

반도체 공정의 위험요소 판단을 위한 온톨로지 기반의 상황인지 시스템 설계

A Design of the Ontology-based Situation Recognition System to Detect Risk Factors in a Semiconductor Manufacturing Process

백승민*, 전민호*, 오창현*⁰

Seung-Min Baek*, Min-Ho Jeon*, and Chang-Heon Oh*⁰

요 약

현재 구축되어 있는 반도체 공정에서의 상태감시 시스템은 센서 데이터를 수동으로 수집하는 방식으로써 복합 장애 검출이나 실시간 감시에서 한계가 존재한다. 본 논문에서는 영역 온톨로지를 구성하여 시간에 따른 관계망을 형성하는 상황인지 알고리즘을 설계하고 이를 통해 반도체 공정에서 위험요소가 발견되는 부분에 대해서 이벤트를 생성하여 사용자에게 서비스하는 시스템을 제안하며, 이를 구현하기 위해 상황 추론을 위한 다중 센서 노드를 설계하고 이를 실험하였다. 실험 결과, 다수의 수집된 데이터에서 시간에 대한 관계가 형성된 내용에 대해서는 시간적 규칙추론이 적용된 이벤트가 발생하였으며 오작동 및 외부의 시간적 요인에서 발생하는 이벤트는 Log로만 데이터를 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

The current state monitoring system at a semiconductor manufacturing process is based on the manually collected sensor data, which involves limitations when it comes to complex malfunction detection and real time monitoring. This study aims to design a situation recognition algorithm to form a network over time by creating a domain ontology and to suggest a system to provide users with services by generating events upon finding risk factors in the semiconductor process. To this end, a multiple sensor node for situational inference was designed and tested. As a result of the experiment, events to which the rule of time inference was applied occurred for the contents formed over time with regard to a quantity of collected data while the events that occurred with regard to malfunction and external time factors provided log data only.

Key words : Semiconductor Manufacturing Process, Ontology, Context-Awareness, Time Inference

I. 서 론

반도체 공정은 매우 미세하며, 위험한 물질을 많이 내포하고 있다. 때문에 조금의 균열이나 외부에서

* 한국기술교육대학교 (Department of Information Technology Engineering, Korea University of Technology and Education)

· 제1저자 (First Author) : 백승민(Seung-Min Baek)

0 교신저자 (Corresponding Author) : 오창현(Chang-Heon Oh, tel : +82-10-7655-2953, email : choh@koreatech.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 11월 15일 · 심사(수정)일자 : 2013년 11월 15일 (수정일자 : 2013년 12월 16일) · 게재일자 : 2013년 12월 30일

http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.6.804

오는 진동이 발생하게 되면 가스유출 및 반도체 불량 생산 등의 문제가 발생할 수 있다[1]. 이러한 이유로 현재 우리나라의 반도체 공정에서는 먼지 및 이상 온도 검출 등에 대한 상태감시 시스템이 구축되어 있지만 근무자가 PDA(personal digital assistants) 형태의 단말기를 이용하여 각각의 센서마다 직접 연결하여 기록된 정보를 수동으로 수집하는 상태감시 시스템이므로 복잡적 요인의 장애나 이상 징후를 실시간으로 감시하는데 한계가 존재한다[2]. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 환경에 대한 정확한 정보 수집이 선행되어야 하고 수집된 실제 환경의 상황을 인지하여 서비스를 제공해야 한다. 본 논문에서는 영역 온톨로지를 구성하여 시간에 따른 관계망을 형성하는 상황인지 알고리즘과 시스템을 구축할 것이다.

본 논문의 구성은 II장에서는 온톨로지 기반의 상황인지 알고리즘과 상황추론을 위해 설계한 시스템에 대해 설명하고 III장에서는 본 논문에서 제안한 온톨로지 기반의 상황인지 시스템에 대해 검증하고 평가를 한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 반도체 공정의 위험요소 판단을 위한 온톨로지 기반의 상황인지 시스템

2-1 온톨로지 기반의 상황인지 알고리즘

온톨로지는 전산학과 정보 과학에서, 특정한 영역을 표현하는 데이터 모델로서 특정한 영역(Domain)에 속하는 개념과, 개념 사이의 관계를 기술하는 정형 어휘의 집합으로 정의된다[3]. 온톨로지는 구축 범위에 따라 일반온톨로지(generic or common-sense ontology)와 영역온톨로지(domain ontology)로 구분되는데 일반온톨로지는 우리 주위의 세상을 구성하는 일반적 개념들을 대상으로 구축한 온톨로지이며, 공간, 상태, 사건, 시간과 같은 일반적이고 포괄적인 지식에 대하여 의미론적 연과 관계를 구축한 개념의 집합체이다. 영역온톨로지는 특정 영역에서 유효한 지식들을 대상으로 구축한 온톨로지로서, 구체적인

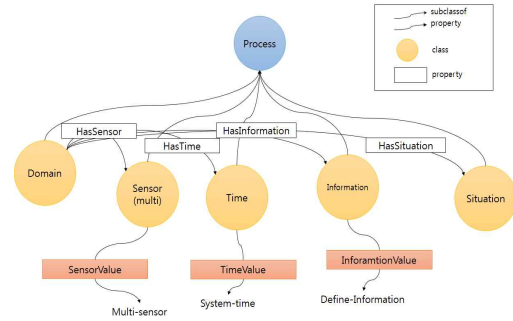


그림 1. 반도체 공정의 위험요소 판단을 위한 온톨로지 모델

Fig. 1. Ontology Model for risk factors judgement of semiconductor process.

사물 혹은 특정 학문영역과 같은 제한된 영역에서 의미론적 연관관계를 구축한 개념의 집합체라 할 수 있다. 본 논문에서 다루는 영역은 반도체 공정이라는 공간 안에서 인과관계(cause)가 발생하는 조건의 데이터에 대해 상황을 인지할 것이기 때문에 영역온톨로지를 기반으로 상황인지 알고리즘을 설계 할 것이다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 반도체 공정의 위험요소를 판단하기 위한 온톨로지 모델이다. 온톨로지는 도메인(domain)과 센서(sensor), 정보(information), 상황(situation)에 대한 클래스로 구성되어 있다. 도메인은 상황이 발생하는 시점 및 이벤트를 표현하며, 상태 정보에 대한 단서를 제공하는 센서와 상황인지 이벤트를 위해 제공되는 환경 정보를 제공하는 정보 클래스를 가지고 있다. 마지막으로 상황 클래스는 도메인에서 발생할 수 있는 직·간접적인 모든 상황을 의미한다.

일반적으로 온톨로지는 클래스(class), 인스턴스(instance), 관계(property), 속성(relation)으로 구분할 수 있다. 클래스는 일반적으로 우리가 사물이나 개념 등에 붙이는 이름이라고 정의할 수 있으며, 인스턴스는 사물이나 개념의 구체적인 사건이나, 실질적인 형태로 나타낸다[4]. 이와 같은 클래스와 인스턴스의 구분은 응용과 사용목적에 따라서 매우 달라질 수 있다. 즉 같은 표현의 개체가 어떠한 경우에는 클래스가 되었다가 다른 경우에는 인스턴스가 될 수 있다. 또한 속성은 클래스나 인스턴스의 특정한 성질, 성향을 나타내기 위하여 클래스나 인스턴스를 특정한 값과 연결시킨 것이다. 마지막으로 관계는 클래스,

인스턴트간에 존재하는 관계들을 칭하며, 일반적으로 taxonomic relation과 non-taxonomic relation으로 구분할 수 있다. Taxonomic relation은 클래스, 인스턴스들의 개념분류를 위하여 보다 폭넓은 개념과 구체적인 개념들로 구분하여 계층적으로 표현하는 관계이다. 예를 들어, “사람은 동물이다”와 같은 개념간 포함관계를 나타내기 위한 ‘is A’ 관계가 그것이다. 즉, Non-taxonomic relation은 taxonomic relation이 아닌 관계를 말하며, 일반적으로 관계와 속성은 굳이 구분하여 칭하지 않은 경우가 많다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 영역온톨로지에 이어 관계가 ‘cause’인 인과관계를 지니게 된다. 그 이유는 특정 센서에서 들어온 값이 사용자가 임의로 정의한 데이터와 비교하여 그 데이터가 넘었을 때 시간차이로 발생하는 다른 센서의 수집 값에 인과관계를 더하여 이벤트를 출력하기 때문이다.

그림 1에서 제시한 모델을 이용하여 상황을 추론하기 위해 온톨로지의 클래스나, 개체의 정보 곧 인스턴스 혹은 속성들간의 관계를 통해 규칙을 SWRL(Semantic Web Rule Language)로 정의하였다[5, 6].

표 1. 상황표현을 위한 SWRL 작성

Table 1. SWRL for the situation expression.

Domain(?a) ^ Sensor(?s) ^ Information(?i) hasSensor(?a, ?s) ^ hasInformation(?a, ?i) sensorValue(?st, ?curTemp) ^ infoValue(?it, ?expectTemp) ^ sensorValue(?sg, ?curGas) ^ infoValue(?ig, ?expectGas) sensorValue(?sa, cur3Ax) ^ infoValue(?ia, ?expect3Ax) ^ sensorValue(?sp, curPress) ^ infoValue(?ip, ?expect3Ax) ^ sensorValue(?tt, curTime) ^ infoValue(?it, ?expectTime) ^ swrlb:greaterThan(?curTemp, ?expectTemp) → hasSituation(?a, needtoCheckTime) swrlb:greaterThan(?curGas, ?expectGas) ^ swrlb:greaterThanORPress(?curPress, ?expectPress) ^ swrlb:greaterThanOR3Ax(?cur3 Ax, ?expect3Ax) ⇒ hasSituation(?a, needToSendMessage)

표1에서 제시한 내용을 설명하게 되면 도메인 a와 센서 s, 정보 i가 존재한다.

도메인 a는 센서 s와 정보 i를 가지고 있다. 센서 st는 현재온도의 정보를 가지고 있으며, 정보it는 요구온도 혹은 정의된 온도를 가지고 있다. 센서 sg는 현재가스의 정보를 가지고 있으며, 정보ig는 요구가스수치 혹은 정의된 가스수치를 가지고 있다. 그리고 센서 sa는 현재기울기 또는 충격의 정보를 가지고 있으며, 정보ia는 요구 기울기 및 충격의 양을 나타내는 양을 가지고 있으며, 센서 sp는 현재압력 정보를 가지고 있으며, 정보ip는 요구압력정보를 가지고 있다. 마지막으로 시간을 측정하는 센서 tt는 시간의 정보를 가지고 있으며, it는 요구하는 시간의 정보를 가지고 있다. 만약 온도가 요구온도보다 높다면 1차적인 상황을 발생시키며, 시간 t이내의 시간동안 가스, 압력, 기울기 등의 정보를 요구정보와 비교하여 4가지 중 2가지가(OR 연산) 요구치보다 높다면 도메인은 메시지를 전송하는 상황을 가지게 된다. 이러한 상황을 시간 t를 중심으로 SWRL 규칙 정의를 통해 반도체 공정 외부로 부터 발생하는 다양한 상황을 정의할 수 있으며, 감시할 수 있게 된다.

2-2 상황 추론을 위한 정보 획득 시스템 설계

반도체 공정의 상황인지를 위해서는 환경 정보의 실제 값을 획득해야 한다. 반도체 공정의 정보를 획득할 정보원은 크게 센서와 사용자가 정의한 정보이다. 사용자가 정의한 정보는 매번, 틀릴 수 있으므로 각 사용자가 정의할 때마다 ID값을 이용하여 Log 파일을 생성하고 ID의 level을 통해 데이터를 변경할 수 있게 하였다.

또한 반도체 공정의 상황을 인지하기 위한 시스템은 장비에 장애가 될 수 있는 외부 환경 요인들을 실시간으로 감시하고 복합적인 원인에 의한 문제점이 발생했을 때 다양한 원인을 파악할 수 있어야하기 때문에 4개의 센서가 장착된 센서 노드를 반도체 장비 외부 및 공정룸 내부에 배치하여 순간적으로 발생하는 장비의 불안정한 환경으로부터 안정적인 반도체 공정이 이루어 질 수 있도록 하였다. 그림 2는 반도체 공정의 위험요소 판단을 위해 설치될 무선 다중 센서 노드의 위치 및 구성을 나타낸 그림이다.

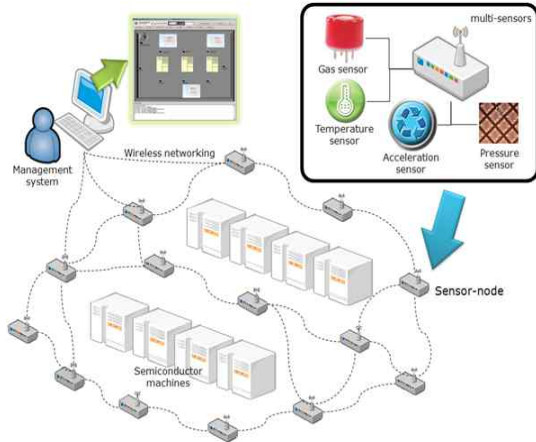


그림 2. 반도체 공정의 상태 감시를 위한 무선 다중 센서 노드
 Fig. 2. Wireless multiple sensor node for status monitoring of semiconductor process.

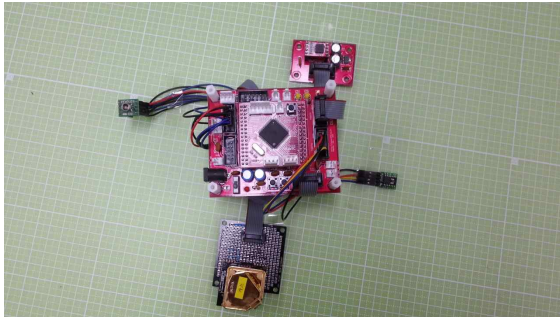


그림 3. 데이터 수집을 위한 다중 센서 보드
 Fig. 3. Multiple sensor board for data collection.

다중 센서 노드는 그림 3과 같이 가스, 온도, 압력, 기울기 센서가 부착되어있으며, 값을 입력받으면 서버로 데이터를 전송하게 된다. 본 논문에서 구성되는 환경에 사용되는 센서로 온도센서는 비접촉식 적외선 온도센서인 Chipcap-D/Module을 사용하였고 온도 정보를 10 bit로 출력하여 0~100 °C까지 측정가능하고 오차범위는 ±0.2이다. 압력 센서는 SMBA-1000을 사용하였으며 현재 온도와 대기 압력을 측정하여 정밀한 대기 압력과 현재 고도를 계산할 수 있는 센서이다. 기울기를 측정하기 위해서 3축 가속도 센서를 사용하였다. 3축가속도 센서의 모델명은 AM-3AXIS-P이며 X,Y,Z방향의 가속도와 각 방향의 기울기를 측정한다. 저 전력을 사용하는 센서로 출력 값이 아날로그로 출력이 된다. 따라서 ADC(analog/digital converter)를 구현해야 한다. 가스 센서는 S-100으로 NDIR(non- dispersive infrared)방식

으로 이산화탄소의 농도를 측정한다. 이 센서는 0~50 °C의 온도에서 동작 가능하며 ±30 ppm, ±5 %의 정확도를 갖는 센서를 사용하였다.

2-3 상황추론엔진 및 시스템 설계

상황인지 시스템은 환경 정보를 모델링한 온톨로지와 결과를 추론하고 서비스하는 시스템으로 구성 되어있다. 그림 4는 상황인지 미들웨어의 구성과 역할을 아키텍처 형태로 표현한 것이다. 최상단에 사용자 인터페이스와 결과를 보고 및 서비스하는 계층이 존재하며, 하위에 기초 온톨로지를 이용한 상황 정보 모델링 계층, 온톨로지 기반 추론 계층, 반도체 공정에서 수집하는 각각의 정보 데이터와 사용자가 값을 정의한 데이터를 매핑하는 부분 그리고 연결과 정보 수집을 담당하는 계층으로 구성되어 있다.

실제 논문에서는 C#을 활용하여 온톨로지 기반의 서비스 시스템을 구성하기 때문에 현재 제공되고 있는 Open API(Application Program Interface)의 활용은 불가능하다. 그 이유는 다수의 연구 및 온톨로지 연구된 다양한 결과물 자체가 웹기반이기 때문에 시스템에서 웹에 대한 표현을 할 수 없고 목적 또한 다르며, 기존의 온톨로지 관련 논문들은 검색어에 대한 추론일 뿐 실제 데이터에 대한 상황을 추론한 것이 아니기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 표 2와 같은 시스템에 맞는 추론 엔진을 사용하였다.

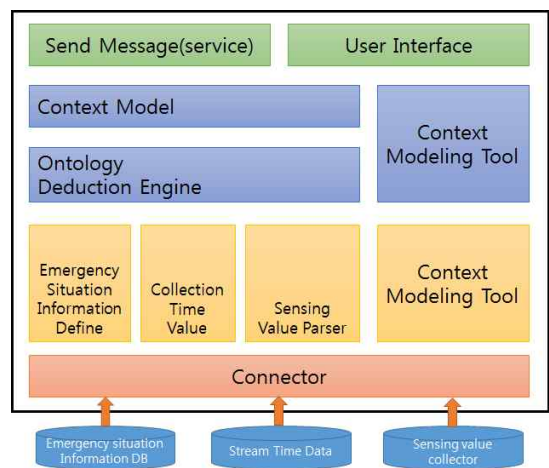


그림 4. 온톨로지 기반 상황인지 시스템 아키텍처
 Fig. 4. System architecture of context-aware based on ontology.

표 2. 추론 규칙 및 정의

Table 2. Reasoning Rule and define.

	규칙 내용	비고
기본 추론	각 센서값들의 임계치 기반 규칙	센서값 비교
일반적 규칙 추론	반도체 공정에서 발생하는 문제 감시 규칙	기울임, 가스누출
이벤트 및 시간적 규칙 추론	반도체 공정 관리 규칙	이벤트

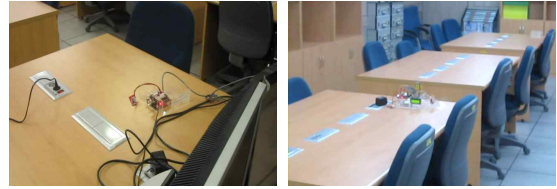


그림 5. 시연을 위한 테스트 베드 구축
Fig. 5. Build in test bed for preview.

III. 검증 및 평가

본 논문에서는 온톨로지 기반의 상황인지 시스템은 반도체 공정에서 다중 센서 보드를 통해 수집되는 정보를 이용하여 반도체 공정의 상황을 추론하여 반도체 공정에서 위험요소가 발견되는 부분에 대해서 이벤트를 생성, 사용자에게 서비스되는 시스템을 제안하였다. 이를 검증하기 위해 상황인지 미들웨어가 실제 사례에서 요구되는 다양한 규칙을 실제로 추론 가능한지를 확인할 필요가 있다. 표 3은 위의 규칙을 통해 이벤트에서 감지하는 내용을 검증한 것이다. 그림 5는 시스템의 평가를 위한 환경구성을 나타낸다. 실제 반도체 공정에 설치가 불가능하기 때문에 실내의 한 장소에 실험을 위한 멀티 센서 모듈을 설치하여 데이터를 수집하였다.

그림 6은 가상의 데이터를 삽입하여 출력한 모니터링 시스템, 그림 7은 각각의 상황에 따라 값을 입력, 이벤트가 발생한 메시지를 보여주는 그림으로, 검증 실험 결과에 따라 각각의 데이터가 발생하는 것을 보여준다.

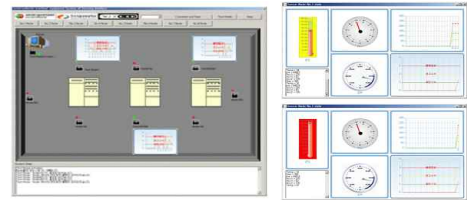


그림 6. 가상의 센싱정보를 이용한 모니터링 시스템
Fig. 6. Monitoring System using the virtual sensing data.

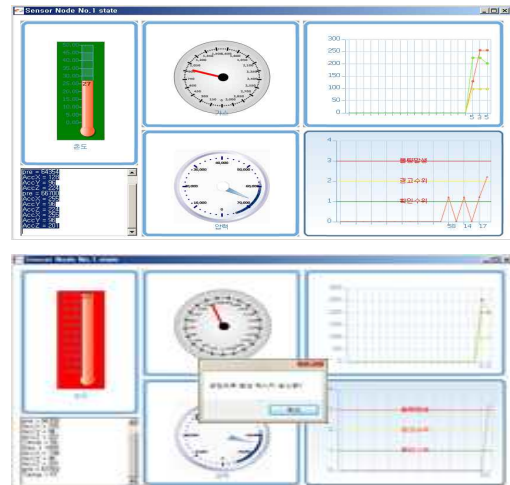


그림 7. 정보 및 이벤트 확인을 위한 모니터링 시스템
Fig. 7. Monitoring System for information and event.

표 3. 검증 실험 결과

Table 3. Result of verified test

	규칙	이용정보	결과
기본 추론	각 센싱정보와 임계치 비교	센서 정보, 정의된 정보	추론가능
일반적 규칙 추론	센싱 정보의 균일성 감시	센서 정보	추론가능
	센서 오작동 감시	센서 정보 시간 정보	추론가능
	공정 내 작업을 고려한 감시	센서 정보, 정의된 정보	추론가능
이벤트 및 시간적 규칙 추론	불일치 시 타 센싱 정보 감시	센서 정보, 시간 정보	추론가능
	상황의 지속성 감시	센서 정보, 시간 정보	추론가능
	이벤트 처리 감시	센서 정보, 정의된 정보, 시간정보	추론가능

IV. 결 론

반도체 공정은 매우 미세하며, 위험한 물질을 많이 내포하고 있다. 때문에 조금의 균열이나 외부에서 오는 진동이 발생하게 되면 가스유출 및 반도체 불량 생산 등의 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 상황을 각 상황별로 인지하고 이벤트 발생시키기 위한 반도체 공정의 위험요소 판단을 위한 온톨로지 기반의 상황인지 시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템은 온톨로지 모델, 모델을 기반으로 한 미들웨어 및 서비스 제공시스템으로 구성된다. 제안한 시스템을 평가하기 위해 실내에 테스트 베드를 구축하고 각각의 센서에 데이터값을 삽입 또는 가상의 데이터를 프로그램 내부로 삽입시키는 실험을 한 결과, 다수의 수집된 데이터에서 시간에 대한 관계가 형성된 내용에 대해서는 시간적 규칙추론이 적용된 이벤트가 발생하였으며, 오작동 및 외부의 시간적 요인에서 발생하는 이벤트는 Log로만 데이터를 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

Reference

- [1] D. W. Park, H. J. Byun, S. J. Choi, J. Y. Jeong, C. S. Yoon, C. N. Kim, K. C. Ha and D. Y. Park, "Review on Potential Risk Factors in Wafer Fabrication Process of Semiconductor Industry", *Journal of the Korean Society of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 23, no. 3, pp. 333-342, Sep 2011.
- [2] M. H. Jeon, C. G. Kang, S. H. Jeong, and C. H. Oh, "Design of Context-Aware System for Status Monitoring of Semiconductor Equipment", *Journal of the Korea Navigation Institute*, vol. 14, no. 3, pp. 432-438, Jun 2010.
- [3] Y. W. Lee, C. Y. Ku, J. M. Choi, "Data Modeling and Ontology Building for an Integrated GIS Database", *Journal of the Korean Cartographic Association*, vol. 10, no. 2, pp. 129-137, Dec 2010.
- [4] Ye, J., L. Coyle, S. Dobson, and P. Nixon, "Ontology-based models in pervasive computing systems", *The Knowledge Engineering Review*, vol. 22, no. 4, pp. 315-347, Dec 2007.

- [5] Ian Horrocks, Peter F. Patel-Schneider, Harold Boley, Said Tabet, Benjamin Grosz, and Mike Dean, "SWRL : A semantic web rule language combining OWL and RuleML", *W3C Member submission*, May 2004.
- [6] N. Shadbolt, T. Berners-Lee and W. Hall, "The semantic web revisited", *Intelligent Systems*, vol. 21, pp. 96-101, Jun 2006.

백 승 민 (Seung-min Baek)



2013년 2월 : 한국기술교육대학교
정보통신공학과 (공학사)
2013월 3월 ~ 현재 : 한국기술교육
대학교 전기전자통신공학부 석사과정
관심분야 : 무선통신, 무선측위기술,
상황인지, IoT

전 민 호 (Min-Ho Jeon)



2009년 2월 : 극동대학교 게임디지털
컨텐츠학과 (공학사)
2011월 8월 : 한국기술교육대학교
전기전자통신공학과 (공학석사)
2011월 9월 ~ 현재: 한국기술교육대학교
전기전자통신공학과 (박사과정)
관심분야 : 무선통신, 무선센서네트워크,
Big Data, IoT, 상황인지

오 창 현 (Chang-Heon Oh)



1988년 2월 : 한국항공대학교
항공통신공학과 (공학사)
1990년 2월 : 한국항공대학교
대학원항공통신정보공학과 (공학석사)
1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원
항공전자공학과 (공학박사)
1990년 2월~1993년 8월: 한진전자(주)

기술연구소 전임연구원

1993년 10월~1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀
선임연구원

1999년 2월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수
2006년 8월~2007년 7월 방문교수(University of Wisconsin-Madison)
관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR