

자가-적응 조명 제어 소프트웨어의 시뮬레이션 및 성능 평가

이준희 · 이의중 · 백두권*

Simulation and Performance Evaluation of the Self-Adaptive Light Control System

Junhyi Lee · Euijong Lee · Doo-Kwon Baik*

ABSTRACT

This research aims to perform the simulation of self-adaptive lighting control software, and to evaluate the performance of the implemented system. In this text, Self-adaptive software means what detects unexpected changes in surrounding environment by self-monitoring during its run-time, and satisfies demanded condition by adjusting its operation. This is a research about the lighting control system which is operating with the fundamental of self-adaptation concept in IoT(Internet of Things) environment. The system, which is proposed in this text, operates adaptation onto the request of a defined user as recognizing the changes of surrounding environment. This text introduces a relating simulation scenario, system architecture, architecture valuation basis,, and executed evaluation of performance by processing simulations.

Keyword : Self-Adaptive Software, Software Engineering, Simulation

요약

본 연구는 자가-적응 조명 제어 소프트웨어에 대한 시뮬레이션을 수행하고, 이를 통해 실제 시스템의 성능 평가 기준을 명시하는 것을 목적으로 하고 있다. 자가-적응 소프트웨어는 소프트웨어를 작동시키는 과정에서 소프트웨어가 스스로 주변 환경을 모니터링해 환경에 예상하지 못한 변화가 발생한 것을 감지하고, 변화하는 실행 환경에 맞추어 요구사항을 만족시키는 소프트웨어를 의미한다. 본 연구는 IoT(Internet of Things) 환경에서 자가-적응을 수행하는 조명 제어 시스템에 대한 연구이다. 제안하는 시스템은 환경이 변화함에 따라 사용자의 요구사항을 고려해 시스템 스스로의 적응을 수행한다. 이에 대한 시나리오와 시스템 아키텍처 및 평가지표를 소개하며, 이를 기반으로 시뮬레이션을 진행하여 성능 평가를 수행했다.

주요어: 자가-적응 소프트웨어, 소프트웨어 공학, 시뮬레이션

1. 서론

자가-적응 소프트웨어는 소프트웨어가 동작하는 과정에서 소프트웨어가 스스로 주변 환경을 모니터링 함으로써 환경에 예상하지 못한 변화가 발생할 경우 그것을 감지하고, 변화된 실행 환경에 맞추어 요구사항을 만족시키

는 소프트웨어를 의미한다. 따라서 자가-적응 소프트웨어는 동작 중에 실행 환경에 발생하게 되는 연속적인 변화를 감지하고, 변화가 발생한 경우에는 사용자의 요구사항에 기반을 둔 결정을 통하여 자가-적응할 수 있어야 한다.

자가-적응 소프트웨어를 평가하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다(Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, 2009). 사물 인터넷 환경에서의 자가-적응 시스템을 다루는 시나리오가 부족하며, 기존 자가-적응 시나리오 관련 연구에서는 사전에 정의되어 있는 환경에서만 자가-적응이 가능할 뿐만 아니라, 사용자의 요구사항이 고려되지 않는다. 따라서 사전에 물리적인 환경이 정의되어 있지 않은 상황에서도 사용자의 요구사항을 고려하여 자가-적응할 수 있는 시스템이 요구된다.

이를 위해 본 연구에서는 자가-적응 조명 제어 시나리

* 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보·컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2012M3C4A7033346).

Received: 27 May 2016, **Revised**: 16 June 2016,
Accepted: 16 June 2016

* **Corresponding Author**: Doo-Kwon Baik
E-mail: baikdk@korea.ac.kr
Computer Science and Engineering Dept.,
Korea University, Seoul, Korea

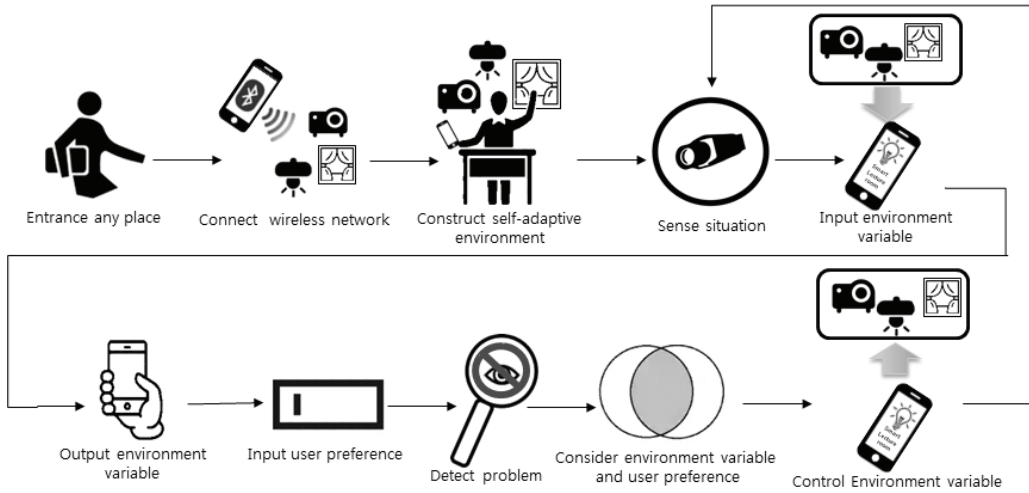


Figure 1. Scenario flow chart of self-adaptive lighting control system

오를 소개하며, 시스템 시뮬레이션을 수행하기 위해 요구되는 시스템의 아키텍처 및 평가지표를 소개한다. 또한 이를 기반으로 둔 시뮬레이션을 수행했으며, 평가지표를 적용하여 해당 시스템과 기존 조명 제어 시스템의 성능을 비교 및 평가한다.

2절에서는 기존의 자가-적응 연구 및 스마트 조명-제어 시스템 관련 연구들에 대해 서술한다. 3절에서는 시뮬레이션을 위해 요구되는 시스템 시나리오와 아키텍처 및 평가지표에 대해 서술한다. 4절에서는 해당 시스템의 시뮬레이션에 대해 소개하며, 5절에서는 평가지표에 기반을 둔 연구에서 소개하는 시스템과 기존연구의 성능을 비교 및 평가한다. 마지막으로 6절에서는 시뮬레이션 및 성능 평가를 통해 도출한 결론과 향후에 진행할 연구에 대해 언급한다.

2. 관련 연구

2.1 자가-적응 소프트웨어

자가-적응 소프트웨어는 1997년 미국 국방성 DARPA에서 정의한 후 현재까지 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다(Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, 2009). 자가-적응 소프트웨어는 성능을 향상시킬 수 있을 때나 소프트웨어의 목표가 달성되지 않았을 때에 소프트웨어가 자신의 행동을 스스로 평가하여 동작을 변경하는 소프트웨어를 말한다(Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, 2009). 다수의 자가-적응 소프트웨어는 MAPE-K에 기반을 두고 있다. MAPE-K는 자율 컴퓨팅

분야에서의 4단계로 이루어진 적응 루프를 말한다. 이는 모니터링(Monitoring), 분석(Analyzing), 계획(Planning), 실행(Executing) 프로세스로 구성되어 있으며, 이러한 4단계가 반복됨으로써 소프트웨어가 스스로 변화되는 환경에 적응하는 것을 목표로 한다(Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, 2009).

기존의 자가-적응 소프트웨어는 조명 제어 시스템부터 교통 제어 시스템까지 다양한 환경의 시나리오로 연구되어 왔다(Garlan et al., 2004)-(Fredericks, Erik M., Byron DeVries, and Betty HC Cheng., 2014). (Garlan et al., 2004)는 아키텍처를 기반으로 둔 자가-적응 시스템을 제안하였으며, 해당 시스템을 검증 및 평가하기 위해 트래픽을 분석하고, 이에 맞춰 스스로 적응할 수 있는 ZNN.com 시나리오를 제안하였다. (Wuttke et al., 2012)은 ITS(Intelligent Transport System)에 대한 연구로, 스스로 결정하여 교통 경로를 배정하는 것을 목적으로 하였다. 또한 이를 위해 자가-적응 시나리오와 시스템을 평가하기 위한 6요소를 제안하였다. (Fredericks, Erik M., Byron DeVries, and Betty HC Cheng., 2014)는 스마트 청소 시스템에 대한 자가-적응 시나리오를 제안하였고, 해당 시스템을 검증하기 위해 제안된 런타임 테스트 프레임워크를 통해 검증 및 평가하였다. (MinGwan Kim, Hoh Peter In, 2014)는 (Junhyi Lee, Euijong Lee, and Doo-Kwon Baik, 2015)에서 서술하고 있는 스마트 강의실에 대한 개념을 제안하였다. (Junhyi Lee, Euijong Lee, and Doo-Kwon Baik, 2015)은 본 연구에 앞선 선행 연구이며, 스마트 강의실 환경에서의 시나리오를 제안하였으

며, 에너지 절약과 사용자의 만족도를 고려하는 시스템 프레임워크를 제안하였다. 또한 검증 및 평가를 위해 시스템 아키텍처와 (Wuttke et al., 2012)을 기반에 둔 아키텍처 평가 기준을 제안하고 있다.

상기 언급된 기존의 연구 (Garlan et al., 2004)-(MinGwan Kim, Hoh Peter In, 2014)에서 제안하고 있는 시스템은 이미 구축되어 있는 환경에서 시스템이 자가-적응한다는 전제로 인해 IoT 환경 적용에 제한적일 수 있다. 그러므로 구축 환경이 실시간으로 변화하는 상황에서도 적용이 가능한 시스템이 요구된다. 본 연구에서는 이를 위해 물리적 환경이 변화하는 동적인 환경에서도 자가-적응이 가능한 조명 제어 시스템에 대해 제안한다. 또한 본 연구에서는 에너지의 절약뿐만 아니라, 사용자의 편의성 및 개인적인 만족감을 고려하기 위해 사용자의 조명 선호도를 조사한다. 조사된 결과를 바탕으로 둔 시뮬레이션을 진행하여 실험 및 평가를 수행한다.

2.2 스마트 조명 제어

스마트 조명 제어 시스템 관련된 다수의 연구가 진행되었다. (Orestis et al., 2013)-(Afshari et al., 2012)은 물리적인 환경에서 변화가 발생하게 되면 사물 인터넷을 통해 제어가 되는 연구이다. (Orestis et al., 2013)은 에너지를 절약하기 위해 빌딩을 자동화하는 시나리오를 다룬다. 또한 조명과 온도 등의 환경 요소들을 사용자에게 실시간을 제공하는 센서 네트워크 시스템을 구현해 위의 시나리오를 검증하고, 실험을 통해 에너지 소비를 평가하였다. (Singhvi et al., 2005)에서는 에너지의 효율성 증가와 사용자의 선호도 간의 균형을 유지하기 위해 무선 센서 네트워크를 이용하여 빌딩을 제어하는 시스템을 제안하였다. 또한 효용 함수(Utility Function)를 이용하여 사용자의 선호도를 고려할 수 있음을 언급하였다. (Chen, Yifei, Huai Li, and Xueliang Chen, 2009)에서는 블라인드의 위치를 조정함으로써 실내 조도를 자동으로 제어해주는 스마트 조명 제어 시스템에 대해 제안하고 있다. (Afshari et al., 2012)에서는 에너지 사용의 효율성을 증가시키기 위해 환경 센서를 이용한 조명 시스템을 제안하였다. 또한 위 시스템은 햇빛에 따른 조도의 변화를 모니터링 할 수 있으며, 조명의 색상을 제어할 수 있다는 특징을 가진다.

기존 조명 제어 연구 (Orestis et al., 2013)-(Afshari et al., 2012)은 환경에 실시간으로 변화가 발생하였을 때에 시스템이 해당하는 변화를 분석하고, 결정하여 적응하지 않고, 작성된 규칙에 따라서 시스템이 변하기 때문에 자

가-적응 시스템에 속한다고 보기 어렵다. 이는 이미 규정되어 있는 환경을 전제로 하여 동일한 기종의 센서들을 이용하기 때문에 사용자의 요구사항을 인지하기에 어려움이 있다.

본 연구에서는 기존 연구의 시나리오를 시뮬레이션을 통해 에너지 소비 감소와 사용자의 만족도를 고려하는 문제를 해결하고자 선행 연구 (Junhyi Lee, Euijong Lee, and Doo-Kwon Baik, 2015)에서 다룬 스마트 강의실 환경에서의 자가-적응 시나리오를 기반으로 하는 시스템의 아키텍처와 평가지표를 제안하며 이를 기반으로 둔 시뮬레이션을 수행한다. 더불어 기존의 시스템들과의 비교 및 평가를 수행한다.

3. 자가-적응 시나리오 및 시스템 구성요소

본 절에서는 자가-적응 조명 제어 시스템의 개요에 대해 서술한다. 선행 연구에서 제안한 시나리오와 아키텍처 및 평가 기준에 대해 서술한다. 3.1절에서는 자가-적응 조명 제어 시스템에서의 예상 시나리오에 대해 서술하며, 3.2절에서는 제안된 시나리오에 기반을 둔 시스템 아키텍처에 대해 소개한다. 마지막으로 3.3절에서는 제안한 시스템 아키텍처를 평가하기 위해 제안된 기준에 대해 기술한다.

3.1 자가-적응 조명 제어 시스템 시나리오

본 절에서는 선행 연구에서 제안한 자가-적응 조명 제어 시나리오에 대해 서술한다(Junhyi Lee, Euijong Lee, and Doo-Kwon Baik, 2015). 자가-적응 조명 제어 시스템 환경은 서로 간의 무선 통신을 할 수 있는 조명 제어 기기들로 구성되어 있으며, 실시간으로 환경에 발생하는 변화를 감지할 수 있는 센서가 내장되어 있는 스마트폰이 존재한다고 가정한다. Figure 1은 자가-적응 조명 제어 시스템 환경에서의 시나리오를 흐름도로 보여준다. 각 스마트 객체는 고유 ID를 할당받아 구별된다. 임의의 장소에 스마트폰을 소유한 사용자가 입장을 하게 되면 해당 스마트폰이 무선 통신망을 통해 자가-적응 시스템에 연결되어 자가-적응 조명 제어 시스템이 구축된다. 해당 시스템은 사용자의 스마트폰에 내장되어 있는 조도센서를 통해서 얻어지는 실시간 조도와 스마트폰에 저장된 사용자의 선호 조도 등의 변수들을 감지한다. 사용자가 조명 제어 시스템에 스마트폰을 연결한 후 시스템은 계속적인 주변 환경의 모니터링이 이루어지며, 감지된 변수들은 스마트폰을 통해 출력된다. 환경에 이상이 발생하게

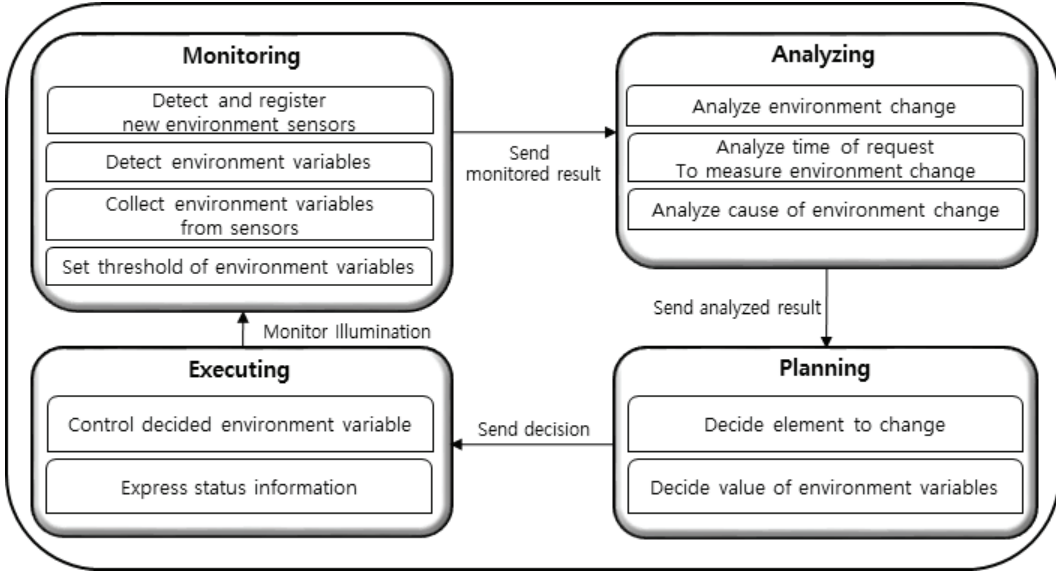


Figure 2. Self-adaptive lighting control system architecture based on MAPE-K

되면 시스템에서 이상 증상을 감지하며, 이상 증상이 발생된 시기와 영향 등을 분석하게 되며, 이후에 탐지된 환경 변수와 사용자의 선호도를 고려하여 변경될 환경 변수를 결정한다. 하지만 환경 변수에만 의존하여 문제 상황에 따른 솔루션을 결정하게 되면 집중력과 눈부심 등에 대한 사용자의 만족도와 같은 요구 사항이 고려되지 않기 때문에 효용 함수(utility function)를 고려하여 시스템 요구사항이 에너지 소비의 효율성과 사용자의 요구사항인 사용자의 만족도를 동시에 고려한다. 효용함수는 재화나 용역의 양과 그것에 대한 인간의 만족도의 대응 관계를 나타내는 것이며, 상기 언급된 과정은 수식 (1)과 같이 표현된다.

에너지 소비의 효율성을 고려하기 위해 스마트폰에 내장되어 있는 조도 센서를 통해 사용자의 현재 위치에서의 실시간 조명 강도(lux)를 얻은 후, 효용 함수를 이용하여 사용자의 만족도를 고려한다. 사용자의 만족도를 구하는 수식 (1), (2), (3)은 무선 통신 환경에서 조명 제어 시스템을 제안한 (Singhvi et al., 2005)의 수식을 참고하여 재정의 하였다. 각 사용자 i 는 조명의 조도에 따른 개인의 만족도를 나타내는 $\Phi_i(\alpha)$ 를 가지게 되며, α 는 실시간 빛의 밝기를 가리킨다. 사용자는 스마트폰을 항상 소지하고 있다고 가정한다.

각 사용자의 효용 함수의 합을 최대로 만들어주는 값을 구하는 식은 (1)과 같다.

$$\operatorname{argmax}_{\alpha} \sum_{i=1}^n \Phi_i(\alpha) \quad (1)$$

$\Psi(\alpha)$ 는 관리자의 선호하는 조도를 나타내며, 식 (2)은 사용자가 선호하는 조도가 서로 충돌하게 되면 이를 해결하기 위해 $\Psi(\alpha)$ 를 (2)식에 합한 것이다.

$$U(\alpha) = \sum_{i=1}^n \Phi_i(\alpha) + \Psi(\alpha) \quad (2)$$

(2)식의 값이 최대가 되는 값은 (3)과 같이 구한다.

$$\alpha^* = \operatorname{argmax}_{\alpha} U(\alpha) \quad (3)$$

상기 언급된 식들을 사용하여 사용자가 만족하는 조도를 제공할 뿐만 아니라 에너지를 절약할 수 있도록 환경 변수를 재설정할 수 있다. 또한 이는 결정된 환경 변수를 통해 해당 시스템을 제어하며, 이러한 과정이 반복됨으로 환경에 발생하는 지속적인 변화에 대해 시스템이 스스로 대응할 수 있도록 한다.

3.2 시스템 아키텍처

본 절에서는 자가-적응 조명 제어 시스템의 아키텍처에 대해 소개한다. 자가-적응 소프트웨어는 닫힌 순환 매커니즘을 가지며, 이 루프는 여러 프로세스를 포함한다. 자율 컴퓨팅 분야의 많은 연구는 IBM이 제안한 MAPE-K 루프를 사용한다(Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, 2009). 본 연구의 선행 연구에서는 MAPE-K를 기반으로 뒤 자가-적응 조명 제어 시스템의 아키텍처

Table 1. Comparison between valuation basis of Self-adaptive lighting system architecture and valuation basis in existing research

Wuttke et al.[3]		Self-adaptive lighting control system architecture	
평가 기준	설 명	평가 기준	설 명
Answer Quality	Answer quality about each problem situation	Answer Quality	Answer quality about environment variables including change of illumination and user preference
Scalability	Is big extensibility of viewpoint?	Scalability	The number of user, size of environment, and so on
Robustness to Sensor Uncertainty	Impact when a sensor has a problem	Robustness to Sensor Uncertainty	Environmental impact when a sensor has a problem during monitoring process
Robustness to Agent and Street	Impact when an agent or road have a problem	Robustness to Effector	Environmental impact when effectors including lighting, curtain, and so on have a disorder
Robustness to Churn	Reflection of change during solution decision	Robustness to Churn	Reflection of change of environment variables during solution decision in planning process
Resource Consumption	Consumption degree of resource	Balance	Balance between energy consumption and user preference

를 개념적으로 제안하였다. 기존 연구에서는 개념적으로 접근하였으며, 본 연구에서는 해당 아키텍처를 구현 및 시뮬레이션 했다. 선행 연구에서 정의한 아키텍처는 Figure 2와 같다(Junhyi Lee, Euijong Lee, and Doo-Kwon Baik, 2015). 모니터링(Monitoring) 프로세스는 새로운 환경 센서가 탐지되면 이를 등록 및 관리하며, 환경 센서를 통해 실시간 환경 변수를 모니터링 한다. 또한 모니터링 한 환경 변수를 수집하여 이를 임계값과 비교하였을 때, 환경 변수가 임계값을 벗어나면 모니터링 한 결과를 분석(Analyzing) 프로세스에 전송한다. 분석 프로세스에서는 전송받은 모니터링 결과를 통해 이상을 분석하며, 환경 변화가 요구된 시기와 원인 등을 분석한다. 이후 분석한 결과는 계획(Planning) 프로세스에 전송되며, 계획 프로세스에서는 변경해야 할 환경 변수를 결정하고, 환경 변수가 변경될 값을 결정한다. 마지막으로, 결정된 정보는 실행(Executing) 프로세스에 전송되며, 계획 단계에서 결정된 정보를 기반으로 뒤 환경 변수를 제어하며, 사용자에게 상태 정보를 보여준다. 위의 4단계의 수행이 반복됨으로 자가-적응 환경에서 계속적으로 발생하는 변화에 맞춰 솔루션을 통해 주변 환경 변화에도 적용할 수 있다.

3.3 시스템 평가지표

본 절에서는 3.2절에서 서술한 자가-적응 조명 제어 시스템 아키텍처를 평가하기 위해 제안한 것으로,

(Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, 2009)에서 제안한 자가-적응 시스템 아키텍처의 평가 기준을 기반으로 제안하였다. (Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, 2009)은 교통 경로를 자동으로 배정하는 자가-적응 시스템으로, 본 연구에서 제안한 시스템이 환경적인 측면에서 차이를 보이기 때문에, 평가 기준과 그에 따른 정의에도 다소 차이를 보인다.

Table 1은 기존 연구에서 제안한 자가-적응 시스템 아키텍처 평가 기준과 본 연구에서 제안하는 시스템 아키텍처 평가 기준 6요소를 비교하여 나타난 것이다. 첫째로, 응답 품질(Answer Quality)은 해당 시스템이 조도의 변화 등의 환경 변수나 사용자의 선호도의 변화에 따른 응답을 적절하게 하는지 평가한다. 둘째로, 확장성(Scalability)은 사용자의 수나 환경의 크기 등이 확장될 가능성에 대해 평가하는 요소이다. 셋째로, 센서 불확실성에 대한 견고성(Robustness to Sensor Uncertainty)은 실시간 환경 변화를 감지하는 단계에서 임의의 센서에 오류가 발생하여 해당 센서로 측정된 값이 정확하지 않을 때에 자가-적응 환경에 미치는 영향을 의미한다. 실행기에 대한 견고성(Robustness to Effector)은 조명, 커튼 등의 통신 및 제어가 가능한 기기에 장애가 발생하였을 때에 자가-적응 환경에 미치는 영향을 가리킨다. 이는 기존의 연구 환경에서는 자동화 교통 경로 배정을 위한 자가-적응 환경이기 때문에, 실행기가 에이전트, 도로 등에 해당된다. 본 연구는 조명 제어 시스템으로, 실행기로는 조명, 커튼 등이 존재한다. 도중 변화에 대한 견고성

(Robustness to Churn)은 계획 프로세스에서 수행된다. 이는 시스템이 문제에 따른 솔루션을 결정하는 도중에 환경에 변화가 발생한 경우에 변경된 환경 변수가 적응-전략에 반영되는지 나타낸다. 마지막으로, 기존의 연구에서는 자원의 소비 정도를 평가 요소로 본 것과 달리, 본 연구에서는 에너지 소비 감소뿐만 아니라 사용자의 만족도를 동시에 만족하는지에 대하여 평가하는 항목으로 균형(Balance)을 제안하였다.

4. 시뮬레이션 환경

본 절에서는 앞서 제안한 자가-적응 조명 제어 시스템의 시뮬레이션 환경을 구성하기 위해 요구되는 요소들에 대해 설명한다. 제안하는 자가-적응 조명 제어 시스템을 구축하기 위해 요구되는 알고리즘에 대해 제안하고 더불어 시뮬레이션의 구현에 대해 서술한다.

앞서 소개한 시나리오에서는 임의의 장소에 스마트폰을 소지한 임의의 사용자가 입장한다. 사용자가 자가-적응 조명 제어 애플리케이션을 실행하면 블루투스 통신을 통해 사용자 주위에 존재하는 조명과 사용자의 스마트폰이 무선 통신망을 통해 연결됨으로 자가-적응 조명 제어 환경이 구축된다. 해당 애플리케이션에는 실시간 조도를 확인할 수 있으며, 사용자가 선호하는 조도를 입력하거나 사전에 저장된 요구사항에 맞춰 사용자 주위 환경의 실시간 조도와 사용자의 선호 조도를 고려하여 조명의 세기를 제어한다. 알고리즘 1은 상기 과정의 의사 코드가

Algorithm 1. Self-Adaptive Light Control

```

1: inputs:
2:   desiredLux, currentLux
3:   desiredLux ← 0
4:   currentLux ← 0
5:   pwm ← 0
6: loop:
7:   read currentLux
8:   read desiredLux
9:   while desiredLux > currentLux do
10:    p++
11:    print p
12:    if d ≤ c then
13:     break
14:   while d < c do
15:    p--
16:    print p
17:    if d ≥ c then
18:     break
19:

```

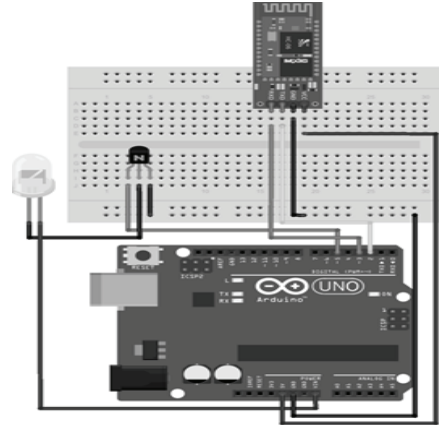


Figure 3. Design of lighting control device through arduino

다. *desiredLux*는 사용자가 원하는 조도이며, *currentLux*는 사용자가 위치하는 환경의 실시간 조도를 의미한다. 입력 변수로는 *desiredLux*, *currentLux*가 존재하며, 먼저, *desiredLux*, *currentLux*, *pwm*을 0으로 초기화해준다. 여기에서 *pwm*은 PWM(Pulse Width Modulation)을 의미한다. PWM은 프로세서의 디지털 출력을 이용하여 아날로그 회로를 제어하는 방법으로, 시스템에서 제공하는 광량을 제어하는 데에 사용된다. 이후에는 현재 조도 *desiredLux*를 얻어 스마트폰에 출력하며, 사용자 개인이 선호하는 조도 *currentLux*를

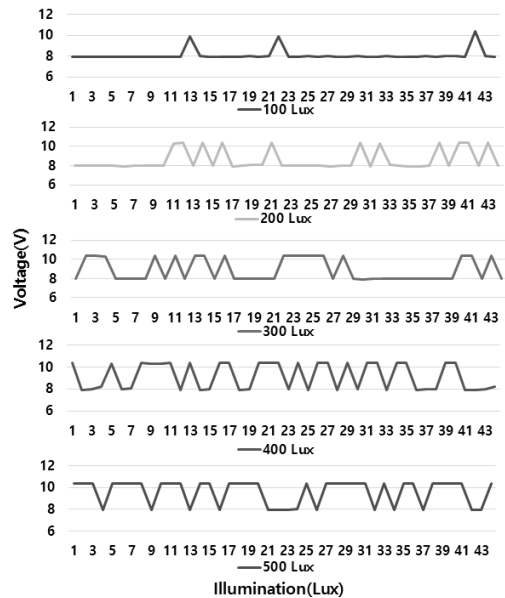


Figure 4. The voltage of each user preference

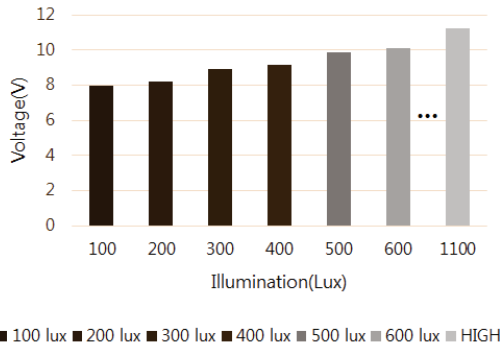


Figure 5. Voltage average in each illumination

입력받으면 이를 *desiredLux*와 비교한다. *desiredLux*가 *currentLux*보다 클 경우 사용자가 현재 조도보다 더 밝은 환경을 요구한다고 볼 수 있으며, *pwm*을 증가시킨 후 이를 조명으로 출력한다. 이러한 과정은 사용자의 선호 조도가 현재 조도에 맞춰질 때까지 반복된다. 사용자의 조도가 현재 조도보다 낮은 경우에는 *pwm*을 감소시킴으로써 시스템에서 제공하는 조명의 광량을 감소시킨다. 이러한 과정이 반복됨으로써 시스템은 변화되는 환경에서도 사용자의 일정한 선호 조도를 유지할 수 있다.

시뮬레이션 환경은 안드로이드 6.0.1과 아두이노를 통해 구현하였으며, 스마트폰과 시스템 내의 LED 조명 기기는 무선 통신이 이루어진다. 아두이노는 HC-06 모듈을 통해 임의의 스마트폰과 블루투스 통신이 이루어진다. 조명은 12V LED 스트링 80여개로 구성되어 있으며, 아두이노는 0~5V의 전압만을 지원하기 때문에 12V/1A 직류 전원장치를 연결하여 LED에 전원을 공급한다. NPN 트랜지스터(TIP 31)이 스위치 역할을 하여 LED 조명의 광량을 제어할 수 있다. Figure 3은 본 연구에서 구현한 자가-적응 조명 제어 시스템의 아두이노 설계도를 나타낸 것이다.

5. 실험 및 평가

5.1 평가지표 기반 실험

5.1.1 에너지 소비와 사용자 선호도

본 절에서는 구현된 시뮬레이션 환경에서 수행한 실험에 대해 서술하고, 실험에 따른 평가에 대해 기술하고자 한다. Figure 4는 각 조도를 유지할 때에 측정된 실시간 전압을 그래프로 표현한 것이다. 각 조도를 유지하기 위해서는 해당하는 PWM이 요구되는데, PWM은 디지털 입력할 때에 전압의 주기를 조절함으로써 전압의 세기를 제어할 수 있다. 사용자가 선호하는 조도가 높을수록 PWM 값이 증가하며, 이에 따라 전압이 HIGH 상태를 오래 유지함으로써 전체 전압 소비량이 높아진다. 이와 반대로 선호 조도가 낮을수록, 전압이 LOW 상태를 오래 유지함으로써 전체 전압 소비량도 낮아진다. 이는 Figure 5를 통해 확인할 수 있다.

Figure 6은 본 연구에서 제안하는 시스템의 요구조건으로 제안된 각 조도에 따른 사용자들 20명의 만족도를 조사한 것을 그래프로 나타낸 것이다. 사용자들의 만족도를 구하기 위해서 100lux부터 750lux까지의 조도를 가지는 환경에 대한 사용자의 집중력과 피로도, 눈부심 항목을 조사하였다. 결과는 Figure 6은 각 항목들에 대한 사용자들의 만족도를 보여준다. 조도에 따른 선호도의 색이 진할수록 그 부분을 선호하는 사람이 많다는 것을 의미하며, 사용자 개인의 선호도가 다소 차이를 보인다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 사용자 개인만을 위한 자가-적응 조명 제어 시스템이 필요하다고 볼 수 있다.

Figure 7은 각 조도에 따른 사용자들의 집중력, 피로도, 눈부심 항목의 평균을 구한 것이다. 이를 통해 평균적으로 조도가 높아질수록 눈부심이 심하다고 평가되었다는 것을 알 수 있다. 또한, 다소 어두운 환경을 가질 경우와 밝은 환경을 가질 경우 모두 사용자의 눈에 피로를 가

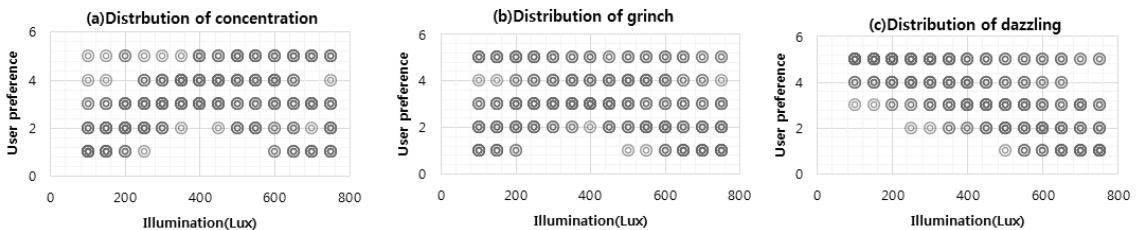


Figure 6. Users' preferences in each illumination

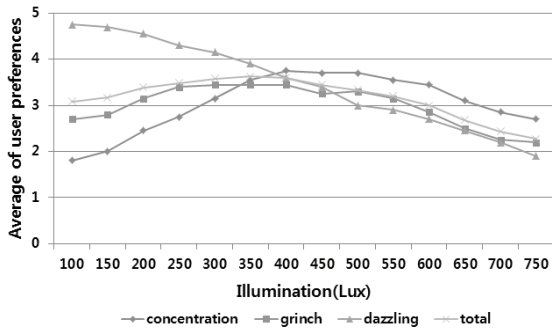


Figure 7. Average of users' preference

저온다고 평가한 것을 확인할 수 있다. 사용자들의 집중력은 조도가 비교적 낮은 환경보다 높은 환경에서 더 높다고 평가되었지만, 조도가 500 lux 이상인 경우 집중력이 감소한다는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 조명이 사용자가 만족하는 조도보다 어두운 경우뿐만 아니라 밝은 경우에도 사용자의 집중력에 방해가 되며, 눈부심과 눈의 피로를 초래한다. 그러므로 본 시스템에서는 사용자가 만족하는 조도를 제공할 뿐만 아니라, 선호 조도를 통해 조명을 제어함으로써 일정한 밝기를 제공하는 조명 제어 시스템에 비해 에너지를 효율적으로 소비한다고 볼 수 있다.

5.1.2 응답의 품질성

시스템은 주위 환경에 문제가 발생한 경우, 문제를 감지하고 사용자의 선호 조도를 고려한 결정을 통해 변화된 환경에 적응을 해야 하며, 이에 따른 응답의 품질이 중요하다. 이에 대한 예시로 Figure 8을 들 수 있다. 이는 사용자가 선호하는 조도가 400lux일 때에 이를 만족하기 위해 조명이 자동 제어되는 과정을 나타내고 있다. 초기 환경은 빛이 거의 존재하지 않은 3~5lux를 유지하고 있다. 사용자가 선호하는 조도를 감지한 후 초 당 20lux씩 증가하며, 20초 이내에 목표 조도에 도달한 후, 이를 유지하게 된다. 적응이 이루어진 후에는 목표 조도의 $\pm 3lux$ 를 유지하는 것을 알 수 있다. 또한 Table 2는 어두운 환경에서 각 선호 조도에 따라 적응한 시간과 적응 후 유지되는 범위를 나타낸다.

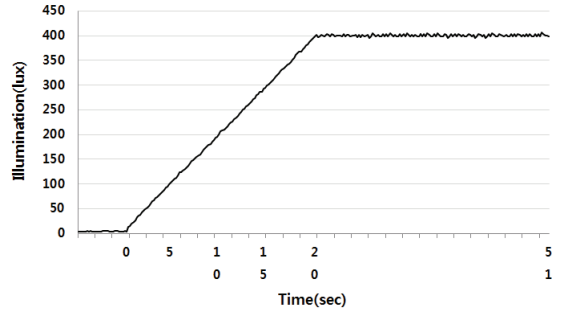


Figure 8. The coverage and time when preferred illumination is 400 lux

Table 2. time and coverage in each preferred illumination

Preferred illumination	time	coverage
100	4	97~101
200	8	198~202
300	12	297~303
400	20	398~403
500	22	493~503
600	25	596~603

5.1.3 실행기 오류에 따른 견고성

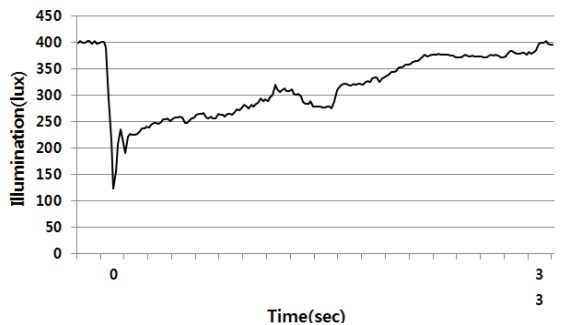


Figure 9. Self-adaptive process when lighting has a problem

자가-적응 조명 제어 시스템에서 외부 조명에서 변화가 발생한 경우, 시스템 성능에 크게 영향을 줄 수 있는 중요한 요인이 될 수 있다. 따라서 조명 등과 같은 실행기에 문제가 발생한 경우 이에 따른 적응이 요구되어진다. Figure 9는 400 lux의 조도를 유지하던 LED 조명에 문제가 발생하여 동일한 전압이 흐름에도 불구하고 124 lux로 조도가 감소하는 상황이다. 이에 따라 시스템은 문제를 감지하고, 해당 조도에 맞추기 위해 전압을 더 증가함으로써 조명 기기의 성능이 떨어짐에도 불구하고 33초 이내에 해당 조도를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 이외에도 환경의 변화에 의해 갑작스러운 조도의 증가에도

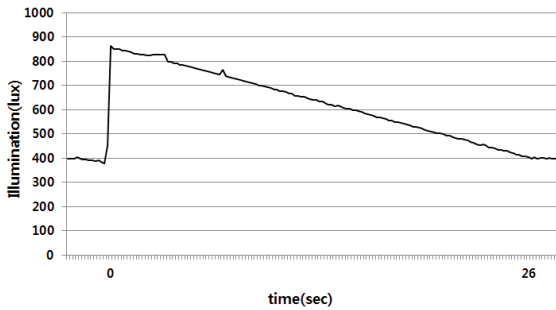


Figure 10. self-adaptive process when sensor sense massive illumination

조명이 적응하는 것을 확인할 수 있다. Figure 10은 400 lux를 유지하는 환경에서 강한 빛이 들어옴으로 863 lux가 측정되어 전압을 서서히 감소시켜 다시 400 lux를 유지하는 것을 보여준다.

5.1.4 의사 결정 도중 사용자 선호도 반영

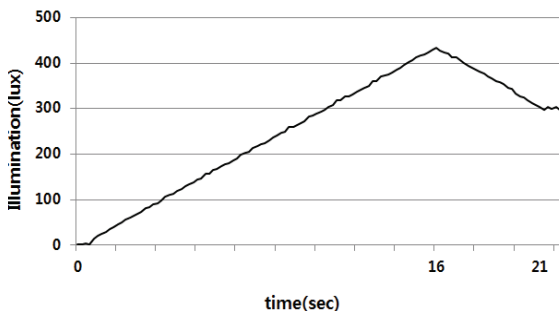


Figure 11. preferred illumination change during adaptation

자가-적응 시스템은 사용자 선호도 변화에도 실시간 대처가 가능해야 한다. 환경 변화에 따른 결정 도중에 다른 문제가 발생되면 그에 맞는 적응이 요구된다. Figure 11은 사용자의 선호 조도 500lux를 유지하기 위해 조명 기기의 조도가 밝아지는 도중에 사용자의 선호 조도가 300lux로 변경되는 과정을 나타낸다. 500lux를 달성하기 위해 433lux까지 증가시키는 도중에 사용자의 선호 조도가 300lux로 변경되면서 조도가 300lux를 달성하기 위해 감소하는 것을 보여준다.

5.1.5 센서에 급격한 변화 발생 시 적응

자가-적응 시스템은 센서를 통해 지속적으로 환경을 감지하게 되며, 적응 솔루션 결정은 센서를 통해 측정된 값에 의존된다. 따라서 환경에 급격한 변화가 발생해도

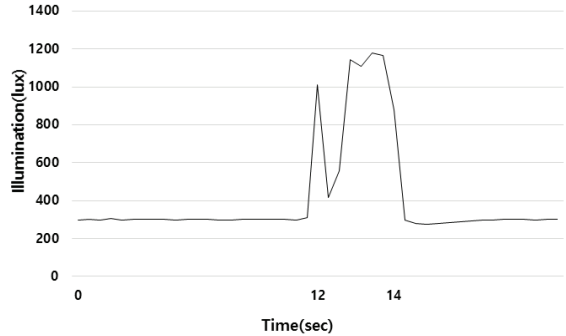


Figure 12. Self-adaptive When a sensor is uncertain

센서의 안전성이 요구된다. Figure 12는 선호 조도가 300lux인 시스템 환경에서 급격히 광량이 높아짐에 따른 조명 기기의 자가-적응 과정을 보여준다. 조명은 선호 조도를 유지하다가 잠음으로 인해 1191lux를 측정하게 되며, 해당 환경에 적응하기 위해 조명의 밝기를 낮춘다. 노이즈(noise)가 사라진 이후 1초 이내에 해당 조도를 유지하기 위해 조명의 밝기가 다시 증가하는 것을 확인할 수 있다.

5.2 기존 시스템과의 비교 및 평가

본 절에서는 앞서 서술한 아키텍처 평가 기준에 기반을 둔 자가-적응 조명 제어 시스템과 기존의 조명 제어 시스템들을 비교 및 평가한다.

본 연구에서 제안한 시스템을 비롯한 자동 조명 제어 시스템들은 응답의 품질과 확장성을 만족한다. 그러나 평가되는 모든 시스템들은 센서 네트워크에 의존적인 성격을 가지기 때문에 일반적인 경우에는 영향을 받지 않지만, 센서가 불확실할 경우에는 조명 제어에 취약할 수 있다는 문제를 내포한다.

본 연구에서는 앞서 실행기에 문제가 발생해도 일정 시간이 지나면 해당 상황에 맞춰 적응하는 것을 확인하였으며, 솔루션 결정 도중 요구사항이 변경되면 목표 조도를 변경함으로 그에 맞게 적응함을 증명하였다(5.1 참조). 또한 사용자의 선호도를 통해 제어함으로써 집중력, 눈부심 등의 사용자의 만족도를 고려함은 물론이고, 주변 환경이 선호조도보다 밝을 경우, 조명의 밝기를 줄임으로써 에너지를 효율적으로 소비할 수 있음을 보였다.

(Orestis et al., 2013)은 다수의 실행기를 가지는 환경으로, 실행기에 문제가 발생할 경우 다른 실행기를 통해 조도를 제어할 수 있지만, 사용자의 입력을 통해 기기가 제어되기 때문에 시스템 스스로 솔루션을 결정하는 과정

Table 3. performance comparison of a proposed system and existing systems

	proposed system	Orestis et al.	Singhvi et al.	Chen, Yifei, Huai Li, and Xueliang Chen	Afshari et al.
Answer quality	○	○	○	○	○
Scalability	○	○	○	○	○
Robustness to Sensor Uncertainty	△	△	△	△	△
Robustness to Effector	○	○	X	△	○
Robustness to Churn	○	△	X	X	△
Balance	○	X	○	X	X

○: Support △: Partially support X: Not support

이 존재하지 않는다. 또한 사용자의 선호도와 에너지 소비 감소를 동시에 고려한다고 보기 어렵다.

(Singhvi et al., 2005)은 사용자의 선호 조도와 에너지 소비 효율성을 고려한다. 하지만 다수의 관찰을 통한 데이터를 이용하여 예측하는 알고리즘을 가지기 때문에 실행기에 문제가 발생한 경우에는 솔루션이 제공되지 않으며, 솔루션 결정 도중에 발생하는 변화를 반영하기에 어려움이 있다.

(Chen, Yifei, Huai Li, and Xueliang Chen., 2009)는 베네치안 블라인드를 이용한 자가-적응 조명 제어 시스템으로, 실행기에 대응되는 블라인드에 문제가 발생할 경우, 조명을 제어하기에 큰 어려움이 발생한다. 또한 15분을 주기로 동작하기 때문에 솔루션 결정 도중 변화를 반영하기 쉽지 않으며, 사용자의 선호도와 에너지 소비 감소를 고려하지 않는다.

(Afshari et al., 2012)은 조명 기기를 제어하는 데 있어서 사용자의 개입이 요구되어지므로, 시스템이 스스로 결정하는 도중에 환경의 변화를 반영한다고 보기에 어려움이 있으며, 에너지 소비의 효율성과 사용자의 만족도를 동시에 고려하지 않았다.

Table 3은 기존 연구와 제안 연구를 정성적으로 비교한 내용이다. 본 연구에서 제안된 시스템은 기존 시스템들과 달리 사용자의 선호도를 고려하여 자가-적응이 이루어진다. 또한 의사 결정 도중 사용자의 선호도가 변경되면 이에 맞추어 실시간으로 자가-적응할 수 있다는 장점을 가진다. 마지막으로 실행기에 오류가 발생할 경우에도 조도를 증가시킴으로써 사용자가 원하는 조도를 만족할 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 자가-적응 조명 제어 시스템의 시뮬레이션 시나리오와 시스템 아키텍처를 소개하였으며, 시스템 아키텍처를 평가하기 위한 6요소로 응답 품질, 확장성, 불확실성에 대한 견고성, 센서 불확실성에 대한 견고성, 실행기에 대한 견고성, 도중 환경 변화에 따른 견고성을 제시하였다.

또한 본 연구는 자가-적응형 조명 제어 시스템의 프레임워크를 제안했다. 이는 MAPE-K로 구성된 닫힌 순환 구조로 구성이 되어 있으며 이를 기반으로 하는 아두이노 기반의 조명제어 기기와 안드로이드 앱을 구현해 상기 언급된 평가요소 6가지에 기반을 둔 시뮬레이션을 진행했다. 실험 데이터에 기반을 둔 사용자의 선호도와 전력소비의 연관성을 도출해낼 수 있었으며 더불어 기존의 조명 시스템들과 비교해 제안된 기법의 우수성도 비교평가를 진행했다.

향후 연구로는 다중센서 디바이스에서 작동하는 시뮬레이션 환경을 설계할 것이다.

References

Fredericks, Erik M., Byron DeVries, and Betty HC Cheng., "Towards run-time adaptation of test cases for self-adaptive systems in the face of uncertainty", *Proceedings of the 9th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems*, 2014.

Garlan et al., "Rainbow: Architecture-based

self-adaptation with reusable infrastructure", *Computer*, Vol. 37, 2004, pp. 46-54.

Salehie, Mazeiar, and Ladan Tahvildari, "Self-adaptive software: Landscape and research challenges", *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, Vol. 4, 2009.

Wuttke et al., "Traffic routing for evaluating self-adaptation", *Proceedings of the 7th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems*, 2012, pp. 27-32.

MinGwan Kim, Hoh Peter In, "The Concept and an Example of Self-Adaptive System of Systems", *Journal of KCC : Software Engineering*, 2014, pp. 541-543.

(김민관, 인호, “자가적응 복합시스템의 개념 및 예시”, *한국정보과학회 2014 한국컴퓨터종합학술대회 논문집*, 2014, 541-543).

Junhyi Lee, Euijong Lee, and Doo-Kwon Baik, “Smart Lecture Room: A Case Study for Self-Adaptive Software”, *KIISE 42th Conference*, 2015. 12.

(이준희, 이의중, 백두권, “스마트 강의실: 자가-적응 소프트웨어를 위한 사례 연구”, *한국정보과학회 제 42회 동계학술발표회*, 2015. 12).

Orestis et al., "Smart energy monitoring and management in large multi-office building environments", *Proceedings of the 17th Panhellenic Conference on Informatics*, 2013, pp.219-226.

Singhvi et al., "Intelligent light control using sensor networks", *Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems*, 2005.

Chen, Yifei, Huai Li, and Xueliang Chen., "Venetian blind control system based on fuzzy neural network for indoor daylighting", *Computer and Electrical Engineering Second International Conference*, Vol. 2, 2009, pp. 269-273.

Afshari et al., "An adaptive smart lighting system", *Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*, 2012.



이 준 희 (junhyi720@korea.ac.kr)

2015 전주대학교 컴퓨터공학 학사
2015~ 현재 고려대학교 컴퓨터학과 석사과정

관심분야 : 자가-적응 소프트웨어, 소프트웨어 공학, 시뮬레이션



이 의 중 (kongjjagae@korea.ac.kr)

2012 고려대학교 컴퓨터정보학과 학사
2012~ 현재 고려대학교 컴퓨터학과 석·박 통합 과정

관심분야 : 자가-적응 소프트웨어, 소프트웨어 공학, 모델검증, 시뮬레이션

백 두 권 (baikdk@korea.ac.kr)

1974 고려대학교 수학과 학사
1977 고려대학교 산업공학과 석사
1983 Wayne State Univ. 전산학과 석사
1985 Wayne State Univ. 전산학과 박사
현 재 고려대학교 정보대학 컴퓨터학과 교수



1989~ 1991 고려대학교 전산학과 학과장
1990~ 1991 미국 Arizona 대학교 객원 교수
1991~ 2013 ISO/IEC JTC1/SC32 전문위원회 위원장
1993~ 1999 한국과학기술원 객원책임연구원
1993~ 1999 한국DB진흥센터 표준연구위원
1996~ 1997 고려대학교 컴퓨터과학기술연구소 초대소장
1997~ 1998 고려대학교 정보전산원 원장
1998~ 1999 한국정보과학회 전산교육연구회 운영위원장
1999~ 2001 정보통신진흥협회 데이터기술위원회 의장
2002~ 2004 고려대학교 정보통신대학 초대학장
2002~ 2003 한국시뮬레이션학회 회장
2003~ 현재 정보통신부 컴퓨터프로그램보호위원회 위원
2004~ 2005 한국정보처리학회 부회장
2005~ 2008 한국소프트웨어진흥원 이사
2009~ 2010 고려대학교 정보통신대학 학장

관심분야 : 메타데이터, 소프트웨어공학, 데이터공학, 컴포넌트기반 시스템, 메타데이터 레지스트리, 프로젝트 매니지먼트