

# 태양광 에너지 모니터링 시스템의 신뢰성을 위한 운영 프로파일 적용 사례

장우성<sup>\*○</sup>, 손현승<sup>\*\*</sup>, 김영철<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>홍익대학교 소프트웨어공학연구실, <sup>\*\*</sup>모아소프트

{jang, bob}@selab.hongik.ac.kr, \*\*hson@moasoft.co.kr

## An Applied Practice on Operational Profile for Software Reliability of Solar Energy Monitoring System

Woo Sung Jang<sup>\*○</sup>, Hyun Seung Son<sup>\*\*</sup>, R.Young Chul Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Software Engineering Lab., Hongik University, <sup>\*\*</sup>Moasoft

### 요 약

태양광 모니터링 시스템은 다양한 이종의 서브 시스템들인 웹서버, 데이터 수집 서버, 데이터 수집 클라이언트, 인버터 조합 구성으로 상호운영 등의 문제를 갖고 있다. 또한 고장 발생 시 고장 원인 추적에 어려움을 겪는다. 이러한 문제의 예방을 위해 다양한 테스트케이스를 이용한 많은 테스트가 필요하다. 하지만 개발 기간 내 모든 테스트의 완벽한 수행은 힘들다. 본 논문은 Operational Profile 메커니즘을 이용한 태양광 모니터링 시스템의 기능적 운영 우선순위화를 제안한다. 제안한 방법은 모니터링 시스템의 운영적 측면에서 정상적 운영의 발생 확률과 비정상적 운영의 발생 확률을 계산한다. 이는 높은 확률을 가진 비정상적 운영을 우선적으로 테스트할 수 있다. 또한 제안한 방법은 전체 시스템의 운영적 측면에서 모든 기능의 연관관계를 나타낸다. 이런 과정을 통해 고장 예측 및 원인 추적이 용이하고자 한다.

### 1. 서 론

최근 세계 각국은 신재생 에너지에 대한 연구 개발과 보급 정책을 시행 중이다. 신재생 에너지 연구는 많은 과학 및 공학 분야에서 다양한 기술 개발이 요구되는 기술 집약형 메커니즘으로써, 발전량 예측, 실시간 모니터링, 환경 예측 등 다양한 연구가 진행되고 있다[1].

현재 태양광 발전 시스템의 고장 검출 및 진단에 대한 연구가 증가되고 있다. 예를 들어, 태양광 소자의 고장 파라미터를 추적하거나, 발전량 예상 출력값과 실제 출력값을 비교한다 [2,3]. 하지만 모니터링 시스템 고장 분석에 대한 연구는 부족하다. 모니터링 시스템은 이종의 인버터들이 다양한 프로토콜을 사용하여 통신한다. 다양한 장비의 상호작용은 많은 오류의 가능성을 가진다. 모니터링 시스템에서의 오류는 잘못된 발전량 측정과 예측을 야기한다. 그렇기 때문에 많은 테스트가 필요하다. 하지만 한정된 시스템 개발 기간 때문에 테스트 기간이 부족하다.

본 논문은 태양광 에너지 모니터링 시스템의 기능을 식별하여 Operational Profile을 구성하고, 시스템의 기능을 정상적 운영 케이스와 비정상적 운영 케이스로 나눈 후, 정량적 측정을 수행함으로써, 결과적으로 각 기능들의 치명적 테스트케이스 생성 및 우선순위화 방법을 제안한다. 정상적 운영 케이스는 정상적인 운영들의 집합이다. 비정상적 운영 케이스는 결함을 유발하는 운영들의 집합이다. 테스트 기간이 부족할 경우, 정상적 운영 기반의 테스트를 우선적으로 수행한다. 그리고 높은 우선순위를 가진 비정상적 운영의 테스트를 순차적으로 수행할 수 있다. 시스템을 유지보수 하였다면, 높은 우선순위를 가진 비정상적 운영 기반의 테스트를 통해 시스템의 안전성을 증가시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 Operational Profile과

M-PVMS (Metamodel based Photovoltaic Monitoring System)을 설명한다. 3장은 M-PVMS의 기능적 운영 우선순위화 방법을 설계한다. 4장은 적용 사례로써, M-PVMS의 정상적 운영 케이스와 비정상적 운영 케이스를 생성한다. 5장은 결론을 언급한다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1. 운영 프로파일[4]

운영 프로파일은 사용자가 시스템을 사용하는 방법을 설명한다. 시스템이 어떻게 사용될 것인지에 대한 정량적인 측정을 수행한다. 소프트웨어 신뢰성 엔지니어링에서 필수적인 방법이다. 생산성, 안정성, 그리고 개발 속도를 높이는 방법을 보여준다. 운영 프로파일을 사용하여 테스트를 수행하면, 일정 제약으로 인해 제한되는 테스트를 최대한 수행할 수 있다.

운영 프로파일을 개발하는 과정은 그림 1과 같이 5단계가 필요하다. 고객 프로파일을 찾는다. 유저 프로파일을 설정한다. 시스템 모드 프로파일을 정의한다. 기능 프로파일을 결정한다. 운영 프로파일을 결정한다.



그림 1 운영 프로파일 개발 흐름

## 2.2. M-PVMS (Metamodel based Photovoltaic Monitoring System)[5,6]

메타모델 기반의 태양광 에너지 모니터링 시스템은 이종의 설비 간의 쉬운 통신을 지원하는 태양광 모니터링 시스템이다. OMG's Model Driven Architecture를 적용하여 프로토콜 모델 간의 자동 변환을 지원한다. 새로운 설비가 추가되면, 최소의 비용으로 시스템 유지보수가 가능하다.

태양 전지에서 생산된 직류 전기는 인버터에서 교류 전기로 변환된다. 인버터는 생산된 전기 발전량을 측정하여 Local Server에게 전달한다. 다양한 회사에서 제작된 인버터는 다양한 종류의 프로토콜을 사용한다. Local Server는 다양한 프로토콜로 전송된 데이터를 메타모델 기반의 변환 방법을 사용하여 통합 XML 데이터로 변환한다. 변환된 데이터는 Integrated Server에게 전달된다. Integrated Server는 전달받은 데이터는 DB에 저장한다. Web Server는 DB에 저장된 데이터를 읽어서 웹브라우저에 표시한다. 시스템의 전체 구조는 그림 2와 같다.

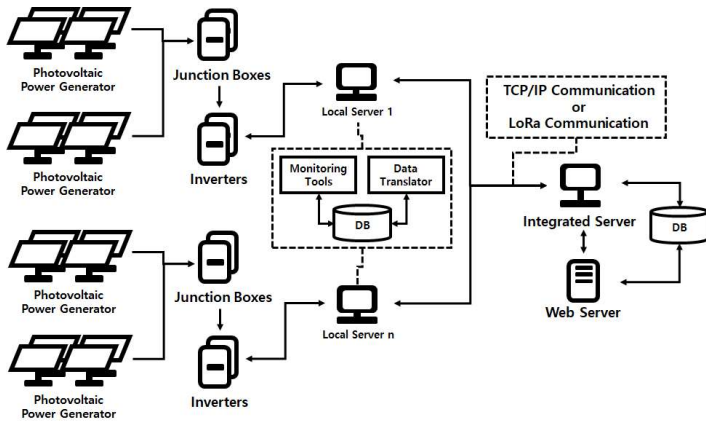


그림 2 M-PVMS의 전체 구조

## 3. M-PVMS의 기능적 운영 우선순위화 설계

그림 3은 태양광 에너지 모니터링 시스템 중 하나인 M-PVMS의 기능적 운영 케이스의 우선순위화 방법이다. M-PVMS의 기능을 분석하여 M-PVMS의 운영 프로파일을 생성한다. 생성된 운영 프로파일에서 정상적 운영 흐름과 비정상적 운영 흐름을 분류한다. 정상적 운영 흐름은 기능의 정상적 동작 및 접근 흐름이고, 비정상적 운영 흐름은 기능의 비정상적 동작 및 접근 흐름이다. 마지막으로, 분류된 운영 흐름의 테스트케이스를 생성한다.

우선순위화 흐름을 수행하기 위한 절차는 다음과 같다. 시스템 데이터를 수집한다. 수집된 데이터를 그룹화하고, 발생확률을 정의한다. 운영 프로파일을 생성한다. 운영 케이스 생성하고, 우선순위화한다.

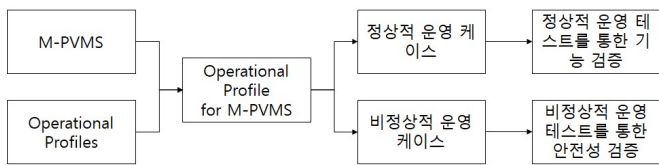


그림 3 운영 프로파일을 사용한 M-PVMS 기능적 운영 케이스 우선순위화 흐름

### 3.1. M-PVMS의 데이터 수집

M-PVMS의 구성요소는 M-PVMS Monitor, M-PVMS Server,

M-PVMS Client, Inverter, Junction Box, Solar Cell를 포함한다. 각 구성요소는 이종의 프로토콜을 사용하여 통신한다. M-PVMS에 운영 프로파일을 적용하기 위해 시스템 구성요소를 분석한다. 다음과 같은 요소를 수집한다.

- 시스템 구성요소
- 시스템 구성요소 간의 관계
- 시스템 구성요소 간의 데이터 요청 및 응답 횟수
- 시스템에서 사용되는 데이터 종류
- 시스템의 통신 종류
- 여러 및 통신 로그 데이터

### 3.2. 유저, 시스템 모드, 기능 프로파일 생성

수집된 데이터들을 기반으로 고객 프로파일, 유저 프로파일, 시스템 모드 프로파일, 기능 프로파일을 생성한다. 각 프로파일에서 발생확률이 계산되는 항목은 표 1과 같다. 고객 프로파일은 항목이 하나이므로 제외한다.

표 1 프로파일들을 생성하기 위해 필요한 항목

유저 프로파일	시스템 모드 프로파일	기능 프로파일
M-PVMS 시스템을 사용하는 사용자들의 종류의 구분 및 발생 확률 정의(서버, 클라이언트, 인버터, 사용, 모니터적 사용)	시스템 사용자들의 사용 용도의 종류 판별 및 발생 확률 정의(서버적 사용, 클라이언트, 인버터, 사용, 모니터적 사용)	시스템 사용 용도에 따라 수행되는 기능의 발생 확률 정의. 시스템 환경 변수 정의. 기능 연관 관계 작성

### 3.3. 운영 프로파일 생성

운영 프로파일을 생성하기 위한 절차는 다음과 같다.

- (1) 기능 프로파일에서 정의된 기능들의 모든 연관 관계를 목록화
- (2) 각 연관된 기능들이 발생될 확률을 정의
- (3) 연관된 기능 목록 하나 당 하나의 운영으로 정의
- (4) 운영 발생 확률에 환경변수 발생 확률을 더하여 운영 프로파일의 발생확률 정의

### 3.4. 운영 케이스의 생성 및 우선순위화

3.3에서 생성된 운영 프로파일의 운영들을 정상적 운영과 비정상적 운영을 분류한다. 운영 프로파일을 사용하여 생성된 운영 케이스는 기본적으로 발생 확률을 가진다.

## 4. 적용 사례

본 장은 수집된 M-PVMS의 데이터를 사용하여 M-PVMS의 정상적 운영케이스와 비정상적 운영 케이스를 생성한 결과를 설명한다.

M-PVMS의 구성요소를 식별하고, 그룹화하고, 구성요소별 발생확률을 정의하여 유저 프로파일, 시스템 모드 프로파일, 기능 프로파일, 운영 프로파일을 생성한다. 각 Profile에서 정의된 요소들은 모두 발생 확률을 가진다. 발생확률은 시스템의 데이터 개수, 타입, 로그 데이터들을 이용하여 계산된다.

표 2는 생성된 정상적/비정상적 운영 케이스의 일부로써, 서버 관점에서 시스템 운영 경로를 보여준다. 시스템 모드는 시스템 모드 프로파일에서 생성된 항목이다. 운영은 기능 프로파일에서 생성된 항목으로써, 서버적 사용 측면에서 접근할 수 있는 연관된 기능의 목록이다. 환경변수는 시스템에 영향을 주는 환경적 변수를 의미하며, 기능 프로파일에서 정의된다. 발생

확률은 유저 프로파일, 시스템 모드 프로파일, 기능 프로파일에서 정의되었던, 현재 운영에 관련된 모든 항목의 발생 확률을 곱한 값이다. 운영 상태는 현재 운영이 정상적 접근의 경우인지, 비정상적 접근의 경우인지 판별한 결과이다.

표 2 생성된 정상적/비정상적 운영 케이스의 일부

시스템 모드	운영	환경변수	발생확률	운영 상태
서버적 사용	통합 요청 패킷 전송, 인버터 요청 패킷 생성 완료, 인버터 발전량/센서 요청, 패킷 데이터 저장 성공, 통합 패킷 생성, 패킷 전송 완료, 패킷 데이터 저장 완료(서버)	Wi-Fi	0.046	정상적
		LoRa	0.154	정상적
	발전량 업데이트 요청(모니터), 마지막 데이터 요청 성공, 마지막 데이터 로드 성공, 통합 패킷 생성, 패킷 전송 완료, 패킷 데이터 저장 실패, DB 공간 부족	Wi-Fi	0.016	비정상적
		LoRa	0.053	비정상적

정상적 운영 케이스는 올바른 기능 동작에 대한 운영 케이스이다. 비정상적 운영 케이스는 잘못된 접근을 처리하기 위한 운영 케이스이다. 소프트웨어 개발 시간이 부족하다면, 정상적 운영 케이스의 테스트를 우선적으로 진행하고, 발생 확률이 높은 비정상 운영케이스의 테스트를 순차적으로 진행할 수 있다.

5. 결론

다양한 이종 서브시스템의 집합인 모니터링 시스템은 다양한 오류의 가능성을 가진다. 테스트 기간이 부족하다면, 안전성의 보장이 힘들고, 시스템을 유지보수 시 많은 테스트의 재수행이 필요하다.

본 논문은 운영 프로파일을 이용한 태양광 에너지 모니터링 시스템의 기능적 운영 우선순위를 제안한다. 시스템 운영 측면에서 시스템의 기능을 우선순위화 한다. 기능을 정상적 운영 케이스와 비정상적 운영 케이스로 분류한다. 결과적으로, 발생 확률이 높은 운영 방법의 집중적인 테스트가 가능하다. 짧은 시간 내에 가장 중요한 기능의 안전성을 증가시킬 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2017년도 정부(교육부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2017R1D1A3B03035421)과 2018년도 정보통신산업진흥원의 정보통신, 방송 연구개발사업(개방형OS 환경개발 및 보급, 확산 사업)의 지원을 받아 수행된 연구임(S1113-18-1001).

참 고 문 헌

[1] 한국에너지공단 신재생에너지센터, “2016 신재생에너지의 이해”, 2016.  
 [2] D. Sera, R. Teodorescu, “Photovoltaic module diagnostics by series resistance monitoring and temperature and rated power estimation,” Annual Conference of IEEE, pp.2195-2199, 2008.  
 [3] K.H. Chao, S.H. Ho, M.H. Wang, “Modeling and fault

diagnosis of a photovoltaic system,” Electric Power Systems Research, Vol.78, pp.97-105, 2008.

[4] John D. Musa, “Operational Profiles in Software-Reliability Engineering”, Journal IEEE Software, Vol.10, pp.14-32, 1993.

[5] 장우성, 손현승, 박보경, 전병국, 김영철, “작은 신재생 에너지 기업들을 위한 효율적 웹 통합 모니터링 시스템 구축 사례”, 한국스마트미디어학회, Vol.5, No.1, pp.303-305, 2016.

[6] Woo Sung JANG, Hyun Seung SON, Chae Yun SEO, R. Young Chul KIM, “Metamodel based Photovoltaic Monitoring System for Heterogeneous Renewable Energies”, Asia Pacific Society for Computing and Information Technology, pp.44-47, 2017.