

센서 네트워킹 기술 동향

Technical Trends of Sensor Networking

텔레매틱스, RFID/USN, GIS
융합기술 동향 특집

정훈 (H. Jeong)	USN네트워킹연구팀 선임연구원
이종오 (J.O. Lee)	USN네트워킹연구팀 연구원
이종영 (J.Y. Lee)	USN네트워킹연구팀 연구원
박노성 (N.S. Park)	분산센서네트워크연구팀 연구원
진광자 (G.J. Jin)	USN네트워킹연구팀 책임연구원
김봉수 (B.S. Kim)	USN네트워킹연구팀 팀장

목 차

-
- I. 개요
 - II. 센서 네트워킹 기술 분류
 - III. 센서 네트워킹 기술 동향
 - IV. 센서 네트워킹 기술 발전 전망
 - V. 결론

인간과 사물, 컴퓨터간의 유기적인 관계 및 통신을 위하여 유비쿼터스 센서 네트워크 기술은 다양한 분야에서 응용 및 기술 개발이 이루어지고 있다. 센서 네트워킹 기술은 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템에서 가장 기본적인 구성 요소로 핵심 요소 기술에 대한 IPR 확보 및 지능화 기술 개발에 노력하고 있다. 이에 센서 네트워킹 기술의 특징과 기술에 대한 국내외 동향 및 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

I. 개요

센서 네트워킹 기술은 기존의 ad-hoc 네트워크보다 더 가혹한 제약사항을 가지고 있으며, 독특하고 다양한 응용 분야를 대상으로 하고 있다. 이러한 이유로 기존의 방법들과는 다른 형태의 프로토콜을 필요로 하게 되었다. 센서 네트워킹 기술의 응용 분야가 광범위한 만큼 아직 모든 응용을 만족시키는 프로토콜은 나오지 않은 상태이며, 많은 연구 결과들이 지엽적으로 풀고자 하는 목표와 가정들 아래에서 산출되었다.

본 기술 동향에서는 센서 네트워킹 기술이 다른 기존의 네트워크와 구별되는 차이점 및 설계 시의 요구사항 등에 대해서 알아보고, 대표적인 라우팅 프로토콜들을 특성에 따라 분류하고 설명한다.

센서 네트워킹 기술은 노드들이 스스로 네트워크를 구성해야 하는 자동구성 특징과 라우터와 데이터 소스의 두 가지 역할을 동시에 수행한다는 점에서는 ad-hoc 네트워크의 일종이라고 볼 수 있다. 그러나 센서 네트워킹 기술은 제한된 노드 자원, 배터리의 존성, 이동성, 데이터 전송 모델, 데이터 집중/융합, 데이터 실시간 특징 및 센서 데이터 베이스와 같은 차별적인 다양한 특성을 지닌다.

노드들은 자신이 제공할 수 있는 데이터에 의해서 지칭된다. 이를 위해서 사용자는 속성기반의 네이밍(attribute based naming)을 이용하여 쿼리(interest라고도 부른다)를 기술하고, 노드들에게 전송한다. 수신된 interest와 일치하는 이벤트를 감지한 노드들만이 데이터를 베이스 노드로 전송함으로써 데이터를 전송해야 할 노드들을 그 외 다른 노드들과 구분할 수 있게 된다.

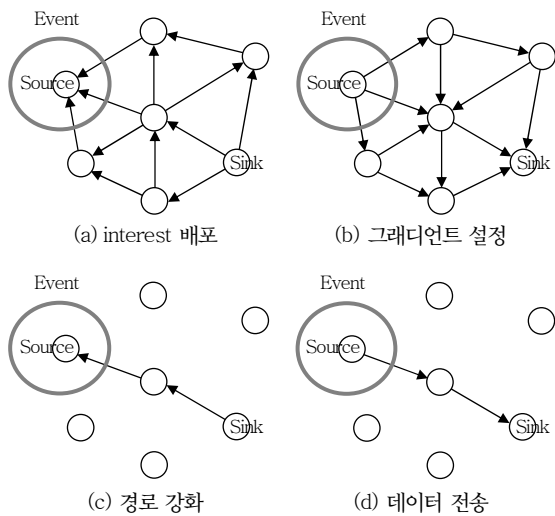
Directed diffusion은 데이터 중심 방식의 라우팅 중에 가장 대표적인 것이다[1]. Directed diffusion은 속성값으로 이루어진 쌍을 이용하여 데이터와 쿼리를 기술한다. 속성은 감시하려는 개체의 특징, 감시 대상의 지리 정보, 감시 주기 등을 의미하며, 이러한 속성들에 원하는 값을 지정해서 쿼리를 만들어 센서 노드들에게 interest를 배포한다. 노드들은 수신한 interest를 보관하고, 어떤 interest를 수신했을 때 기존에 수신한 것과 같은지 비교할 때나 이벤트가 발생했을 때 그와 일치하는 interest가 저장되어 있는지 판별하는 용도 등으로 사용된다. 센서 노드들은 기존에 수신하지 않은 새로운 interest를 수신했을 때만 해당 interest를 방송한다. 만약 저장된 interest와 일치하는 이벤트를 감지하면 그 interest가 방송된 경로들의 역순(gradient, interest 수신 시에 그 interest를 보낸 노드쪽으로 그

II. 센서 네트워킹 기술 분류

이번 장에서는 센서 네트워킹 기술을 데이터 중심, 클러스터링/계층구조, 플랫(flat) 구조/저전력, QoS/실시간, 센서 데이터베이스 등으로 분류하여 대표적인 프로토콜들을 기술한다.

1. 데이터 중심 방식

대량으로 배치되고, 배터리에 의존적이며, 상대적으로 제한된 자원을 가지는 모든 노드들에게 글로벌 ID를 부여하는 것은 어렵다. 그로 인해 특정 노드들을 구분하기 위한 다른 방법이 필요하게 되었으며, 이를 위해서 등장한 것이 데이터 중심 개념이다.



(그림 1) Directed Diffusion

래디언트를 설정한다)을 따라서 베이스 노드에게 보고한다. 베이스 노드는 그라디언트에 의해 결정되는 다수의 경로 중 가장 최적의 것을 선택해서 이벤트를 감지한 소스 노드에게 그 선택된 경로를 이용해서 데이터를 전송하라는 강화(reinforcement) 작업을 수행한다.

(그림 1)은 이와 같은 데이터 중심 프로토콜의 동작을 나타낸다.

2. 클러스터링/계층구조 방식

클러스터링/계층구조 방식은 본질적으로 데이터 집중/융합에 유리한 장점이 있으며, 클러스터 헤드 노드의 관리에 의해서 하위 노드들을 조정하여 전력 소모도 낮출 수 있다. 그러나 최적의 클러스터를 만드는 것은 NP-Hard에 해당하는 문제로써 이루기 상당히 어렵다. 따라서 많은 프로토콜들이 제안되었으며, 그 중 Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)가 가장 대표적인 프로토콜이다[2].

LEACH에서 매 라운드마다 각 노드들은 0과 1 사이의 임의의 값을 생성한다. 그리고 정해진 임계값보다 생성된 값이 작다면 스스로 클러스터 헤드가 됨을 결정한다.

헤드가 된 노드들은 헤드가 되었음을 주위 노드들에게 방송하고, 이를 수신한 노드들은 가장 강한 신호를 보낸 헤드의 클러스터에 참가한다. 헤드는 베이스 노드와는 단일-홉 통신을 하고 하위 노드들에게는 타임 슬롯을 할당하는 TDMA 방식의 통신을 이용해서 하위 노드가 불필요하게 RF 트랜시버를 작동하여 전력을 소모하는 것을 방지한다. 특정 시간이 경과하면 현재의 라운드를 종료하고, 처음부터 다시 위의 과정을 반복하는 새로운 라운드를 시작한다.

3. 플랫구조/저전력 방식

플랫구조 방식은 기존의 네트워크와 가장 비슷한 것으로 그 중에는 ad-hoc 네트워크와 센서 네트워

크 모두에서 이용 가능한 것도 있다. 각 노드들은 서로 간의 라우팅 정보 교환으로 다음 노드를 찾으며, 균일한 배터리 소모 등을 위해서 우회로를 이용하는 등의 방법을 취할 수 있다. 대부분의 플랫구조 방식이 적은 배터리 소모와 네트워크 수명 연장을 목표로 하고 있으며, SPIN 방식과 EAR 방식 등이 있다.

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)은 유효데이터 전송을 위해 수집한 메타데이터를 이용하여 전송하기 전에 수신 노드와 협상을 하고 데이터를 전송하는 방식으로 flooding 기법보다 훨씬 더 에너지를 절약할 수 있으며, 중복 데이터 전송을 줄이는 효과가 있으나 데이터의 전달을 보장할 수 없다는 단점이 있다[3].

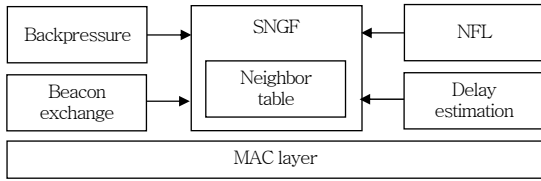
Energy-Aware Routing (EAR)은 네트워크 수명을 늘리기 위해서 다중 경로들을 상황에 맞게 번갈아 가면서 사용하는 프로토콜[4]로서, 경로의 비용과 그 경로가 선택될 확률을 부여하는 부분이 이 프로토콜의 핵심기술이다. 노드는 이웃노드가 보낸 비용과 그 이웃노드의 확률의 곱을 더한 기대비용을 인접노드들에게 전파하며, 이 기대비용을 수신한 노드는 기대비용과 그 기대비용을 전송한 노드로의 메트릭을 더해서 그 노드로의 중간비용으로 정의한다. 이 방식은 노드의 주소할당절차와 이를 위한 노드의 위치정보가 요구되며, 경로 설정이 다소 복잡하다.

4. QoS/실시간 방식

현재 센서 네트워킹 기술에서 거론되고 있는 QoS는 대부분 종단 간의 전송 지연에 대한 것이다. 이는 몇몇 응용 분야에서의 데이터의 실시간 특성을 위한 것으로, 멀티-홉 네트워크에서는 하드 리얼타임 지원을 지원하기는 어렵다.

SPEED는 센서 네트워크에서의 실시간 통신을 위하여 설계되었다[5]. 라우팅 테이블을 유지하는 등의 오버헤드를 없애고, 분산된 방법으로 종단 간의 소프트 리얼타임 통신을 지원한다. SPEED는 (그림 2)와 같은 모듈들로 구성되어 있다.

The Stateless Non-deterministic Geographic Forwarding algorithm (SNGF)은 핵심이 되는 모



(그림 2) SPEED 아키텍처

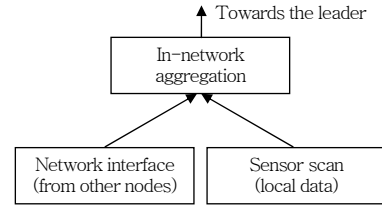
둘로서 위치정보를 이용하여 다음 노드를 정한다. 다음 노드는 위치적으로 목적지에 더 가까운 노드들 중에 속도가 특정 값보다 높은 노드들 중에 선택된다. 이웃노드로의 속도는 현재 노드에서 목적지 노드로의 거리에서 이웃노드에서 목적지 노드로의 거리를 뺀 값을 지연시간으로 나눈 값으로써, 단위시간 당 목적지 노드에 어느 정도로 가까워지는가를 의미한다.

주기적인 비컨 교환을 통해서 이웃 노드들을 파악하고, 통신 링크의 지연을 기준으로 혼잡시 다른 경로를 찾는다. 링크의 지연은 타임스탬프를 표시한 패킷을 보내고, ACK 받는 과정을 통해서 걸린 시간을 측정함으로써 이루어진다. NFL은 중계 비율을 조절하여 속도를 유지하도록 하는 핵심적인 기능을 수행한다. 혼잡이 발생하면 속도가 떨어지고, 혼잡이 일어난 링크와 연결된 노드는 백프레시 기법을 이용하여 다른 노드들에게 알려서 혼잡이 일어난 노드로의 경로를 선택하지 않도록 유도한다.

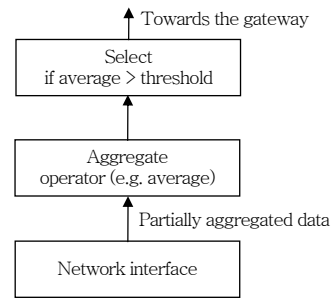
5. 센서 데이터 베이스 방식

센서 네트워킹 기술을 분산된 데이터베이스로 보는 견해는 사용자의 쿼리에 의해서 노드들의 데이터를 모은다는 점에서 데이터 중심 개념과 비슷한 점이 있다. 그러나 이러한 데이터베이스로 보는 견해는 쿼리의 효율적인 처리에 대해서도 관심을 두고 있다. 일반적인 데이터 중심 프로토콜과는 다르게 저전력으로 쿼리를 처리하기 위한 독립된 계층을 가지고 있기도 하다.

COUGAR가 센서 네트워킹을 분산된 데이터베이스로 보는 대표적인 프로토콜이다[6]. 이 프로토콜은 선언적 쿼리(declarative queries)를 이용해서



(a) 데이터 소스에서의 쿼리 플랜 실행 방법



(b) 리더 노드에서의 쿼리 플랜 실행 방법

(그림 3) COUGAR 쿼리 처리

쿼리 처리를 네트워크 계층으로부터 추상화시키고, 데이터 집중 등의 방법을 사용하여 전력소모를 줄이는 방식을 취했다. 쿼리 처리의 추상화를 위해서 네트워크 계층과 응용 계층 사이에 독립된 쿼리 계층을 추가하였다. 새로운 쿼리가 발생하면 게이트웨이는 쿼리를 최적화한 다음 새로운 데이터가 쿼리를 처리하기 위해서 필요하다면 쿼리 플랜을 만든다. 쿼리 플랜에는 데이터가 모이는 리더 노드를 선정하는 방법과 필요한 데이터의 종류 등이 들어 있다. 리더 노드가 아닌 노드들은 감지한 데이터를 리더 노드쪽으로 보내게 되고, 전송되는 중간에 지속적으로 자신이 감지한 데이터와 다른 노드에게서 받은 데이터를 데이터 집중 방법을 사용해서 처리한다. 리더 노드는 그렇게 모인 데이터를 최종적으로 가공해서 게이트웨이로 전송함으로써 쿼리의 처리를 종료한다(그림 3) 참조).

Ⅲ. 센서 네트워킹 기술 동향

이번 장에서는 실제로 구현되어 USN 네트워크에 응용되고 있거나 표준화 진행중인 네트워크 계층

프로토콜에 대해서 살펴본다. 현재 구현되어 널리 쓰이고 있는 USN 네트워크용 프로토콜은 TinyOS에 구현된 것이 대표적이며, 여러 업체들에 의해 ZigBee 기반 네트워크 스택을 구현하여 상용화하고 있다. 한편, 최근에는 IEEE 802.15.5에서 메시 네트워크 표준화를 진행중인데, 현재 상황으로는 센서 네트워크에 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

1. TinyOS의 네트워크 계층 프로토콜

TinyOS는 설계 후 발표한 논문에서 DSDV를 변형한 프로토콜을 이용하고 있다고 밝히고 있다[7]. 이는 홉 수를 이용한 distance vector 방식의 라우팅 프로토콜로써 기존의 네트워크 기술과 크게 차이점이 없는 아주 전통적인 기법을 사용하고 있다. 결과적으로 센서 네트워크만을 위한 특별한 기술을 담고 있지도 않으며 기술적으로 복잡하지도 않은 프로토콜이라 할 수 있다. 다만 한 가지 이점은 AT-Mega128L 마이크로 컨트롤러에서 실행되는 만큼 적은 양의 코드 사이즈와 데이터 메모리를 사용한다는 것이다.

TinyOS의 라우팅 프로토콜은 크게 goodness라는 일종의 링크 가중치 값을 관리하는 기법과 라우팅 정보를 주고 받으면서 다음 노드를 선택하는 기법으로 나눌 수 있으며, 각각에 대해서 설명한다.

가. Goodness 관리 기법

Goodness는 하나의 통신 링크(에지)가 가지는 가중치 값으로 해당 링크의 지난 과거의 통신 성공률을 의미한다.

나. 다음 노드 선택 기법

TinyOS의 라우팅 프로토콜은 distance vector 방식으로 각 노드는 주기적으로 라우팅 정보를 브로드캐스팅하고, 라우팅 정보 수신시 마다 홉 수와 goodness 값을 갱신하고, 최적의 값을 가진 노드를 다음 노드로 선택한다.

2. ZigBee 네트워크 계층 프로토콜

ZigBee는 IEEE 802.15.4의 PHY와 MAC을 도입하여 네트워크 계층부터 새롭게 정의한 산업체 동맹이 작성한 표준이다. ZigBee의 핵심 기능은 크게 아래의 세 가지 정도로 분류할 수 있다. 나머지는 관리나 상/하위 계층과의 인터페이스 부분 등에 해당하며 그리 큰 비중을 차지하지 않고 있는 것들이다.

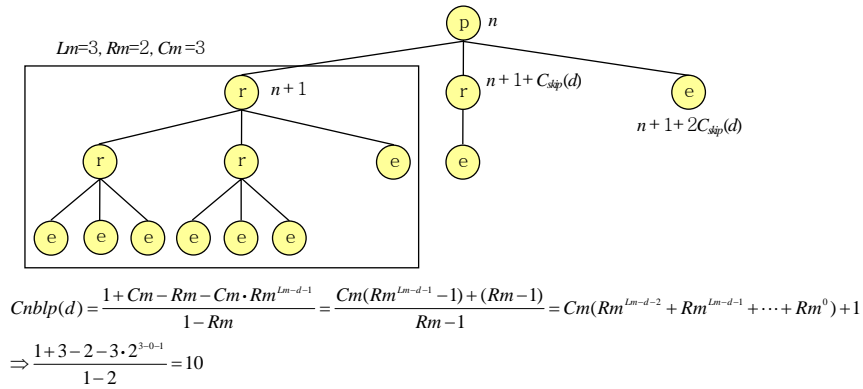
가. 동적인 네트워크 구성 기능

동적인 네트워크 구성은 PAN coordinator, coordinator (FFD), device (RFD)들을 센서 필드에 배치시킨 후 노드들 간의 통신을 통해서 자동적으로 토폴로지를 구성하고, 주소를 할당하는 것을 의미한다. 크게 PAN coordinator에 의한 네트워크 형성 기능과 coordinator와 device에 의한 네트워크 조인(join) 기능, 네트워크 조인시 부모 노드에 의한 자식 노드로의 주소 할당 기능으로 분류된다.

PAN coordinator에 의한 네트워크 형성은 사용할 채널, PAN ID, 비컨 구조 등을 결정하며 이렇게 결정된 사항들은 네트워크의 모든 노드들이 따라야 한다. 이를 위한 과정은 각 채널에 대한 에너지 검출을 통하여 가장 낮게 검출되는 채널을 사용하고, 그 뒤 능동 검출을 통하여 PAN ID를 파악하여 중복되지 않도록 PAN ID를 선택한다. 그리고, 상위 계층으로부터 내려온 값을 이용하여 사용할 비컨의 구조를 결정하는 super-frame order, beacon order를 설정한 뒤 비컨을 브로드캐스팅하여 네트워크를 시작한다.

네트워크 조인은 coordinator나 device가 네트워크에 미리 조인한 PAN coordinator나 coordinator에게 조인하는 것을 말한다. 이때 네트워크에 미리 조인한 PAN coordinator나 coordinator를 부모라 하고 조인하려는 coordinator나 device는 자식이라고 한다. 조인 과정을 통해서 자식은 부모에게서 비컨 정보인 SO, BO 값과 주소를 하나 받는다.

ZigBee 네트워크 계층 프로토콜에서의 주소 할당 기법은 nwkMaxChildren(Cm), nwkMaxRou-



(그림 4) ZigBee 주소 할당 기법

ter(Rm), nwkMaxDepth(Lm)과 C_{skip}(d)을 이용하여 부모 노드가 자식노드에게 주소를 할당한다.

(그림 4)는 ZigBee 네트워크 계층 프로토콜에서의 주소할당 예제를 나타낸다.

나. 트리 라우팅 기능

트리 라우팅 기능은 트리에 조인한 FFD들이 별도의 라우팅 테이블이나 경로 검색을 사용하지 않고, 단지 주소 정보만을 이용하여 자신의 부모를 판단하는 방식이다.

다. 메시 라우팅 기능

ZigBee의 메시 라우팅은 트리 구조를 무시하고 RREQ/RREP를 이용하여 최적의 경로를 탐색하는 것을 핵심으로 하고 있다.

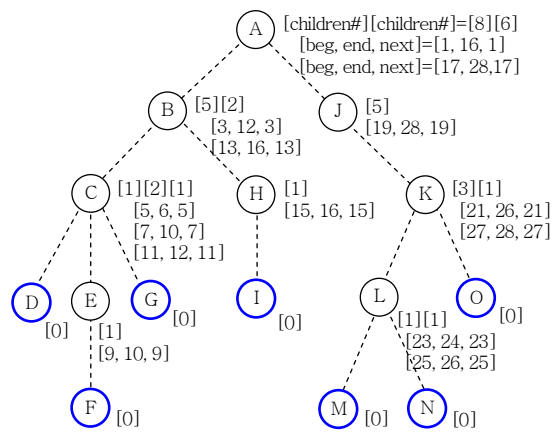
비슷한 내용의 제안서가 상당수 존재하며, 향후 ZigBee와 경쟁 관계가 될 것으로 판단된다. 메시 네트워크에서 기본적인 라우팅 외에 멀티캐스팅, 보안을 위한 키 분배 등 상당히 많은 양의 내용을 담고 있다.

가. Adaptive Robust Tree (ART)

ART[8] 방식은 ZigBee 표준과 동일하게 어떤 PAN이 있을 때 가장 먼저 PAN 코디네이터가 동작을 하고, 일반 노드들이 하나씩 결합(association)하면서 트리를 완성하는 방식이다. 그러나, ZigBee와는 주소를 할당하는 방식에서 차이가 있다. ZigBee에서는 노드가 부모에 결합할 때 부모가 바로 주소를 할당하나 ART에서는 트리가 완성된 후에 트리

3. IEEE 802.15.5 네트워크 계층 프로토콜

IEEE 802.15.5 워킹그룹은 2004년 초에 정식으로 가동되어 IEEE 802.15.1/3/4 위에 새로운 계층을 추가하여 mesh/star/tree 등의 모든 네트워크 구조를 모두 지원하는 규격 작성을 목적으로 하고 있다. 현재 메시 토폴로지 방식에 연구가 동일한 사람에 의해 IEEE 802.15.5 WG과 ZigBee Alliance의 WSN 그룹에서 제안되었기 때문에, 양 표준단체에



(그림 5) Adaptive Robust Tree

의 끝에서부터 차례로 자식이 부모에게 하위에 몇 개의 자식이 있는지를 보고한다. PAN 코디네이터가 자식들부터 하위에 존재하는 노드의 개수에 대한 보고를 받으면 그에 따라 사용할 수 있는 주소공간(block address)을 할당한다. 주소공간의 할당도 PAN 코디네이터로부터 트리의 끝단까지 순차적으로 일어난다.

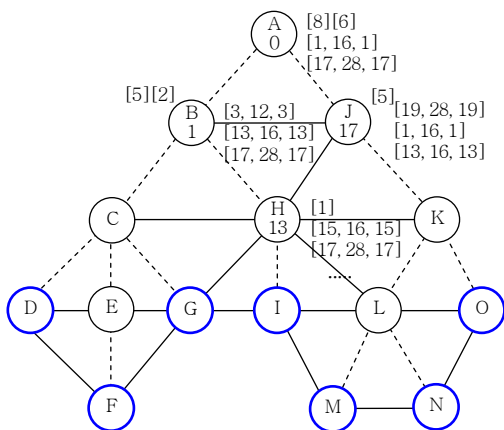
(그림 5)는 ART에서의 주소 할당 방식을 나타낸다.

나. Meshed Adaptive Robust Tree (MART)

MART 방식은 ZigBee에는 없는 기능으로, 트리 라우팅을 할 때 메시 구조의 장점을 취하기 위해서 제안되었다. 각 노드는 통신가능거리 안에 존재하는 모든 노드들을 자식으로 설정하고, 트리 라우팅을 하는 것이 MART의 핵심 내용이다.

(그림 6)에서 C는 H의 부모는 아니지만 통신가능거리 안에 있으므로 H에게 주소공간을 요청하여 수신하면 저장하여 자식으로 취급하여 트리 라우팅을 수행한다.

이러한 MART의 약점은 (그림 6)의 MART 상에서 K도 C의 자식이지만, C는 단일-홉 노드들만 자식으로 취급하므로 트리 라우팅으로는 C→H→K의 최적의 패스를 통해서 전달할 수 없다는 것이다. 이는 MART를 이용한 트리 라우팅 시에 메시 구조의



(그림 6) Meshed Adaptive Robust Tree

장점이 단일-홉 떨어진 노드에게 전송할 때만 발생한다는 것이다.

다. Non-tree Routing

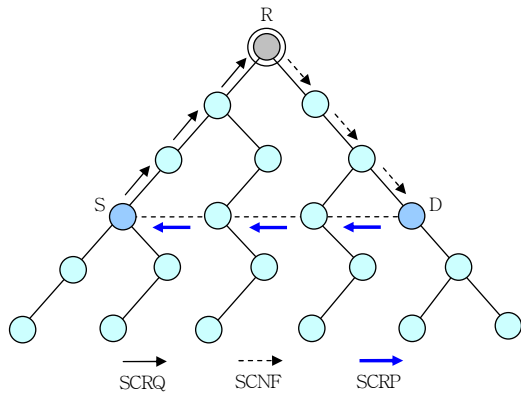
삼성의 제안은 ZigBee와 같이 트리 라우팅과 트리 구조를 무시한 넌-트리 라우팅(non-tree routing) 두 가지 종류를 포함하고 있다. 넌-트리 라우팅은 MART 상에서 RREQ/RREP를 이용하여 트리 구조를 완전히 무시하고 라우팅 경로를 찾는 방식이다.

ZigBee의 경로 발견(route discovery)에 비해서 향상된 기능은 RREQ를 플래딩하지 않고, 트리 라우팅을 하여 목적지 노드에게 RREQ를 전송을 하고, 목적지 노드는 RREP를 보낼 때 RREQ가 거쳐서 온 홉 수만큼으로 TTL을 제한하여 RREP를 플래딩하는 방식을 취하는 것이다. 이는 제안자의 주장과 같이 ZigBee의 내용보다 RREQ/RREP의 브로드캐스팅 횟수를 줄일 수 있는 향상된 기능이다. 단, 양방향 모두 동일한 가중치 값을 가지는 방향성이 없는 그래프일 경우에만 해당된다.

라. Topology Server

PAN 안에 네트워크의 토폴로지 정보를 담고 있는 토폴로지 서버를 두어서 비컨 스케줄링과 노드 사이의 최적경로 탐색을 담당하도록 한다. 토폴로지 서버는 low duty-cycle의 네트워크를 위해서 제안되었다.

토폴로지 서버는 네트워크 토폴로지 정보(각 노드가 방송하는 비컨의 슈퍼프레임 구조와 이웃 노드의 link state 정보)를 모아서 한 노드가 두 홉 떨어진 노드들과 비컨 타임이 중복되지 않도록 스케줄링을 하여 각 노드들에게 비컨 타임을 할당한다. 이는 ZigBee에서도 존재하는 기능으로, 본 제안에서는 스케줄링을 하는 특정한 알고리즘을 제안하지는 않았고, 토폴로지 서버가 담당하여 각 노드에게 비컨 타임을 알려 준다고 언급하고 있다. 그러나 실제로 이 비컨 스케줄링은 네트워크의 성능과 밀접하게 관계가 있고, 최적의 스케줄링을 하는 것은 NP-



(그림 7) Reactive Shortcut Finding

Hard 또는 NP-Complete이므로 실제로 불가능하며, 적은 오버헤드로 가능한 최적에 가까운 스케줄링을 하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

노드 사이의 최적 경로는 (그림 7)에서처럼 소스 노드 S가 토폴로지 서버 R에게 목적지 노드 D로의 최적 경로 정보를 달라고 요청(SCRQ)을 하면 토폴로지 서버는 저장된 토폴로지 정보를 이용하여 S에서 D로의 최적 경로를 찾아서 경로에 포함된 노드 목록과 각 노드의 슈퍼프레임 구조를 SCNF에 실어서 D에게 전송한다. D는 SCNF에 포함된 최적 경로 정보의 역순으로 SCRPs를 전송한다. SCRPs가 거쳐서 가는 중간 노드들은 최적 경로 상에서 이전 노드와 다음 노드가 언제 슬립(sleep) 모드에서 깨어나 동작을 하는지에 대한 정보를 슈퍼프레임 정보로부터 읽어서 그에 맞게 패킷을 송수신한다.

4. Mesh PAN Alliance

필립스사의 지원을 받는 독일의 Aachen University에서 제안한 것으로, high-rate PAN을 목표로 하고 있다. 무선 네트워크에서 성능 감소의 주된 요소인 hidden node와 exposed node 문제를 해결하는 방안을 제안하였으며, IEEE 802.15.3 TG쪽과 제안된 내용을 위해서 상호 협조가 있어야 할 것으로 판단된다. 제안한 방법은 기존의 RTS/CTS 방식에 비해서 더 뛰어난 것으로 판단되나, 상위의 라우팅에 대해서는 제안에서 언급하지 않고 있다.

IV. 센서 네트워킹 기술 발전 전망

지금까지 센서 네트워크용 프로토콜을 설계하는데 있어서의 여러 가지 관점들과 실제 구현되거나 표준화 진행중인 프로토콜들의 세부적인 사항들을 살펴보았다. 이번 장에서는 지금까지 살펴본 사항들을 기반으로 USN 센서 네트워킹의 핵심 요소들을 염두에 둔 개발 방향과 전략에 대해서 언급한다.

위에서 살펴본 센서 네트워킹 기술의 요구사항을 만족시키기 위해서 필요한 네트워킹 계층의 핵심 기술 및 앞으로의 발전 방향을 정리하면 다음과 같다.

- 저전력 라우팅

적은 전력을 소모하는 경로를 따라서 데이터를 전송할 수 있어야 한다.

- 중계 횟수 균등화

어느 한 노드가 많은 양의 데이터를 싱크로 중계한다면 그 노드는 다른 노드에 비해 전력을 과도하게 소비하여 빨리 수명을 다하게 된다. 센서 노드의 수명을 최대한 균등하게 유지하기 위해서는 패킷을 중계하는 횟수를 다른 노드와 비슷하게 맞추어주는 기법이 필요하다.

- 데이터 집중/융합

어떤 이벤트가 발생하면, 주위의 다수의 노드들이 동일한 이벤트를 감지하게 되고(overlap), 불필요하게 동일한 데이터가 베이스 노드에게 여러 번 전송되는 비효율성을 가지고 있다(implosion). 이러한 중복된 데이터를 제거하거나 필요에 따라 최대, 최소, 평균값 등을 구하여서 최종적으로 하나의 데이터만을 베이스 노드에게 전송하는 것을 데이터 집중이라고 한다. 시그널 프로세싱 기술을 이용해서 수행되는 데이터 집중을 특별히 데이터 융합이라고 한다.

- 네트워크 토폴로지 조정

클러스터링, 플랫 등의 네트워크 구조는 데이터 전송 시의 전력 소모, 전송 성공률 등과 밀접하게 관련 있다. 센서 네트워크의 특성상 원하는 요구사항

을 고려하여 적합한 방식의 프로토콜을 설계하여야 한다.

• 저지연 라우팅

홉 수가 짧거나 혼잡하지 않는 경로를 찾아서 지연을 줄이는 라우팅 방식이 필요하다.

• Fault Tolerance

노드의 전력부족이나 홉 수가 짧거나 혼잡하지 않는 경로를 찾아서 지연을 줄이는 라우팅 방식이 필요하다.

• 이동성 지원

노드가 이동중에도 데이터의 안정적인 전송을 지원할 수 있거나 최소한 노드가 이동중에는 지원하지 않더라도 이동 후 새로운 곳에 정착한 후에는 지원할 수 있어야 한다. 동적인 네트워크 토폴로지 관리나 노드의 association/disassociation 등이 이동성 지원과 관련된 기능이다.

• 위치기반 라우팅

보다 복잡한 형태의 컨텍스트를 위해서는 센서 노드의 위치 정보가 이용되어야 한다. 예를 들면 “욕실에 사람이 있고 주전자가 켜고 있다.”라는 컨텍스트를 위해서는 욕실에서 사람을 감지한 이벤트와 주방에서 주전자가 켜고 있다는 이벤트가 결합되어야 하는데, 이 이벤트들이 독립적으로 싱크에게 전달되어 싱크가 컨텍스트를 생성할 수도 있지만, 좀 더 자동화된 USN을 위해서는 네트워크 안에서 컨텍스트를 생성할 수 있어야 한다. 즉, 위치정보를 이용하여 발생한 이벤트를 다른 위치로 중계하여 컨텍스트를 생성하는 것이다. 예를 들면 욕실의 센서 노드가 사람이 있다는 이벤트를 감지한 후 주방의 센서 노드에게 전달하면 최종적으로 주방의 센서 노드가 주전자가 켜고 있다는 이벤트와 결합하여 컨텍스트를 생성하게 된다.

• 동적 주소 할당

대량의 센서 노드에 일일이 수작업으로 주소를 할당하는 것은 상당히 비용이 많이 발생하는 작업이

다. 따라서 각 노드는 센서 필드에 배치된 후 일종의 난수 발생기를 이용하여 스스로의 주소를 선택할 수 있어야 하며, 최소한 이웃노드와 주소가 중복되지 않도록 negotiation하는 기법이 필요하다.

• 확장성

센서 네트워크는 특성상 많은 수의 노드로 구성될 수도 있고, 적은 수의 노드로 구성될 수도 있다. 모든 조건에서 안정적으로 동작하기 위해서는 확장성을 지녀야 한다.

V. 결론

WPAN에서 PHY와 MAC 계층의 표준인 IEEE 802.15.4 규격과 네트워킹 계층 이상에서 표준 규격을 제공하는 ZigBee network stack 기반의 센서 네트워크 기술은 빌딩관리, 물류관리, 환경관리와 같이 모든 기반 산업에서 다양한 응용 서비스 도출 및 기반 기술개발로 인해 각광받고 있으며, 우리나라 정부에서는 유비쿼터스 사회 건설을 위한 IT839 전략의 일환으로 RFID/USN 기술 산업을 지원하고 있다. 그러나, 국내 센서 네트워킹 기술은 ZigBee 위주의 한정된 개발이 이루어지고 있는 실정이다.

본 기술동향에서는 국내외 센서 네트워킹 기술 동향과 요소 기술을 알아보고, 이를 통하여 센서 네트워킹 기술의 발전 전망을 알아 보았으며, 다양한 응용 서비스를 고려한 저전력 라우팅, 중계 홉수 균등화, 데이터 집중/융합, 네트워크 토폴로지 조정, 저지연 라우팅, 이동성 지원, 위치기반 라우팅, 동적 주소 할당 및 확장성을 지원하기 위한 기술에 대한 개발 및 기술 확보에 대한 필요성에 대해서 살펴 보았다.

우수한 성능의 센서 네트워크 서비스를 제공할 수 있도록 하기 위해서는 cross-layer와 같은 프로토콜의 효율 및 신뢰성을 높이기 위한 기술과 저전력화를 위한 기술, 그리고 scalable 및 이동성을 지원할 수 있는 기술, 응용 서비스에 따른 요구품질을 만족하는 센서 네트워킹 기술 등과 같은 최첨단 센

서 네트워킹 기술에 대한 개발과 IPR 확보가 향후 최적화된 USN 서비스 제공 및 센서 네트워킹 기술을 개발하는 데 유용할 것이라 사료되며, 향후 센서 네트워크 산업 활성화에도 크게 기여할 것으로 사료된다.

SCRQ	ShortCut Request
SNGF	Stateless Non-deterministic Geographic Forwarding algorithm
TDMA	Time Division Multiple Access
TTL	Time To Live
USN	Ubiquitous Sensor Network

약어 정리

ART	Adaptive Robust Tree
CTS	Clear To Send
DSDV	Direct Sequence Distance Vector
EAR	Energy-Aware Routing
FFD	Full Function Device
LEACH	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
MART	Meshed Adaptive Robust Tree
NFL	Neighborhood Feedback Loop
PAN	Personal Area Network
RFD	Reduced Function Device
RREP	Route Reply
RREQ	Route Request
RTS	Request To Send
SCNF	ShortCut Notification
SCRP	ShortCut Reply

용어해설

ZigBee: ZigBee란 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 만든 저전력과 저가격을 목표로 하는 저속 근거리 개인 무선통신으로 원격제어, 원격관리, 원격모니터링에 적합하고 가정자동화, 공장자동화, 산업자동화에 활발하게 적용될 국제 표준 스펙이다.

Tree Routing: ZigBee 규격에서의 tree routing은 tree topology를 가지는 네트워크에 조인한 device들이 별도의 라우팅 테이블이나 경로 검색과 같은 과정을 거치지 않고, 단지 데이터의 목적지 주소만을 이용하여 자신의 부모 및 데이터의 전달 경로를 판단하여 전달하는 방식이다. 이와 같은 tree routing은 저전력을 지원하는 ZigBee의 beacon mode의 동작에 유용한 방식이다.

참고 문헌

- [1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and Deborah Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," *MobiCom*, 2000.
- [2] W. Rabiner Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proc. of the 33rd Int'l Conf. on System Sciences (HICSS '00)*, Jan. 2000.
- [3] Jamal N. Al-Karaki and Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, Dec. 2004.
- [4] R.C. Shah and J.M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," *in Proc. of IEEE Wireless Commun. and Networking Conf. (WCNC)*, Vol.1, Mar. 2002, pp.17-21.
- [5] T. He et al., "SPEED: A Stateless Protocol for Real-time Communication in Sensor Networks," *in the Proc. of Int'l Conf. on Distributed Computing Systems*, Providence, RI, May 2003.
- [6] P. Bonnet, J. Gehrke, and P. Seshadri, "Querying the Physical World," *IEEE Personal Communications*, Oct. 2000.
- [7] P. Buonadonna, J. Hill, and D. Culler, "Active Message Communication for Tiny Networked Sensors," *in Proc. of the 20th Annual Joint Conf. of the IEEE Comput. and Commun. Societies*, Anchorage, Alaska, USA, Apr. 2001.
- [8] IEEE P802.15 WG, IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Tutorial, Nov. 2006.