

고 신뢰 스마트팩토리를 위한 자율컴퓨팅 기술

박정민, 고동범, 김정준
한국산업기술대학교

요약

지능형 공장은 전통적인 제조분야에 정보통신기술(ICT, Information and Communication Technology)을 적용하는 것을 의미한다. 사이버-물리시스템, 사물인터넷과 같은 기반 기술들의 발전으로 지능형공장을 추구하는 스마트팩토리(smart factory)분야는 다양하고 복잡한 기능들로 인해 복잡성이 매우 크고, 문제 발생 시 이에 대응하는 것이 용이하지 않다. 따라서 본고에서는 스마트팩토리를 위한 제조설비의 고신뢰 자율컴퓨팅 기술에 대하여 살펴본다. 구체적으로는 1) 스마트팩토리를 위한 통신미들웨어 기술동향, 2) 전통적인 자율컴퓨팅 기술동향 3) 고 신뢰 스마트팩토리를 위한 자율컴퓨팅 요소기술에 대하여 설명한다.

I. 서론

최근 주요 국가산업들은 제품들의 성능, 품질에 대한 경쟁이 매우 치열하고, 노동집약적인 생산구조를 지식집약적인 창조경제구조로 발전시켜나가고 있다. 반도체, 자동차, 모바일 분야와 같은 우리나라 제조 산업들은 표준화된 통신기술들을 이용하여 고객들의 변화에 즉각 대응하고 다품종 대량생산을 위한 방안들을 마련하고 있다[1]. 이러한 환경에서 인터스트리4.0은 전통적인 제조 산업에 지능형공장을 추구하는 스마트팩토리로 진화하는 패러다임이라 할 수 있다.

〈그림 1〉과 같이 다양화되고 개인화되는 소비자 욕구로 인한 시장의 변화, 노동자들의 근로환경 개선을 위한 제조업환경 변화, 그리고 사이버-물리 시스템, 사물인터넷, 무선통신기술 등의 기술의 발전은 스마트팩토리와 같은 대규모 체계에서 복잡도가 매우 높아질 것이다.



그림 1. 사이버-물리시스템의 기술 적용 도메인

최근 기업들이 제공하는 통신, banking, 쇼핑 등과 같은 서비스들도 정보통신기술과 융합되어 개인 간의 상호작용이 없이도 조용하게 이루어지고 있다. 또한 이기종의 컴퓨팅 디바이스와 소프트웨어 그리고 통신방법 등이 매우 밀접하게 결합되어, 컴퓨팅 기술들은 분산 환경에서 서로 연동되어지고, 공통의 목적 또는 목표(goal)를 달성하는 복잡하고 다양한 대규모의 시스템(스마트팩토리)으로 진화될 것이다.

스마트팩토리와 같이 다양한 제조설비들이 상호 통신하며 네트워크를 이루어 다양한 공정을 수행하며 운영되는 경우에는 이전보다도 더 많은 오류 상황에 발생할 가능성이 매우 높다. 다양한 제조공정을 수행하는 제조설비와 통신네트워크 연계에 따라 시스템의 복잡도는 매우 높아졌고 이에 따라 예상치 못하는 오류나 상황이 발생할 가능성 역시 높아졌다[2].

특히, 정보통신기술이 융합된 복잡한 집합체인 사이버-물리 시스템, 사물인터넷 기술들의 발전으로 스마트팩토리의 구현이 촉진되고 있고, 보다 신뢰 가능한 구현을 위해서는 통신미들웨어/프로토콜, 자율컴퓨팅기술, 제조시뮬레이션(제품 또는 설비)과 같은 다양한 분야의 연구들이 필수적이다. 즉, 고 신뢰가 요구되는 스마트팩토리 환경을 보장하는 방법론이 반드시 필요하다. 스마트팩토리 분야에서의 신뢰성은 전통적인 방법으로 개발된 임베디드시스템들의 결합만으로는 보장될 수 없고, 운영 중에 발생하는 문제점을 해결하기 위한 기술의 개발이 필수적이다[3].

따라서 본고에서는 이러한 문제들을 해결하는 방법으로 고 신뢰 스마트팩토리를 위한 자율컴퓨팅 기술들을 설명한다. 만약 자율컴퓨팅 기술들이 스마트팩토리 분야에 적용이 된다면 운영 중에도 스스로를 관리할 수 있고, 필요한 경우 스마트팩토리 스스로 제조설비들을 재구성하고 업데이트하여 신뢰성 높은 제조 공정 수행이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스마트팩토리를 위한 통신미들웨어 기술 동향에 대하여 설명하고, 3장에서는 전통적인 자율컴퓨팅 기술동향을 살펴본다. 4장에서는 고 신뢰 스마트팩토리를 위한 자율컴퓨팅 요소 기술들에 대하여 설명한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 스마트팩토리를 위한 통신미들웨어 기술동향

컴퓨터 환경의 진화는 제조생산 과정에서도 다양한 제조설비와의 연동이 가능하게 되었다. 이로 인해 다양한 형태의 통신 방법이 출현되었고, 다양하게 통신 서비스들이 확장되어 가고 있다. 이러한 통신 서비스들은 제조사의 특성에 맞게 특화되고, 제조사의 종속적인 프로토콜을 사용하는 문제점이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 다양한 산업에 적용될 수 있는 표준화된 통신미들웨어 기술들이 개발 되었다. 이것은 기기들 간의 직접적인 데이터 교환을 배제하고 자율적이고 효율적인 데이터 통신을 제공한다.

통신미들웨어의 주요 핵심 기술은 데이터 중심의 고 신뢰 실시간 데이터 배포 기술이다. 즉, 다양한 제조사들에 의해서 만들어진 설비들이 통합 환경에서 제어/관리 관리되기 위해서는 표준화된 산업용 통신 프로토콜이 지원되어야 한다.

현재의 산업용 통신 프로토콜은 기존의 시리얼 통신에서 이더넷(Ethernet)기반의 통신 방식으로 진화하게 되었다. 이 과정에서 이더넷 통신 방식이 일원화 되고 기기들 간의 데이터 상호 호환성을 높이기 위해 다양한 국제 표준화 단체들에 의해서 산업용 통신 프로토콜 표준화 요구를 수렴하고 있다. 이러한 요구 사항을 적용하여 DDS(Data Distribution Service)와 같은 통신미들웨어와 OPC(OLE Process Control), MT-Connect 등의 통신 프로토콜들이 표준화되었다. 본 장에서는 DDS, OPC, MT-Connect에 대한 특징을 설명한다.

1)DDS[4]는 OMG(Object Management Group)에서 제안된 네트워크 통신미들웨어 표준이다. 이것은 확장성, 실시간성, 신뢰성, 고성능 및 상호 데이터 교환을 지원한다. 분산 환경을 위

한 데이터 중심의 발간자(Publishers)/구독자(Subscribers)와 관련된 프로그래밍 모델이 표준화 된 것이다. 복잡한 네트워크 프로그래밍을 단순화하기 위해서, DDS는 네트워크 통신미들웨어로써 노드(이기종의 임베디드장치)간의 데이터, 이벤트, 그리고 명령어를 주고받는 발간자/구독자 모델이 구현되었다. 발간자는 정보를 생성의 근간이 되는 토픽(Topic)을 생성하고, 데이터 샘플들이 발간되어지는 구조이다. 그리고 해당 토픽에 관심 있는 모든 구독자에게 데이터 샘플을 배포한다.

DDS는 메시지 어드레싱(Addressing), 데이터 마샬링(Marshalling), 디마샬링(Demarshalling), 배포, 흐름제어, 재시도 등을 관리한다. 또한, DDS는 메시지 기반의 비연결 지향 서비스의 특징을 가지며, 서비스에 대한 정보(위치, 시간, 동기화)와 관계없이 데이터에 대한 접근을 가능하게 해주는 실시간 통신 환경을 제공한다.

2)OPC[5]는 제조업의 자동화 분야에서 데이터를 안전하고 신뢰성 있게 교환하기 위한 산업 통신 프로토콜 표준이다. OPC는 제조사에 종속적인 감시시스템, 제어SW·HW에 존재했던 기존의 문제점들을 개선하기 위해 표준화 되었고, 마이크로소프트(사)의 OLE(Object Linking and Embedding), COM/DCOM(Component Object Model/Distributed Component Object Model)을 기반으로 데이터를 주고받는 서버와 클라이언트가 준수해야하는 사항들을 표준화 하였다. OPC는 OPC 데이터 접근을 위한 'OPC Data Access', OPC 경보 및 이벤트를 위한 'OPC Alarms and Events' 그리고 OPC 이력 데이터 접근을 위한 'OPC Historical Data Access'로 구분되어 진다.

그러나 OPC는 마이크로소프트(사)의 OLE, COM/DCOM 기술에 의존적이다. 따라서 OPC의 이러한 단점을 보완하기 위해 최근 새로운 표준인 OPC-UA(OLE for Process Control Unified Architecture)가 제시되었다[6]. OPC-UA는 보안(상호인증, 암호화) 및 데이터 모델링을 지원하는 통합 오픈 플랫폼으로써 확장성이 용이하여 활용 범위가 점진적으로 확대되고 있다.

3) MT-Connect의 필요성

위에서 언급된 것처럼 이 기종 기기들 간 상호 데이터 교환을 위해서 DDS, OPC, OPC-UA와 같은 통신미들웨어/프로토콜들이 개발되고 있다. 그러나 이기종의 기기 및 시스템들과의 상호 작용을 위해서는 단순한 데이터 교환/변환뿐만 아니라 좀 더 높은 수준의 상호운용성이 요구된다.

최근 산업 네트워크 환경이 폐쇄적인 구조에서 정보기술 관점의 서비스 지향적인 구조로 진화해 가고 있다. 공장 내부에서 폐쇄적인 방식으로 유통되었던 데이터가 전사적 가시성을 위해 외부로 개방되어가는 추세이다. 즉, 상호운용성의 필요가 더

속 증가하고 있는 것이다. 이러한 요구에 따라 ‘Agent/API’ 등을 활용한 통신/해석 기반의 산업용 통신프로토콜 표준이 MT-Connect이다. MT-Connect는 XML 메시지 형식과 RESTful 인터페이스 기반의 표준이다.

4)MT-Connect[7]는 제조설비와 응용프로그램 간의 데이터 교환을 위해 개발된 확장 가능한 경량 프로토콜이다. 활용분야는 산업 네트워크 환경에서 모니터링 및 데이터 분석을 위해 주로 활용되고 있다.

MT-Connect는 제조설비 데이터를 XML 형식으로 파싱하여 제공한다(HTTP 프로토콜을 기반).이기종간의 데이터를 교환함으로써 상호운용성이 매우 높아진다. 또한, RESTful 인터페이스 방식을 사용함으로써 상호 작용의 규모 확장성과 범용성을 높였다.

MT-Connect에 의해서 표현할 수 있는 데이터 유형은 3가지이다. 첫째로, 물리적인 기기의 속성 데이터(모델번호, 일련번호, 최대 속도, 기기 임계값 등) 둘째로, 기기가 실시간으로 측정정한 데이터, 마지막으로는 기기 자체의 실시간 데이터(현재 속도, 위치, 온도 등)이다.

MT-Connect 구조는 아래 <표 1>과 같이 8 가지 기본 요소들로 구성되어 있다.

표 1. MT-Connect 구조

요소	설명
Header	Protocol related information
Components	Building blocks of the device
Data Items	Description of the data available from the device
Streams	A set of Samples, Events, or Condition for components and devices
Assets	Something that is associated with the manufacturing process
Samples	A point-in-time measurement of a data item that is continuously changing.
Events	Discrete changes in state that can have no intermediate value.
Condition	A piece of information the device provides as an indicator of its health and ability to function

MT-Connect 내에는 실제 프로토콜 구현 및 XML 생성 등의 역할을 수행하는 ‘Agent’가 존재한다. 이 ‘Agent’는 큐(queue)를 통해 ‘Key/Value’ 형태로 데이터 저장 및 관리를 수행한다. <그림 2>는 Agent가 Unique Key를 이용하여 관리하는 것을 의미한다.

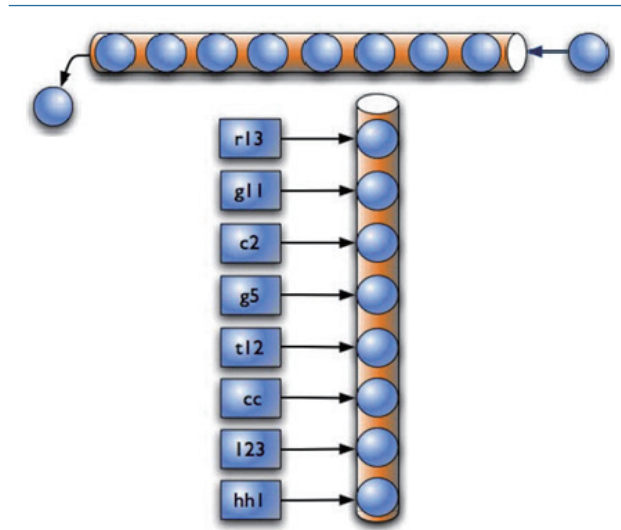


그림 2. MTConnect Agent의 데이터 저장 구조

MT-Connect의 Agent는 FIFO 방식으로 XML 메시지를 처리하며 큐에 저장된 데이터를 식별하기 위해 3가지의 요청(request)유형<표 2>와 MT-Connect의 응답(Reply)<표 3> XML 메시지의 주요 요소 3가지가 있다.

표 2. MT-Connect Agent의 요청 유형

유형	설명
Probe	To retrieve the components and the data items for the device.
Current	To retrieve a snapshot of the data item's most recent values or the state of the de-vice at a point in time.
Sample	To retrieve the Samples, Events, and Condition in time series.

표 3. MT-Connect 응답 XML 요소

요소	설명
MTConnectDevices	Contains information about each device served by this Agent and specifies the data items that are available.
MTConnectStreams	Contains a timeseries of Samples, Events, and Condition from devices and their components.
MTConnectError	Contains information about an error that occurred in processing the request.

최근 MT-Connect 기반 사이버-물리시스템(Cyber-Physical system, CPS)의 고신뢰성을 위한 방법론들이 개발되고 있으며, 제조, 국방, 항공 등의 도메인에서 사용되고 있다. 특히, MT-Connect 협회와 OPC 협의회는 각 조직에 의

해 유지되는 표준간의 상호 운용성을 보장하고 기존의 제조 데이터 교환 표준 및 구현 기술의 범위를 확장하기 위해 MT-Connect, OPC-UA Companion 표준을 추진하고 있어 앞으로 OPC-UA와 더불어 MT-Connect 활용이 더욱 확대될 것으로 보인다.

III. 전통적인 자율컴퓨팅 기술동향

전통적인 자율컴퓨팅 기술들은 신뢰성, 강건성, 가용성 확보를 위해 다음과 같은 요구사항들을 고려하고 있다.

- **모니터링:** 실행중인 시스템의 '오류'를 식별해야한다.
- **분석:** 식별된 오류의 유형을 분석하고, 문제의 심각성 정도를 분석하여 문제 해결 요청을 결정할 수 있어야 한다.
- **진단:** 문제의 원인을 진단할 수 있어야 하고, 진단에 따라 해결책을 제안할 수 있어야 한다.
- **전략:** 발생된 문제를 해결하기 위한 전략을 선택할 수 있어야 한다.
- **실행:** 실행중인 목표 관리 시스템의 구조와 행위를 동적으로 배치, 실행 할 수 있어야 한다.

위에 언급된 요구사항들을 기반으로 자율 컴퓨팅 기술은 시스템에서 발생시키는 오류들을 자동/자율적으로 제어되고 해결된다. 이러한 기술들은 인간의 간섭을 최소화해서 시스템의 상태를 스스로 관리하여 시스템 오류를 복구 할 수 있는 기술로써 사용되어져오고 있다.

전통적인 컴포넌트기반 자율제어 방법론[8]은 컴포넌트와 커넥터로 이루어진 컴포넌트 기반 시스템의 오류 탐지를 위한 자율제어 방법을 제안하였다. 자율제어를 위해 컴포넌트 내부에 컴포넌트 모니터를 설정하여 발생된 오류를 감지하는 특징을 가진다. 컴포넌트 모니터는 컴포넌트 내부의 오브젝트를 감시하고, 컴포넌트 사이에 있는 메시지 패싱 관계를 감시한다. 상태차트에 미리 작성되어 있는 상태정보를 비교하여 제약조건 위배 시 컴포넌트 관계를 재구성하는 전략을 실행한다. 이러한 방법론은 제조환경에서 운영되는 설비들의 메시지 전달 관계를 규정하고 발생하는 오류를 처리할 수 있는 장점이 있다. 그러나 제조설비와 통신프로토콜 그리고 서버사이드에서 발생하는 오류를 분석해야하고, 다양한 목적을 가진 제조공정을 분석하는데 많은 인력과 시간이 요구된다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 다양한 방법 중에 하나는 제조환경을 이해할 수 있는 관리영역, 즉 '목표모델'과 '오류모델'을 설계하는 것이 필요하다.

하트비트 프레임워크[9]는 컴포넌트의 통신환경을 기반으로 통신 시그널(I am alive)을 확인하고 관리 컴포넌트의 상태가

정상/비정상을 인지하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법론은 타이머와 하트비트 생성기를 기반으로 컴포넌트들의 정상동작을 확인하는 장점이 있다. 통신 신호의 무응답은 시스템 내부에 오류가 발생함을 나타낸다. 만약 하트비트 신호의 무응답인 경우, 문제 해결 전략으로는 리셋, 리스타트 전략을 가진다. 장점으로는 통신신호에 대한 응답시간을 테스트하여 컴포넌트 또는 시스템의 정상/비정상 상황 감지에 용이하다. 또한 자율제어를 위한 시스템 자원 소모량이 감소되는 장점이 있다. 그러나 컴포넌트의 내부 상태를 탐지하는 오류의 유형을 식별하기가 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 여러 가지 방법 중 하나로 '오류 모델링'반영이 필요하다.

오류이벤트기반의 자율제어 방법론[10]은 오류와 증상(symptom)을 추론할 수 있는 체인(chain)을 구성하여 오류 분석의 중요성을 강조하는 특징이 있다. 이 방법론은 관리되어야 하는 목표시스템의 정상 동작을 분석하여 발생 가능한 오류들을 추출하고 정의하여 자율제어를 위해 요구되는 데이터를 제공하는 장점이 있다. 그러나 이러한 방법론은 비정상적인 현상에 대한 오류의 부정확한 정의를 유발할 수 있다. 따라서 관리 목표에 맞는 오류 이벤트의 명확한 정의가 필요하다.

우리의 이전 연구인 고신뢰 사이버-물리시스템을 위한 자율제어방법론[11]은 자율제어 시스템 구성을 위해 지식베이스 구축에 관한 방법을 제안하였다. 이 방법론은 오류분석, 오류이벤트 정의, 오류모델링, 오류상태해석, 전략결정과 같은 지식베이스를 생성하는 것이다. 장점으로는 지식베이스의 구체적인 생성과정을 잘 설명하고 있다. 그러나 관리목표를 모델링한 목표모델과 연계된 오류의 분석 방법이 필요하다. 즉, 보다 진화된 자율제어방법론이 구현될 수 있다. 국내외적으로 전통적인 자율제어 연구가 진행되어 왔으나, 스마트팩토리 분야에서는 아직 연구 초기 단계이다.

IV. 고 신뢰 스마트팩토리를 위한 자율컴퓨팅 요소기술

우리나라 경제에서 높은 비중을 차지하는 제조업의 지속적인 성장을 위해 비용 절감과 오류 감소를 위한 스마트팩토리 구현 방안은 다양한 형태로 중요한 이슈가 되고 있다. 방대하고 복잡한 스마트팩토리 환경에서 자율제어 방법을 적용하기 위해서는 목표모델과 오류트리를 이용한 고 신뢰 자율제어 방안을 수립하는 것이다. 목표모델링 방법론은 방대한 목표를 추상화할 수 있기 때문에 전체적인 시스템의 목표 설계에 용이하며, 목표 모델을 통해 검출한 오류를 기반으로 오류 트리의 추론 및 진단

과정을 통해 시스템의 전략을 결정할 수 있다. 따라서 자율제어 요소 기술을 위해 '목표 모델링 방법론'과 '오류트리 기반의 자율제어 방법론'을 연계한 자율제어 엔진을 개발할 필요가 있다.

1. 자율제어 프로세스

〈그림 3〉은 목표모델과 오류트리를 연계한 자율제어 프로세스를 나타낸다. 목표 모델 제약조건 매핑, 목표 달성률 모니터링, 문제 인식 및 진단 요청, 문제 진단 및 전략 실행의 4단계 프로세스로 자율제어를 수행할 수 있도록 한다.

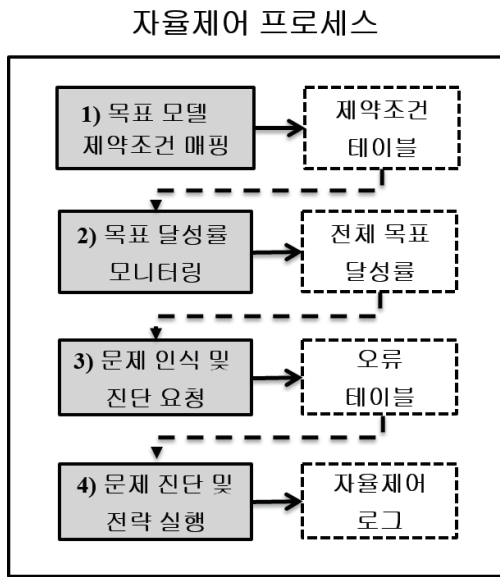


그림 3. 자율제어 프로세스

1) **목표 모델 제약조건 매핑**: 시스템의 오류를 평가하기 위해서는 〈그림 4〉처럼 목표에 제약조건(목표가 위배되었는지를 평가하는 기준)을 연결해야 한다. 현 단계에서는 추상화된 시스템의 목표에 제약조건을 연결을 통해 목표 달성도의 기초 모델이 된다.

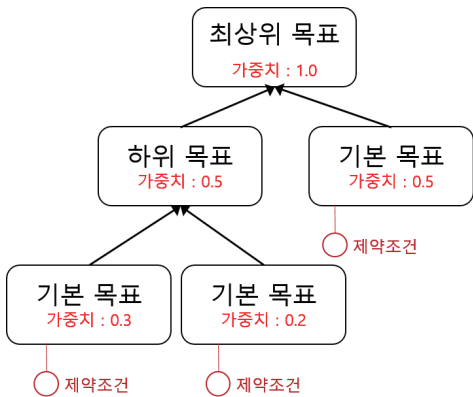


그림 4. 목표 모델

2) **목표 달성률 모니터링**: 제약조건이 매핑된 목표 모델을 통해 시스템의 전체 목표 달성률을 모니터링 한다. 목표 달성률이 기대치보다 낮은 경우 문제가 발생했다고 인식하며 다음 단계인 문제 인식 및 진단 요청 단계를 실행한다.

3) **문제 인식 및 진단 요청**: 현재 단계에서는 목표 달성률을 위배한 경우, 달성하지 못한 목표를 인식하기 위해 〈그림 5〉의 오류트리 기반으로 현재 상태를 진단, 원인을 추론한다. 〈표 4〉는 오류 테이블을 작성해 놓은 것이다.

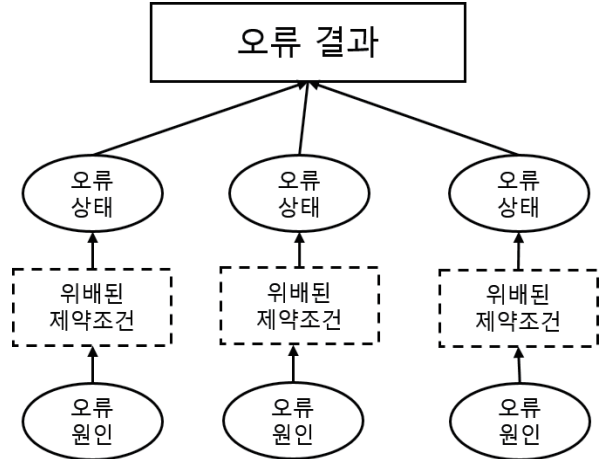


그림 5. 오류트리

표 4. 오류 테이블

오류원인	제약조건	현재 상태
오류의 원인	위배한 제약조건	현재 오류 상태

4) **문제 진단 및 전략 실행**: 오류 테이블을 통해 전략 실행 테이블에서 알맞은 전략을 결정하고 해당 전략을 실행한다. 〈표 5〉는 전략 실행 테이블을 나타낸다.

표 5. 전략 실행 테이블

오류원인	오류 식별자	실행 전략
위배한 제약조건	오류의 고유 식별자	오류 해결 전략

2. 자율제어 시스템 설계

〈그림 6〉은 고 신뢰 스마트팩토리를 위한 자율제어 시스템의 설계 구조를 나타낸다.

자율제어 시스템의 구조는 스마트팩토리에 설치되는 제조설비와 같은 관리자원을 포함하여, 적용할 타겟 시스템 위에 목표모델과 오류 트리를 기반으로 자율제어 프로세스를 수행하는 구조이다. MT-Connect, DDS, OPC 같은 통신 미들웨어/프로

토콜을 통해 설비 데이터를 실시간 수집하고, 목표 모델과 오류 트리를 설계할 수 있다. 또한 목표 상황에 맞는 가중치 설정과 목표모델의 재구성(reconfiguration)을 통해 자율제어의 성능과 신뢰도 향상에 기여할 수 있다.

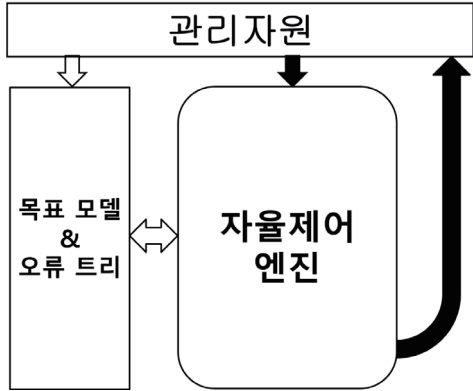


그림 6. 자율제어 시스템의 설계 구조

3. 고신뢰 스마트팩토리를 위한 네트워크 기반 자율 제어 방법 및 구조

지금까지의 논의를 바탕으로 네트워크 기반 고신뢰 사이버-물리시스템의 자율제어 시스템의 방법과 구조를 나타내면 <그림 7>, <그림 8>과 같다.

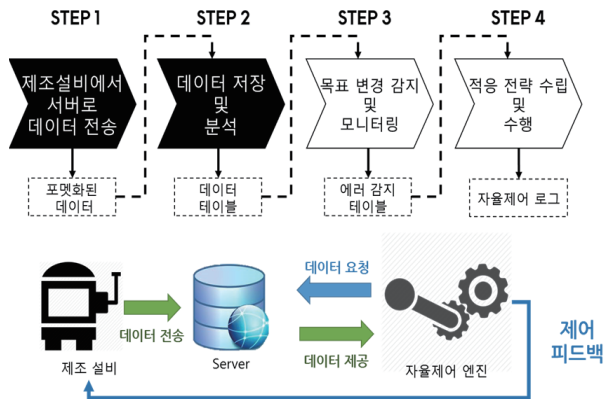


그림 7. 고신뢰 스마트팩토리를 위한 자율제어 방법

<그림 7>처럼 고 신뢰 스마트팩토리를 위한 네트워크기반 자율제어를 위해서 우리가 고민해야 할 것은 첫째로 우리의 관리 영역인 제조설비 데이터를 어떻게 서버로 전송하며 수집할 것인가? 둘째로 데이터 저장과 분석 방법은 어떻게 할 것인가? 셋째로 관리 목표를 기반으로 어떻게 오류를 탐지할 것인가? 마지막으로 관리 목표 위배 시 어떻게 적용 전략 수립과 수립된 전략을 실행시킬 것인가?

이에 대한 해결책으로 <그림 8>을 살펴보면 자율제어를 위해 관리 대상이 되는 제조설비들이 존재하고, 특화된 제조설비 각각의 데이터를 저장하는 제조설비DB가 존재한다. 만약 데이터 수집 서버와 자율제어엔진 그리고 응용프로그램들이 제조설비 데이터를 요청하면, 에이전트는 통신미들웨어/프로토콜을 통해서 요청에 대한 응답을 XML 데이터 형식 기반으로 수행한다. 고 신뢰 스마트팩토리를 위해서는 모든 요소기술들이 조화롭게 운영되어야 하며 표준 통신기술들의 발전으로 이를 지원할 수 있다.

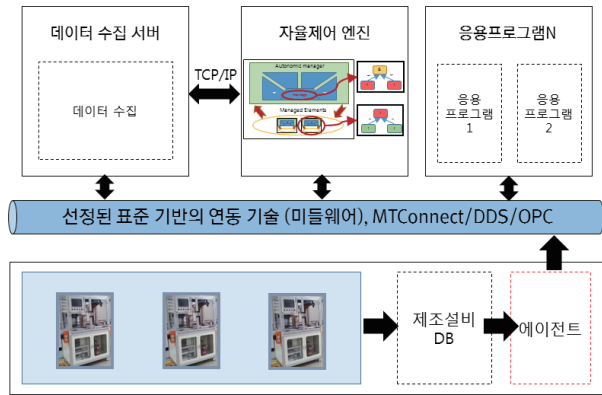


그림 8. 고신뢰 스마트팩토리를 위한 네트워크 기반 자율제어 구조

V. 결론

본고에서는 고 신뢰 스마트팩토리를 위한 통신기술동향, 전통적 자율제어 기술동향, 그리고 필요한 자율제어의 요소 기술들에 대하여 전체적으로 살펴보았다. 향후 다양한 연구 분야가 도출될 것이며, 스마트팩토리의 고 신뢰성을 보다 심도 있게 기여하리라 기대한다.

Acknowledgement

※본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.
[R-20150505-000691, 가상-實제조설비 연동형 IoT기반 CPS플랫폼 기술 개발]

참고 문헌

- [1] 박형욱, "스마트팩토리와 연관된 생산제조기술 동향", 한국통신학회지(정보와통신) 제33권 제1호, pp.24-29, 1월 2016.
- [2] J.M. Park, Seunghwa Lee, Taebok Yoon, Jinmyoung Kim, "An Autonomic control system for high-reliable CPS," Journal of Cluster Computing, Volume18, Issue 2, pp.587-598, June 2015.
- [3] 박정민, 강성주, 전인걸, 김원태, "네트워크 기반 자율제어 CPS(Cyber-Physical Systems)기술" 한국통신학회지(정보와통신) 제30권 제10호, pp.86-92, 10월 2013.
- [4] DDS, <http://portals.omg.org/dds/>
- [5] OPC, <http://opcfoundation.org>
- [6] OPC-UA, <http://www.opcua.us/>
- [7] MT-Connect, <http://www.mtconnect.org>
- [8] Michael E. Shin, "Self-healing components in robust software architecture for concurrent and distributed systems," Journal of Computer Programming, Volume57, pp.27-44, January 2015.
- [9] R. sterritt, 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.
- [10] Y. Kitamura, "A Model-based Diagnosis with Fault Event Models", In Proc. of Pacific Asian Conference on Expert Systems, pp.322-329, September 1997.
- [11] Dongbeom Ko, Teayoung Kim, Jeongmin Park, "An approach to applying goal model and fault tree for autonomic control", Contemporary Engineering Sciences, Vol. 9, pp.843-851, August 2016.

약 력



박 정 민

2003년 한국산업기술대학교 공학사
2005년 성균관대학교 공학석사
2009년 성균관대학교 공학박사
2014년~현재 한국산업기술대학교 조교수
관심분야: 자율컴퓨팅, 자기적응SW,
사이버-물리시스템, 소프트웨어공학



고 동 범

2016년 한국산업기술대학교 공학사
2016년~현재 한국산업기술대학교 석사과정
관심분야: 자율컴퓨팅, 자기적응SW,
소프트웨어공학 등



김 정 준

2003년 건국대학교 공학사
2005년 건국대학교 공학석사
2010년 건국대학교 공학박사
2016년~현재 한국산업기술대학교 컴퓨터공학부
조교수
관심분야: 데이터베이스, 빅데이터, USN, 자율제어 등