

네트워크 기반 자율제어 CPS(Cyber-Physical Systems)기술

박정민, 강성주, 전인걸, 김원태
한국전자통신연구원

요약

사이버-물리 시스템(Cyber-Physical Systems, CPS)은 다수의 임베디드 시스템과 통신망 그리고 현실세계인 물리 시스템이 서로 밀접하게 연계되어 사용자가 필요로 하는 다양한 서비스를 제공하고 있다. 다양한 환경에서 동작하는 사이버-물리 시스템은 그 복잡성이 매우 크기 때문에 문제 발생에 대응하는 것이 쉽지 않다. 본고에서는 최근 IT 융합 연구 분야에서 많은 주목을 받고 있는 사이버-물리시스템(Cyber-Physical System, CPS)의 고신뢰성을 위한 '네트워크 기반 자율제어 CPS의 요소 기술'들에 대하여 알아본다.

I. 서론

최근의 컴퓨팅 기술들은 통신, banking, 쇼핑 등과 같은 서비스들과 정보 기술 인프라와의 결합으로 인간과 인간의 상호작용 없이 '조용하게' 이루어지고 있다[1]. 또한 다양한 컴퓨팅 장치와 소프트웨어 간의 상호 연관 관계가 매우 중요하게 결합되어 운영되면서, 오늘날의 컴퓨팅 기술의 환경은 다양한 시스템들이 서로 연동되어 공통의 목표(goal)를 달성하는 '사이버-물리 시스템'과 같은 형태로 진화하고 있다.

'사이버-물리 시스템'은 대규모 센서/액추에이터를 가지는 물리적인 요소와 통신기술, 응용 소프트웨어, 그리고 시스템 소프트웨어 기술을 이용하여 실시간으로 물리적 요소들을 제어하는 복합시스템(System of System)이다[2]. <그림 1>과 같이 사이버 물리 시스템의 기술 적용 도메인은 스마트 무인기, 스마트 자동차, 스마트 항만, 스마트 그리드, 국방무기체계 등 매우 광범위하다. 이러한 사이버-물리 시스템들에서 만약 문제가 발생한다면 인간은 '복잡도'로 인해 그것에 대응하는데 많은 시간과 분석의 노력이 필요할 것이다[3].

이전까지의 임베디드 시스템 개발자는 안정적인 서비스의 제공 보다는 제품의 성능이나 기능 향상을 위해 고가의 하드웨어

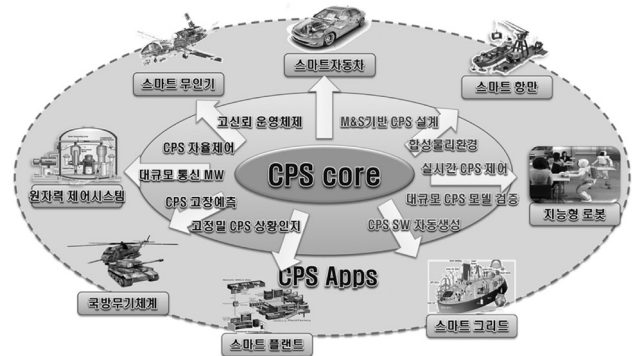


그림 1. 사이버-물리시스템의 기술 적용 도메인

또는 소프트웨어 최적화에 노력을 해왔다. 그러나 임베디드 시스템이 다양한 현실에 적용되고, 사이버-물리 시스템과 같이 고신뢰의 서비스를 요구하는 시스템에 적용됨에 따라 이전의 임베디드 시스템의 개발 방법으로는 새로운 분야의 요구를 수용하는데 어려움이 많다[4]. 기존의 임베디드 분야에서도 이러한 문제를 해결하기 위해 관리 대상이 되는 시스템에 '폐쇄 시스템'으로 가정하고 시스템을 개발하고 있으나, 사이버-물리 시스템과 같이 다수의 임베디드 시스템이 상호 통신하며 네트워크를 이루고, 다양한 물리 개체가 통신망을 통해 밀접하게 운영되는 경우에는 여전히 해결할 수 없는 많은 문제 상황이 발생하고 있다. 다양한 물리 시스템과 컴퓨팅 시스템의 연계에 따라 시스템의 복잡도는 점점 가중 되었고, 이에 따라 예상치 못하는 오류나 상황이 발생할 가능성 역시 높아졌다.

사이버-물리 시스템에서의 '신뢰성'은 전통적인 방법으로 개발된 임베디드 시스템들의 결합만으로는 보장될 수 없기 때문에 개발 단계에서부터 현실세계의 확실성을 보장할 수 있는 방법을 사용해야 하며, 특히 운영 중에 발생하는 문제점을 해결하기 위한 기술의 개발이 필수적이다. 본 고에서는 이러한 문제들을 해결하는 방법으로 네트워크 기반의 사이버-물리 시스템을 위한 자율제어 기술들을 설명한다. 자율제어 기술을 적용한 임베디드 시스템은 외부 환경의 불확실성으로 인해 운영 중에도 스스로 관리되며, 필요한 경우 시스템 스스로가 컴포넌트를 재구성하고 업데이트 하여 지속적이고 안정적인 서비스를 제공할

수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 자율제어 기술 동향에 대해서 설명하고, 3장에서는 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 통신 미들웨어 기술 동향을 소개한다. 4장에서는 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 자율제어 요소 기술들을 설명한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 자율제어 기술 동향

자율 컴퓨팅 기술은 실제 환경에서 발생하는 시스템의 오류를 자율적으로 제어하는 시스템이다[5]. 특히 산업체에서 자사의 시스템 서비스의 안정성을 확보하기 위해 다양한 연구를 진행하고 있다. 이 기술은 인간의 최소한의 관여를 통해서 컴퓨터 시스템들 스스로가 자신의 상태를 인식한다. 이것은 인간의 면역 시스템이 외부에서 침투한 몸속 세균을 치료하고 방어하는 자율 신경계에 비유될 수 있다. 이러한 기원을 통해서 자율 컴퓨팅 기술은 시스템 자체가 자기 자신을 모니터링 하고 감지된 상황에 적절한 전략을 수행하는 컴퓨팅 기술로써 조명 받고 있다.

IBM은 통신망을 기반으로, SOA(Service Oriented Architecture)기반의 시스템을 관찰, 분석하는 자율제어 분야에 많은 기술을 보유하고 있다. 다양한 프로젝트들을 통해서 통신 장비, 데이터베이스 서버, 응용프로그램 등과 같은 시스템 컴포넌트의 예기치 않은 문제에 자율적으로 대응할 수 있는 방법들을 연구하는데 선도적 역할을 하고 있다.

미국 'Columbia University'에서 연구한 'Heart Beating Framework'[6]는 컴포넌트의 주기적인 통신 신호를 통해 컴포넌트의 상태가 정상인지 비정상인지를 판단하는 방법을 제안하였다. 이것의 모니터링 방법론은 하드웨어(timer)와 소프트웨어(heart beat generator)의 조합을 기반으로 컴포넌트가 주기적으로 모든 것이 정상동작 하고 있다는 것을 가리키는 "I am alive" 통신 신호를 발생 시킨다. 이 통신 신호의 부재는 시스템에 문제가 있다는 것을 나타낸다. 소프트웨어에 의해 주기적으로 'heartbeat' 신호가 오지 않는 경우, 내장된 프로세서들은 'reset 또는 restart'를 할 수 있는 특징을 가진다. 장점으로는 'I am alive' 신호를 'time testing'하여 컴포넌트 또는 시스템 전체의 비정상 상황들을 감지하는데 용이하고, 시스템이나 컴포넌트를 감시하는 모니터가 내부 상태를 확인하지 않기 때문에 자율제어 모듈의 리소스 소모량을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그

러나 컴포넌트의 내부 객체에서 발생한 오류를 탐지하기 어렵고 시스템의 기능적 행동을 중지하기 때문에 중요 데이터를 잃게 할 수도 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 여러 가지 방법 중 하나로 '오류 모델링'반영이 필요하다.

CISCO의 'Adaptive Service Framework(ASF)[7]'는 통신망을 통해 감시, 로그 변환, 필터링, 분석, 진단 및 치유, 피드백하는 6단계의 자율제어 프로세스를 제안 하였다. 이것은 피드백 시스템의 하나로써, 관리 시스템과 자율제어 엔진과의 통신을 통해 다양한 컴포넌트에서 생성되는 로그들을 분석하고, 문제 발생 시 이를 보고하고 제어하는 특징을 가진다. 장점으로는 로그의 내용이 실시간으로 기록되어 데이터베이스로 구조화하기 쉽고 상향식 분석이 용이하다. 그러나 로그가 발생하지 않는 경우, 시스템의 내부 관점을 모니터링하고 분석해서 '자율제어'를 수행하기가 용이하지 않는 구조이다. 로그가 발생하지 않아도 시스템을 '자율제어'할 수 있는 방법론이 필요하다.

국외에서는 이와 같이 사이버-물리시스템을 위한 자율제어 연구를 활발하게 진행하고 있으나, 국내에서는 학계를 중심으로 사이버-물리시스템과 관련된 연구를 시작하는 초기 단계이다.

III. 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 통신미들웨어 기술 동향

컴퓨터 환경의 진화로 임베디드 시스템 및 모바일 기기의 활용이 증가 하고 있다. 이로 인해 다양한 형태의 통신 방법이 출현되어 다양한 통신 서비스 형태로 확장되어 가고 있다. 이러한 다양한 통신 기법들은 사이버-물리 시스템을 구성하는 컴포넌트들의 특성에 종속되고 특정 프로토콜에 의존하는 문제점들을 갖게 하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 컴포넌트들 간의 직접적인 데이터 교환을 배제하고 자율적이고 효율적인 데이터 통신을 제공하고자 통신 미들웨어 기술들이 개발 되었다.

통신 미들웨어 기술은 사이버-물리 시스템의 컴포넌트들에게 데이터 배포의 자율성을 제공할 뿐만 아니라 개발자 입장에서도 응용 프로그램 개발의 효율성을 제공해 줄 수 있다. 즉, 응용프로그램에서 제공했던 데이터 교환 기능을 대행하는 역할을 수행한다. 현재 데이터 통신 기능을 수행하는 미들웨어에는 CORBA, JMS, 웹서비스, DDS 등 다양한 데이터 통신 미들웨어들이 있다.

1) CORBA(Common Object Request Broker Architecture)[8]는 개방형 내부 구조를 정의하기 위하여 OMG(Object Management Group)[9]에 의해서 생성되었으며, 분산 객

체 간의 상호연동을 위한 통신 미들웨어 구조이다. CORBA의 구조는 클라이언트와 서버 사이의 통신 버스 역할을 수행하는 ORB(Object Request Broker)core, 클라이언트 사이드는 클라이언트 통신을 담당하는 클라이언트 스텝(Stub), 인터페이스 저장소(Interface Repository)로 구성되고, 서버 사이드는 통신을 담당하는 동적 스킴레톤 인터페이스(Dynamic Skeleton Interface), 구현 객체를 저장하고 적재하는 구현 저장소(Implementation Repository)로 구성된다. CORBA는 각 시스템에서 생성한 서비스 컴포넌트를 원격의 분산 시스템 환경에서 사용할 수 있도록 서비스 위치 투명성과 상호 운용성을 제공한다.

2) JMS(Java Message Service)[10]는 메시지 기반 미들웨어를 이용하기 위한 사용자 API이다. 이것은 메시지를 전달을 위해서 비동기적 처리를 수행하는 서비스 시스템이다. JMS는 커넥션(서비스 제공자와 클라이언트 연결), 세션(메시지 생성과 소비를 위한), 메시지 생성자(메시지를 생성하고 전달), 소비자(메시지를 수신하고 사용), 메시지(전달될 데이터)로 구성되어 메시지 통신을 수행한다. JMS 서비스는 통신이 비동기적으로 이루어지기 때문에 클라이언트가 여러개의 작업을 동시에 수행할 수 있고 기존의 CORBA나 RPC에 비해 사용법이 간단하다. 또한 사용자가 지정한 메시지 타입에 상관없이 다양한 형태의 메시지 전송을 수행할 수 있는 장점이 있다.

3) 웹서비스(Web Service)[11]는 XML 기반으로 WSDL(Web Service Description Language), SOAP(Simple Object Access Protocol), UDDI(Universal Description Discovery and Integration)등의 표준 프로토콜을 통해 데이터 교환 서비스를 제공해 준다. 웹 서비스를 제공할 사용자는 WSDL로 표현된 서비스의 인터페이스 정보, 데이터 정보, 위치 정보 등 서비스 호출에 필요한 서비스들을 UDDI 저장소에 등록한다. 서비스 사용자는 UDDI 저장소에서 서비스를 검색하고 호출한다. SOAP 프로토콜은 서비스를 등록하고 호출할 때 쿼리를 위해서 사용된다. 웹 서비스 공개 표준(Open Standard)을 따르고 XML을 사용함으로써 플랫폼과 프로그램 언어에 독립적이며 HTTP와 같은 통신 프로토콜을 사용하여 '자율성'을 보장하는 장점이 있다.

4) DDS(Data Distribution Service)의 필요성

위에 언급된 것처럼 통신 미들웨어들은 다양한 특징을 가지고 다양한 도메인에서 사용되고 있지만, 대부분 중앙 집중식 방식으로 중앙에 서버를 통한 데이터 관리 구조를 가지게 된다. 현재의 복잡하고 다양한 사이버-물리 시스템 환경과 같이 다수의 디바이스들이 동적으로 통신망을 구성하고 분산된 형태로 빈번한

데이터를 제공하는 구조에서는 그 신뢰성과 효율성을 보장하지 못한다. 따라서 이러한 분산 환경에서 데이터 도메인을 구성하고 효율적인 데이터 전송을 위하여 OMG(Object Management Group)에서 DDS 통신 미들웨어 표준을 제안 하였다. DDS는 동적으로 네트워크 데이터 도메인을 형성하고, 각각의 임베디드 기기나 모바일 기기들이 네트워크 데이터 도메인에 자유로운 참여나 탈퇴가 가능한 통신 환경을 제공한다. 또한 사용자에게 발간(publisher), 구독(subscriber) 환경을 제공하여 데이터를 생성, 수집, 소비할 수 있는 기능을 제공하고, QoS(Quality of Service)기능도 제공한다. 이러한 이유로 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위해서 DDS를 적용하는 것이 필요하다.

5) DDS(Data Distribution Service)[12]는 실시간 시스템을 위한 데이터 중심의 분산 서비스로, 분산 환경을 위한 '토픽'에 대한 발간/구독에 관한 표준을 제시하고 있다. 발간/구독 기술은 클라이언트 서버 모델과 다르게 데이터 통신 도메인에 참여하는 사용자가 발간자(데이터 생산) 또는 구독자(데이터 소비)가 되어 서비스의 연결 지향 없이 자신이 원하는 데이터를 생산하고 소비하는 데이터 배포 기술이다. 발간/구독 배포 기술은 메시지 기반으로 비연결 지향 서비스의 특징을 가지며, 서비스에 대한 정보(위치, 시간, 동기화)에 관계없이 데이터에 대한 접근을 가능하게 해주어 실시간에 적합한 통신 환경을 제공한다.

발간/구독 배포 기술은 일반적인 큐(Queue)기반 배포 기술과 차이가 있다. <그림 2>는 일반적인 큐 기반의 배포 기술, <그림 3>은 발간/구독 기술이다.



그림 2 큐 기반 배포 기술[13]

<그림 2>의 큐 기반 배포 기술은 데이터의 생산자와 소비자가 모두 하나의 큐를 통해서 데이터의 송수신을 수행하게 된다. 큐는 하나의 데이터 생산자와 다수의 데이터 소비자를 가지며, 각 메시지는 유일한 데이터 소비자에게 전달된다.



그림 3 발간/구독 배포 기술[13]

발간/구독 배포 기술은 데이터 생산자와 소비자가 가상의 데

이더 송수신 채널인 토픽(Topic)을 기반으로 데이터를 송수신한다. 다수의 생산자는 하나의 토픽에 대하여 데이터를 생성할 수 있고, 생산된 데이터는 토픽에 연결된 모든 소비자에게 전달될 수 있다. 생성된 데이터들은 우선 순위를 가질 수 있으며, 데이터에 대한 QoS(Quality of Service)를 설정할 수 있는 기능이 제공된다. 발간/구독 배포 기술은 크게 '토픽 기반', '콘텐츠 기반', '타입 기반'기술로 분류된다. 첫 번째로 '토픽 기반'기술은 데이터의 생산자와 소비자가 토픽에 대한 접근을 '토픽 키워드'로 수행하게 된다. '토픽'의 의미는 생산되고 소비될 데이터의 그룹을 의미한다. 두 번째로 '콘텐츠 기반'기술은 데이터의 생산자 소비자가 토픽에 대한 접근을 '콘텐츠'를 이용하여 수행한다. 토픽의 콘텐츠는 필터링되며, 데이터의 소비자는 필요한 필터를 설정할 수 있다. 세 번째로 '타입 기반'기술은 키워드 대신 토픽에 대한 타입을 기반으로 토픽에 접근한다. 타입은 토픽을 구성하는 데이터의 서브셋을 의미한다.

OMG에서 제안하고 있는 DDS 표준은 사이버-물리 시스템 환경에서 데이터 중심의 데이터 배포를 구현하기 위한 표준으로 제안하고 있다. 이는 응용 프로그램들이 플랫폼이나 특정 언어에 독립적으로 하나의 데이터 도메인을 형성하고 그들 간의 효율적인 데이터 교환을 가능하게 해준다. 데이터 도메인을 구성하는 분산 환경의 디바이스들은 데이터 송수신을 위한 별도의 중앙 시스템을 필요로 하지 않으며, 사용자의 간섭 없이 데이터 도메인에 참여하는 기능들을 제공해준다. 현재 OMG의 DDS 표준을 만족하는 다양한 DDS 제품들이 개발되고 있으며, 이러한 제품들은 국방, 항공등의 도메인에서 데이터 교환 및 배포를 위한 표준으로 사용되고 있다. 특히, 국방에서 항공기, 군함 전투 체계 등에 표준으로 적용되고 있어 앞으로 DDS 표준을 만족하는 사이버-물리 시스템들의 통신이 더욱 확대될 것으로 보인다.

IV. 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 자율제어 요소 기술

지난 수년간의 전통적인 자율제어 연구들에 의하면 '기계학습', '코드자동생성', '확률', '추론'과 같은 방법으로 '자율제어'를 위한 '지식'들을 습득하고 확장해왔다. 그러나 그들은 대부분 방대한 컴퓨팅 환경을 다루려고 노력했고 그 결과 후속 연구 방향이 단절되는 현상이 이루어져 왔다. 또한 '자율제어'에 관한 비전만 제시했을 뿐 실제로 어떤 방법이 가장 '자율제어'에 가까운지를 제시하지 못했다. 자율제어 시스템의 기초 중에 하나는

'지식 베이스'를 명세화 하는 것이다[14]. '지식 베이스' 없이는 문제 상황에 대해서 스스로를 '자율제어' 할 수 있는 방법이 존재하지 않기 때문이다.

따라서 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 자율제어 요소 기술에는 '지식 베이스 생성 방법'과 이를 이용하여 자율제어를 수행하는 '자율제어 관리자'를 개발해야 할 필요가 있다.

1. 지식 베이스 생성 방법

고신뢰 사이버-물리 시스템을 위해서는 가장 먼저 해야 할 일은 '지식 베이스'를 생성하는 것이다. <그림 4>는 오류분석, 오류이벤트 정의, 오류 모델링, 오류 상태 해석, 전략 결정과 같은 '지식베이스'생성 방법을 나타내고 있다. 잘 구축된 지식베이스는 자율 제어 시스템의 기초로서 사이버-물리 시스템의 신뢰성을 확보하는데 큰 역할을 할 수 있다.

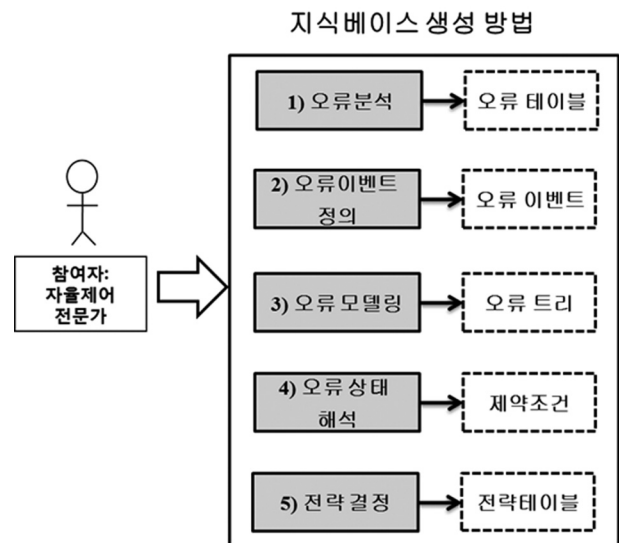


그림 4. 지식베이스 생성 방법

1) 오류 분석(Fault Analysis): 전통적인 연구들[15]에 의하면 자율제어 시스템을 개발하기 위해서는 “시스템은 반드시 자신의 문제에 대하여 알아야 한다.” 라고 정의하며 ‘오류 분석’의 중요성을 매우 강조하고 있다. 따라서 오류분석 단계에서는 사이버-물리시스템의 정상 동작을 분석하여 발생 가능한 오류들을 추출하고 정의하여 자율제어를 위해 요구되는 데이터로 이용된다. 오류 모델 분석가는 경험에 의해 오류를 분석해야 하기 때문에 관리 대상이 되는 시스템의 정상 동작을 반드시 잘 알아야 할 필요가 있다. 분석가에 의해 추출된 오류들은 발생위치에 따라 구분되어 ‘오류 테이블’을 산출해야 한다. 오류 테이블의 구조는 ‘구분’, ‘컴포넌트’, ‘오류 상태’와 같이 세 가지(<표 1>참조)로 구성된다.

표 1. 오류 테이블 구조

구분	컴포넌트	오류 상태
사이버환경/ 물리 환경	컴포넌트 이름	컴포넌트가 가진 오류 상태 이름

2) 오류 이벤트 정의(Fault Event Definition): 현 단계에서는 오류 이벤트를 정의한다. 시스템은 어떤 오류 상태에서 특정 행동을 수행 하는 경우 다른 오류 상태로 전이하게 된다. 이전 단계의 오류 분석 단계에서 작성된 ‘오류 테이블’을 기반으로 발생 ‘원인’과 ‘결과’를 관계로 정의한다. 또한 원인에서 결과로 전이하게 하는 이벤트를 ‘오류 이벤트’로 정의하고 최종적으로는 <표 2>처럼 ‘오류 이벤트 테이블(Fault Event Table)’을 산출해야한다.

표 2. 오류 이벤트 테이블 구조

오류상태	원인	오류 이벤트	결과
오류상태 이름	오류 이벤트의 원인	오류 상태를 유발한 이벤트	오류 이벤트의 결과

3) 오류 모델링(Fault Modeling): 오류들의 인과 관계에 의한 오류 트리를 모델링 한다. 이전 단계에서 수행된 ‘오류 이벤트 테이블’을 참조하여 오류의 ‘원인’과 ‘결과’를 관계 시킨다. 관계된 오류 상태들은 하나의 트리와 같은 형태를 가진다. 오류 트리는 ‘원인’ 과 ‘결과’의 형태로 구성되어 있으며 ‘원인’을 통해 ‘결과’를 도출하는 것을 ‘진단’이라 하고, ‘결과’를 통해 ‘원인’을 도출하는 것을 ‘추론’이라고 한다. <그림 5>는 ‘오류 트리’를 나타내고 있다. 오류 트리를 기반으로 다양한 인공지능 기법[15]들을 통해 새로운 오류 이벤트가 추가 되고, 트리가 확장될 수 있어야 한다.

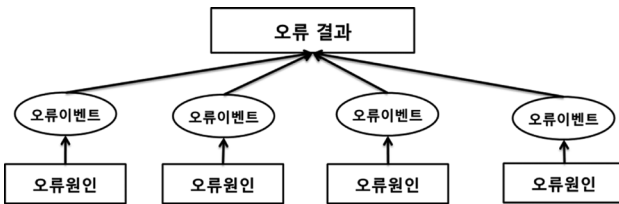


그림 5. 오류 트리

4) 오류상태해석(Faulty State Interpretation): 현재 단계에서는 자율제어 시스템이 오류상태를 해석할 수 있도록 조건들을 정의하여 제약 조건을 생성해야한다.

표 3. 제약조건 테이블 구조

오류상태	제약조건
오류상태 이름	오류 상태를 식별할 임계치 정보

5) 전략 결정(Maneuver Decision): 전략 결정 단계에서는 오류 상태에 대한 적응행위자 및 전략을 미리 정의해야 한다. <표 4>는 전략 테이블(Strategy Table)을 작성해 놓은 것이다.

표 4. 전략 테이블 구조

오류상태	적응전략	행위자
오류상태 이름	오류상태에 대응하는 전략	적응 전략이 실행되어야 하는 목적지

2. 자율제어 관리자 개발

고 신뢰 사이버-물리 시스템을 위해서는 <그림 6>처럼 지식 베이스 기반의 자율제어 관리자가 필요하다.

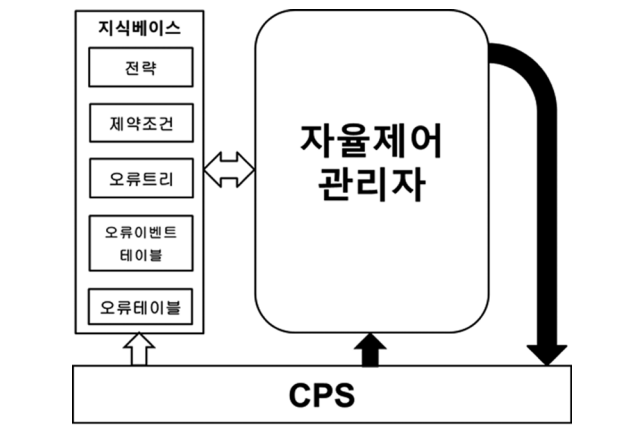


그림 6. 지식 베이스 기반의 자율제어 관리자

자율제어 관리자의 상세 구조는 <그림 7> 처럼 나타낼 수 있다. 자율제어 관리자는 ‘관리 자원(Managed Resources)’을 포함한다. 관리 자원은 사이버-물리시스템의 하드웨어, 현재 수행되고 있는 프로세스 등 관리될 수 있는 형태의 개체이다. 관리 자원의 상태를 획득하기 위한 장치로 센서가 필요하며, 자율제어 전략을 적용하기 위한 장치로 액추에이터가 필요하다.

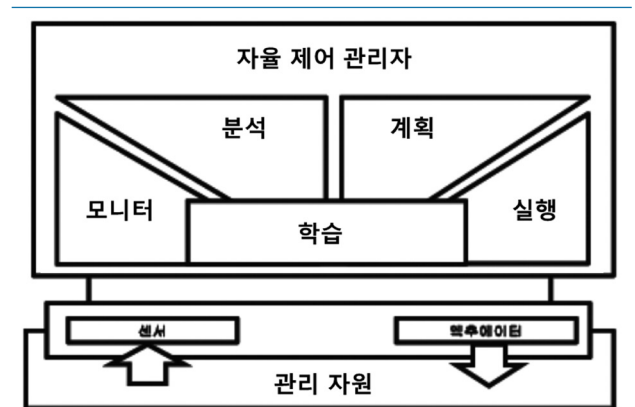


그림 7. 자율제어 관리자의 상세 구조

자율 제어 관리자는 ‘모니터(Monitor)’, ‘분석(Analyze)’, ‘계획(Plan)’, ‘실행(Execute)’, 그리고 자율제어 관리자 스스로가 진화시키는 ‘학습(Learning)’과 같은 요소 기술들을 가지고 있다.

1) ‘모니터 단계’ 센서를 통해 수집된 데이터를 통해 관리 자원의 문제를 확인하며, 이를 통해 사이버-물리시스템의 내부 또는 외부적인 이상상태를 감지한다. 지식 베이스(knowledge base)에 정의된 규칙을 실행하고 지식(knowledge)과 현재의 시스템 행위(behavior) 사이에 불일치가 있는지를 체크한다. 이것은 CPU의 사용, 실행이나 네트워크 대기시간에서 메모리의 사용 프로세스와 같은 시스템의 성능과 관련된 통계적인 분석을 제공한다. 실제 시스템의 행위(behavior)가 일반적인 행위(behavior)와 일치하지 않는지를 결정하기 위해서 동적인 데이터는 기준 데이터와 비교되어야 한다. 이 모듈(module)은 반드시 사이버-물리시스템에 의해 일어나는 예외를 알아채야 하고 또한 사이버-물리 시스템이 동작하고 있는 환경과 관련된 분석을 제공해야 한다. 이러한 모니터링 기술들은 시스템의 행위나 운영 환경을 관찰할 수 있어야 한다.

2) ‘분석 단계’는 시스템의 정상 동작을 분석하여 발생 가능한 오류를 추출 및 정의하고, 모니터 단계에서 추출된 상황 정보와 실행 기록을 분석하여, 현재 동작 중인 관리 자원에 대한 변경이 필요한지를 결정한다. 즉, 시스템의 잘못된 행동의 결과를 보고한다. 관리 자원이 되는 시스템의 잘못된 행동이 사이버-물리 시스템의 상태 변화가 어떻게 천이 되는지를 분석할 수 있어야 한다.

3) ‘계획 단계’는 분석 단계에서 예측한 오류들의 연관성에 따라 추출한 오류트리를 기반으로 오류를 분류하고, 이에 대응하는 자율제어 전략을 계획한다. 만약 관리 자원에 대한 변경이 필요한 경우 정책 등에 대한 실행 계획을 수립해야 한다.

4) ‘실행 단계’에서는 계획 단계에서 결정된 사항들을 관리 자원에 적용하는 단계 이다. 모니터에 의해서 식별된 문제에 대응하는 전략을 실행한다. 이것은 동적으로 계획하고 배포하고 변화를 활성화하는 메커니즘을 필요로 하며, 진단된 결함(fault)이나 그것들의 영향을 제거하는 메커니즘을 필요로 한다.

5) ‘학습 단계’에서는 모니터링 행동에 의해 수집된 데이터로부터 학습되는 새로운 지식을 얻은 ‘지식 베이스(knowledge)’를 업데이트한다. 또한 전략이 수행된 결과를 정량적으로 분석해서 향상된 결과를 반영할 수 있도록 학습하는 기능을 가져야 한다.

이러한 단계들을 잘 설정하여 고 신뢰 사이버-물리시스템을 위한 자율제어 관리자를 개발하는 것이 필요하다.

3. 네트워크 기반 사이버-물리시스템의 자율제어

지금까지의 논의를 바탕으로 네트워크 기반 사이버-물리시스템의 자율제어 시스템의 구조를 나타내면 <그림 8>과 같다.

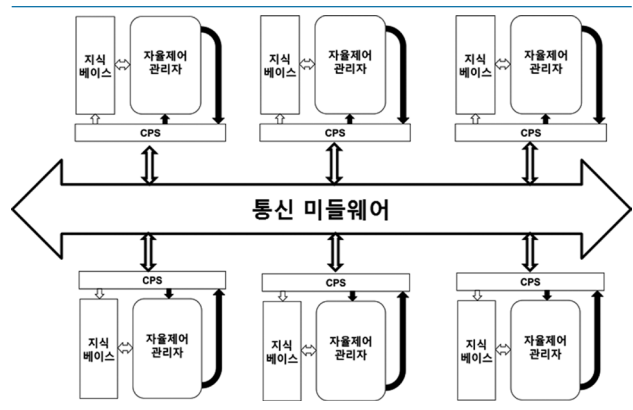


그림 8. 네트워크 기반 사이버-물리 시스템의 자율제어 시스템 구조

고 신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 주요 네 가지 요소들은 우리가 관심을 가지는 사이버-물리 시스템, 사이버-물리 시스템의 지식베이스, 지식베이스 기반의 자율제어 관리자, 그리고 이들의 정보교환을 담당하는 통신 미들웨어이다.

<그림 8>을 살펴보면 자율제어를 위해 관리 대상이 되는 통신 미들웨어 기반의 사이버-물리시스템(CPS)이 있고, 각 사이버-물리시스템을 자율제어 하기 위한 지식베이스 그리고 자율제어 관리자가 있다. 각각의 자율제어 관리자는 네트워크 기반의 자율제어 기술을 사이버-물리 시스템에 적용되어야 한다.

III. 결론

본고에서는 고신뢰 사이버-물리 시스템을 위한 자율제어의 요소 기술들에 대하여 전체적으로 알아보았다. 또한 통신 미들웨어, 자율제어 기술 동향 그리고 이들을 통합하기 위한 구조, ‘네트워크 기반 사이버 물리 시스템의 자율제어 시스템’을 알아보았다. 향후 이러한 이슈들의 융합 연구를 통하여 사이버 물리 시스템의 고신뢰성을 보다 심도 있게 기여하리라 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음.[10035708, 고신뢰 자율제어 SW를 위한 CPS(Cyber-Physical Systems) 핵심 기술 개발]

참고 문헌

- [1] I. Chun, J. Park, W. Kim, W. Kang, H. Lee, S. Park, "Autonomic Computing Technologies for Cyber-Physical Systems," In Proc. International Conference on Advanced Communication Technology, pp.1009-1014, February 2010.
- [2] J.M. Park, S.J. Kang, I.G. Chun, and W.T. Kim "An Approach to Generating Goal Model for Cyber-Physical Systems," In Proc. International Symposium on Embedded Technology, Daegu, Korea, pp.23-24, May 2013.
- [3] I.G. Chun, J.M. Kim, H.Y. Lee, and W.T. Kim, "Faults and Adaptation Policy Modeling Method for Self-Adaptive Robots," Communications in Computer and Information Science, Vol. 150, pp.156-164, September 2011.
- [4] J.M. Park, H.S. Youn, and E.S. Lee "An automatic code generation for self-healing," Journal of Information Science and Engineering, vol. 25, pp.1753-1781, November 2009.
- [5] J.O. Kephart, and D.M.Chess "The vision of autonomic computing," IEEE Computer Society, vol.36, pp.41-50, January 2004.
- [6] R. sterriitt, D.F. Bantz, "Personal Autonomic Computing Reflex Reactions and Self-healing," IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics - PARTC: applications and reviews, Vol.36, No.3, pp, 219-228 May 2007.
- [7] R. sterriitt, D.F. Bantz, "Adaptive Service Framework," CISCO white paper, October 2003.
- [8] CORBA, <http://www.omg.org/spec/CORBA/>
- [9] OMG, <http://www.omg.org/>
- [10] JMS, <http://docs.oracle.com/javase/1.3/jms/tutorial/>
- [11] An introduction to Web Services, http://www.w3schools.com/webservices/ws_intro.asp
- [12] DDS, <http://portals.omg.org/dds/>
- [13] 전형국, 이수형 외, "DDS 미들웨어 표준 기술 동향," 주간 기술동향분석, 1456호, 7월 2010.
- [14] P. Koopman, "Elements of the Self-healing System Problem Space", In Proc. of ICSE WADS'03, March 2003.

- [15] Y. Kitamura, "A Model-based Diagnosis with Fault Event Models", In Proc. of Pacific Asian Conference on Expert Systems, pp.322-329, September 1997.

약 력



박 정 민

2003년 한국산업기술대학교 공학사
 2005년 성균관대학교 공학석사
 2009년 성균관대학교 공학박사
 2012년~현재 한국전자통신연구원(ETRI), 선임연구원
 관심분야: 사이버-물리 시스템, 자율컴퓨팅, 소프트웨어공학



강 성 주

2003년 한양대학교 공학사
 2005년 한양대학교 공학석사
 2010년 한국과학기술원, 카네기멜론대 공학석사
 현재 한국전자통신연구원(ETRI), 선임연구원
 관심분야: 사이버-물리 시스템, 자율제어, M&S



전 인 결

1996년 성균관대학교 공학사
 1998년 성균관대학교 공학석사
 2010년 성균관대학교 공학박사
 현재 한국전자통신연구원(ETRI), 선임연구원
 관심분야: 사이버-물리 시스템, 자율제어, M&S



김 원 태

1994년 한양대학교 공학사
 1996년 한양대학교 공학석사
 2000년 한양대학교 공학박사
 현재 한국전자통신연구원(ETRI), 책임연구원
 관심분야: 사이버-물리 시스템, 통신미들웨어, 자율제어, M&S