사이버 물리 시스템을 위한 자율 컴퓨팅*

유길종, 이은석
성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과
e-mail : gjyoo@ece.skku.ac.kr, leees@skku.edu

Autonomic Computing for Cyber Physical Systems

Giljong Yoo, Eunseok Lee
Department of Electrical and Computer Engineering

요 약

오늘날 분산 컴퓨팅 환경은 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 요구하고 있다. 미국의 경우 최근 몇 년간 CPS 에 대한 개념을 도입하여 차세대 임베디드 산업에 대한 새로운 패러다임을 제시하였고, 유비쿼터스 기술은 CPS 기술의 형태로 변화되기 시작하였다. 여기에 더해 실시간의 컴퓨팅 관리와 사용을 위해 자율 컴퓨팅 기술이 필요하며 기존과 달리 CPS 형 자율 컴퓨팅이 요구되고 있다. 본 논문은 기존의 분산 컴퓨팅과 CPS 컴퓨팅에서의 자율 컴퓨팅 요구를 소개하였다. 따라서 CPS 환경을 위해 주목해야 할 요소 기술들을 정리하였다.

1. 서론

최근 21 세기 유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 연구는 세계 각지에서 활발하게 진행되고 있다. 특히 임베디드나 네트워크, 로봇에 관련되는 물리 시스템 산업이 각광있으며, 미국의 경우 불과 2~3 년 사이 사이버 물리 시스템(CPS: Cyber-Physical Systems, 이하 CPS 라고 명함)이라는 새로운 개념을 제안하며 차세대 임베디드와 로봇 산업에 빠른 대응을 보여주고 있다. 이에 더해 유럽 및 일본과 같은 선진국에서도 관심을 갖고 국가 산업 기술로 육성하고 있는 실정이다. CPS 란 가상 세계의 'Cyber'와 실세계의 'Physical'이 결합하여 유기적으로 동작하도록 유도하는 시스템을 의미한다. UAV, 충동 회피 시스템, 협업 모바일 로봇과 같은 분산 컴퓨팅과 물리적 프로세스와의 상호작용을 위해 시스템은 자가-조직화(self-organize), 다양한 변화에 적응하는 능력, 실시간 응답성, 안전성(safety)과 같은 크리티컬한 특성들을 만족하여야 한다.

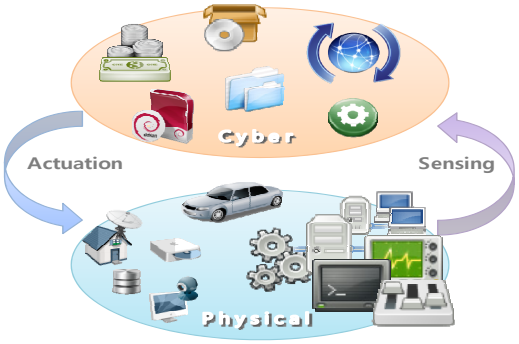
위와 같은 CPS 환경을 구현하기 위한 새로운 도전과제는 바로 자율 컴퓨팅(autonomic computing)이다. 기본 4 대 요소는 자가-치유(self-healing), 자가-최적화(self-optimization), 자가-보호(self-protection), 자가-구성(self-configuration)이다.

본 논문에서는 기존의 CPS 동향과 이슈에 대해 정리하며, 일반적인 분산 컴퓨팅과 CPS 를 위한 자율 컴퓨팅의 소개와 비교를 통해 CPS 의 새로운 연구 방향을 제시하고자 한다.

2. 사이버 물리 시스템의 동향

1970 년대 마이크로프로세서가 도래된 이후 임베디드 컴퓨터는 수많은 형태의 시스템으로 설계되었지만, 개발자 대부분은 하드웨어에 관한 설계에 초점을 맞췄기 때문에 그 위에서 동작하는 컴퓨터 기반 제어 시스템을 설계하는 방법을 제대로 응용하지 못하였다. CPS 이론은 이러한 부족한 부분을 해결하기 위해 제시되었다 [1].

CPS 는 그림 1 과 같이 CPS 객체의 서비스 수행을 위해 'Cyber'인 가상 세계에서 'Physocal' 환경인 실세계의 정보를 센싱하여 서비스 수행을 위한 정보로 생성한다. 'Cyber'에서는 서비스 정보를 이용하여 목적에 맞는 명령을 'Physical' 환경으로 전달하게 된다.



(그림 1) 사이버 물리 시스템 개념도

3. 분산 컴퓨팅에서의 자율 컴퓨팅

자율 컴퓨팅은 2001 년 IBM 사에서 처음 제안되었다. 이 컴퓨팅은 시스템에 자가 관리(self-management) 능력을 부여하여 급속하게 복잡해지고 있는 컴퓨팅 시스템의 관리방식을 극복하고자 한다. 따라서 자율

* 이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0077453)

컴퓨팅은 기존의 전통적인 관리자 중심의 관리방식에서 시스템 스스로가 자신의 문제를 탐지하고 주변 환경을 분석하여 이를 해결하도록 하는 것이다.

미국의 경우 8 대 과제 중 1 순위로 채택하여 연구지원을 할 만큼 전력을 다하는 연구주제이다 [2].

CPS 환경은 기존의 분산 컴퓨팅 환경보다 자율 컴퓨팅 4 대 요소 이외에 자가 탐지(self-monitoring), 자가 적응(self-configuration)과 같은 추가적인 self-*를 요구한다.

4. 사이버 물리 시스템(CPS)을 위한 자율 컴퓨팅

자율적이고 독립적인 객체로써 CPS 를 구현하기 위해서는 스스로 자가 관리를 할 수 있는 능력이 필요하다. CPS 는 임베디드 환경이 기반이기 때문에 사용자와 시스템이 직접 상호작용하기 힘들다. CPS 객체는 주로 하나의 개체가 단독의 폐쇄적인 동작(close-loop)을 하기 때문에 스스로 자신의 상태를 모니터링하고 유지하도록 하기 위한 자율성(autonomy)를 갖도록 하는 것이 중요하다.

CPS 를 구현하기 위해서는 다음과 같은 세부적인 자율 컴퓨팅 기술들이 필요하다.

1) 고신뢰 소프트웨어 기술
(High Confidence Software)

A. 신뢰성(Trustworthiness)

신뢰성은 다중으로 동시에 일어나는 QoS 를 보장해야 하는 능력을 의미한다. Bluetooth, Wifi, Ad-hoc 과 같은 다양한 통신 방법과 서로 다른 기기의 능력에 따라 적절한 QoS 전략을 필요로 할 것이다.

B. 자율성(Autonomicity)

컴퓨터 시스템 에러의 40%가 관리자의 실수에 의한 것이라는 조사에서 볼 수 있듯이, 대규모의 CPS 환경에서 관리자의 개입을 최소화하는 것이 유리하다. 따라서 CPS 객체는 자가-관리, 자가-구성, 자가-최적화와 같은 자가 관리 능력을 가져야 한다. 이를 통해 관리자의 개입이 없이 시스템 스스로 진화할 수 있을 것이다.

C. 분석성(Autonomicity)

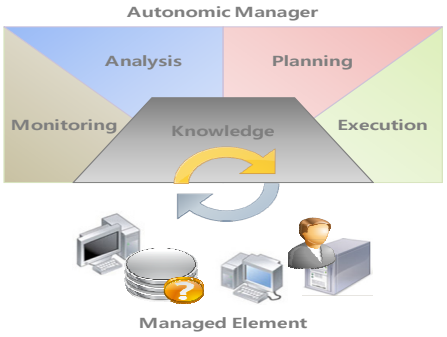
CPS 시스템에 대해 검증(validation)과 확인(verification)이 가능해야 한다. 또한 검증과 확인의 과정에서 피드백을 통해 시스템의 질적 수준을 높여야 할 것이다.

2) MAPE-K (IBM)

IMB 은 자율 컴퓨팅의 4 대 요소 중 자가-치유를 위한 자율 관리자(autonomic manager)를 제안하였다 [3]. 자율 관리자는 그림 2 과 같이 IBM 계열의 시스템을 위한 지식 기반의 오류 탐지(Monitoring), 분석(Analyzing), 계획(Planning), 실행(Executing)이라는 4 단계의 자가-치유 기본 프로세스를 지니고 있다. 대부분의 결함 관리에 대한 연구들이 MAPE-K 의 프로세스를 따르고 있으며, IBM 은 자가 치유 분야에서 선도적인 기업으로 연구를 진행하고 있다.

3) 자원 자가 관리 기술 (Resource Self-Management)

다양한 디바이스에서 사용되는 자원들을 시스템 스스로가 자율적으로 관리하는 능력은 매우 중요하다. 특히 CPS 환경처럼 임베디드의 비중이 큰 시스템 환경에서는 작은 센서에서부터 대형의 컴퓨터까지 다양한 자원 능력을 지니고 있기 때문에 서로의 상호 작용을 위해 자원 관리는 중요한 기술이다.



(그림 2) IBM 자율 매니저의 MAPE-K 개념

4) 다중 OS 환경에서의 자가 치유 기술
(Self-Healing in Multi-OS Environment)

CPS 환경에서 이종의 장치에 존재하는 다양한 OS 를 통해 나타나는 오류를 제어하기 위한 통합적인 자가 치유 전략이 필요하다.

5) CPS 환경을 재구성하기 위한 크기 인식 기술
(Scale-Aware for (Re)Composing the CPS)

CPS 환경의 동적인 재구성을 위해서 공간, 시간, 양, 기술의 크기와 규모에 대해 인식하여야 한다.

6) 데이터 유용성을 위한 최적화 기술
(Optimizing for Data Usability)

데이터 유용성을 위해 CPS 의 컴포넌트를 교체 및 수리해야 한다.

7) QoS 인식 기반 전력 관리 기술
(QoS-Aware Power Management)

CPS 환경은 작은 장치에서부터 대형의 장치까지 전력 기반의 QoS 관리가 요구된다.

5. 결론

최근의 분산 환경 시스템은 유비쿼터스 컴퓨팅이 대두되고 있으며, 인간과 사물, 사물과 사물간의 밀접한 상호작용은 매우 중요한 과제이다. 최근 미국은 임베디드적이고 네트워크적인 요소의 비중을 늘려 CPS 라는 개념을 제시하였으며 세계 각국이 이에 대한 연구에 많은 투자를 하고 있다. 에와 함께 실시간으로 최적의 CPS 환경을 유지 및 관리하기 위한 CPS 형 자율 컴퓨팅 기술을 연구 개발해야 할 것이다.

참고문헌

[1] W. Wayne, "Cyber-physical Systems," *IEEE Computer*, vol. 42, no. 3, pp. 88-89, Mar. 2009

[2] W. Wayne, "The Good News and the Bad News (Embedded Computing Column)", *IEEE Computer*. Jun. 2008

[3] B. Topol, D. Ogle, D. Pierson, J. Thoensen, J. Sweitzer, M. Chow, M. A. Hoffmann, P. Durham, R. Telford, S. Sheth, T. Studwell. “Automating problem determination: A first step toward self-healing computing system”, IBM white paper, Oct. 2003.