

에너지저장장치용 확장성 프로파일 검증 소프트웨어 복잡도 분석에 관한 연구[☆]

A Study on Complexity Analysis of Extensible Profile Verification Software for Energy Storage System

권혁영¹ 류영수¹ 박재홍² 권기원^{1*}
Hyeokyoung Kwon Youngsu Ryu Jaehong Park Kiwon Kwon

요약

최근 세계적으로 에너지 부족 문제를 해결하기 위해 에너지저장시스템에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 에너지저장시스템은 에너지 네트워크상의 모든 에너지 인프라에 대한 모니터링 및 제어를 통해 ESS(Energy Storage System) 에너지 사용을 극대화할 수 있다. 하지만 에너지저장시스템의 주요 부품이나 장치들 간의 호환 문제는 ESS 제품 개발에 걸림돌로 작용하고 있다. 이를 해결하기 위해 ESS 부품 및 장치들의 특성을 확장할 수 있는 프로파일과 이를 검증할 수 있는 소프트웨어 기술이 요구되어지고 있다. 본 논문에서는 에너지 저장장치용 확장성 프로파일 검증 소프트웨어의 구조에 따른 복잡도 분석에 관한 연구를 수행한다. 프로파일 검증 소프트웨어 분석을 위해 기존의 XML(eXtensible Markup Language) 기반의 프로파일과 C언어 구조체 기반의 프로파일을 사용한다. XML 기반의 프로파일을 여러 번 파싱하는 복잡한 검증 구조와 파싱 절차를 감소하고 단순 반복을 이용한 C언어 구조체 기반의 검증 소프트웨어의 복잡도를 분석하고 비교한다. 시간 복잡도, 공간 복잡도 및 순환 복잡도 알고리즘을 이용하여 XML 기반의 프로파일과 C언어 구조체 기반의 프로파일 검증 소프트웨어의 복잡도를 비교 및 분석하여 연구 결과를 제시한다.

☞ 주제어 : 에너지저장시스템, 검증 소프트웨어, 시간 복잡도, 공간 복잡도, 순환 복잡도

ABSTRACT

Recently, a study has been progressed about the energy storage system for resolving energy shortage problems in the world. The energy storage system can maximize energy storage system's energy usage by monitoring and controlling about all energy infrastructures on energy network. However, compatibility problems among main components or devices of the energy storage system are obstacles to development of energy storage system products. An extensible profile and extensible profile verification software being able to verify the extensible profile have been required in order to resolve compatibility problems. In this paper, the study on complexity analysis for the extensible profile verification software for the energy storage system is performed. A XML based profile and C language structure based profile are used for analysis of the profile verification software. The complexity of complex verification structure that parses the XML based profile several times and simple verification structure that parses the C language structure based profile are analyzed and compared. Time complexity, space complexity, and cyclomatic complexity are used for complexity analysis. By using these complexity analysis, the study result that compares and analyzes the complexity of XML based and C language structure based profile verification software is presented.

☞ keyword : Energy Storage System, Verification Software, Time Complexity, Space Complexity, Cyclomatic Complexity

1. 서론

세계적으로 에너지 수요가 급증하면서 에너지 수급 불균형으로 인해 에너지 부족 현상이 문제되고 있다. 에너

지 부족 및 심각한 전력난을 해소하기 위해 에너지 저장 시스템 개발이 급속도로 이루어지고 있다[1]. 에너지 저장 시스템은 전력 공급이 원활할 때 에너지를 저장해 두었다가 전력 과부하 및 필요시 사용할 수 있는 점에서 에너지의 안정적인 공급과 효율적인 관리를 위한 방안으로 연구가 이루어지고 있다[2]. 그러나 에너지 저장 시스템을 구성하는 부품 간 인터페이스 및 규격에 관한 국제적인 표준 제정이 이루어지지 않아 에너지 저장 시스템의 확장 및 사용자 요구에 따른 에너지 저장 시스템 구성과 운영에 어려움을 겪고 있다[3].

이러한 문제를 해결하기 위해 에너지 네트워크상의 모

¹ Smart Network Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Seoul, 121-835, Korea.

² PMGrow, Uiwang-si, 437-120, Korea.

* Corresponding author (kownkw@keti.re.kr)

[Received 5 July 2016, Reviewed 13 July 2016, Accepted 1 August 2016]

☆ This research was supported by R&D programme of MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy) at Korea. [No. 10047783]

든 에너지 인프라에 대한 모니터링 및 제어를 통해 ESS 에너지 사용을 극대화 할 수 있는 구조의 에너지 저장 시스템 개발이 요구된다. 에너지 저장 시스템 운영을 위해 제조사별 다양한 장치의 구성 정보를 제공하는 확장성 프로파일과 이를 검증하는 소프트웨어가 필요하다. 확장성 프로파일은 다양한 제조사의 정보를 수용하여 추가되거나 변경되는 경우 이를 즉각적으로 반영할 수 있는 XML 기반 구조로 설계하는 것이 적합하다[4]. 또한, XML은 범용적으로 사용하고 있는 데이터 저장 방식이며 가독성이 높아 사용자의 요구대로 각각의 프로파일을 비교할 수 있다[5].

프로파일 검증 소프트웨어의 성능 검증을 위해 복잡도 분석이 필요하다. 기존에는 에너지 저장 시스템에 프로파일을 적용한 사례가 있다. 하지만, 기존 에너지 저장 시스템의 PCS(Power Conditioning System) 및 BMS(Battery Management System)에 적용된 프로파일은 소규모의 데이터를 다루기 때문에 이를 검증할 때 소프트웨어의 복잡도를 적용한 사례가 없다[4]. 이러한 기존의 프로파일과 본 논문의 확장성 프로파일의 상용화를 위해서 검증 소프트웨어의 성능 복잡도 분석은 필수적이다.

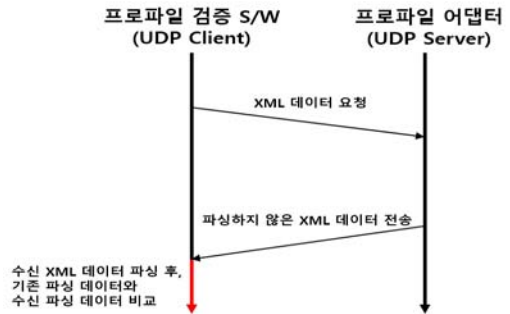
본 논문에서는 에너지 저장 시스템의 구성 및 운영의 안정성과 정확성을 보장하기 위하여 확장성 프로파일 검증 소프트웨어의 복잡도 분석에 관한 연구를 수행한다. 프로파일 검증 소프트웨어의 복잡도 분석을 위해 기존의 XML 기반의 프로파일과 C언어 구조체 기반의 프로파일을 사용한다. 복잡도 분석에는 시간 복잡도, 공간 복잡도 및 순환 복잡도 알고리즘을 이용한다. 프로파일 검증 소프트웨어의 복잡도 분석 결과를 통해 XML 기반의 프로파일 보다 C언어 구조체 기반 프로파일 검증 구조의 복잡도가 개선됨을 보여준다.

2. 프로파일 검증 소프트웨어 복잡도 분석

2.1 복잡도 분석을 위한 시스템 모델

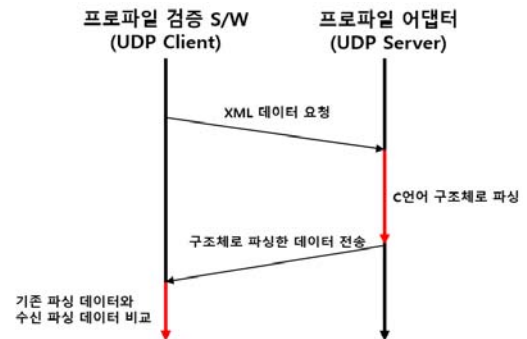
에너지 저장 시스템 프로파일은 다양한 제조사의 정보를 정적이 아닌 동적으로 수용하고 추가 및 변경되는 경우 이를 즉각 반영하고 동적인 데이터의 변경을 위해 확장 가능한 XML 기반으로 설계하는 것이 적합하다. 또한, XML은 범용적으로 사용하고 있는 데이터 저장 방식이며 가독성이 높아 사용자의 요구대로 각각의 프로파일을 비교할 수 있다.

XML 기반의 에너지 저장 시스템 프로파일은 태그(Tag)와 값(Value)으로 이루어져 있으며, 레벨(Level) 형태의 부모-자식의 계층 구조를 형성하고 있다. 그림 1은 XML 기반의 프로파일 데이터 검증 순서도를 나타낸다. 프로파일 검증 소프트웨어에서 수신한 XML 프로파일 데이터를 파싱하여 검증을 수행한다.



(그림 1) 기존 XML 파싱 데이터 검증 순서도
(Figure 1) Time Sequence of XML Data Verification

그림 2는 XML 프로파일을 C언어 구조체로 파싱한 데이터 검증 순서도를 나타낸다. XML 기반의 프로파일 데이터가 C언어 구조체로 파싱되어있어 프로파일 검증 소프트웨어에서 파싱 단계를 거치지 않는다.



(그림 2) C언어 구조체 XML 파싱 데이터 검증 순서도
(Figure 2) Time Sequence of XML Data Using C Language Structure Verification

표 1은 레벨, 태그, 값으로 구성된 XML 기반의 프로파일 파싱을 위한 C언어 구조체 환경을 나타낸다.

(표 1) XML 파싱을 위한 C언어 구조체 환경
(Table 1) Settings of C Language Structure for parsing XML

항목	변수 타입	사이즈	설명
Level	unsigned char	1 byte	프로파일 태그의 계층 레벨
Tag	char	25 bytes	프로파일 태그 이름
Value	char	70 bytes	프로파일 태그의 값

Level은 프로파일 태그의 계층을 나타내어 1byte만 필요하다. Tag는 프로파일 태그 이름을 나타내므로 25bytes, Value는 프로파일 태그의 값을 나타내어 70bytes로 총 96bytes 단위로 프로파일 파싱을 수행한다. 그림 3은 복잡도 분석을 위한 XML 기반의 프로파일 검증 구조를 나타낸다. XML 기반의 프로파일을 검증할 경우, 프로파일의 최대 계층 수에 비례하여 반복문이 중첩된다. 또한 각 계층의 태그별 자식 계층 여부 및 태그 수를 확인하여 반복 횟수를 조절해야 한다.

<pre>< 1 계층 > < 2 계층 > < 3 계층 > . . . < n 계층 > . . . </ n 계층 > . . . </ 3 계층 > . . . </ 2 계층 > . . . </ 1 계층 > . . . </pre>	<pre>for (1 계층 태그 수) { Tag 비교 Value 비교 다음 계층 유효성 검사 for(2 계층 태그 수) { Tag 비교 Value 비교 다음 계층 유효성 검사 for(3 계층 태그 수) { . . . } } for(n 계층 태그 수) { Tag 비교 Value 비교 다음 계층 유효성 검사 } } </pre>
a. XML 기반 프로파일 구조	b. XML 기반 검증 구조

(그림 3) XML 기반의 프로파일 검증 구조
(Figure 3) XML Profile Verification Structure

복잡도 분석을 위한 C언어 구조체 기반의 프로파일 검증 구조는 그림 4와 같다. XML 기반의 프로파일 데이터를 C언어 구조체로 수신하여 검증할 경우, 96 바이트가 태그 수만큼 연속적으로 반복되기 때문에 하나의 반복문으로 검증 작업이 가능하다. 그림 3과 그림 4의 프로파일

검증 소프트웨어의 복잡도를 분석하기 위한 환경은 표 2와 같다. 하나의 프로파일을 기준으로 최대 계층 깊이를 L , 총 태그의 수를 T 개, 태그의 이름과 태그의 값의 최대 크기를 각각 25 바이트와 70 바이트로 제한하였다.

<pre>1 번째 태그 96 바이트 2 번째 태그 96 바이트 3 번째 태그 96 바이트 . . . n 번째 태그 96 바이트</pre>	<pre>for (총 태그 수) { Level 비교 Tag 비교 Value 비교 }</pre>
a. C구조체 기반 프로파일 구조	b. C구조체 기반 검증 구조

(그림 4) C 구조체 기반의 프로파일 검증 구조
(Figure 4) C Structure Profile Verification Structure

(표 2) 시간, 공간 및 순환 복잡도 분석을 위한 환경
(Table 2) Settings for Time, Space, and Cyclomatic Complexity Analysis

프로파일 수	최대 계층 깊이	태그 수	최대 태그 이름	최대 태그 값
1	L	T	25 bytes	70 bytes

2.2 프로파일 검증 구조의 시간 복잡도 분석

시간 복잡도는 알고리즘이 실행되는 데 얼마나 많은 시간이 걸리는지 나타내는 척도로써 명령어의 실행 횟수와 대입, 비교 등의 연산 횟수를 고려하여 다항식으로 나타낸다. 시간 복잡도는 빅 오(Big-Oh) 표기법으로 나타낸다[6][7]. 빅 오 표기법은 다항식으로 표현될 경우 불필요한 정보를 제거하여 복잡도 분석을 쉽게 하고자 계수를 제외한 최고차항의 변수로 나타낸다. 그림 5는 임의 프로그램의 시간 복잡도 분석 과정을 나타낸다. 실행 빈도수에 의한 다항식을 빅 오 표기법으로 나타내어 복잡도를 분석한다. 표 3은 프로파일 검증 구조의 시간 복잡도 다항식을 나타낸다. 시간 복잡도의 경우, 프로파일 검증 소프트웨어에서 검증 구조가 반복되는 횟수로 분석하였다.

함수 ex_Time 코드	실행 빈도수
<pre>void ex_Time(int n) { int count = 0; for(int i = 0; i < n; i++) { if(i != n) count++; } }</pre>	<p>1</p> <p>n+1</p> <p>n</p> <p>n</p>
다항식 \rightarrow 빅 오(O) 표기법	$3n+2 \rightarrow O(n)$

(그림 5) 시간 복잡도 분석의 예
(Figure 5) Example of Time Complexity Analysis

(표 3) 프로파일 검증 구조의 시간 복잡도 다항식
(Table 3) Time Complexity Polynomials of Profile Verification Structure

검증 구조	XML	C언어 구조체
반복 횟수	T	T

2.3 프로파일 검증 구조의 공간 복잡도 분석

공간 복잡도는 알고리즘이 실행되는 데 얼마나 많은 메모리를 필요로 하는지 나타내는 척도로써 필요한 메모리의 크기를 의미한다. 공간 복잡도의 공간 요소로는 고정 공간과 가변 공간이 있다. 고정 공간은 정적 변수와 같이 특정 인스턴스의 크기와 관계없는 공간이며, 가변 공간은 메모리 동적 할당과 같이 특정 인스턴스의 크기에 영향을 미치는 공간이다. 공간 복잡도 또한 시간 복잡도와 마찬가지로 빅 오 표기법으로 나타낸다[6][7].

함수 ex_Space 코드	메모리 크기
<pre>void ex_Space(int n) { int count = 0; for(int i = 0; i < n; i++) { if(i != n) count++; } }</pre>	<p><Stack></p> <p>$1(i) + 1(count) + 1(n) = 3$</p>
다항식 \rightarrow 빅 오(O) 표기법	$3 \rightarrow O(1)$

(그림 6) 공간 복잡도 분석의 예
(Figure 6) Example of Space Complexity Analysis

그림 6은 임의 프로그램의 공간 복잡도 분석 과정을 나타낸다. 프로그램을 실행시켜 완료하는 데 필요한 메모리 크기에 따라 다항식을 빅 오 표기법으로 나타내어 복잡도를 분석한다. 표 4는 프로파일 검증 구조의 공간 복잡도 다항식을 나타낸다. 공간 복잡도의 경우, 프로파일 검증 소프트웨어에서 수신 받은 프로파일 데이터의 크기로 분석하였다.

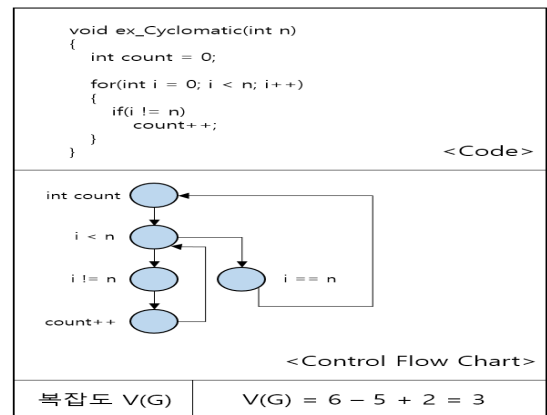
(표 4) 프로파일 검증 구조의 공간 복잡도 다항식
(Table 4) Space Complexity Polynomials of Profile Verification Structure

검증 구조	XML	C언어 구조체
수신 크기	$95T$	$96T$

2.4 프로파일 검증 구조의 순환 복잡도 분석

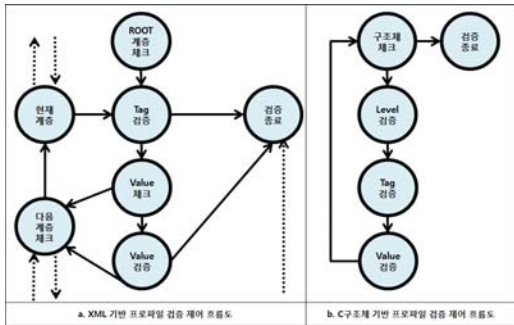
순환 복잡도는 프로그램 구성물의 제어흐름을 기초로 하여 소프트웨어의 구조성을 평가하기 위한 척도로 사용한다. 기본 알고리즘은 McCabe의 순환 복잡도 알고리즘을 사용한다[8]. 제어 흐름 그래프를 통해 회전하는 수를 구하여 복잡도를 계산하는 방법으로 코드 복잡도의 정량적 지표로 많이 사용된다. 식(1)은 순환 복잡도의 계산식을 나타낸다. 순환 복잡도, $V(G)$,는 노드 사이의 연결 수, E ,와 노드의 수, N ,의 관계로 나타낼 수 있다[9].

$$V(G) = E - N + 2 \tag{1}$$



(그림 7) 순환 복잡도 분석의 예
(Figure 7) Example of Cyclomatic Complexity Analysis

그림 7은 임의 프로그램의 순환 복잡도 분석 과정을 나타낸다. 프로그램의 제어 흐름은 노드와 노드 사이의 연결선으로 나타낸다. 각 원형은 노드를 나타내고 실선은 노드사이의 연결을 나타낸다. 그림 8은 순환 복잡도 분석을 위한 단일 계층의 프로파일 구조에 따른 프로파일 검증 제어 흐름도를 나타낸다. 점선은 최대 계층 증가 시 추가되는 연결선을 나타낸다.



(그림 8) 순환 복잡도 분석을 위한 단일 계층의 프로파일 검증 제어 흐름도

(Figure 8) Control Flow Charts of Single Level Profile Verification for Cyclomatic Complexity Analysis

2.5 프로파일 검증 구조의 복잡도 분석 결과

프로파일 구조에 관한 검증 구조의 복잡도를 분석한 결과 시간 및 공간 복잡도 분석 결과는 표 5와 같다. 표 3의 시간 복잡도 다항식을 빅 오 표기법으로 나타낼 경우, XML 기반과 C언어 구조체 검증 구조 각각 $O(T)$ 로 동일함을 알 수 있다. 표 4의 공간 복잡도 다항식을 빅 오 표기법으로 나타낼 경우, 마찬가지로 XML 기반과 C언어 구조체 기반 검증 구조 각각 $O(T)$ 로 동일하다. 시간 복잡도의 경우, 반복문의 중첩으로 XML 기반의 검증 구조가 더 복잡해 보이나 반복 횟수는 전체 태그 수인 T 회로 동일하다.

(표 5) 시간 및 공간 복잡도 분석 결과
(Table 5) Analysis Results for Time and Space Complexity

	XML	C언어 구조체
시간 복잡도	$O(T)$	$O(T)$
공간 복잡도	$O(T)$	$O(T)$

XML과 C언어 구조체 기반의 프로파일 검증 구조의 시간 및 공간 복잡도는 XML 기반 검증 구조와 C언어 구조체 기반 검증 구조와 서로 동일할 수 있다. 이로 인해 순환 복잡도 분석이 필요하다. 표 6은 그림 8의 단일 계층의 프로파일 검증 제어 흐름도를 최대 계층 깊이에 따른 순환 복잡도 분석 결과를 나타낸다. XML 구조체 기반의 프로파일 검증 구조는 최대 계층의 깊이만큼 각 계층의 지식 여부와 태그의 유효성을 검사한다. 이는 각 계층마다 반복수 조절을 의미하는 것으로, 최대 계층 깊이에 따라 순환 복잡도는 점점 증가한다. 최대 계층 깊이를 L 로 순환 복잡도를 일반화하면 $5L-1$ 이라는 복잡도를 얻는다. 최대 계층 깊이, L , 이 증가할수록 순환 복잡도도 증가한다. 반면에 C언어 구조체 기반의 프로파일 검증 구조는 계층의 깊이와 상관없이 태그가 유효하면 데이터를 비교한다. 다음 태그의 유효성을 순차적으로 검사하는 단순 반복이며 최대 계층 깊이에 상관없이 순환 복잡도가 일정하다. C언어 구조체 기반의 프로파일 검증 구조가 XML 구조체 기반의 프로파일 검증 구조보다 복잡도가 개선됨을 알 수 있다.

(표 6) 순환 복잡도 분석 결과
(Table 6) Analysis Results for Cyclomatic Complexity

최대 계층 깊이	XML	C언어 구조체
1	4(간단)	2(간단)
2	9(복잡)	2(간단)
3	14(복잡)	2(간단)
$L > 3$	$5L-1$ (복잡)	2(간단)

3. 결 론

본 논문에서는 에너지저장장치용 확장성 프로파일 검증 소프트웨어 구조의 복잡도를 시간, 공간 및 순환 복잡도로 분석하여 연구를 수행하였다. 시간 및 공간 복잡도는 빅 오 표기법을 사용하여 동일한 결과를 얻었다. 하지만, 시간 및 공간 복잡도에는 상호연관성이 있기 때문에 코드의 수와 태그의 수에 따라 시간 복잡도는 감소하고 공간 복잡도는 증가가 될 것으로 예상된다. 순환 복잡도 분석을 이용하여 계층깊이에 따라 XML 기반의 프로파일 검증 구조보다 C언어 구조체 기반의 프로파일 검증구조의 복잡도가 개선된 결과임을 얻었다. 본 논문의 ESS용 확장성 프로파일 검증 소프트웨어의 복잡도 분석 결과를

통하여 향후 프로파일 검증 소프트웨어 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌 (Reference)

- [1] Xuesong Zhou, Yitong Lin, Youjie Ma, "The overview of energy storage technology", IEEE ICMA, pp. 43-48, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICMA.2015.7237454>
- [2] Hanmin Lee, Euijin Joung, Gildong Kim, Cheonheon An, "A Study on the Effects of Energy Storage System", International Conference on Information and Multimedia Technology, pp. 28-32, 2009.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICIMT.2009.39>
- [3] Yang Gao, Aoran Xu, Gang Wang, Di Bai, Yi Zhao, "Study on Micro-Grid Power Storage Converter", International Journal of Grid and Distributed Computing, Vol. 8, No. 3, pp. 337-350, 2015.
<http://www.earticle.net/article.aspx?sn=251211>
- [4] Yongje Woo, Jaehong Park, Mingoo Kang, Kiwon Kwon, "Analysis and Design of Profiling Adaptor for XML based Energy Storage System", Journal of Internet Computing and Services, Vol. 16, No. 5, pp. 29-38, 2015.
<http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2015.16.5.29>
- [5] D. Kwak, C. Yoo, "A Design and Implementation a software Profiling Tool based on XML for Embedded System", KSII, Vol. 11, No. 1, pp. 143-151, 2010.
http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OTJBCD_2010_v11n1_143
- [6] Michael J. North, "A time and space complexity analysis of model integration", Proceedings of the Winter Simulation Conference, pp. 1644-1651, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2014.7020015>
- [7] Le Yi Wang, G. George Yin, "Time and space complexity in feedback systems: Recent progress and challenges", Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, pp. 6209-6214, 2010.
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5573051&newsearch=true&queryText=time%20and%20space%20complexity%20in%20feedback%20systems>
- [8] K. O. Emergy, B. K. Mitchell, "Multi-level software testing based on cyclomatic complexity", Aerospace and Electronics Conference, Vol. 2, pp. 500-507, 1989.
<http://dx.doi.org/10.1109/NAECON.1989.40255>
- [9] M. Shepperd, "A critique of cyclomatic complexity as a software metric", Software Engineering Journal, Vol. 3, No. 2, pp. 30-36, 1988.
<http://dx.doi.org/10.1049/sej.1988.0003>

● 저 자 소 개 ●



권 혁 영 (Hyeok Young Kwon)

2016년 한신대학교 정보통신학부 4학년 재학
2016년-현재 전자부품연구원 스마트네트워크연구센터 연구원
관심분야 : 이동통신, 에너지 저장장치
E-mail : kwhy03@keti.re.kr



류 영 수 (Young Su Ryu)

2015년 세종대학교 정보통신공학과 학사
2014년-현재 전자부품연구원 스마트네트워크연구센터 연구원
관심분야 : 협력통신, 디지털 라디오, 에너지 융합시스템
E-mail : femwehist@keti.re.kr



박 재 흥 (Jae Hong Park)

1991년 포항공대 전자계산학 학사
1993년 포항공대 전자계산학 석사
1997년 포항공대 전자계산학 박사
1997년-2001년 현대전자산업 책임연구원
2001년-2010년 (주)유라클 대표
2011년-현재 (주)피엠그로우 대표
관심분야 : 에너지 저장장치, 전기차, 에너지 융합시스템
E-mail : jh.park@pimgrow.co.kr



권 기 원 (Ki Won Kwon)

1997년 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
1999년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
2011년 중앙대학교 대학원 전자전기공학과 박사
1999년-현재 전자부품연구원 스마트네트워크연구센터 책임연구원
관심분야 : 방송통신융합시스템, 유무선디지털방송시스템, 에너지융합시스템
E-mail : kwonkw@keti.re.kr