅 패킷의 설계와 이를 통한 라우팅 테이블의 크기를 최소화하는 것은 매우 중요하다. 또한 센서 망의 링크는 단절 또는 손실되기 쉬운 특성을 지녔으므로 라우팅 프로토콜은 신뢰성 있는 전달을 위한 경로 탐색 및 제공에서 링크 특성을 고려하여야 한다. 또한 링크가 기본적으로 지닌 지연 정보가 비동기적인 링크 특성과 함께 고려되어야 한다.

또한 센서 망에서 노드들은 많은 시간 동안 주기적인 하이버네이션 상태에 놓이므로 이러한 특성을 고려하여 패킷 전송과 패킷 계산 정보를 추출해야 한다. 또한, 단순한 홉 수를 통한 계산은 노드와 링크의 특성을 반영하지 못하므로 링크의 품질을 같이 고려할 수 있어야 한다. 이 때, 라우팅 프로토콜에서 라우팅 경로의 복구 및 관련 제어 메시지가 전체 에너지 소비에 영향을 주지 않도록 하여야 하며, 이동 노드가 동적으로 변화하는 토폴로지에서 최소의 라우팅 상태 및 라우팅 메시지를 유지하도록 할 필요가 있다.

센서 네트워크는 그 응용의 특성에 인하여 1 to 1, 1 to m, m to m 트래픽 패턴을 모두 지원해야 하는데, 링크에서 브로드케스팅은 에너지 소모에 큰 영향을 미치므로 1 to m이나 m to

m으로 전달되는 트래픽 지원에 있어서 링크 계층에서 멀티캐스트를 지원하지 않으므로 최소한의 에너지 소모가 이러나는 방법으로 경로제공이 이루어져야 한다.

이러한 라우팅 요구사항의 구현에 있어서 앞서 설명한 센서 네트워크를 위한 무선통신에서 제공하는 링크의 특성을 반영해야 하며, 소형의 노드가 갖는 한계를 고려하여 설계되어야 한다.

• 저전력 센서 네트워크 라우팅 연구

센서 네트워크에 대한 라우팅 연구는 기존에 연구된 무선 애드 혹(ad hoc) 네트워크 라우팅 기법을 적용하는 노력으로 많이 이루어졌다. 이는 센서 네트워크의 특성이 애드 혹으로 구성되고 기존에 연구된 무선 애드 혹과 같이 비대칭 링크와 유사한 특성을 지니고 있다고 여겨졌기 때문인데, 실제 이를 직접 적용하기에는 적당하지 않은 다음과 차이점을 지니고 있다.

- 센서 노드는 사용하는 전력, 계산 능력, 메모리에 제한 받는다.
- 기존의 무선 애드혹이 소규모 통신망 구축에 초점이 맞춰진데 반해, 무선 센서네트워크는 대규모 숫자의 통신 노드로 구성되는 경우가 많다. 감시라는 업무 자체의 특성상, 보다 많은 관찰점에서 다각도의 감시 정보를 수집한다면 보다 풍부한 상황 정보를 파악할 수 있기 때문이다.
- 무선 센서네트워크가 배치되는 지역은 물리적 환경이 열악하고 가변적이라는 것이다. 이는 노드의 고장, 파괴, 오동작 등이 빈번하게 일어날 수 있다는 가정이 전제된다. 이러한 점은 기존의 애드 혹 라우팅에서도 고려했지만, 무선 센서 네트워크는 저속의 무선통신(예. IEEE 802.15.4)을 사용하므로 이러한 환경에서 링크의 손실과 네트워크의 변경이 훨씬 커질 수 밖에 없다.
- 이렇게 급격히 변동하는 주변 환경에도 불구하고 주어진 임무를 지속할 수 있는 장애허용성(fault tolerance)이 갖춰져야 한다. 이러한 요구조건을 만족하기 위해 무선 센서 네트워크는 노드의 밀집도를 높게 하여 감시 지역을 중복되게 함으로써 일부 노드의 고장이 발생하더라도 일정 수준 이상의 정보를 수집할 수 있도록 한다. 그러므로 센서 노드는 조밀하게 배치되는 경우가 많다. 이러한 환경에서도 라우팅에 있어서 에너지를 최대한 절약하는 통신을 해야 하는 제약이 있다.
- 대부분의 애드 혹(ad hoc) 네트워크는 점 대 점(point-to-point) 통신에 기반하지만, 센서 노드는 주로 1-m, m-1 등의 통신을 이용한다.
- 노드 간 중복되는 데이터를 네트워크 내부에서 처리하여 의미 있는 결과값만을 추출할 수 있는 데이터병합 방법과 이를 수행하기 위한 네트워크 구조가 라우팅과 밀접한 관련을 갖는다.

이러한 문제점의 해결방식으로 On-demand, Table-driven, Data-centric, Hierarchical,

Location 기반 방식 등의 라우팅 프로토콜 연구가 진행되어 왔다. 이들 라우팅 연구는 학계를 중심으로 다양한 형태로 발표되었으며, 아직까지 표준화된 또는 상용화되어 검증된 프로토콜은 없는 상황이다. 이들 라우팅은 하나의 기법에서 두세개가 혼용되어 개발되기도 하였으며 특성을 나열하면 다음과 같다.

(1) On-demand 라우팅

센서 네트워크에 적용되도록 고안된 On-demand 라우팅 프로토콜들은 데이터 전송 시점에 송신 노드에서 목적지 노드까지의 경로를 탐색하게 되고, 이러한 경로 탐색을 위해 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply) 메시지를 사용하고 전송 경로 상에서 발생한 에러를 통지하기 위해서는 RERR(Route Error) 메시지를 이용한다.

이러한 방식의 센서 네트워크 라우팅 프로토콜은 대부분 기존 무선 네트워크에서의 애드혹 라우팅을 연구한 MANET에서 제안된 AODV 라우팅 프로토콜을 기본 모델로 설계되었다. 센서 네트워크 라우팅 프로토콜들은 AODV에서 트래픽 발생과 메모리 사용을 최소화하고, 시그널링 메시지 및 라우팅 테이블의 크기를 축소하는 형태를 가진다. 따라서 기본 동작원리는 AODV와 흡사하다. On-demand 방식의 라우팅 프로토콜은 Many-to-Many 방식의 전송 모델을 지원하며 주기적인 라우팅 정보가 교환되는 형태가 아니라 필요한 경우에만 라우팅 정보가 발생되므로 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있다는 장점을 가진다.

(2) 테이블 관리 기반 라우팅

테이블 관리 방법의 경우 일정 주기 동안 혹은 네트워크의 토폴로지가 변화할 때 라우팅 정보를 브로드캐스팅 함으로써 모든 노드가 네트워크의 정보를 유지하게 하는 방식으로, 주기적으로 제어 메시지의 브로드캐스트를 수행해야 한다는 점과 라우팅 테이블을 관리해야 한다는 단점을 가지고 있다. 그러나 지속적인 라우팅 정보 수집을 통해 서비스 요구 시 빠른 응답을 해 줄 수 있다는 장점을 가지고 있다. 학계에서 발표된 알고리즘으로 DSDV, GSR, HSR 등이 여기에 속한다.

(3) 데이터 기반(Data-centric) 라우팅

센서 네트워크에서 제안되는 Data-Centric 라우팅은 대규모 센서 네트워크 환경에 주로 적용되어, 중복적인 데이터가 발생하는 환경에서 사용된다. 네트워킹에서 노드 주소가 아닌 노드 생성 데이터(attrb./value)를 중심으로 라우팅을 하는 기법이다. 데이터를 중심으로 라우팅을 수행하며 라우팅 상에서 데이터 통합 및 융합(aggregation/fusion)을 수행한다. 학계에서 발표된 LEACH, PEGASIS, TEEN, APTEEN 등이 여기에 속한다.

(4) 계층적 (Hierarchical) 라우팅

센서 네트워크에서 제안되는 Hierarchical 라우팅은 비교적 큰 네트워크 환경에 적용하기 위하여 고안되었으며, 대규모 네트워크를 그룹화한 클러스터(cluster) 개념으로 각 클러스터

별 대표 노드(cluster header)를 선정하고 클러스터 안에서 전달될 데이터의 통합(aggregation)을 수행한다. 이 때, 네트워크의 특성에 따라 주기적인 클러스터 헤더(cluster header)가 변경되는 경우는 에너지 소모가 많이 된다. LEACH, PEGASIS, TEEN, APTEEN 등이 속한다.

(5) 위치 기반(location-based) 라우팅
센서 네트워크에서 제안되는 Location 기반 라우팅은 일부 또는 전체 노드에게 GPS 탑재하여, 노드들의 위치 정보를 획득하여 위치 정보를 활용한 에너지 인식(energy aware) 경로를 생성한다. 또한 위치기반에 의한 클러스터링 등이 혼용되어 사용된다. 학계에서 발표된 MECN, SMECN, GAF, GEAR 등이 이에 속한다.

결언

사실 센서 네트워크가 오래전부터 사용되어오던 기술이지만, 다양한 목적에 부합된 형태로 발전된 기술이 아니며 특정 산업 공정 감시나 단일 홉을 통한 정해진 서버로 센싱 데이터를 전달하는 형태로 활용되어 왔기 때문에, 최근에 등장한 요구처럼 일상생활 어디에서나 설치되어 배터리로 동작하는 형태로서 저전력 무선 환경을 통한 센싱 데이터 전달을 위해서는 가장 기본적인 이웃노드 탐색과 ER(Edge Router)의 탐색을 통한 네트워크 구성부터 다중 홉을 거쳐 데이터를 전송하기 위한 라우팅 기법까지 네트워킹 분야에 많은 새로운 도전 분야가 놓이게 되었다.

본 고에서는 이들 네트워킹 이슈 중에서 간략하게 센서 네트워크의 통신 특성을 결정하는 무선 네트워크 기술을 간략하게 살펴보고, 센서 네트워크 라우팅을 위한 요구사항과 기존에 연구된 연구 방향을 간략하게 살펴보았다. 이렇게 센서 네트워크 안에서의 네트워킹 외에도 USN 응용 서비스를 실현하기 위해서는 센서네트워크에서 센싱된 데이터가 인프라 네트워크를 통하여 센싱된 정보가 제공되는데는 코어 네트워크에서 기능적 확장이 필요하다. 컨텍스트 모델링, 센싱된 정보의 오케스트레이션 및 프로세싱, 데이터 필터링, 콘텐츠 관리, 오픈 인터페이스 제공, 네트워크 및 소프트웨어 관리, 센서노드 및 센서 프로파일 관리, 디렉토리 서비스 등을 제공하기 위한 기능 추가 또는 확장이 검토되어야 한다. 이러한 문제의 해결은 곧 우리가 생각하는 유비쿼터스 서비스의 실현을 가능하게 할 것이다.

김은숙 (한국전자통신연구원 표준연구센터, eunah@etri.re.kr)