

응용 관점에서의 무선 센서 네트워크 미들웨어 분류 및 비교분석†

이현조*, Rabindra Bista*, 장재우*
*전북대학교 컴퓨터공학과
e-mail:hjlee@dblab.chonbuk.ac.kr,
rabindra@dblab.chonbuk.ac.kr,
jwchang@dblab.chonbuk.ac.kr

Classification and Comparing Analysis on Wireless Sensor Network Middleware based on Application area

Hyun-Jo Lee*, Rabindra Bista*, Jae-Woo Chang*
*Dept of Computer Engineering, Chonbuk National University

요 약

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks : WSN)는 환경 감시(environment tracking), 개인 건강 상태 감지(personal health status monitoring) 등 실생활의 다양한 분야에서 활용되며, 우리의 일상생활에 많은 변화를 주고 있다. 이에 따라 무선 센서 네트워크 상에서 다양한 응용의 개발을 지원하기 위해, WSN 미들웨어의 연구가 활성화되었다. 그러나 개발된 미들웨어들은 각기 다른 개발 목표를 지니고 있기 때문에, 상호간의 비교가 난해하다. 이에 본 연구에서는 WSN 미들웨어를 응용 관점에서 분류하고 분석한다. 이를 위해 첫째, 센서 노드 미들웨어들의 개발 목표에 기반한 특성들을 살펴본다. 둘째, 각 응용 분야에 따른 미들웨어의 분류를 제시한다. 마지막으로 각 미들웨어의 장점 및 약점에 대하여 분석한다.

무선 센서 네트워크, 센서 미들웨어

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks : WSN)는 일정 영역에 분산된 수십에서 수천 개의 소형 센서들로부터 감지된 각종 데이터를 수집, 처리하는 시스템이다. 최근에는 기술의 발달과 더불어 환경 감시, 화물 운반 감시, 화재 등의 위험 감지, 개인 건강 상태 감시 등 실생활의 다양한 분야에 활용되고 있으며, 그 밖에도 다양한 응용을 개발하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

WSN 상에서 사용되는 센서들은 한정된 자원을 지니고 있기 때문에, 이를 고려한 설계 패러다임(paradigm)이 필요하다. 예를 들어, 데이터 통신량의 감소를 통한 에너지 소비 절감이나, 다종의 센서노드 하드웨어 간의 이질성 해결을 위한 하드웨어 추상화 등이 그것이다. 이를 위해 다양한 WSN 미들웨어가 개발되었으나, 개발된 미들웨어들은 각기 다른 개발 목표를 지니고 있기 때문에 상호간의 비교나, 응용에 적합한 미들웨어의 선택이 난해하다. 따라서 본 연구에서는 WSN 미들웨어를 응용 관점에서 분류하고 분석한다. 이를 위해 첫째, 센서 노드 미들웨어들의 개발 시 고려해야 하는 주요 특성들을 살펴본다. 둘째, 응용 관점에서의 미들웨어의 분류를 제시한다. 마지막

으로 각 미들웨어가 지원하는 특성을 비교 분석하여, 미들웨어별 장단점에 대하여 분석한다. 이러한 미들웨어 분류 및 비교분석은 차후 응용분야에 적합한 미들웨어를 선택하는데 있어서 기준을 제시할 것이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 무선 네트워크 미들웨어 개발 시 고려해야 하는 주요 요소들을 알아본다. 다음 3장에서는 개발된 미들웨어들의 분류를 제시하며, 4장에서는 각 미들웨어에서 지원하는 주요 요소들을 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대하여 기술한다.

2. 미들웨어 개발 시 고려해야 하는 주요 특성

WSN 미들웨어 개발 시에 고려해야 하는 주요 특성들은 이질성(Heterogeneity), 자원 관리(Managing Resources), 동적 네트워크 토폴로지(Dynamic Network Topology), 응용 지식(Application Knowledge) 등이 있다. 이러한 특성들은 특히 적용하고자 하는 응용에 따라서 그 중요성이 달라지기 때문에, 미들웨어를 개발할 때는 응용 분야에 대한 관련 지식을 수집하고, 수집된 응용 관련 정보를 바탕으로 중요한 특성을 선택적으로 지원하는 것이 필요하다. 표 (1)은 미들웨어 개발시 고려해야 하는 주요 특성을 나타낸다.

† 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

(표 1) WSN 미들웨어 주요 특성

표기	의미
H	이질성(Heterogeneity) 센서 노드 기종 간의 하드웨어 성능 및 사용 네트워크 토폴로지의 비동일성
QoS	서비스 품질(QoS Support) 사용자의 권한이나 요구 등을 고려하여 제공하는 정보의 량과 질의 차이
Se	보안(Security) 데이터에 대한 접근 권한 설정 및 데이터 통신 암호화
S	확장성(Scalability) 응용 규모 변화에 따른 유동적인 노드의 추가/제거
MR	자원 관리(Managing Resources) 에너지 등 한정된 자원에 대한 효율적인 관리 기법
INP	In-network Processing 데이터 압축이나 중복 데이터 제거 등의 데이터 집계 처리(data aggregation) 지원
DNT	동적 네트워크 토폴로지(Dynamic Network Topology) star, mesh, 그리고 peer-to-peer 등 다양한 네트워크 토폴로지 적용 가능
AK	응용 지식(Application Knowledge) 응용에 관련된 정보를 삽입하고, 이를 인지하여 보다 효율적으로 서비스를 제공

3. 응용 기반의 미들웨어 분류

무선 센서 네트워크를 위해 다양한 미들웨어들이 개발되어 왔으며, 이들은 각기 다른 개발 목적을 지니고 있다. 따라서 이러한 미들웨어의 특성을 살펴보기 위해 지원하는 응용을 기반으로 각 미들웨어를 분류하고자 한다. 미들웨어는 지원 가능한 응용에 따라 범용 미들웨어(General Purpose Middleware)와 응용 특화 미들웨어(Application Specific Middleware)로 나눌 수 있다.

3.1 범용 미들웨어 (General Purpose Middleware)

범용 미들웨어는 다양한 응용 분야에서 활용 가능한 미들웨어이다. 이러한 범용 미들웨어에는 첫째, 프로그래밍을 위한 센서노드 하드웨어 및 네트워크 토폴로지 등에 대한 추상화를 제공하는 Programming Approach, 둘째, 바이트코드(bytecode) 기반의 인터프리터(interpreter)를 사용하는 가상 머신 기법(Virtual machine), 셋째, 코드의 모듈(module)화를 지원하여 코드 재활용성을 높이는 Re-programming Approach 등이 있다. 대표적인 범용 미들웨어는 표 (2)와 같다.

<표 2> 대표적인 범용 미들웨어

세부 그룹	대표적인 미들웨어
Programming Approach	COSMOS[1], ATaG[2]
Virtual machine	Mate[3], SwissQM[4]
Re-programming Approach	Agilla[5]

3.2 응용 특화 미들웨어 (Application-specific Middleware)

본 절에서는 응용에 특화된 미들웨어들에 대하여 7개의 그룹으로 나누어 살펴본다.

a) Database

이 그룹의 미들웨어는, 무선 센서 네트워크를 가상의 데이터베이스로 가정하고, SQL 유사 언어를 사용하여 사용자의 질의 처리에 대한 편의성을 제공한다.

b) Home Automation

이 그룹의 미들웨어는 가정 내에 설치되어 다양한 기기에 대한 효율적인 관리를 제공한다..

c) Security

이 그룹의 미들웨어는 데이터의 처리 및 전송에 대해 암호화, 사용자 접근 권한 관리 등 데이터 보안 서비스를 제공한다.

d) Mobile-environment Tracking

이 그룹의 미들웨어는 야생동물 감시나 이동 차량의 감시 및 감시 등 주로 이동하는 객체에 대한 모니터링(monitoring)을 위해 사용된다.

e) Personal Health Monitoring

이 그룹의 미들웨어는 개인의 건강에 관련된 데이터를 다루기 때문에, 데이터에 대한 높은 신뢰성이 요구된다. 뿐만 아니라 QoS를 고려한 서비스 제공이 필수적이다.

f) Asset Tracking

화물의 운송 추적 등에 이용되는 미들웨어로써, 다른 응용에 추가적으로 서비스 되기도 한다.

g) Disaster Relief

이 그룹의 미들웨어는 클라이언트(client)와 서버(host) 간에 데이터를 공유함으로써, 지진 등의 재해 발생시 피해자를 신속하게 탐색한다.

각 그룹의 대표적인 미들웨어는 표(3)과 같다.

<표 3> 대표적인 응용 특화 미들웨어

세부 그룹	대표적인 미들웨어
Database	COUGAR[7], SINA[8], DSWare[9], TinyDB[10]
Home Automation	TeenyLIME[11]
Security	MVSN[12]
Mobile-environment Tracking	Impala[13], Enviro Track[14]
Personal Health Monitoring	MiLAN[15]
Asset Tracking	Scoping[16]
Disaster Relief	TinyLIME[17]

4. 미들웨어 분석

본 장에서는 각 미들웨어가 지원하는 주요 요소를 살펴봄으로써, 각 미들웨어의 장단점을 비교하고자 한다. 주요

속성은 표 (1)과 같으며 하드웨어 추상화의 경우 모든 미들웨어에서 지원하고 있으므로 제외하였다. 표(4)는 비교 결과를 나타낸다. 표 (4)에서 "Y"는 지원함, "N"는 지원하지 않음, "Y/N"는 부분적으로 지원함, 그리고 "-"는 언급되지 않음을 의미한다.

(표 4) 각 미들웨어의 비교

미들웨어	H	QoS	Se	S	MR	INP	DNT	AK
COSMOS	Y	Y/N	Y/N	Y	Y	Y	Y	N
ATaG	N	N	-	Y	Y	Y	Y/N	N
Mate	Y/N	N	Y	Y	Y	N	Y	N
SwissQM	Y	Y/N	Y/N	Y	Y	Y	Y	N
Agilla	Y/N	N	N	Y	Y	Y	Y	N
Cougar	Y/N	N	N	Y	Y/N	N	Y	N
SINA	N	N	N	N	Y	Y	Y	N
DSWare	N	Y/N	N	Y/N	Y	Y	Y	N
TinyDB	Y/N	N	N	Y/N	Y	Y	Y	N
TeenyLIME	Y/N	N	N	N	Y	Y/N	Y	N
MVSN	Y/N	Y/N	Y	Y	Y/N	N	Y	N
Impala	N	N	Y/N	Y	Y	N	Y	N
EnviroTrack	Y/N	Y/N	N	Y	Y	Y	Y	N
MiLAN	N	Y	N	Y	Y/N	N	Y	Y
Scoping	N	N	Y/N	Y	Y/N	Y/N	Y	N
TinyLIME	Y/N	N	Y/N	N	Y	N	Y	N

WSN 미들웨어 비교 분석 결과, 다수의 미들웨어에서 다음 특성들을 지원함을 알 수 있다. 첫째, 자원 관리 및 동적 네트워크 토폴로지의 경우, COSMOS, Mate, SwissQM, Agilla, SINA, TinyDB, TeenyLIME, Impala, EnviroTrack 등 대부분의 미들웨어에서 지원된다. 자원 관리의 경우, 한정된 자원, 특히 에너지를 효율적으로 관리를 통해 전체 WSN의 수명을 증가시킬 수 있다. 따라서 대부분의 WSN 미들웨어에서 주요 지원 특성으로 선택된다. 또한 star, mesh, peer-to-peer 등 다양한 네트워크 토폴로지의 존재, 센서 노드의 이동성에 의한 네트워크 구조 변화 등의 이유로 인해 많은 미들웨어에서 동적 네트워크 토폴로지를 지원한다. 사실, 두 가지 특성의 지원 여부가 WSN의 성능에 가장 큰 영향을 미치기 때문에, 미들웨어 개발시 가장 먼저 고려되어야 한다. 둘째, SwissQM, COSMOS, ATaG, 그리고 Agilla 등 다수의 미들웨어가 확장성과 in-network processing 특성을 지원한다. 같은 분야의 응용이라 할지라도, 적용 범위에 따라 적재는 수십에서 많게는 수천 개의 센서 노드가 사용되어진다. 따라서 WSN 미들웨어의 원활한 서비스 제공을 위해서는 확장성이 고려되어야 한다. 아울러 네트워크의 규모가 커질수록 데이터 통신 비용이 급증한다. 따라서 데이터 집계 처리(data aggregation), 데이터 필터링(filtering) 등의 in-network processing을 통한 데이터 통신 비용 감소 또한 고려되어야 한다. 셋째, COSMOS,

SwissQM 등의 몇몇 미들웨어에서 이질성을 지원한다. 기술의 발전에 따라 새로운 기종의 센서 노드가 개발되고 있으며, 이는 기존의 기기들과 다른 하드웨어 성능을 지니고 있다. 따라서 다양한 기종의 센서 노드로 구성되는 WSN의 경우, 이질성이 미들웨어 개발시 고려되어야 한다. 넷째, 서비스 품질, 보안의 경우 WSN의 특성상 지원이 어려워 대부분의 미들웨어에서 지원되지 않는다. 서비스 품질의 경우, WSN은 한정적인 자원 때문에, 응용에서 요구하는 데이터 정확도나 제공 주기 등의 품질을 제공하기 위해서는 자원 관리 측면에서 소홀해지기 쉽다. 유일하게 서비스 품질을 제공하는 MiLAN의 경우, 자원 관리는 부분적으로만 지원된다. 또한 보안의 경우는, MATE와 MVSN에서 지원되는데, 보안을 위한 접근 권한 설정, 데이터 암호화 등 데이터 보호를 위한 다양하고 복잡한 보안 정책이 필요하다. 이는 많은 센서 노드 자원을 소모를 발생하여, 많은 WSN 미들웨어에서 보안에 대한 지원이 이루어지지 않고 있다.

지금까지의 특성을 살펴볼 때, 가장 우수한 WSN 미들웨어는 SwissQM이라 할 수 있다. SwissQM은 이질성, 확장성, 자원관리, in-network processing, 동적 네트워크 토폴로지를 지원하고, 부분적으로는 서비스 품질과 보안까지 지원하여, 다양한 응용에 적합하다. 한편, WSN 미들웨어는 그것이 활용될 응용 분야에 크게 영향을 받는다. 응용에 따라 필요한 데이터의 속성, 즉, 데이터의 정확도, 데이터 제공 주기 등이 서로 다르기 때문에, 서로 다른 응용 분야에서의 응용 관련 지식을 수집하고 인지하여 보다 효율적인 서비스를 제공해야 한다. 따라서 이러한 점을 고려한다면, 응용 지식의 중요성이 증대될 것으로 기대된다. 그러나 현재 응용 지식을 지원하는 미들웨어는 MiLAN 뿐이며, 따라서 앞으로 응용 지식(AK)을 지원하는 다양한 미들웨어의 개발이 요구된다.

5. 결론

최근 무선 센서 네트워크는 다양한 응용 분야에 활용되면서 각광받고 있다. 이에 따라 WSN 응용과 센서 노드 하드웨어의 중간에 위치하여 둘 사이의 유연한 통합을 지원하는 다양한 WSN 미들웨어가 개발되었다. 그러나 개발된 미들웨어는 서로 다른 개발 목적을 지니고 있기 때문에, 상호간에 비교가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 미들웨어 개발시 고려해야 하는 주요 특성 및 응용에 기반한 미들웨어 분류, 그리고 각 미들웨어별 지원 요소에 대하여 살펴보았다.

아직까지 무선 센서 네트워크 미들웨어 분야는 초기 개발 단계로써 QoS, Security 등 주요 요소에 대하여 지원이 미비하다. 특히 미들웨어는 활용되는 응용 분야에 크게 영향을 받기 때문에, 응용 분야에 따른 효율적인 지원을 위해서 응용 지식을 지원하는 것이 필수적이다.

참고문헌

- [1] A. Awan, S. Jagannathan, and A. Grama., "Macroprogramming Heterogeneous Sensor Networks using Cosmos.", In EuroSys'07, March 2007.
- [2] A. Bakshi, et al., "The Abstract Task Graph: A Methodology for Architecture-Independent Programming of Networked Sensor Systems.", Proc. 2005 Workshop End-to-end, Sense-and-Respond Systems, Applications and Services (EESR), Usenix, pp. 19-24, 2005.
- [3] P. Levis, D. Gay and D. Culler, "Bridging the Gap: Programming Sensor Networks with Application Specific Virtual Machines.", Proc. 6th Symp. Operating Systems Design and Implementation (OSDI), 2004.
- [4] R. Muller, D. Kossmann, and G. Alonso., "A Virtual Machine for Sensor Networks.", In EuroSys'07, Mar. 07.
- [5] C. Fok, G. Roman and C. Lu, "Mobile Agent Middleware for Sensor Networks: An Application Case Study.", Proc. 4th Int'l Conf. Information Processing in Sensor Networks (IPSN), IEEE Press, pp. 382-387, 2005.
- [6] P. Bonnet, J. Gehrke and P. Seshadri, "Towards Sensor Database Systems.", Proc. 2nd Int'l Conf. Mobile Data Management(MDM), pp 314-810, 2001.
- [7] C. Srisathapornphat, C. Jaikao and C. Shen, "Sensor Information Networking Architecture.", Proc. Int'l Workshop Parallel Processing, IEEE CS Press, pp. 23-30, 2000.
- [9] S. Li, S. Son and J. Stankovic, "Event Detection Services Using Data Service Middleware in Distributed Sensor Networks.", Proc. 2nd Int'l Workshop Information Processing in Sensor Networks (IPSN), LNCS 2634, Springer, pp. 502-517, 2003.
- [10] S.R. Madden, M.J. Franklin and J.M. Hellerstein, "TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks.", ACM Trans. Database Systems, vol. 30, no. 1, pp. 122-173, 2005.
- [11] P. Costa, L. Motta, A. M. Murphy, and G. P. Picco, "TeenyLIME: Transiently Shared Tuple Sapce Middleware for Wireless Sensor Networks.", MidSens'06, 2006.
- [12] Henry Detmold et al., "Middleware for Video Surveillance Networks.", MidSens'06, 2006.
- [13] Abdelzaher T. et al., "EnviroTrack: Towards an Environmental Computing Paradigm for Distributed Sensor Networks.", Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 2004.
- [14] W.B. Heinzelman, et al., "Middleware to Support Sensor Network Applications.", IEEE Network, vol. 18, no. 1, pp. 6-14, 2004.
- [15] Jan Steffan et al., "Scoping in Wireless Sensor Networks.", ACM: 2nd Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-Hoc Computing, 2004.
- [17] C. Curino, M. Giani, M. Giorgetta and A. Giusti, "TinyLIME: bridging mobile and sensor networks through middleware", 3rd IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications, Hawaii, March 2005.
- [19] S. Hadim and Nader M., "Middleware: Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks", IEEE DISTRIBUTED SYSTEM ONLINE 1541-4922, Vol. 7(3), pp. 1-23, 2006.
- [20] Wang MM, Cao JN, Li J et al., "Middleware for Wireless Sensor Networks: A Survey", Journal of Computer Science and Technology, Vol. 23(3), 305-326, 2008.