

무선 센서 네트워크 노드 미들웨어 기술

Technical Trend of Sensor Node Middlewares

텔레매틱스, RFID/USN, GIS
융합기술 동향 특집

박종준 (J.J. Park)	감시정찰센서네트워크연구팀 연구원
이인환 (I.H. Lee)	USN네트워크연구팀 선임연구원
조현중 (H.J. Cho)	감시정찰센서네트워크연구팀 선임연구원
주성순 (S.S. Joo)	USN네트워크연구팀 책임연구원
홍상기 (S.G. Hong)	감시정찰센서네트워크연구팀 선임연구원
박상준 (S.J. Park)	감시정찰센서네트워크연구팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 위치인식 기술 동향
 - III. USN 데이터 처리 기술 동향
 - IV. 토폴로지 컨트롤 기술 동향
 - V. 시각 동기화 기술 동향
 - VI. 결론

유비쿼터스 센서 네트워크 기술은 다양한 분야에서의 응용을 목표로 기술 개발이 이루어지고 있다. 노드 미들웨어 기술은 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템에서 사용자 혹은 상위 응용을 지원하는 핵심 요소 기술로 이에 대한 IPR 확보 및 지능화 기술 개발에 노력하고 있다. 이에 노드 미들웨어 기술의 특징과 기술에 대한 국내외 동향 및 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

I. 서론

전통적인 시스템에서 미들웨어는 운영체제와 응용 프로그램 사이에 존재하는 소프트웨어층을 의미한다[1]. 하지만, 응용 프로그램이 하드웨어를 직접 액세스하거나 운영체제가 초소형화되는 등 운영체제의 기능이나 인터페이스가 여전히 연구되고 있는 센서 네트워크에서 미들웨어를 정의하는 것은 그리 쉽지 않다. 센서 네트워크에서의 미들웨어는 커널 레벨이 아닌 응용 영역에서 사용자 또는 상위 응용에게 인터페이스 형태의 다양한 기능과 하위 레벨의 추상화를 제공하는 전통적인 의미 이외에도 일반적인 환경과는 다른 특징을 가지는 센서 네트워크의 특성을 고려하여 데이터 융합, 응용 프로그램에 적합한 제어 및 관리 기술 등을 제공할 수 있어야 한다.

센서 네트워크는 기존의 분산 시스템과는 달리 미들웨어 설계 및 개발시 고려해야 할 고유의 특성을 가진다. 먼저 미들웨어는 가용 에너지와 CPU, 메모리 등의 제약을 고려하여 이들 자원의 사용을 최소화하는 메커니즘을 제공하여야 한다. 또 미들웨어는 센서 네트워크의 규모와 이동성을 고려하여 안정적인 동작을 보장할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 다양한 종류의 하드웨어와 네트워크들의 동작, 재설정, 통신 등을 지원하기 위한 프로그래밍 모델이 고려되어야 하며, 가능하면 실제 환경의 변화에 잘 대처하기 위해 실시간 서비스가 제공되어야 한다. 때로는 응용 레벨의 지식을 네트워크의 운용에 이용할 수 있는 메커니즘이 고려되어야 하고, 중복되는 데이터를 줄일 수 있는 데이터 융합을 지원해야 한다. QoS 지원 및 보안 또한 미들웨어 설계시 고려해야 할 중요한 사항이다[2],[3].

위와 같은 센서 네트워크의 특성을 고려하여 설계된 센서 네트워크 미들웨어는 센싱된 정보를 바탕

으로 하는 응용의 개발, 배포, 관리, 실행을 지원하는 기능을 가진다. 즉, 상위 레벨의 복잡한 센싱 태스크를 체계화하여 태스크와 네트워크가 통신할 수 있는 기능과, 태스크들을 센서 노드들의 협업을 통해 분산 처리하는 기능, 각 센서 노드의 데이터를 합할 수 있는 데이터 퓨전 기능, 그리고 데이터를 전달하는 기능을 포함한다. 또한 센서 노드의 이기종성을 지원할 수 있는 적절한 추상화 기능도 포함한다.

본 문서에서는 센서 네트워크의 노드 미들웨어를 사용자 혹은 상위 응용 프로그램의 목적을 위해 하드웨어, 운영체제, 네트워크 스택, 응용 프로그램들을 서로 연동하여 운영하기 위한 기반 소프트웨어라 광의로 정의하고, 미들웨어 컴포넌트로서의 위치인식, 센서신호처리, 토폴로지 컨트롤, 시각 동기화 기술에 관한 동향을 기술한다.

II. 위치인식 기술 동향

무선 네트워크 내에서 무선 노드의 위치를 알 수 있다면 다양한 응용이 가능하다. 특히 센서 네트워크에서 무선 노드의 위치를 아는 것은 사용자의 위치 정보를 이용한 서비스를 가능하게 할 뿐만 아니라 노드에 탑재된 센서들의 정보를 보다 다양하게 이용할 수 있게 한다. 실제 센싱된 정보들은 그 위치가 없다면 대부분의 응용에 사용될 수 없으며, 감지 및 식별을 위한 target localization, target tracking의 경우 센서 노드의 위치를 알고 있지 않으면 응용이 불가능하다. 이와 같은 응용뿐만 아니라 메시 네트워크에서의 보다 빠르고 정확한 라우팅 및 안정된 토폴로지 관리 알고리즘들은 대부분 노드의 위치 정보를 기반으로 한다. 이와 같이 센서 네트워크에서 노드의 위치인식은 필수적이다.

● 용 어 해 설 ●

센서 네트워크(Sensor Network): 유비쿼터스 컴퓨팅 구현을 위한 초경량, 저전력의 많은 센서들로 구성된 유무선 네트워크로, 기본적으로 센서 노드(sensor node)와 싱크 노드(sink node)로 구성된다.

● 용 어 해 설 ●

센서 노드(Sensor Node): 환경, 물리계에서 센싱된 정보 또는 센서에 관련된 특정 이벤트를 유무선 통신 기술 기반으로 하여 전달하거나 컴퓨팅을 수행하는 센서, 프로세서, 통신소자로 구성되는 시스템이다.

위치인식 기법은 입력 데이터를 기준으로 측정 거리 기반의 기법들과 그렇지 않은 기법들로 크게 분류된다[4]-[11]. 측정 거리 기반의 기법들은 노드들 사이에 센서 및 RF 신호를 이용하여 실제 거리를 예측하고 이를 이용하여 위치를 예측하는 기법이다. Range-free 기법의 경우 상대적인 거리 차이나 기타 노드의 움직임 등을 이용하여 위치를 예측하는 기법이다. 최근에는 정확도나 환경적인 제약조건—특히 앵커(anchor) 노드(자신의 위치를 알고 있는 노드)의 수, 노드의 분포 등—때문에 거리 기반의 위치인식이 주로 연구된다. 이 외에도 계산 주체를 기준으로 집중형 위치인식 기법과 분산 위치인식 기법으로 나뉜다. 집중형 위치인식 기법의 경우 많은 통신량이 발생한다는 단점(network traffic)을 가진 반면 싱크(sink) 노드 및 서버를 통해 복잡한 연산을 수행함으로써 보다 정확한 위치를 구한다는 장점이 있다. 분산 위치인식 기법의 경우, 주위 노드와의 통신을 이용하여 각자가 위치인식을 수행하는 기법으로 클러스터 기반의 scalable 위치인식 혹은 자가 위치인식 기법이 이에 해당한다. 계산량을 주위에 퍼뜨림으로써 단일 노드의 계산량을 줄이고 노드의 추가/제거시 보다 빠르고 용이하게 위치인식이 가능하다는 장점이 있지만 계산에 필요한 데이터의 제약 및 하드웨어의 한계로 복잡한 연산이 어렵다는 단점이 있다.

실제 위치인식은 앵커 노드의 수, 네트워크의 분포 특성, 노드의 계산 능력, range measurement 특성(RF RSSI, Acoustic ToA, UWB, etc.), real-time support, mobility 지원, 분산/집중 계산 기법 등의 요구조건에 의해 크게 그 기법이 결정된다. 현재 연구중인 대부분의 기법들은 이러한 여러 요구조건들 중 일부 특정한 환경에서만 동작 가능하며, 조건이 충족되지 못한 경우 정상적인 동작을 수행하지 못한다. 예를 들어 TI사의 CC2431에 탑재된 위치인식 기법의 경우 RF RSSI 기반의 거리 측정, real-time support, 분산 기법 등에 초점이 맞추어진 기법으로 노드의 계산 능력을 위해 하드웨어로 디자인된 엔진이 탑재되어 있다. 하지만 CC2431의

기법의 경우 3~8개의 앵커 노드로부터의 정보가 있어야만 동작이 가능하며 앵커 노드의 수가 많을수록 정확도가 높아지는 특성을 보인다.

일반적으로 위치인식은 데이터를 모으는 단계(ex. 거리 측정 및 shortest path algorithm을 수행하는 단계), 초기 위치 정보를 계산하는 단계, 그리고 refinement를 통해 위치를 보정하는 단계로 이루어진다. 위치인식의 입력 데이터는 크게 거리 정보, connectivity, cluster 정보 등이 주를 이루며 대부분의 기법들 역시 이 범위를 벗어나지 않는다. 초기 위치를 계산하는 단계와 refinement 단계는 실제로 각각의 알고리즘들을 다르게 적용할 수 있다. 예를 들어 Multi-iteration based Least Square MDS, SDP, MLE 등이 각각 초기 계산과 refinement에 모두 쓰일 수 있다. 실 환경에 위치인식을 적용할 경우 어떤 방법을 초기 계산에 사용하고, 어떤 방법을 refinement에 적용하는 것이 communication cost, battery cost, calculation cost, iterative cost, time cost 등을 최소화 할 것인가도 충분히 고려되어야 한다.

III. USN 데이터 처리 기술 동향

USN은 다양한 지능형 센서를 이용하여 환경 모니터링, 구조물 모니터링, 계측, 군사용 침입 탐지, 정밀 농업, 지능형 교통시스템 등 다양한 상황 인식 응용 분야에 적용될 수 있다. 다양한 응용분야의 적용을 위하여 센서 네트워킹 기술 개발뿐 아니라, 응용 환경에 적합한 최적의 센서 선정 및 신호처리 알고리즘 개발, 특히 에너지와 자원이 한정된 센서 네트워크의 특성에 적합 신호처리 기술 개발이 필수적이라 할 수 있다.

기존의 유선 센서를 이용한 응용 분야에 있어서도 다양한 신호처리 알고리즘이 개발 활용되어 왔으나, USN에서는 전통적인 신호 처리 기술 외에도 무선 센서 네트워크의 특성—무선네트워크를 통한 데이터 전달, 네트워크 구조(사이즈, 토폴로지)의 동적

변화, 에너지 및 자원제약 등을 고려한 알고리즘을 개발하여야 한다[12].

1. USN 센서 데이터 처리 기술 분류

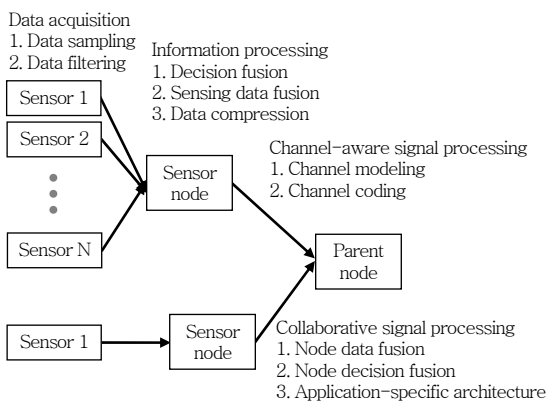
일반적인 신호처리 기술은 필터링(LPF, BPF, HPF 등), 변환(FFT, DCT 등) 그리고 소스코딩과 같은 전통적인 신호처리 기술과 decision theory, estimation theory, 동적 필터링 등과 같은 통계적인 신호처리 기술로 크게 나누어 질 수 있다.

USN에서는 언급된 두 가지 신호처리 방식을 기반으로 무선 센서 네트워크에 최적화된 기술을 개발하며, 무선 센서 네트워크 구성을 기반으로 (그림 1) 과 같이 크게 분류될 수 있다.

먼저, 센서 레벨 신호처리 기술은 데이터 샘플링 및 필터링 등과 같이 센서 자체에서 이루어지는 신호처리 기술이다.

둘째, 복합센서가 장착된 센서 노드에서 이루어지는 노드 레벨 신호 처리 기술은 멀티 센서로부터의 데이터 융합(decision fusion, data fusion) 및 에너지 효율적인 무선 전송을 위한 데이터 압축 기술 등을 포함한다.

셋째, 다수의 자식 센서 노드로부터 전송되는 데이터를 처리하는 그룹 레벨 신호 처리 기술은 노드 간의 분산 협업 신호처리를 위한 데이터 융합(node data fusion, node decision fusion) 및 노드간 신호 처리 아키텍처 관리 기술 등을 포함한다.



(그림 1) USN 신호처리 기술

마지막으로, 무선 네트워크의 채널의 특성을 고려한 신호처리 기술은 노드 상호간의 채널 특성의 모델링, 코딩 기술을 포함한다.

2. 연구 동향 및 이슈

현재 무선 센서 네트워크에서의 데이터 처리 기술은 다양하게 접목되어 연구되고 있다.

먼저, 실제 USN 응용 분야에 특화된 신호처리 기술 개발로, 환경 및 구조물 모니터링, 군사용 또는 보안 목적의 감시정찰 분야 등 응용 분야의 효율성 제고를 위해 신호처리 기술을 연구 적용하는 것이다 [13]. 둘째, 시스템에 최적화된 신호처리 기술로 에너지 효율적인 센서 네트워크 적용을 위한 데이터 압축 및 융합 기술, 자원제약이 있는 센서 네트워크의 효율적 자원 사용을 위한 분산 신호처리 그리고, 신호처리 알고리즘의 센서 네트워크 적용을 위한 하드웨어, 소프트웨어 최적화 디자인 등이 연구되고 있다. 마지막으로, 무선 센서 네트워크에서의 센서 신호처리의 성능 향상을 위한 네트워크 프로토콜 (MAC, 라우팅) 디자인, 토폴로지 컨트롤과 같은 cross-layer 디자인 기술이 연구되고 있다.

IV. 토폴로지 컨트롤 기술 동향

무선 센서 네트워크는 이벤트 또는 표적 감지, 모니터링, 추적과 같은 폭넓은 응용에 적용되고 있다. 이러한 응용에서는 대량의 센서 노드가 밀집해서 배치되기 때문에 계획적이고 또는 ad-hoc을 통해 관리 지역을 보장해야 한다. 표적이거나 이벤트가 발생하면 다수 개의 센서들이 서로 협력해서 표적의 인식, 분류, 융합 그리고 추적을 수행해야 한다. 이러한 데이터 프로세싱 동작을 통해서 에너지 효율적인 통신을 점점 필요로 하고 있다. 따라서, data aggregation이 제안되고 있다. 데이터 수집(agggregation)의 개념은 서로 상이한 센서 노드에서 수신되는 다수 개의 데이터 패킷을 패킷에 존재하는 redundancy에 따라 결합시키는 것이다. 아주 공간적

으로 밀집된 센서들이 이벤트를 보고하면 이 패킷은 매우 유사한 정보를 포함하며, 이는 하나의 중재된 패킷으로 포워딩 노드에 연결될 수 있다. 따라서 전송 패킷의 수를 현저하게 줄임으로써 결과적으로 충돌, idle listening, 중복된 전송, 에너지 소모 등을 줄일 수 있다.

현재 aggregation 구조는 크게 centralized aggregation, tree-based aggregation, static-cluster aggregation 그리고 dynamic-cluster aggregation으로 구분할 수 있다. Centralized aggregation에서는 모든 데이터 패킷이 포워딩 노드나 수집(aggregation) 노드 없이 싱크 노드까지 직접 전달되는 구조로서 싱크 노드가 데이터 수집을 수행한다. Tree-based aggregation에서는 포워딩 노드가 상이한 소스로부터 수신되는 다수 개의 데이터 패킷을 merge하여 수집된(aggregated) 데이터 패킷을 싱크 노드로 전송하는 구조이다. Static-cluster aggregation에서는 노드들이 정지된 그룹으로 구분되며, 초기 설정시 다수 개의 클러스터를 갖는다. 각 클러스터는 하나의 클러스터 헤더와 하나 또는 그 이상의 멤버 노드로 구성된다. 멤버 노드가 표적을 감지하면, 멤버들은 센싱 정보를 그들의 클러스터 헤더에 보고하며 클러스터 헤더가 수집된 데이터를 싱크 노드로 전송한다. Dynamic-cluster aggregation에서는 클러스터를 생성하기 위해서 초기화 설정을 필요로 하지 않는다. 데이터 수집은 이벤트가 발생할 때 시작된다. 센서가 표적을 감지하면, 서로 협력해서 그들 중에서 클러스터 헤더를 선출한다. 선출된 클러스터 헤더는 로컬 수집을 수행하고 수집된 데이터 패킷을 싱크 노드로 전송한다.

이와 같이 센서 노드들이 싱크 노드로부터 멀티홉에 위치하고 있거나 다중센서들이 동시에 이벤트를 센싱하는 경우에 표적을 효율적으로 추적하기 위한 clustering topology control 기법을 개발할 필요성이 있다. 기존의 static-clustering 기법에서 단일 cluster head가 동작을 하지 않을 경우에는 해당 클러스터 영역의 센서망 성능이 저하되거나 동작하지 않는다.

이러한 문제점들을 보완하기 위하여 이벤트가 발생될 때만 그 주변의 노드들로만 클러스터링하는 동적 클러스터링 기법은 저전력이면서도 데이터 수집을 지원하는 다중 표적을 효율적으로 추적을 할 수 있다. 동적 클러스터링 기법은 다양한 센서 네트워크 과제의 응용을 위해서 필요한 기술이지만 아직 이에 대한 연구는 시작 단계이므로 원천기술 확보를 위한 연구가 필요하다.

V. 시각 동기화 기술 동향

센서 네트워크의 응용 서비스는 공통적으로 다음 세 가지 유형의 기능으로 구분된다.

- 이벤트 인지(event detection): 센서 노드의 특정 이벤트에 대한 발생 감지 및 보고
- 주기적인 감시(periodic measurements): 센서 노드는 센싱한 값을 주기적으로 통보하도록 설정될 수 있으며, 싱크로의 통보는 감지된 이벤트에 의해 유발되기도 하며, 통보 주기는 응용 분야에 따라 다르게 지정
- 추적(tracking): 이벤트 소스가 이동할 때 센서 노드는 다른 노드와 협력하여 이를 추적

이와 같은 센서 네트워크의 응용에 기본적으로 사용되는 동작이 제대로 이루어지기 위해서는 시각 정보가 필수적으로 요구된다. 센서 노드가 감지한 데이터를 전달할 때 노드는 정확한 시각 정보를 데이터에 포함해서 전달해야 이 정보를 필요로 하는 노드, 혹은 싱크가 유용하게 가공해 효과적으로 이용할 수 있기 때문이다. 즉, 여러 노드들로부터 같은 이벤트의 중복 감지 인식, 기록된 이벤트의 발생 순서 구분, 이동체의 이동 속도 계산 등에 시각 정보는 기저 데이터가 된다. 또한, 제한된 에너지의 효율적인 활용을 위해 노드가 스스로 동작을 중단하거나 시작하는 것을 주기적으로 반복하게 되는데, 이때 노드들 간의 동기화된 데이터 센싱과 송수신을 위해 동작의 중단점과 시작점을 정하기 위하여 시각 정보는 필수적인 요소가 되며, 노드간 시각 동기가 이루

어겨야 한다.

센서 네트워크 시각 동기 기술은 미국의 UCLA에서 제안한 RBS, TPSN, Vanderbilt 대학에서 제안한 FTSP이 대표적인 시각 동기 기법들이다. 최근에는 신뢰성 및 내 결함성을 갖는 동기 기법에 대한 연구가 활발히 진행중이며, UCLA에서는 secure time synchronization service 기법을 제안하였고, UCB에서는 기존 동기 기법의 보안에 대한 취약성을 분석하고 FTSP를 개선하는 방안을 제시하고 있다. 또한, NCSU에서는 센서 네트워크에서 안전하고 탄력적인 시각 동기 기법에 대해 연구하고 있다.

VI. 결론

유선 네트워크와 애드 혹 네트워크의 망 관리와 데이터 처리를 위해 연구되었던 미들웨어는 제한된 자원과 좀더 빈번한 노드 오동작 등을 가정하는 센서 네트워크에서 사용자의 편의성을 증대시키기 위해 진화하고 있다. 기존의 미들웨어는 센서 네트워크의 고유한 특성들로 인해 그대로 적용될 수 없으며 이들 특성들을 반영한 미들웨어가 다양한 형태로 제안되고 있다. 앞으로 여러 벤더들에게서 출시되는 센서 노드의 이기종성을 극복하고, 대규모 센서 네트워크의 응용 개발/배포/관리를 지원하기 위한 미들웨어는 하드웨어의 발전으로 좀더 풍부한 기능을 가진 노드 소프트웨어 운용이 가능해짐에 따라 향후 중요성이 더욱 증가할 전망이다. USN 인프라 구축에 필수적인 미들웨어의 발전이 센서 네트워크의 보급을 앞당기고 시장을 넓힐 수 있는 첩경이라 할 수 있겠다.

약어 정리

FTSP	Flooding Time Synchronization Protocol
MDS	Estimation, Multidimensional Scaling
MLE	Maximum Likelihood Estimator
RBS	Reference Broadcast Synchronization
SDP	Semi-Definite Programming
TPSN	Timing-sync Protocol for Sensor Networks

참고 문헌

- [1] 김대영, 성종우, 송형주, 김수형, "센서 네트워크 미들웨어 기술," 전자공학회지, 제32권 제7호, 2007. 7.
- [2] E. Yoneki and J. Bacon, "A Survey of Wireless Sensor Network Technologies: Research Trends and Middleware's Role," Technical Report Published by University of Cambridge, 2005.
- [3] S. Hadim and N. Mohamed, "Middleware: Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks" *IEEE Distributed Systems Online*, Vol.7, No.3, Mar. 2006.
- [4] Yi Shang et al., "Localization from Connectivity in Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.15, No.11, Nov. 2004.
- [5] Yi Shang et al., "Localization from Mere Connectivity," *MobiHoc*, 2003.
- [6] Yi Shang and Wheeler Ruml, "Improved MDS-Based Localization," *IEEE INFOCOM*, 2004.
- [7] Xiang Ji and Hongguan Zha, "Sensor Positioning in Wireless Ad-hoc Sensor Networks Using Multidimensional Scaling," *IEEE INFOCOM*, 2004.
- [8] Jose A. Costa, Neal Patwari, and Alfred O. Hero III, "Distributed Multidimensional Scaling with Adaptive Weighting for Node Localization in Sensor Networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, June 2004.
- [9] Neal Patwari, Joshua N. Ash, Spyros Kyperountas, Alfred O. Hero III, Randolph L. Moses, and Neiyer S. Correal, "Locating the Nodes - Cooperative Localization in Wireless Sensor Networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, July 2005.
- [10] David Taubenheim et al., "Distributed Radiolocation Hardware Core for IEEE 802.15.4," *Motorola Labs*, 2005.
- [11] Neal Patwari et al., "Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Aug. 2003.
- [12] L. Gu, D. Jia, P. Vicaire, T. Yan, L. Luo, A. Tirumala, Q. Cao, T. He, J. Stankovic, T. Abdelzaher, and B. Krogh, "Lightweight Detection and Classification for Wireless Sensor Networks in Realistic Environments," *SenSys'05*, Nov. 2005.
- [13] Dan Li Wong, K.D. Yu Hen Hu Sayeed, A.M. "Detection, Classification, and Tracking of Targets," *Signal Processing Magazine*, IEEE, Mar. 2002.