

# 사이버 물리 시스템을 위한 IPv6기반 미들웨어 제어규칙 설계 및 구현\*

이형수<sup>o</sup> 김성조

중앙대학교 컴퓨터공학과

moriya@cs.cau.ac.kr, sjkim@cau.ac.kr

## A Design and Implementation of IPv6-based Middleware Control Rules for Cyber-Physical Systems

Hyungsoo Lee<sup>o</sup> Sungjo Kim

School of Computer Science and Engineering, Chung-Ang University

### 1. 서론

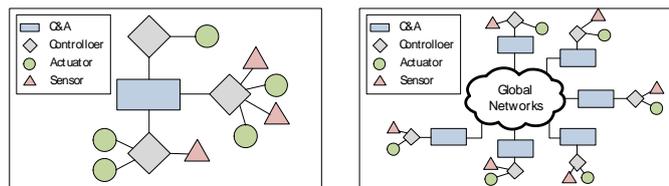
현재 사이버 물리 시스템(Cyber-Physical System)[1][2]에서는 기존의 IT와 교통, 항공, 의료, 국방 등의 여러 분야의 컴퓨팅 요소가 융합(Convergence)된 대규모 시스템 망 구축에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다 하지만 기존에 서비스 되고 있는 각 분야에 특화된 정적인 제어 구조를 가진 시스템들을 통합해 대규모 시스템 망을 새롭게 구축을 하게 된다면, 서로 다른 제어 구조 및 규칙으로 인하여 각 분야의 구성요소간의 동적인 결합이 힘들다뿐만 아니라, 시스템들의 통합으로 인하여 구성요소가 기하급수적으로 증가하게 되면 요구되는 저장용량 및 네트워크의 트래픽이 급격하게 증가하게 된다.

따라서 본 논문에서는 대규모 망에 적합한 구성요소간의 동적인 제어를 위한 규칙을 제안한다 제안하는 제어 규칙은 대규모 시스템 망을 위해 자원이 고갈될 것으로 예상되는 IPv4를 대체하는 기술인 IPv6[3]를 기반으로 설계되었으며, 구성요소들의 동적인 망 등록 해제 그리고 구성요소간의 제어뿐만 아니라 시스템 망의 신뢰성을 높이기 위해 비정상 종료 체크 등의 예외 처리 및 망의 재구성도 고려하여 설계하고 구현하였다 구현된 제어규칙은 테스트베드를 통해 동적인 제어가 수행됨을 보였으며 비정상 종료 시에도 시스템 망의 재구성이 이루어졌다

### 2. 동적 제어 미들웨어 구성요소 및 계층 구조

동적 제어 미들웨어의 구성요소는 Controller, C&A, Actuator, Sensor로 구성된다.

Controller는 Actuator와 Sensor를 관리하고 제어한다. 또한, Controller간 통신을 통해 다른 Controller의 Actuator를 제어한다. C&A는 지역 망의 Controller중 하나으로써, Controller간 정보 공유의 오버헤드를 감소시키기 위하여 존재하고 하위 Controller를 관리하기 위해 정보를 갖고 있다. Actuator는 물리 세상에 실제적으로 물리력을 행사한다. Sensor는 물리 세상의 정보를 센싱하고, Controller에게 전달함으로써 정보를 얻을 수 있다.



(a) 하위 star형 계층구조 (b) 상위 Flat형 계층구조

(그림 1) 동적 제어 미들웨어 계층 구조

동적인 제어가 가능한 시스템이 가능하게 하기 위해서는 모든 Controller가 병렬적으로 구성되어야 하지만 대규모 망에서 Controller들이 서로의 정보를 공유하게 될 경우 Controller의 개수가 증가함에 따라 저장해야 할 정보의 양은 기하급수적으로 증가하게 된다. 이에 따라 정보를 분산시켜 저장하기 위한 계층 구조가 필수적으로 요구되지만 전체 Controller에 대해 계층 구조를 유지할 시 중앙 Controller에 과부하가 예상되며, 동적인 Controller의 추가 및 삭제가 용이하지 않다는 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서 소개하는 동적 제어 미들웨어는 (그림 1)과 같이 하위에서는 Controller의 동적인 추가 및 제거가 단순한 Star형 계층구조와, 상위에는 C&A들간에 평등한 하이브리드 계층 구조로 이루어져 있다.

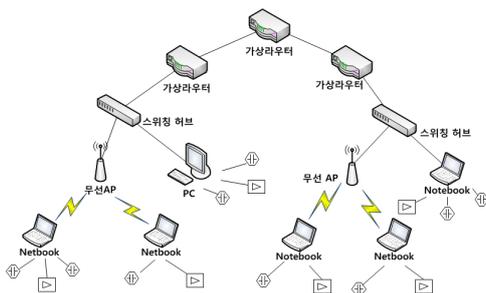
### 3. 장치간의 동적 제어를 위한 제어규칙 설계

본 논문에서는 대규모 망에 적합한 미들웨어를 구현하기 위해 다음 상황들을 고려하여 제어 규칙을 설계하였다

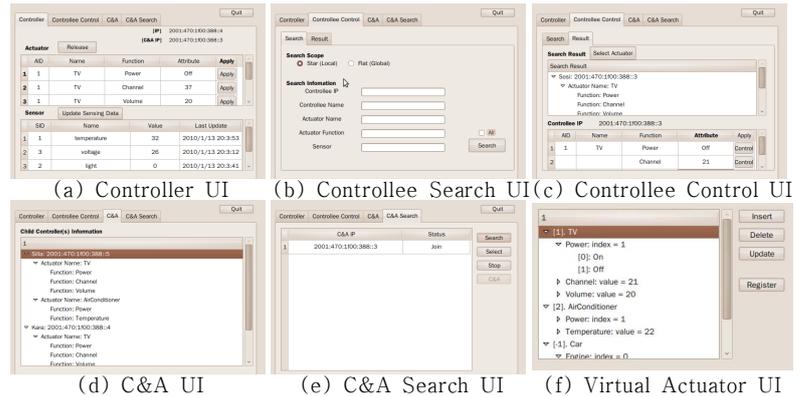
\* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0079964).

- ① Controller가 망에 신규로 접속했을 때, C&A 검색을 통해 자신이 C&A가 될 것인지, 타 C&A의 하위 Controller로 접속할 것인지 아니면 다른 C&A의 정보를 받아 C&A를 교체할 것인지 결정하는 규칙을 설계하였다.
- ② C&A 종료 혹은, 신규 Controller의 성능이 기존의 C&A에 비해 좋은 경우, C&A의 교체하는 과정에 대한 규칙을 설계하였다.
- ③ Controller가 제어할 Actuator를 검색 할 경우, Controller는 Actuator의 정보를 담은 메시지를 C&A혹은 C&A 그룹에 정보를 요청하고, C&A는 원하는 정보를 응답해주는 규칙을 설계하였다.
- ④ Controller가 원격의 Actuator를 제어 할 경우, Controller가 Controllee에게 Actuator의 제어에 대한 메시지 전송 및 처리에 대한 규칙을 설계하였다.
- ⑤ C&A가 정상종료 혹은 비정상 종료의 경우, 다른 Controller로 C&A가 교체 되는 규칙을 설계하였다.
- ⑥ Controller가 정상종료 혹은 비정상 종료의 경우, C&A에서 Controller의 정보를 삭제하는 규칙을 설계하였다.

#### 4. 테스트베드 구현



(그림 2) 테스트베드 구조



(그림 3) 응용프로그램 UI

제안한 동적 미들웨어 제어 규칙의 테스트베드 구조는(그림 2)와 같다. 테스트베드는 IPv6를 기반으로 가상 라우터를 통해 두 개의 로컬 네트워크를 구분하며, 중앙의 가상 라우터를 경유하는 패킷들을 활용하여 Global 네트워크 상에서 Flat형 구조에 속한 다른 로컬 네트워크상의 Controller 제어 요청 상황을 테스트 한다. 가상 라우터는 PC 3대에 각각 오픈 라우터 플랫폼인 XORP[4]를 이용하여 라우팅 환경을 구현 하였다. 각각의 PC, Netbook, Notebook은 하나의 Controller를 의미하며, 이러한 Controller들은 스위칭 허브와 이에 연결된 무선 AP를 통해 유선 LAN과 무선 LAN으로 연결된다. 그리고 각각의 Controller들은 Actuator와 Sensor를 보유한다. 또한, 본 논문에서 제안하는 미들웨어의 제어규칙의 사용자 환경에서의 검증을 위하여 (그림 3)과 같은 응용프로그램을 구현하였다. 응용프로그램은 자신이 보유하고 있는 Actuator의 제어 기능 및 Sensor의 상태정보(a), Controllee의 검색 및 제어 기능(b, c), Controller가 C&A일 때 하위 Controller의 정보를 보여주는 기능(d), Controller의 접속 시 C&A 검색 기능(e), Actuator 장치를 가상으로 생성기능(f)을 가지고 있다.

#### 5. 결론

사이버 물리 시스템은 완전히 새로운 분야가 아닌 내장형 시스템의 물리적 특성과 네트워크로 연결된 시스템 간의 제어의 중요성이 강조되는 시스템이다 또한 현재 초기 단계에 있는 사이버 물리시스템을 위한 동적 제어 미들웨어 기술 개발이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 동적인 제어를 지원하기 위해 하위 계층에서는 2홉(Hop)안에 모든 Controller간 통신이 가능하고, 동적으로 등록 및 해제가 용이한 Star형 계층 구조를 유지하고, 상위계층에서는 C&A를 하나로 묶는 C&A 그룹을 유지하여, Flat하며 Controller간 서로 평등한 하이브리드 계층구조를 소개하였다 또한, 대규모 망에서 일시적인 동적 제어가 가능하도록 구성요소의 등록 삭제, 제어 그리고 망의 재구성 등의 제어 규칙을 제안하였다 따라서 본 논문에서 소개되고 제안된 미들웨어 구조 및 제어 규칙을 통해 대규모 사이버 물리시스템을 구축할 때 각 노드들에 필요한 자원을 줄일 수 있으며, 기존의 시스템을 크게 변경하지 않고 통합 망을 구축하는 것이 가능하다

#### 6. 참고문헌

[1] E. A. Lee., "Cyber Physical Systems: Design Challenges," University of California, Berkeley Technical Report No. UCB/EECS-2008-8, 2008.  
 [2] E. A. Lee., "Computing Foundations and Practice for Cyber-Physical Systems: A Preliminary Report," Technical Report No. UCB/EECS-2007-72, 2007  
 [3] 한국인터넷진흥원 IPv6, "http://www.vsix.net/"  
 [4] XORP, "http://www.xorp.org/"