L4 기반의 센서네트워크 미들웨어 설계방안 연구

이태유*, 이상민**, 남춘성*, 신동렬*
*성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과
**성균관대학교 이동통신공학과
e-mail:neptun99@skku.edu

A Study on Design of Sensor Network Middleware based on L4 Microkernel

Tae-You Lee*, Sang-Min Lee**, Choon-Sung Nam*
Dong-Ryeol Sin*
*School of Information and Communication Engineering
Sungkyunkwan University
**School of Mobile and Communication Engineering
Sungkyunkwan University

요 약

유비쿼터스 센서네트워크는 다양한 환경에서 여러 가지 요구사항에 부합하기 위해 미들웨어 모델들을 필요로 하게 되었다. 지금까지 제안된 미들웨어 구조들은 특정 응용에 초점을 맞추거나 여러 가지 요구사항들을 수용하기에 적절치 않은 구조를 가지고 있다. 본 논문에서는 유비쿼터스 센서네트워크 환경에서 L4 마이크로커널 기반으로 미들웨어 시스템을 구성하는 것을 제안한다. L4 마이크로커널은 대표적인 2세대 마이크로 커널로써, 기존의 모놀리틱 커널의 구조적 문제점을 극복하기 위한 대안이 될 수 있다. 기존의 모놀리틱 커널은 임베디드시스템, 실시간 시스템과 같은 특수한 목적을 수행하는 시스템을 설계하는데 많은 제약사항을 가지고 있다. 유비쿼터스 센서네트워크 환경에서 L4 마이크로커널을 통한 시스템 구성은 전체 시스템의 안정성과 독립성을 보장하며, 특정 상황에 맞게 새로운 솔루션을 추가할 수 있는 유연성을 제공한다.

1. 서론

유비쿼터스 센서네트워크는 컴퓨팅 기술과 함께 광범위에 걸쳐 분산되어 있는 무선 센서 디바이스들로부터 감지된 정보를 네트워크를 통하여 응용 서비스와 연동하기 위한 기술이다. 센서네트워크의 응용분야는 매우 광범위하여 환경 감시, 자동화 및 방범 기능, 모니터링, 이동 중인 물체에 대한 트래킹, 접근불가 지역에 대한 효율적인 정보수집 등과 같은 매우 다양한 환경에서 사용되어질 수 있다. 현재 센서네트워크에 대한 연구는 하드웨어 연구를 통한 노드 구성에서부터 라우팅, 데이터 통합, 에너지 관리, 무선 통신 기술에 대한 연구, 미들웨어, 운영체제, 데이터 응용 등 매우 광범위하게 진행되고 있다.

유비쿼터스 센서네트워크를 구성하는 노드들은 제한된 제약사항들 때문에 매우 효율적인 시스템 구조를 택하는 것이 일반적이다. 이런 각각의 센서노드들은 여러 가지 응용과 연동되기 위해서 미들웨어 계층을 필요로 한다. 지금까지의 많은 연구들이 센서네트워크에서 미들웨어 구성을 통해 나타날 수 있는 여러 가지 이점들에 대해서 논의되었다[1].

센서네트워크를 구성하기 위한 여러 가지 기준이 여러 연구들을 통해 논의되었다[2]. 센서 네트워크 미들웨어는 이러한 요구사항들을 수용하며 여러 가지 응용과 부합하는 인터페이스 계층을 구성한다. 본 논문에서는 L4 마이크로 커널을 기반으로 센서네트워크 미들웨어 시스템을 구성하는 것을 제안한다. L4 마이크로 커널은 커널의 크기를 최소화하고 시스템에게 유연성과 확장성, 그리고 안정성을 제공해 주기 때문에 이러한 응용에 적합하다.

2장에서 센서네트워크 미들웨어 시스템이 갖추어야 할 요소들을 살펴보고, 3장에서 L4 마이크로커널이 가지는 이점에 대해서 논한다. 4장에서는 L4마이

크로커널 기반의 센서네트워크 시스템 구성이 가지는 여러 가지 발전적인 방향들에 대해서 설명하겠다. 그리고 5장에서 결론과 함께 앞으로의 방향을 논한다.

2. 센서네트워크 미들웨어

센서네트워크는 제한된 환경 속에서 필요한 정보를 수집하는 센서 노드들과 센서 노드들로부터 수집된 정보들을 가공, 처리, 전달하는 네트워크 응용으로 구성되어 있다. 센서네트워크 미들웨어는 센서 노드들과 네트워크 응용들 사이에서 사용자의 요구에 맞는 시스템을 구성하기 위한 인터페이스 계층이다. 센서네트워크 미들웨어는 센서 노드들의 여러 가지 제약사항들을 고려해야 하고, 사용자의 요구에 맞는 응용을 수용할 수 있어야 한다. 센서네트워크를 효과적으로 구성하고 유지 및 관리하기 위해서 센서네트워크 미들웨어는 전력관리, 위치인식, 시간 동기화, 소프트웨어 배포 및 자동 갱신, 정보 저장, 데이터의 분배 및 복제, 보안, 센서 노드 이질성의 일반화, 장애 관리 등과 같은 기능적 요구사항들을 필요로 한다.[3]

센서네트워크 미들웨어를 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 하지만 제안된 미들웨어들은 특정 응용에만 초점을 맞춰 응용력이 떨어지거나 너무 많은 요구사항들을 수용하기 위해 필요 이상의 기능을 가지는 시스템을 구성하였다. 여러 가지 제안된 미들웨어 구성과 그것들의 한계는 [3]에 잘 나타나 있다. 유비쿼터스 센서네트워크 미들웨어는 여러 가지 응용을 수용할 수 있는 유연성과 각 시스템 컴포넌트 간의 독립성이 중요하고, 하드웨어 제약사항을 수용할 수 있는 구조이어야 한다. 또한 센서네트워크 미들웨어는 센서 네트워크 추상화, 센서 네트워크 지능화, 서비스 플랫폼을 구성해야 한다[3]. 이러한 요구 사항들을 수용하기 위해서는 센서네트워크 미들웨어가 동적인 기능적 변화를 가능하게 하는 구조이어야 한다.

본 논문에서는 L4 마이크로커널 구조를 기반으로 하는 미들웨어 시스템을 제안한다. L4 마이크로커널 기반의 시스템 구조는 L4 마이크로커널이 가지는 이점을 그대로 살려 시스템 컴포넌트들의 모듈성을 강화하고 각 컴포넌트 간의 독립성을 보장한다. 특히 L4마이크로커널 구조는 마이크로커널 위에서 동작하는 각 서버들의 결함이 시스템 전체로 파급되지 않으므로 결함 허용 측면에서 유리한 시스템 구조를 갖는다. 여기에 동적인 미들웨어를 구성하는 서버를 두어 여러 응용들에서 동적으로 시스템을 구성할 수 있도록 한다. 기능의 동적 갱신은 Sensor Ware, Mate, Impala 등과 같은 미들웨어에서 이미 제안되었다. 하지만 그들은 제한된 환경에서만 동작하거나 몇 가지의 명령만을 통해 동적 갱신 기법을 지원해 유연성이 떨어지는 구조를 가진다. L4마이크로커널 기반의 미들웨어 시스템 구성은 안정성과 독립성, 결함 허용, 유연성 측면에서 시스템 구성에 많은 이점을 준다.

3. L4 마이크로커널

마이크로커널은 기존의 유닉스, 리눅스 등과 같은 모놀리틱커널이 가지는 문제점을 해결하기 위한 대안으로 연구가 진행되어 왔다. L4 마이크로커널은 그러한 연구를 통하여 Jochen Liedke 교수 연구진에 의해 등장한 가장 성공적인 마이크로커널이다.[4] 마이크로커널은 시스템에서 안정적으로 동작해야 하는 부분을 의미하는 TCB(Trusted Computing Base)의 크기를 대폭 줄여 시스템의 신뢰성을 향상시킨다. 기존의 모놀리틱커널에서 커널 내부에 있던 많은 기능적 부분들은 커널 외부로 서버 형태로 존재한다. 서버는 시스템에서 특정 서비스를 제공하는 주체이다. 가령 커널위의 파일시스템서버는 다른 서버들에게 파일시스템 기능을 제공한다. 마이크로커널 위에 존재하는 서버들은 하나의 독립된 모듈과 같이 동작하므로 마이크로커널 구조의 시스템 구성은 강한 모듈성을 가지게 된다. 뿐만 아니라 기존의 모놀리틱커널이 많은 기능적 요구사항을 수용하여 임베디드 시스템과 같은 제한된 환경을 가지는 시스템에 동작하기 어려웠으나 마이크로커널 구조는 그 구조상 제한된 환경에서도 유연하게 시스템을 구성할 수 있다.

L4 마이크로커널은 마이크로 커널 위에 존재하는 서버들에게 완벽한 독립성을 제공하여 하나의 서버 컴포넌트의 에러 혹은 오작동이 전체 시스템에 영향을 미치지 않는다. 각 서버는 마이크로커널이 제공하는 IPC를 통해서만 시스템의 다른 부분과 통신을 수행할 수 있다. IPC는 커널 내부에서 지원하는 메커니즘이기 때문에 커널은 완벽하게 각 서버들의 독립성을 보장할 수 있다. 기존의 모놀리틱커널 혹은 여러 응용들에서 하나의 오류가 시스템 전체의 다운으로 이어지거나 많은 예외 처리를 통해 시스템을 구성해야 했다면, L4 마이크로커널 구조는 기본

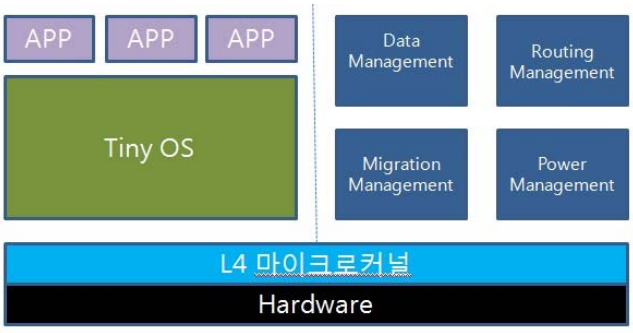
적인 시스템 구조 자체에서 각 컴포넌트들 사이의 독립성을 제공해 주는 이점이 있다.

L4 마이크로커널 기반의 시스템에서 특정 한 서버의 결함 혹은 고장은 단지 해당 서버를 다시 시작하는 것만으로 빠르게 시스템의 안전성을 회복할 수 있다. 서버들 사이의 제어는 커널을 통하는 IPC를 통해서만 가능하기 때문에 한 서버의 결함은 다른 시스템 구성 요소들에게 영향을 미치지 않는다. 이러한 구조적인 특징은 안정성 측면에서 다른 시스템 구성에 비해 매우 뛰어나다.

마이크로커널 위해서 동작하는 각 서버들은 완벽히 독립적인 컴포넌트로써 동작 가능하다. 이것은 센서네트워크 미들웨어에서 요구하는 기능의 동적 갱신을 쉽게 수용할 수 있다는 것이다. 모듈, 서비스의 업데이트는 유비쿼터스 센서네트워크 환경에서 중요한 요소로 부각되고 있다. 여러 가지 복합적인 요구 사항들을 하나의 센서네트워크 시스템에서 수용한다거나, 이기종의 센서네트워크가 혼재하는 환경에서 기능의 동적 갱신은 센서네트워크의 유연성과 확장성을 증가시키는 중요한 요소이다.

4. L4기반의 센서네트워크 미들웨어 구성

센서네트워크 미들웨어를 L4 마이크로커널 기반으로 구성하면 안정성과 독립성, 그리고 기능의 동적 갱신 등과 같은 유연성을 강력하게 제공하는 구조를 갖는다. 더욱이 L4 마이크로커널은 커널이라기보다는 명세에 가까운 극히 적은 기능만을 포함하는 커널 구조를 가지기 때문에 임베디드와 같은 소형 시스템을 위한 기반으로 적당하다.



[그림 1] L4기반의 센서네트워크 미들웨어 구성 예1

[그림1]은 센서네트워크 미들웨어 시스템을 L4 마이크로커널 기반으로 구성하는 아주 기본적인 하나의 예이다. 하드웨어 위에 L4 마이크로커널이 위치한다. 그리고 왼편으로 TinyOS와 TinyOS가 지원하는 여러 가지 응용들이 존재할 수 있다. 오른편은 여러 가지 미들웨어 컴포넌트들이 서버의 형태로 존재한다. 미들웨어를 구성하는 여러 가지 요소들은 [그림1]과 같이 서비스를 제공하는 독립된 서버 형태로 존재하여 미들웨어를 구성할 수 있음을 보인다. 기존의 많은 센서네트워크 시스템은 TinyOS기반으로 구성되어 있다. [그림1]의 예는 기존의 시스템에서 L4 마이크로커널 기반으로 미들웨어를 포함하여 재구성할 수 있음을 보이는 좋은 예이다.

L4 마이크로커널 기반의 시스템은 서비스를 수행하는 각 서버들에게 독립성과 안정성 그리고 결함허용의 특징을 제공하기 때문에 미들웨어를 구성하는 각 컴포넌트들은 쉽게 변화가능하다. Migration Management 컴포넌트는 기능의 동적 갱신을 가능하게 하는 컴포넌트이다. 이미 많은 응용들에서 Migration을 통해 서비스 혹은 모듈들의 이동성이 가지는 이점들과 함께 그 응용 예들을 보였다. [그림1]과 같은 센서네트워크 구성에서 새로운 기능의 변화 혹은 추가는 L4 마이크로커널 위에서 동작하는 새로운 서버를 동적으로 구성함으로써 가능하다. 위와 같은 구조를 택하여 센서네트워크를 구성하는 시스템이 능동적으로 새로운 응용이나 변화에 대처할 수 있다. 이것은 센서네트워크 시스템의 많은 변화와 응용을 수용하는 발전방향과도 일치하는 것이다.

[그림 2] L4기반의 센서네트워크 미들웨어 구성 예2

[그림2]는 L4 마이크로커널 기반의 센서네트워크 미들웨어 시스템을 구성하는 또 다른 예이다. [그림1]에서와는 다르게 TinyOS와 같은 또 다른 OS가 서버로써 존재하지 않는다. 이와 같은 응용에서는 TinyOS가 제공하는 기본적인 기능들을 서버 혹은 L4 마이크로커널이 제공해야 한다. 하지만 이러한 대부분의 기능들은 아주 간단한 형태로 구성되어 있기 때문에 재구성 하는데 커다란 문제가 되지는 않

는다. 오히려 정형화된 OS의 기능들에 의존하지 않고, 각 응용 환경에 맞는 통신, 센싱, 자원 관리 기능들을 유연하게 구성할 수 있다는 이점도 있다.

센서네트워크 미들웨어 시스템을 L4마이크로커널 기반의 시스템으로 구성하면 생기는 첫 번째 이점은 각 서비스 컴포넌트들 간의 독립성과 안정성이다. 시스템을 구성하는 모든 컴포넌트는 마이크로커널 위해서 완벽한 독립성을 가지고 동작한다. 또한 한 서버의 고장은 다른 시스템 요소에 아무런 영향을 미치지 않으며, 고장 난 서버를 재 시작함으로써 쉽게 복구 가능하다. 두 번째는 확장성이다. [그림2]에서 보이듯이 서비스를 제공하는 서버들은 독립적이기 때문에 새로운 시스템을 추가하고 제거하기가 쉽고, 변경이 용이하다. 이는 여러 응용들에 맞춰 유연하게 시스템을 구성할 수 있음을 의미한다.

5. 결론 및 발전방향

본 논문에서는 센서네트워크 미들웨어 시스템을 L4 마이크로커널 기반으로 설계하였을 때의 이점에 대하여 제시하였다. L4 마이크로커널은 안정성과 독립성 그리고 구조 자체가 가지는 유연성 등 때문에 각 응용에 맞는 시스템 설계자의 요구를 시스템에 반영하기 쉽다. 이는 유비쿼터스 센서네트워크에서 필요로 하는 진화적 시스템 구성에 적합한 방식의 시스템 구성이다. 하지만 이러한 시스템 구성은 초소형의 센서노드들을 위한 구조로는 적합하지 않다. 하지만 L4 마이크로커널은 많은 연구가 진행되고 있고, 다양한 플랫폼에서 적용 가능하도록 확장되고 있다. 또한 소형의 임베디드를 위한 구조가 재설계되고 있기 때문에 그 미래가 밝다.

본 논문에서 제안한 시스템은 L4 기반의 시스템 구성이다. 하지만 이러한 시스템 구성이 실제 응용에서 어떠한 결과를 보일지 아직은 알 수 없다. 앞으로 여러 가지 실험을 통해서 시스템 성능을 체크하면서 문제점들을 보완해 나가야 한다.

센서네트워크를 위한 많은 응용들에서 범용적이면서도 유연한 시스템 구성을 갖추기 위해서는 미들웨어 계층이 그러한 구조를 뒷받침해야 한다. 유비쿼터스 센서네트워크 미들웨어를 구성하는 많은 연구들이 진행되어 왔다. 하지만 아직까지 뚜렷한 시스템 구성 방향이 정해진 것은 아니다. 앞으로도 많은 연구가 진행되어야 한다.

Acknowledgement

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 수행하였음.[2008-064-0002-0003, 적응형 온톨로지 센서 미들웨어]

참고문헌

[1] Yang Yu, Bhaskar Krishnamachari, and Viktor K. Prasanna, “Issues in Designing Middleware for Wireless Sensor Networks”, Network, IEEE Volume 18, Jan, 2004.

[2] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci "A Survey on Sensor Networks" IEEE Communications Magazine, August 2002.

[3] 김영만, “센서 네트워크 미들웨어 구조 및 연구 현황”, 한국정보과학회지, 제22권 제12호 pp13-20 12월, 2004.

[4] Jochen Liedtke "On u-Kernel Construction" ACM Symposium on Operating Systems Principles, Volume 29, Issue 5, pp. 237 - 250, December 1995.

[5] Jochen Liedtke, Nayeem Islam, Trent Jaeger, "Preventing Denial-of-Service Attacks on a u-kernel for WebOses", IEEE The Sixth Workshop on Hot Topics 1997.

[6] Jochen Liedtke, "Clans & Chiefs", Springer-Verlag London, UK 1992.

[7] 김민수, 이용준, 박종현, "USN 미들웨어 기술개발 동향", [ETRI]전자통신동향분석, 제22권, 제3호, 6월 2007.

[8] Roitzsch, Härtig, “Ten Years of Research on L4-Based Real-Time” the Eighth Real-Time Linux Workshop, Lanzhou, China, 2006.

[9] L4Ka Team. L4Ka::Pistachio microkernel, http://l4ka.org/projects/pistachio

[10] National ICT Australia. NICTA::Pistachio - embedded kernel. http://www.ertos.nicta.com.au/software