

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.263>

IIBC 2017-2-38

목표모델의 확률적 평가에 관한 연구

Research on Probabilistic Evaluation of Goal Model

김태영*, 고동범*, 김정준**, 정성택**, 박정민***

Taeyoung Kim*, Dongbeom Ko*, Jeongjoon Kim**,
Sungtaek Chung**, Jeongmin Park***

요약 '목표모델'은 대규모 시스템의 관리에 인간의 개입을 최소화하기 위한 대안으로 제시된 '자율제어 시스템'의 지식 베이스이다. '자율제어 시스템'은 '목표모델'을 기반으로 '자율제어'의 네 단계인 '모니터링-분석-계획-실행'을 수행하기 때문에 대상 시스템의 '목표모델' 달성 비율을 정량화할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 '목표모델'의 달성 비율을 정량화하기 위한 '목표모델의 확률적 평가'를 나타낸다. 평가는 '목표 모델링 및 가중치 부여', '목표모델 모니터링', '목표모델 평가 및 분석' 총 3단계로 구성되어 있다. 연구를 통해 '자율제어 엔진'에 지식 베이스를 제공하고, 가중치를 적용한 '목표모델'을 평가함으로써 시스템의 신뢰성 향상이 가능하다. 사례연구로써 'Smart IoT Kit'에 '목표모델'을 만들어 적용하여 제안 연구에 유효성을 입증한다.

Abstract 'Goal Model' is core knowledge of 'Autonomic Control System' suggested to minimize human interference in system management. 'Autonomic Control System' performs 'Monitoring-Analysis-Plan-Execution', that is the four step of 'Autonomic Control', based on 'Goal Model'. Therefore, it is necessary to quantify achievement ratio of 'Goal Model' of target system. Thus, this paper present 'Probabilistic Evaluation of Goal Model' for methodology how to quantify achievement ratio of 'Goal Model'. It comprises 3-steps including 'Goal modeling and weighting', 'Goal model monitoring', 'Goal model evaluation and analysis'. Through these research, we provide core knowledge for 'Autonomic Control system' and it is possible to increase the reliability of system by evaluating 'Goal model' with applying weight. As case study, we apply 'Goal model' to a 'Smart IoT Kit' and we demonstrate the validity of the suggested research.

Key Words : Goal Model, Autonomic System, Evaluation

1. 서론

대한민국을 포함한 세계 각국이 소품종 대량생산에서 다품종 대량생산으로의 생산 패러다임 변화에 맞춰 제조

업 경쟁력 향상을 위해 제조업 혁신 3.0(대한민국), Industry 4.0(독일), Advanced Manufacturing 2.0(미국), Made In China 025(중국), ESPRI(유럽), 지능적 제조시스템(일본) 등 다양한 정책들을 추진하고 있다. 대한민국

*준회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터공학전공

**정회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과

***정회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과(교신저자)

접수일자: 2016년 12월 14일, 수정완료: 2017년 3월 1일

게재확정일자: 2017년 4월 7일

Received: 14 December, 2016 / Revised: 1 March, 2017 /

Accepted: 7 April, 2017

***Corresponding Author: jmpark@kpu.ac.kr

Dept. of Computer Engineering, Korea Polytechnic University, Korea

도 정책의 일환으로 중소제조업 스마트공장화를 추진하고 있다. 스마트공장화의 지향점은 핵심 기술인 IIoT(Industrial IoT)와 CPS(Cyber Physical System) 기술을 기반으로 제조단계의 자동화, 정보화, 실시간 처리와 설비, 장치, 기기 등의 지능화, 모듈단위의 유연 제조와 분산 자율제어를 통한 가변적 생산 시스템의 연동체계 구축으로 요약된다^[1,16,17].

스마트공장은 CPS를 제조업 도메인에 적용한 하나의 예이다. 스마트공장에서 사람의 역할을 대신하여 관리하는 것이 자율제어 시스템이고, 자율제어 시스템은 스마트공장이 원활하게 작동하는지 모니터링하고 문제가 발생하면 문제를 분석하여 적용 전략과 실행을 담당한다. 자율제어 시스템의 작업에 지식 베이스(Knowledge base) 활용하기 위한 것이 '목표모델'이다[2]. '목표모델'이 존재해야 시스템의 무엇을 모니터링 할 것이며, 어떤 상황에서 문제가 발생하였는지 등을 판단할 수 있기 때문이다. 따라서 '목표모델' 평가 방법에 대한 연구는 필요하다.

본 논문에서는 하나의 설비, 즉 단일 객체에 대한 목표모델을 정량적으로 평가하는 방법을 제안한다. 예를 들어, 설비는 공장에서 생산되는 제품의 전체공정 중에 하나의 과정을 지원하는 장비, 즉 최소단위라고 생각할 수 있다. 따라서 제안 방법론은 총 3단계로 1) 목표 모델링 및 가중치 부여, 2) 목표모델 모니터링, 3) 목표모델 평가 및 분석을 수행한다. 제안 사항들을 통해 목표모델을 평가하고 산출된 목표달성률을 근거로 자율제어 엔진이 현재의 상태를 모니터링 할 수 있다.

제안 방법론의 사례 연구로써 센서들을 모아 놓은 'Smart IoT Kit'에 목표모델을 설계하여 적용하고, 평가를 위해 오류 주입 기법을 이용한다. 이를 통해 목표모델 평가에 관한 방법론의 유효성을 입증한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 모델의 정량적 평가에 관한 기존 연구들과 정량적 평가를 위해 필요한 가중치 산출 방법에 관한 연구들을 소개한다. 3장에서는 본 연구의 제안 방법론을 소개한다. 4장에서는 실험 및 평가를 설명하고 마지막 5장에서는 결론을 기술한다.

II. 관련연구

본 장에서는 모델의 정량적 평가를 위한 기존연구와 정량적 평가를 위해 필요한 가중치 산출 방법에 관한 관련연구들을 소개한다.

1. 모델의 정량적 평가에 관한 연구

모델의 정량적 평가에 관한 기존 연구에는 Fault Tree Analysis(FTA)와 Event Tree Analysis(ETA)가 있다.

FTA는 논리 게이트를 활용하여 트리를 만들고 시스템의 결함으로부터 그 원인을 찾아가는 방법이다. 장점으로는 부울 대수(Boolean Algebra)라는 수학 논리를 근거로 시스템의 신뢰도뿐만 아니라 고장의 발생확률, 평균 고장률 등 다양한 정량적 분석이 가능하다. 또한 부품에 대한 문제뿐만 아니라 인간, 소프트웨어를 통해 발생하는 문제들에 대한 해석도 가능하다^[3-5].

ETA는 FTA와 같이 트리를 만들어 활용하지만 개별적인 부품의 고장으로부터 시작하여 시스템 전체에 미치는 영향을 분석하는 방법이다. 장점으로는 사건 발생의 흐름 파악이 쉽게 가능하기 때문에 지나치기 쉬운 재해의 확대 요인 검출이 가능하다. 또한 각 고장 요인들의 발생이 독립적이라는 가정아래 각 요인들의 고장 발생 확률이나 정상 작동 확률을 알 수 있다면 최종 상황의 발생확률을 계산할 수 있다. 마지막으로 같은 부품이나 요인도 분석 목적이나 관점에 따라 다르게 해석이 가능하므로 다양한 분석이 가능하다^[6-8].

그러나 FTA와 ETA는 공정에 대한 이해가 필요하고, FTA는 논리 게이트를 사용하기 때문에 두 방법 모두 일반인이 이해하고 접근하는 것이 쉽지 않다. 또한 두 방법 모두 사건 발생 확률, 고장 발생 확률 등의 확률 데이터가 기본적으로 존재한다는 가정 하에 분석이 진행되므로 기본적인 데이터가 존재하지 않는 경우에는 적용하기 어렵다.

2. 가중치 산출 방법에 관한 연구

앞서 소개한 FTA와 ETA처럼 각 단계마다 확률 데이터가 처음부터 주어지는 경우가 아니라면 가중치를 직접 산출해야 정량적인 분석이 가능하다. 가중치를 산출하는 방법에는 크게 델파이(Delphi) 기법, 계층 분석적 의사결정 방법(Analytic Hierarchy Process: AHP) 등과 같이 평가 관련자들이 주관적으로 판단하여 산출하는 방법과 회귀분석, 요인분석, 상관분석과 같은 통계기법을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다.

주관적인 산출 방법 중 델파이 기법은 전문가들을 상대로 설문조사와 피드백을 반복하고 이를 토대로 통계 분석을 시행하여 가중치를 이끌어내는 방법이다. AHP 기법은 FTA의 트리처럼 계층을 나누고 계층별 이원 비

교를 통해 비교행렬을 만들어 대수학적인 계산으로 가중치를 산출하는 방법이다^[9-11]. 통계기법을 사용하는 방법들은 앞서 소개한 방법들이 갖고 있는 문제점인 ‘주관’의 개입을 피하고자 논의된 방법들이다. 각 이론을 토대로 수학적 모델링을 하고 정규화를 통해 구해진 각 계수들이 가중치가 된다^[12].

III. 목표모델 평가 프로세스

본 장에서는 제안 사항을 위해 목표모델 설계 시 필요한 가중치 부여 방법에 대해 설명하고, 목표모델 평가 프로세스에 대해 설명한다.

1. 가중치 부여 방법

본 연구에서는 각 단계별 확률 데이터가 존재하지 않기 때문에 FTA나 ETA 방법을 활용하는 것은 어렵다. 따라서 선행 연구였던 ‘목표 모델링 방법론^[13]’을 이용하여 목표모델을 설계하고 가중치를 직접 산출하여 확률적인 평가 프로세스를 수립한다. 가중치를 산출하는 방법에 대해서는 앞에서 언급하였는데, 우리는 주관적인 부여 방법 중 하나인 계층 분석적 의사결정 방법 (Analytic Hierarchy Process: AHP)을 사용하고자 한다. 목표모델은 동일한 계층의 요소들 사이에 포함 관계를 알아내기 어렵기 때문에 하나의 함수로 일관되게 정의하는 것이 쉽지 않다. 따라서 수리적인 방법을 사용하는데 어려움이 있다. AHP는 이처럼 각 요소들의 객관적 비교가 어려운 경우 각각의 상대적 이원 비교를 통해 각 요인들의 가중치를 체계적으로 결정할 수 있다. 또한 AHP는 ‘주관적인’ 방법으로 분류를 하였지만 고유값을 이용하여 판단의 일관성을 측정할 수 있는 수리적인 척도로 단점을 보완한 방법이다^[10,14,15]. AHP를 적용하여 구체적인 모델을 만들어내는 과정은 4장에서 사례 연구를 통해 설명할 예정이다.

2. 목표모델 평가 프로세스

AHP 기법을 적용하여 가중치를 적용한 목표모델을 완성하면 해당 목표모델이 목표를 잘 따르고 있는가에 대한 지속적인 모니터링과 평가가 필요하다. 가중치를 적용한 모델을 만들었기 때문에 확률적인 평가가 가능하다. 예를 들어 공장의 생산 공정 각 설비마다 적합한 목표모델을 설정하고 지속적인 모니터링을 한다고 가정하

면 감시자가 각 설비들이 설정한 목표를 잘 따르고 있는지 판단하기 위해서는 목표 달성 여부를 계량화된 값으로 보여줄 필요가 있다. 대표적으로 목표달성률을 계산하는 것이다. 또한 계산된 목표달성률과 기준으로 설정한 특정한 값의 목표달성률을 비교하여 주어진 상황과 조건에 따라 ‘정상/위험/경고’와 같은 현재 상태 판단도 필요하다. 따라서 본 절에서는 목표모델 평가 프로세스를 설명한다.

목표모델 평가 프로세스는 다음과 같다.

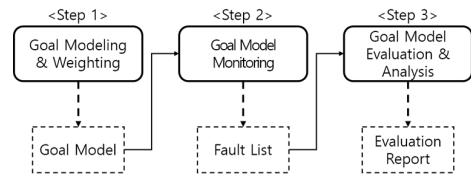


그림 1. 목표모델 평가 프로세스

Fig. 1. Goal Model Evaluation Process

<Step 1> 목표 모델링 및 가중치 부여

본 연구의 선행 연구^[13]를 이용하여 가중치가 적용되지 않은 목표모델을 만든다. 목표모델은 AHP 기법에서 요구하는 계층 구조를 만족하므로 계층별 이원 비료를 통해 가중치를 구하고 가중치가 적용된 목표모델을 산출한다.

<Step 2> 목표모델 모니터링

목표모델을 모니터링하여 모델의 각 목표를 만족하지 못하는 경우는 없는지 지속적으로 확인을 한다. 만약 목표를 만족하지 못한 상황이 발생한다면 어떤 목표를 달성하지 못했고, 해당 목표의 가중치는 얼마인지 나타내는 목록을 산출한다.

<Step 3> 목표모델 평가 및 분석

모니터링 결과를 토대로 목표모델 전체의 목표달성률을 계산한다. 그리고 기준으로 정해진 목표달성률과 비교를 통해 목표모델을 적용한 설비의 현재 상태를 알려준다.

IV. 실험 및 평가

앞서 제시한 방법론을 Smart IoT Kit에 적용을 하여 일련의 과정을 살펴본다.

1. 시나리오

그림 2에 있는 Smart IoT Kit에는 온도, 습도, 조도, 인체감지, 화재, 연기 센서들이 존재한다. 우리는 이것을 하나의 공장 운영에 사용되는 센서들로 가정하고 공장 운영이라는 최상위 목표를 설정하고 그에 맞는 하위 목표들을 설정하여 간단한 시뮬레이션을 실행하였다.

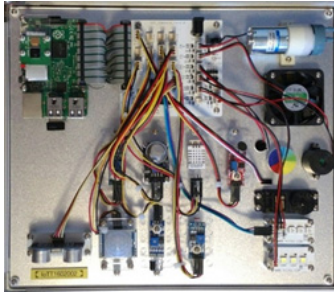


그림 2. Smart IoT Kit
Fig. 2. Smart IoT Kit

2. 시뮬레이션

앞서 제시한 목표모델 평가 프로세스를 이용하여 가중치 적용 과정과 평가 과정을 설명한다.

<Step 1> 목표 모델링 및 가중치 부여

주어진 센서들과 ‘공장 운영’이라는 목표를 이용하여 그림 3과 같은 목표모델을 만들었다.

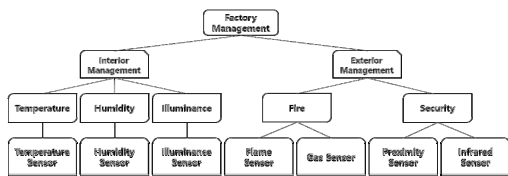


그림 3. 가중치가 적용되지 않은 목표모델
Fig. 3. Goal Model that is not applied the ‘Weight’

가중치를 결정하기 위해 계층별로 나누어 AHP 방법을 적용하였다. {내부 관리, 외부관리}, {온도, 습도, 조도}, {화재, 보안}, {불꽃 센서, 가스 센서}, {근접 센서, 적외선 센서} 총 5개의 그룹으로 나누어 비교행렬을 만들어 비교했다. 본 연구에서는 계산의 편의를 위해 AHP의 비교 행렬에서 사용하는 1~9점 척도 중 1~3점 척도만을 사용하여 가중치를 계산했다. 가중치 계산 과정과 결과는 다음과 같다.

표 1에서는 ‘공장 운영’에 대해 내부 관리인 ‘Interior’와 외부 관리인 ‘Exterior’의 중요도를 서로 비교했을 때, 두 요소의 중요성이 동등하다고 판단했기 때문에 비교행렬의 성분이 모두 1이다. 반면, 표 2에서는 온도인 ‘Temp’와 습도인 ‘Humi’를 비교했을 때, 온도가 습도보다 3배 더 중요하고, 조도인 ‘Illum’와 비교했을 때, 온도가 조도보다 2배 더 중요하다고 판단했기 때문에 3과 2의 값을 취하게 된다. 습도는 조도보다 2배 덜 중요하다고 판단했기 때문에 0.5의 값을 갖게 된다.

이러한 과정을 거쳐 나온 표 2를 ‘비교행렬 A’라고 하면, 가중치는 다음과 같이 계산된다.

1) A^2 행렬을 구한다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 0.33 & 1 & 0.50 \\ 0.50 & 2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow A^2 = \begin{pmatrix} 3 & 10 & 5.50 \\ 0.91 & 3 & 1.66 \\ 1.66 & 5.5 & 3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

2) A^2 행렬의 각 행 성분들을 합한 새로운 행렬 B를 구한다.

$$B = \begin{pmatrix} 18.5 \\ 5.58 \\ 10.16 \end{pmatrix} \quad (2)$$

3) 행렬 B의 전체 성분의 합을 구하고, B의 각 성분을 그 값으로 나눈 새로운 행렬 \hat{B} 을 구한다.

$$\sum_{i=1}^3 b_{i1} = 34.25 \rightarrow \hat{B} = \begin{pmatrix} 18.50/34.25 \\ 5.580/34.25 \\ 10.16/34.25 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.540 \\ 0.163 \\ 0.296 \end{pmatrix} \quad (3)$$

행렬 \hat{B} 의 각 성분이 온도, 습도, 조도의 가중치다.

표 1. Factory Management에 대한 이원비교 행렬

Table 1. Pairwise comparison matrix of the Factory Management

	Interior	Exterior	Weights
Interior	1	1	0.5
Exterior	1	1	0.5

표 2. Interior에 대한 이원비교 행렬

Table 2. Pairwise comparison matrix of the Interior

	Temp	Humi	Illum	Weights
Temp	1	3	2	0.54
Humi	1/3	1	1/2	0.163
Illum	1/2	2	1	0.297

표 3. Exterior에 대한 이원비교 행렬

Table 3. Pairwise comparison matrix of the Exterior

	Fire	Security	Weights
Fire	1	1	0.5
Security	1	1	0.5

표 4. Fire에 대한 이원비교 행렬

Table 4. Pairwise comparison matrix of the Fire

	Flame	Gas	Weights
Flame	1	1/3	0.25
Gas	3	1	0.75

표 5. Security에 대한 이원비교 행렬

Table 5. Pairwise comparison matrix of the Security

	Proxi	Infra	Weights
Proxi	1	1/3	0.25
Infra	3	1	0.75

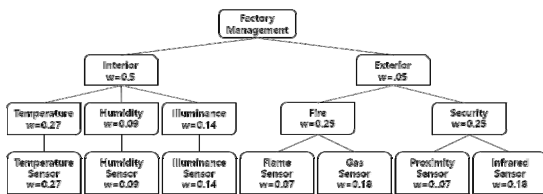


그림 4. 완성된 목표모델

Fig. 4. Completed Goal Model

<Step 2> 목표모델 모니터링

이번 단계에서는, 목표모델 평가 엔진 프로토타입을 통해 최하단 목표인 각각의 센서에 오류 발생 여부를 모니터링한다. 실험을 위해 오류 주입 기법을 사용하였다. 아래 그림 5는 모니터링의 과정과 결과를 보여준다.

No	Parent No	Goal Name	<Goal Model>	Constraint	Weight
1	1	Factory_Management		X	1.00
2	1	Interior_Management		X	0.50
3	1	Exterior_Management		X	0.50
4	2	Temperature	Temperature Sensor	X	0.27
5	2	Humidity	Humidity Sensor	X	0.09
6	2	Illuminance	Illuminance Sensor	X	0.14
7	3	Fire	Flame Sensor	X	0.07
8	3	Fire	Gas Sensor	X	0.18
9	3	Security	Proximity Sensor	X	0.07
10	3	Security	Infrared Sensor	X	0.18

Standard Achievement Rate: 0.85

Is there any problem in the Temperature Sensor? (y/n) : n
 Is there any problem in the Humidity Sensor? (y/n) : y
 Is there any problem in the Illuminance Sensor? (y/n) : n
 Is there any problem in the Flame Sensor? (y/n) : n
 Is there any problem in the Gas Sensor? (y/n) : n
 Is there any problem in the Proximity Sensor? (y/n) : n
 Is there any problem in the Infrared Sensor? (y/n) : n

Goal Achievement Rate: 0.91, Current State: Normal

그림 5. 목표모델 평가 엔진 프로토타입

Fig. 5. Goal Model Evaluation Engine Prototype

그림의 상단부분은 목표모델을 보여주고 아래에는 모니터링의 과정을 나타냈다. 마지막으로 모니터링 결과를 통해 계산된 목표달성률과 상태 판단의 기준이 되는 '기준 목표달성률'을 비교했다. 예를 들어 'Normal'은 녹색, 'Danger'은 황색, 'Warning'은 적색으로 현재 상태를 시각적으로 나타냈다.

<Step 3> 목표모델 평가 및 분석

모니터링 결과를 통해 목표달성률을 계산하고, 계산된 목표달성률과 기준으로 정한 목표달성률의 비교를 통해 목표모델이 적용된 시스템의 현재 상태를 나타낸다. 그림 5의 하단부분에 글자색을 이용하여 상태를 시각적으로 나타낸 결과가 있다. 또한 아래 그림 6과 같이 간단한 결과 리포트로 기록을 남긴다.

```

-----
2016. 9. 30. <Monitoring Report>
Fault: Temperature Sensor
Goal Achievement Rate: 0.73
Standard Achievement Rate: 0.85
Current State: Warning
-----
2016. 9. 30. <Monitoring Report>
Fault: Gas Sensor
Infrared Sensor
Goal Achievement Rate: 0.64
Standard Achievement Rate: 0.85
Current State: Warning
-----
2016. 9. 30. <Monitoring Report>
Fault: Gas Sensor
Goal Achievement Rate: 0.82
Standard Achievement Rate: 0.85
Current State: Warning
-----
    
```

그림 6. 결과 리포트

Fig. 6. Results report

본 실험에서는 상태 판단의 기준을 기준이 되는 목표달성률 이상이면 정상(Normal), 0.5 이상 기준 값 미만이면 경고(Danger), 0.5 미만이면 위험(Warning)으로 설정했다.

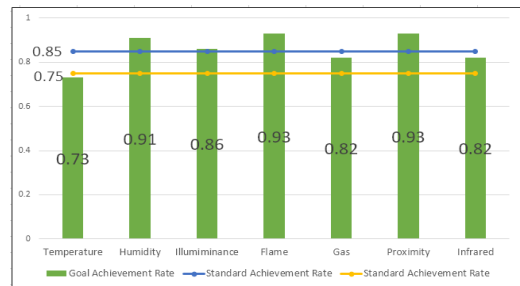


그림 7. 목표달성률과 기준 목표달성률 비교

Fig. 7. Comparison between goal achievement rate and standard goal achievement rate

그림 7은 한 번의 시행에 하나의 오류만 발생한 경우 각각의 목표달성률을 막대그래프로 표현했고, 기준 목표달성률이 0.75, 0.85인 경우를 꺾은선 그래프로 나타냈다. 동일한 상황이라도 '정상' 판정을 받을 확률은 기준이 0.85일 때 전체 7개의 상황 중 Temperature, Gas,

Infrared를 제외한 나머지 4개로 4/7인 약 0.57인 반면에 0.75인 경우 Temperature를 제외한 나머지 6개로 6/7인 약 0.85이다. 이처럼 같은 경우라도 기준 값에 의해 '정상' 판정을 받을 수 있는 경우가 다르기 때문에 기준 값을 결정하는 것도 중요하다.

V. 결론

본 연구에서는 목표모델의 평가를 위해 1) 목표 모델링 및 가중치 부여, 2) 목표모델 모니터링, 3) 목표모델 평가 및 분석 단계들을 제안하였다. 제안 사항들을 통해 자율제어 엔진이 모니터링, 분석하는데 필요한 지식 베이스를 제공하고, 자율제어 엔진과 연계하여 시스템의 신뢰성을 높일 수 있다. 그러나 본 연구는 각각의 오류가 서로 독립적이라는 가정하에 한 번의 시행에 하나의 오류만 발생하는 상황에 대해 실험을 진행하였지만, 실제 도메인에서는 오류가 다른 오류에 영향을 미치는 경우도 존재하고, 두 개 이상의 오류가 동시에 발생하는 경우도 존재할 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 도메인과 오류들에 대한 철저한 분석이 필요하다. 따라서 하나의 도메인에 대한 명확한 분석을 통해 향후 연구에서는 현재 연구의 약점들을 다룰 예정이다.

References

- [1] Jong-Man Park, "Technology and Issue on Embodiment of Smart Factory in Small-Medium Manufacturing Business", Journal of the Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 40, No 12, pp. 2491-2502, Dec 2015.
DOI: <https://doi.org/10.7840/kics.2015.40.12.2491>
- [2] Jeong-Min Park, Sung-Joo Kang, In-Geol Chun, Won-Tae Kim, "A Research on Designing an Autonomic Control System Towards High-Reliable Cyber-Physical Systems", IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol. 8, No. 6, pp. 347-357, Dec 2013.
DOI: <https://doi.org/10.14372/iemek.2013.8.6.347>
- [3] Sung-II Byun, Dong-Ik Lee, "System Reliability Evaluation using Dynamic Fault Tree Analysis", IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol. 8, No. 5, pp. 243-248, Oct 2013.
DOI: <https://doi.org/10.14372/iemek.2013.8.5.243>
- [4] D. Danilo Nicola, I. Tomas, "Failure rate modeling using fault tree analysis and Bayesian network: DEMO pulsed operation turbine study case", Fusion Engineering and Design, Vol. 109-111, Part. A, pp. 613-617, Nov 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2016.02.036>
- [5] N. Limnios, Fault Tree, ISTE, pp. 17 2007.
- [6] Kyung-Lyun Noh, Jeong-Yeul Lim, Young-Jin Mok, Young-Hoon Jung, "Estimating Geotechnical System Response Probability of Internal Erosion Risk in Fill Dam using Event Tree Analysis", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 34, No. 6, pp. 1815-1829, Dec 2014.
DOI: <https://doi.org/10.12652/ksce.2014.34.6.1815>
- [7] Min-Su Kim, Jong-Bae Wang, Chan-Woo Park, Yeon-Ok Cho, "Development of the Risk Assessment Model for Railway Level-Crossing Accidents by Using The ETA and FTA", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 12, No. 6, pp. 936-943, Dec 2009.
- [8] A. Neri, W.P. Aspinall, R. Cioni, et al, "Developing an Event Tree for probabilistic hazard and risk assessment at Vesuvius", Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 178, No. 3, pp. 397-415, Dec 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.05.014>
- [9] Jong-BaeAhn, "A Study on Service & Advertising Marketing Plan using LBS Smart Mobile Technology based on Delphi Research Method", Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 13, No. 6, pp. 281-288, Dec 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7236/jiubc.2013.13.6.281>
- [10] T.L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process", International Journal of Services Sciences Vol. 1, No. 1, pp. 83-98, 2008.
- [11] N. Bhushantg, K. Rai, Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process, Springer, p. 3, 2004.
- [12] Tae-il Kim, "Weighting Methods in the Evaluation

Model”, Korean Public Administration Review, Vol. 33, No. 4, pp. 243-258, Feb 2000.

[13] Tae-Young Kim, Dong-Beom Ko, Sung-Joo Kang, In-Geol Chun, Jeong-Min Park, “Method for Evaluating Goal Model based on Goal Achievement Rate”, International Journal of Software Engineering and Its Applications, Vol. 10, No. 11, pp. 171-180, Nov 2016. DOI: <https://doi.org/10.14257/ijseia.2016.10.11.15>

[14] Byoung-Ju Choi, Ho-Won Jung, “Testcase Adequacy Measuring Algorithm using the Analytic Hierarchy Process”, Journal of KIISE(B), Vol. 24, No. 2, pp. 150-159, Feb 1997.

[15] T.L. Saaty, “How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process”, European Journal of Operational Research, Vol. 48, No. 1, pp. 9-26, Sep 1990.

[16] Yang-Hui Cho, Jae-Pyo Park, Seung-Min Yang, “Grid-Based Key Pre-Distribution for Factory Equipment Monitoring” Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 16, No. 6, pp. 147-152, Dec 2016. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.6.147>

[17] Sun-Jin Oh, “Design of a Smart Application for Remote Diagnosis in Ubiquitous Computing Environment”, Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 16, No. 4, pp. 82-87, Aug 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.4.81>

고 동 범(준회원)



- 2016년 2월 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2016년 8월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 석사과정 <주관심분야 : 자율제어 시스템, 사이버 물리 시스템, 인공지능>

김 정 준(정회원)



- 2003년 2월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2005년 2월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2010년 8월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2010년 9월 ~ 2012년 8월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 강의교수
- 2012년 9월 ~ 2016년 2월 : 건국대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 조교수 <주관심분야 : Database Systems, BigData, Semantic Web, Geographic Information Systems (GIS) and Ubiquitous Sensor Network (USN), etc.>

정 성 택(정회원)



- 1992년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 정보 및 통신공학과 석사
- 2000년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1998년 1월 ~ 2000년 4월 : (주)메디슨 MRI사업부 선임연구원
- 2000년 5월 ~ 2004년 2월 : (주)메디너스 MRI연구소 연구소장
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 교수 <주관심분야 : 영상처리>

박 정 민(정회원)



- 2003년 2월 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2005년 2월 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2009년 2월 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2011년 2월 ~ 2012년 6월 : 성균관대학교 연구교수
- 2012년 7월 ~ 2014년 2월 : 한국전자통신연구소 선임연구원
- 2014년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 조교수 <주관심분야 : 사이버 물리 시스템, 자율 컴퓨팅, 소프트웨어공학>

저자 소개

김 태 영(준회원)



- 2015년 2월 : 건국대학교 물리학과 학사
- 2015년 8월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 석사과정 <주관심분야 : 자율제어 시스템, 사이버 물리 시스템>

※ 이 성과는 2017년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
 (No. 2017R1A2B4011243)