

컴포넌트 소프트웨어 품질 평가 모듈 설계[☆]

Design of Quality Evaluation Criteria for Component Software

유 지 현* 이 병 결**
Ji-Hyun Yoo Byongl-Gul Lee

요 약

사회 및 경제가 발전함에 따라 소프트웨어 품질에 관심이 많아지며 고품질의 소프트웨어 생산을 위한 노력이 많이 이루어지고 있다. 이러한 소프트웨어의 가치를 평가하기 위해 ISO/IEC 9126 등의 표준안들이 많이 제공되고 있지만, 이러한 표준안들은 소프트웨어 항목 특성 및 평가 프로세스의 모형만을 제시하고 있을 뿐 평가 시 측정되는 평가 항목의 가중치에 대한 언급은 없다. 이에 본 논문에서는 ISO/IEC 9126의 지침에 따라 소프트웨어의 품질을 평가함에 있어 평가 항목간의 중요도 관계를 나타내는 평가 항목 가중치를 객관적이고 정량적인 방법으로 산출하여 품질 평가의 신뢰성을 높이고자 한다. 이러한 평가 항목에 대한 가중치 계산 방법의 바탕이 되는 이론으로, 각각의 평가 항목에 대한 신뢰 함수를 사용하여 평가 기준의 불확실성을 제거할 수 있게 하는 Dempster-Shafer 이론을 사용하며 더 나아가 Dempster-Shafer 이론의 결합 규칙의 문제점을 개선하여 상호 배타적인 가설들의 결합 문제에도 효율적으로 적용하였다. 또한 평가자들의 정성적인 표현으로부터 기초확률할당함수 값을 도출하는 정량화 기법의 사용으로 보다 효율적인 가중치 결정 기법을 제안하였다.

Abstract

As software is developed for many applications and software defects have caused serious problems in those applications, the concern of software quality evaluation increases rapidly. Although there has been many efforts for establishing standards for software evaluation, such as ISO/IEC 9126, they provide only a framework for defining quality characteristics and evaluation process. They, however, do not provide practical guidances for deriving reasonable weight value criteria for software evaluation. This paper presents a method to draw quantitative weight values from evaluator's subjective data in the process of software evaluation as observing the ISO/IEC 9126 standard. To eliminate the evaluators' subjectiveness and the uncertainty of weight value during evaluation, the Dempster-Shafer (D-S) theory is adopted and utilized. In this paper, the D-S theory is supplemented with an improved merge rule to reduce the bias of weight value when they are merged with other evaluator's weight value. The proposed merge rule has been tested and proved with actual evaluation data

☆ 키워드 : Software quality evaluation, Weight value determination technique

☆ 본 연구는 2002년 서울여자대학교 자연과학 연구소의 연구지원비에 의해서 연구된 것임.

* 준 회 원 : 서울여자대학교 컴퓨터학과 박사과정
jhyu@swu.ac.kr (제 1저자)

** 정 회 원 : 서울여자대학교 컴퓨터학과 부교수
byongl@swu.ac.kr (공동저자)

1. 서론

소프트웨어 품질은 소프트웨어 개발 산출물인 소프트웨어 자체가 수행하여야 하는 기능의 명세로 정의된다. 고품질의 소프트웨어는 해당 소프트웨어의 명세를 완벽히 충족시키고, 나아가서 소프트웨어 품질을 구성하는 기능성, 신뢰성, 사용성, 효율성, 유지보수성, 이식성 등의 품질 특성들에 대하여 높은 평가를 받는 것을 의미한다.

이러한 소프트웨어의 품질을 평가하기 위해 여러 가지 표준 및 기반 기술들이 연구되고 있다. 국제 표준인 ISO/IEC 9126 [1]은 소프트웨어 품질 특성 및 메트릭에 대한 표준을 제시하고 있으며 ISO/IEC 14598 [4]은 소프트웨어 품질인증을 위한 평가방법 및 관리에 관한 표준을 제안하고 있다. 그러나 이러한 표준안들은 소프트웨어 평가 대상이 되는 항목 특성 및 평가 프로세스의 모형만을 제시하고 있을 뿐 평가 시 요구되는 메트릭이나 평가 항목의 가중치에 대한 언급은 없다. 결국 소프트웨어 품질 평가는 평가기관의 주관적 판단이나 전문지식에 의존하는 경우가 많이 발생하게 된다. 따라서 평가 기준 및 평가 항목들 간의 중요도 관계, 측정 결과에 대한 해석은 평가자의 관점이나 소프트웨어의 특성에 따라 크게 달라질 수 있으며 이는 소비자의 신뢰성을 저해하는 요인이 될 수 있다 [5,6,7].

본 논문은 ISO/IEC 9126[1]의 지침에 따라 소프트웨어의 품질을 평가함에 있어 평가 항목간의 중요도 관계를 나타내는 평가 항목 가중치를 객관적이고 정량적인 방법으로 산출하고 다중 평가자들 간의 서로 상이한 결과를 결합하여 품질 보증의 신뢰성을 높이는 방법을 제안한다. 기존의 연구에서는 평가 항목에 대한 가중치 계산만을 위하여 각 평가 항목에 대하여 신뢰 함수를 부여하는 Dempster

-Shafer (이하 정규 DS로 명칭) 이론을 적용하고 있다 [12,19]. 하지만 이들 연구에서는 공통적으로 정규 DS 이론이 다중 평가자들 간의 가중치 결합 시 의도하지 않은 왜곡된 결과 값을 산출할 수 있다는 문제점을 간과하고 있다 [8,9,10].

본 논문에서는 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 사용하여 평가자들의 상이한 의견을 효율적으로 조합하고, 평가 항목들간의 수평적 관계성뿐만 아니라 수직적 관계도 함께 수치화함으로써 소프트웨어 품질 평가의 객관성을 높이고자 하였다.

2장에서는 소프트웨어의 평가 항목의 가중치 계산을 위한 기존의 연구 및 가중치 계산 방법을 고찰해보고, 3장에서는 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 설명한다. 4장에서는 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 이용한 가중치 계산 방법을 예를 들어 설명한다. 5장에서는 평가자의 주관적인 측정치를 보완하기 위한 슈게노(Sugeno) 적분법을 이용하는 방법을 기술하며, 6장에서는 가중치 결정 기법에 대한 적용 결과를 비교 분석하고 결과의 타당성을 평가한다. 마지막으로 7장에서는 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 불확실성을 근거로 하는 정량화 기법

2.1.1 Bayes Theory를 이용한 불확실성에 대한 확률적 추론

Bayes 정리는 실험적인 확률 값을 바탕으로 어떠한 가설에 대한 검증을 정량적인 값으로 추론할 때 사용되는 통계학 이론이다 [13,14,15]. 어떤 증거 E와 이로부터 고려될 수 있는 상호 배타적인 N개의 가설 H_k ($k=1,2,3, \dots, n$)에 대해 다음과 같은 식 1을

얻을 수 있다.

$$(식 1) P(H_n|E) = \frac{P(E|H_n)P(H_n)}{\sum_{k=1}^N P(E|H_k)P(H_k)}$$

가설에 대한 검증으로 이 식을 사용하면 H_n 과 E 는 원인과 결과의 관계가 되며 $P(H_n|E)$ 는 주어진 증거 E 에 대한 원인으로 H_n 을 고려할 수 있는 정도를 나타내는 사후 확률이 된다. 이러한 Bayes 정리가 가중치 산정에 사용될 때 발생할 수 있는 문제점들은 다음과 같다 [13,14,15].

첫째, 가설에 대한 검증을 위하여 N 개의 증거와 M 개의 가설이 있다면 $N*M$ 개만큼의 확률을 미리 알고 있어야 한다. 이것은 증거와 가설의 수가 커지면 미리 알고 있어야 하는 확률의 수도 많아지고 그만큼 식도 복잡해져 계산 결과가 부정확해 질 수 있다. 이는 가중치 계산에 있어서 $N*M$ 경우의 수만큼의 사전 확률 값이 주어져야 하지만 실제로 모든 경우의 수에 대한 사전 확률 값을 미리 알기는 불가능하다.

둘째, Bayes 정리의 확률 값은 상호 배타적이다. 즉, 어떤 사건이 일어나기 위한 확률을 0.5의 값으로 보았을 때 그 반대로 사건이 일어나지 않을 확률에 대해 무조건 0.5값을 할당한다. 그러나 항상 사건이 일어나지 않을 확률을 $1-0.5=0.5$ 로 단정지을 수는 없다. 때로는 특정한 사건이 일어나지 않을 수도 있고, 일어날지 안 일어날지 모를 수도 있기 때문이다. 이는 가중치 계산에 있어서도 모든 관계성을 규정지을 수 없을 때, 규정되지 않은 관계성이 가중치 결정에 영향을 미칠 수 있다는 문제점이 발생할 수 있다.

셋째, Bayes 정리에서는 상호 배타적인 가설들에 대한 결합법칙이 없다. 따라서 여러 가지 가설들에 대한 결합을 이룰 수 없어 현

실에 반영하기 부적합 할 뿐만 아니라 하나의 가설에 대한 새로운 가설이 나오면 계산 자체를 다시 해야하는 등의 문제점이 있다. 가중치 계산에 있어서도 새로운 평가 항목이 제안되었을 때 이를 결합할 법칙이 없기 때문에 각각의 평가항목에 대한 사전 확률을 다시 계산해야 하는 문제점이 있다.

2.1.2 정성적 관계 정보를 이용한 가중치 계산

기존의 정성적 관계 정보를 이용한 정량화 기법은 이미 가중치 결정 기법에도 효율적으로 응용될 수 있음이 입증되었다 [12,19]. 이 기법은 각 평가 항목의 가중치 계산에 있어 소프트웨어 품질 평가자들이 제공하는 중요도 정도를 "A가 B보다 중요하다", "A가 C보다 중요하다" 등의 정성적인 표현으로 제공받아 이를 정규 DS 이론을 통해 수치 정보로 변환하는 방법이다 [11,12,16,19]. 일단 정성적인 정보가 수치화 되면 정량적 추론을 수행하는 정규 DS 이론을 활용하여 각 평가항목에 대한 가중치를 산정하게 된다. 소프트웨어 품질 항목의 가중치 결정 과정에서 이 이론을 이용하면 품질 평가자의 경험이 직접 수치화 될 수 있다는 장점이 있다. 하지만 정규 DS이론의 결합 규칙을 그대로 사용할 경우 결합 규칙이 갖고 있는 문제점을 포함하게 되는 단점이 발생할 수 있다. 또한 각 항목별 계층구조를 생각할 때 상위 레벨과 하위 레벨 사이의 파급 효과가 고려되지 않은 가중치 교란화가 발생할 수도 있다.

2.1.3 Dempster-Shafer Theory를 이용한 증거 기반 추론

Bayes 정리에서는 불확실성에 대한 신뢰도를 나타내기 위하여 경험이나 실험적인 확률 값을 이용하여 표현하였다. 그러나 경험에 의

한 값을 하나의 수치로 단정짓거나 여러 전문가로부터 동일한 의견을 기대하는 것은 어렵다. Bayes 정리의 단점을 보완한 DS 이론은 어떤 가설 H에 대한 신뢰의 척도를 하나의 숫자로 표현하는 것이 아니라 [Bel(H), PI(H)] 과 같은 구간으로 표시한다 [13,14,15,17, 18]. 여기에서 Bel(H)는 주어진 증거에 의해 임의의 가설이 지원 받는 정도를 나타내고, PI(H)는 증거에 기초하여 가설이 지지되지도 부정되지도 않고 남아 있는 정도, 즉 차후 최대로 신뢰받을 수 있는 가능성을 나타낸다. PI(H)값을 통하여 Bayes 정리에서의 상호 배타적으로 할당된 값을 보완할 수 있다. Bel(H) 함수는 집합 H에 대한 총 지원량 또는 신뢰치를 나타내는 것으로 다음 식 2와 같이 정의하며 이는 이후에 정의되는 기초확률 할당(basic probability assignment : bpa)함수와 같이 사용된다.

$$(식 2) \quad Bel(H) = \sum_{H \subseteq \theta} m(H)$$

DS 이론에서는 개별적인 증거들의 결합 규칙도 제안한다. 이를 이해하기 위해 먼저 bpa 함수를 정의하면 어떤 증거 E가 서로 배타적인 N개의 가설로 이루어진 집합을 지원하는 경우 bpa 함수 m을 사용하여 다음 식 3과 같이 정의하고 표현할 수 있다.

$$(식 3) \quad m : \{S_n \mid S_n \subseteq \theta\} \rightarrow [0, 1]$$

$$(S_n \text{은 } \theta \text{의 임의의 부분집합})$$

$$m(\emptyset) = 0, \quad \sum_{S_n \subseteq \theta} m(S_n) = 1$$

bpa 함수에 의해 함수 값이 할당된 후 또 다른 증거에 의해 또 다른 bpa 함수에 의한 함수 값이 할당되는 경우 이를 결합하는 결합 규칙이 있어야 한다. Demspster는 복수 증거에 의한 확률 값의 결합을 위해 교집합에 각 확률의 곱을 할당할 것을 식 4와 같이 제안하였다.

$$(식 4) \quad m3 = \sum_{S1 \cap S2 = S3} m1(S1)m2(S2)$$

그러나 식 4는 결합시 교집합이 인 경우에 0이 아닌 함수 값을 배정하게 되어 bpa 함수 정의에 위배된다. 따라서 식 4는 정규화되어 다음의 식 5로 수정된다.

$$(식 5) \quad m3 = \frac{\sum_{S1 \cap S2 = S3} m1(S1)m2(S2)}{1 - \sum_{S1 \cap S2 = \emptyset} m1(S1)m2(S2)}$$

더 이상의 증거가 없다면 Bel(H)값은 식 5에서 구해진 값들의 합이 된다. 또한 PI(H)값은 이 가설을 부정하는 증거가 없으므로 1-Bel(~H)=1이고, 집합 H의 전체 신뢰구간은 [Bel(H), PI(H)] = [(식 5)값들의 합, 1]이 된다.

그러나 이러한 DS의 결합 규칙에는 표 1의 예에서 알 수 있듯이 몇 가지 문제점이 있다 [9,10].

첫째, 상호 배타적인 가설들의 결합 시 발생할 수 있다. 이것은 두 가설 모두가 무시되는 결과를 초래하고, 경우에 따라서는 소수의 공통 가설에 대한 값만을 반영하게 되므로 가설의 결합에 대한 신뢰성을 떨어뜨린다.

둘째, 결합 규칙의 정규화로 인해 의도하지 않은 가설에 전체의 값이 할당될 수 있다. 상호 배타적인 가설들의 결합 시 낮은 값을 지지 받은 공통가설이 정규화를 통해 전체의 값으로 할당될 수 있는 문제가 발생하게 된다.

(표 1) 정규 DS 이론의 결합 규칙

	m1	m1({a}) = 0.1	m1({b}) = 0.9
m2			
m2({a}) = 0.1		m3({a}) = 0.01	m3(∅) = 0.39
m2({c}) = 0.9		m3(∅) = 0.09	m3(∅) = 0.31
정규화		m3({a}) = 0.01 / 0.01 = 1	

3. 개선된 Dempster-Shafer 이론의 결합 규칙

정규 DS 이론의 결합 규칙의 근본적인 문제점은 가설들의 결합 시 \emptyset 이 발생할 수 있다는 것이다. \emptyset 의 발생으로 bpa 함수에 대한 정의에 위배될 뿐만 아니라 \emptyset 의 발생을 보완하기 위한 정규화 과정에서도 문제점이 발생할 수 있다. 또한 \emptyset 으로 인해 결합후에도 가설 모두가 무시되는 문제점이 생길 수 있다. 그러나 경우에 따라서는 소수의 공통된 가설 보다는 상호 배타적인 가설들에 대한 유효한 결합 결과를 기대할 수 있어야 한다. 따라서 정규 DS 이론의 결합 규칙의 문제점을 보완하여 상호 배타적인 가설들을 무시하지 않고 최대한 반영하면서 정규화 과정도 거치지 않는 개선된 결합 규칙이 필요하다. 개선된 DS 이론의 결합 규칙은 궁극적으로 평가자들의 많은 의견을 반영하고자 하는데 있다. 정규 DS 이론의 결합 규칙에서는 \emptyset 에 대한 값을 무시하는데 비해 개선 DS에서는 \emptyset 의 값을 다시 두 평가자가 제시한 가설의 값에 대한 비율로 재분배한다. \emptyset 값을 다시 재분배함으로써 결합 후에도 평가자들이 제시한 가설을 최대한 반영할 수 있으며 \emptyset 으로 인한 정규화 과정도 생략할 수 있다.

다음의 표 2에서는 상호 배타적인 가설들을 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 이용하여 계산한 결과를 보여주고 있다. A라는 평가자가 평가한 bpa 함수 값을 m_1 이라 하고, B라는 평가자가 평가한 bpa 함수 값을 m_2 라고 했을 때, $m_1(\{b\}) = 0.9$ 와 $m_2(\{c\}) = 0.9$ 에 대한 결합 결과로 $m_3(\emptyset) = 0.81$ 이라는 값을 얻을 수 있다. 표 2를 살펴보면 평가자 A, B는 $\{a\}$ 라는 가설에는 소수의 의견을 할당하고, $\{b\}$ 와 $\{c\}$ 라는 가설에 각자의 의견을 충분히 반영한 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 m_3

(\emptyset) = 0.81 에 대한 결과를 $m_1(\{b\}) = 0.9$ 와 $m_2(\{c\}) = 0.9$ 의 가설에 대한 값의 비율로 재분배하여 $m_3(\{b\}) = 0.405$, $m_3(\{c\}) = 0.405$ 라는 결과를 유도함으로써 평가자 A, B의 상이한 의견을 결합 후에도 반영하도록 한다. \emptyset 에 대한 나머지 값들도 각 가설들 값만큼의 비율로 재분배하면 $m_3(\{a\}) = 0.028$, $m_3(\{b\}) = 0.486$, $m_3(\{c\}) = 0.486$ 의 최종 결합 결과를 얻을 수 있다.

(표 2) 개선된 DS 이론의 결합 규칙

$m_2 \backslash m_1$	$m_1(\{a\}) = 0.1$	$m_1(\{b\}) = 0.9$
$m_2(\{a\}) = 0.1$	$m_3(\{a\}) = 0.01$	$m_3(\emptyset) = 0.09$ $m_3(\{a\}) = 0.009$ $m_3(\{b\}) = 0.081$
$m_2(\{c\}) = 0.9$	$m_3(\emptyset) = 0.09$ $m_3(\{a\}) = 0.009$ $m_3(\{c\}) = 0.081$	$m_3(\emptyset) = 0.81$ $m_3(\{b\}) = 0.405$ $m_3(\{c\}) = 0.405$
결합 결과	$m_3(\{a\}) = 0.01 + 0.009 + 0.009 = 0.028$ $m_3(\{b\}) = 0.081 + 0.405 = 0.486$ $m_3(\{c\}) = 0.801 + 0.405 = 0.486$ $m_3(\{a\}) + m_3(\{b\}) + m_3(\{c\}) = 0.028 + 0.486 + 0.486 = 1$	

이러한 \emptyset 값의 재분배를 이용한 개선된 DS 이론의 결합 규칙은 평가자들의 상이한 의견을 최대한 반영하며 정규화 과정의 생략으로 보다 정확한 가설들의 결합 결과를 제시할 수 있다.

4. 소프트웨어 품질 평가 항목의 가중치 결정 예

본 장에서는 ISO 9126의 6가지 소프트웨어 품질 특성 중 신뢰성의 품질 부특성인 성숙

성, 결합허용성, 회복성, 준수성의 가중치를 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 적용하여 계산하는 방법을 설명한다. 신뢰성에 대한 구조를 집합으로 표시하면 신뢰성 = {성숙성, 결합허용성, 회복성, 준수성}이고, 이를 간단한 집합과 원소의 기호로 표시하면 $T = \{a, b, c, d\}$ 로 표현할 수 있다. 각 a, b, c, d 의 가중치를 구하기 위한 단계로 먼저 평가자들의 비교표현 관계식이 주어지면 이를 바탕으로 bpa 값을 구하고, 결정된 bpa 값을 바탕으로 신뢰함수 (이하 Bel 함수로 명칭) 및 가능성 함수 (이하 Pl 함수로 명칭) 값을 구하여 가중치 계산에 이용한다. 여기서 bpa 값을 구하는 과정은 정성적 관계정보로부터 정량적 값을 도출하는 기법 [11,12,16,19]을 사용하여 bpa 값을 계산하고, 다중 평가자의 의견을 반영하기 위하여 본 논문에서 제안하는 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 사용한다. 전체적인 소프트웨어 품질 평가를 위한 가중치 결정 과정은 다음의 (1) ~ (5) 단계의 과정을 거친다.

(1) 비교 표현 관계식으로부터 핵심 요소 결정

소프트웨어 품질 평가 항목의 가중 정도를 결정하는 평가자들은 정량적인 수치의 입력보다는 정성적인 비교 관계의 표현으로 더욱 익숙하고 정확하게 표현 할 수 있다. 따라서 평가자들의 소프트웨어 품질 평가 항목별 비교 관계 표현이 주어지면 이것으로부터 논리에 맞는 핵심 요소를 결정해야 한다. 항목별 비교 관계 및 신뢰함수의 표현에 있어서 다음과 같은 정의 1, 정의 2, 정의 3을 사용한다.

[정의 1] $A \succ B$ A가 B보다 가중치가 더 크다고 생각한다.

[정의 2] $A \sim B$ $(\neg(A \succ B)) \& (\neg(B \succ A))$

A 와 B의 가중치는 비슷하다고 생각한다.

[정의 3] $A \succ B$ $Bel(A) > Bel(B)$

이와 같은 정의에 의해 소프트웨어 품질 평가자들이 품질 평가 항목 a, b, c, d 에 대해 다음과 같은 비교 관계 표현 식 6이 주어졌다고 가정하자.

(식 6) $\{a\} \succ \{d\}, \{b, c\} \succ \{b\}, \{d\} \succ \{c, d\},$
 $\{a, b, c\} \sim \{b, c\}, \{b\} \sim \{d\}, \{b\} \succ 0,$
 $\{d\} \succ 0$

이러한 비교 관계 표현식 중 논리에 맞는 비교 관계 표현만을 결정하기 위해 다음의 정리 1에 만족하지 않는 비교 관계 표현식은 제거한다.

[정리 1] $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$ 이고, $(A, B) \in 2T \times 2T$ 인 모든 쌍에 대해,
 $Bel : 2T \rightarrow [0, 1]$ 을 신뢰함수라고 할 때 모든 $B \subset A$ 에 대해 A가 핵심요소라면 $Bel(A) > Bel(B)$ 이다.

식 6에서 위의 정리 1의 대우를 이용하면 $\{d\} \succ \{c, d\}, \{a, b, c\} \sim \{b, c\}$ 의 비교 관계 표현식은 제거된다. 따라서 $\{a\} \succ \{d\}, \{b, c\} \succ \{b\}, \{b\} \sim \{d\}, \{b\} \succ 0, \{d\} \succ 0$ 의 비교 관계 표현식만 남게되고, 핵심요소는 $\{a\}, \{b\}, \{b, c\}, \{c\}, \{d\}$ 가 된다.

(2) 기초확률할당(bpa)함수 계산

bpa 함수 값을 계산하기 위해서는 (1)에서 결정된 핵심요소와 비교 관계 표현을 바탕으로 동치 행렬과 비동치 행렬을 구하고, 균등 알고리즘과 인지 알고리즘을 이용하여 핵심요소의 bpa 함수 값을 구한다 [11,12,16,19].

bpa 함수 값은 행렬의 연산으로 계산한다. 각 핵심요소를 행렬로 표현하여 \rightarrow 표현과 \sim 표현을 각각 동치 행렬과 비동치 행렬로 표현하고, 이 행렬들의 연산으로 bpa 함수 값을 계산한다. 구하고자 하는 bpa 함수 값은 다음과 같이 $[k*1]$ (k : 핵심요소 개수)행렬로 나타낼 수 있다.

$$bpa = \begin{bmatrix} m(\{a\}) \\ m(\{b\}) \\ m(\{b, c\}) \\ m(\{c\}) \\ m(\{d\}) \end{bmatrix}$$

bpa 함수를 계산하기 위한 과정으로는 다음과 같다.

① 동치 행렬과 비동치 행렬 계산

핵심 요소가 결정되면 비교 관계 표현으로부터 동치 행렬과 비동치 행렬을 구하고, 균등 알고리즘 [11,12,16,19]을 이용하여 두 행렬을 단순화시킨다. 단순화시킨 행렬은 다음과 같다.

$$E = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ -1]$$

$$IE = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

② bpa 함수 값 계산

동치 행렬과 비동치 행렬을 구하면 인지알고리즘 [11,12,16,19]을 적용시켜 적절한 bpa 행렬 값을 계산한다. ①에서 구한 IE 행렬을 가지고 인지 알고리즘을 적용시켜 bpa 행렬의 값을 구하면 다음과 같다.

$$bpa = \begin{bmatrix} m1(\{a\}) \\ m1(\{b\}) \\ m1(\{b, c\}) \\ m1(\{c\}) \\ m1(\{d\}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.125 \\ 0.25 \\ 0.25 \\ 0.125 \end{bmatrix}$$

(3) 개선된 DS 이론의 결합 규칙 적용

비교 표현 관계식 결정에 있어서 소프트웨어 품질 평가자들 간에 상이한 의견이 있을 수 있다. 이러한 의견에 따라 (1), (2)의 방법을 통해 새로운 bpa 함수 값을 계산하여 이를 개선된 DS 이론의 결합 규칙에 적용시킨다. 이러한 과정을 반복함으로써 평가자들 간의 상이한 의견을 절충하여 가중치 결정에 반영함으로써 결정된 가중치의 신뢰성을 높일 수 있다. 예를 들어 새로운 평가자에 의해 다음 식 7과 같은 비교 표현 관계식이 주어졌다고 하자.

$$(식 7) \{a\} \sim \{b\}, \{b, c\} \rightarrow \{a\}, \{b, c\} \rightarrow \{b\}, \{c\} \sim \{d\}, \{a\} \rightarrow 0, \{d\} \rightarrow 0$$

식 7과 같은 새로운 평가자의 의견으로 비교 표현 관계식이 주어지면 (1), (2)의 방법을 반복하여 bpa 함수 값이다시 계산된다. 그 계산 결과는 다음과 같다.

$$bpa = \begin{bmatrix} m2(\{a\}) \\ m2(\{b\}) \\ m2(\{b, c\}) \\ m2(\{c\}) \\ m2(\{d\}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.125 \\ 0.125 \\ 0.25 \\ 0.25 \\ 0.25 \end{bmatrix}$$

새로운 평가자의 bpa 함수 값까지 계산되면 평가자들 간의 bpa 함수 값을 결합하여 하나의 값으로 종합해야 한다. 이 때, 결합 시 결합 결과의 에 할당되는 값과, 정규화 과정으로 인해 발생하는 문제점을 보완하기 위해 개

선된 DS 이론의 결합 규칙을 적용한다. 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 적용시킨 결과는 표 3과 같다.

(표 3) 개선된 DS 이론의 결합 규칙 적용 결과

m1 \ m2	m1({a}) = 0.25	m1({b}) = 0.125	m1({b, c}) = 0.25	m1({c}) = 0.25	m1({d}) = 0.125
m2({a}) = 0.125	m3({a})=0.03125	m3(∅)=0.015625	m3(∅)=0.03125	m3(∅)=0.03125	m3(∅)=0.015625
		m3({a})=0.0078125	m3({a})=0.01042	m3({a})=0.01042	m3({a})=0.0078125
		m3({b})=0.0078125	m1({b,c})=0.02083	m3({c})=0.02083	m3({d})=0.0078125
m2({b}) = 0.125	m3(∅)=0.03125	m3({b})=0.015625	m3({b})=0.03125	m3(∅)=0.03125	m3(∅)=0.015625
	m3({b})=0.01042			m3({b})=0.01042	m3({b})=0.0078125
	m3({a})=0.02083			m3({c})=0.02083	m3({d})=0.0078125
m2({b, c}) = 0.25	m3(∅)=0.0625	m3({b})=0.03125	m3({b,c})=0.0625	m3({c})=0.0625	m3(∅)=0.03125
	m3({b,c})=0.03125				m3({b,c})=0.02083
	m3({a})=0.03125				m3({d})=0.01042
m2({c}) = 0.25	m3(∅)=0.0625	m3(∅)=0.03125	m3({c})=0.0625	m3({c})=0.0625	m3(∅)=0.03125
	m3({c})=0.03125	m3({c})=0.02083			m3({c})=0.02083
	m3({a})=0.03125	m3({b})=0.01042			m3({d})=0.01042
m2({d}) = 0.25	m3(∅)=0.0625	m3(∅)=0.03125	m3(∅)=0.0625	m3(∅)=0.0625	m3({d})=0.03125
	m3({d})=0.03125	m3({d})=0.02083	m3({d})=0.03125	m3({d})=0.03125	
	m3({a})=0.03125	m3({b})=0.01042	m3({b,c})=0.03125	m3({c})=0.03125	
개선된 DS 이론의 결합 결과 (∅ 값의 재분배)	$m3(\{a\}) = 0.03125 * 4 + 0.0078125 * 2 + 0.01042 * 2 + 0.02083 * 1 \approx 0.18$				
	$m3(\{b\}) = 0.0078125 * 2 + 0.015625 * 1 + 0.03125 * 2 + 0.01042 * 4 \approx 0.15$				
	$m3(\{b, c\}) = 0.02083 * 2 + 0.0625 * 1 + 0.03125 * 2 \approx 0.16$				
	$m3(\{c\}) = 0.02083 * 4 + 0.0625 * 3 + 0.03125 * 2 \approx 0.33$				
	$m3(\{d\}) = 0.0078125 * 2 + 0.01042 * 2 + 0.03125 * 4 + 0.02083 * 1 \approx 0.18$				
	$m3(\{a\}) + m3(\{b\}) + m3(\{b, c\}) + m3(\{c\}) + m3(\{d\}) = 1$				

개선된 DS 이론의 결합 규칙을 이용한 새로운 bpa 함수 값을 정리하면 다음과 같다.

$$bpa = \begin{bmatrix} m3(\{a\}) \\ m3(\{b\}) \\ m3(\{b, c\}) \\ m3(\{c\}) \\ m3(\{d\}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.18 \\ 0.15 \\ 0.16 \\ 0.33 \\ 0.18 \end{bmatrix}$$

또 다른 평가자에 의해 다른 비교관계 표현식이 주어진다면 (1), (2), (3)번을 반복하여 계산한다.

(4) Bel 및 PI 함수를 이용한 가중치 계산

가중치 계산을 위해 기초자료로 계산되었던 bpa 함수 값을 바탕으로 각 항목별 Bel 함수 및 PI 함수 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Bel(\{a\}) &= m3(\{a\}) = 0.18 \\ Bel(\{b\}) &= m3(\{b\}) = 0.15 \\ Bel(\{c\}) &= m3(\{c\}) = 0.33 \\ Bel(\{d\}) &= m3(\{d\}) = 0.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PI(\{a\}) &= m3(\{a\}) = 0.18 \\ PI(\{b\}) &= m3(\{b\}) + m3(\{b, c\}) \\ &= 0.15 + 0.16 = 0.31 \\ PI(\{c\}) &= m3(\{c\}) + m3(\{b, c\}) \\ &= 0.33 + 0.16 = 0.49 \\ PI(\{d\}) &= m3(\{d\}) = 0.18 \end{aligned}$$

위에서 계산된 Bel 및 PI 값을 바탕으로 각 핵심요소의 구간 [Bel, PI]을 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \{a\} &= [0.18, 0.18], \{b\} = [0.15, 0.31], \\ \{c\} &= [0.33, 0.49], \{d\} = [0.18, 0.18] \end{aligned}$$

이것은 {b}라는 핵심요소가 최소 0.15만큼,

최대 0.31만큼의 신뢰 구간을 가질 수 있다는 것을 의미한다. Bel 함수 값인 0.15는 최소한의 보수적인 값을 뜻하고, PI 함수 값인 0.31은 최대한의 가능성을 뜻하는 값이다. 따라서 각 핵심요소의 가중치로는 Bel 함수 값과 PI 함수 값의 중간값으로 너무 보수적이지도 않고, 너무 관대하지도 않은 값으로 결정한다. 각 핵심요소의 최종 가중치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \{a\} \text{의 가중치} &= 0.18, \{b\} \text{의 가중치} = 0.23, \\ \{c\} \text{의 가중치} &= 0.41, \{d\} \text{의 가중치} = 0.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \{성숙성\} \text{의 가중치} &= 0.18 \\ \{결함허용성\} \text{의 가중치} &= 0.23, \\ \{회복성\} \text{의 가중치} &= 0.41 \\ \{준수성\} \text{의 가중치} &= 0.18 \end{aligned}$$

(5) 하위 계층의 가중치 계산

(4)에서 계산한 가중치를 바탕으로 품질 특성 및 품질 부특성의 계층구조를 반영하여 하위 계층의 가중치 계산에 이용한다. 먼저 (1)~(4)까지의 과정을 통해 하위 계층의 1차 가중치를 구하고, 최종 하위 계층의 가중치 계산을 위해 다음 식 8과 같은 계산으로 결과를 얻는다. 하위 항목의 최종 가중치를 이와 같이 계산함으로써 상위 항목에서의 높은 가중치가 하위 항목들에서도 그 영향을 미칠 수 있게 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{(식 8) 하위 항목 최종 가중치} \\ &= \frac{1}{\text{하위항목의수}} * \text{상위 항목의 가중치} \\ &* \text{하위 항목의 1차 가중치} \end{aligned}$$

예를 들어 성숙성의 상위 계층 항목인 신뢰성의 가중치가 0.8이라고 한다면, 신뢰성을 이루고 있는 성숙성, 결함허용성, 회복성, 준수성의 각각의 최종 가중치는 다음과 같다.

{성숙성}의 최종 가중치
 $= (1/4) * 0.8 * 0.18 = 0.036 \quad 0.04$

{결합허용성}의 최종 가중치
 $= (1/4) * 0.8 * 0.23 = 0.046 \quad 0.05$

{회복성}의 최종 가중치
 $= (1/4) * 0.8 * 0.41 = 0.082 \quad 0.08$

{준수성}의 최종 가중치
 $= (1/4) * 0.8 * 0.18 = 0.036 \quad 0.04$

5. 소프트웨어 품질 평가 항목의 가중치를 이용한 품질 평가 예

본 장에서는 4장에서 계산된 가중치를 바탕으로 한 소프트웨어 품질 평가에 대한 방법을 설명한다. 이를 위해 퍼지 이론의 슈게노(Sugeno) 적분 [20,21]을 이용하였다. 슈게노 적분은 주관적인 판단이 개입되는 평가 문제에서 유용하게 사용될 수 있는 이론으로 가중치와 평가치의 연산 결과를 중간값으로 이끌어 가는 방법을 사용한다.

평가할 항목이 유한 집합 X일 때 $X_i \in X$ ($i=1,2,\dots,n$)에 대해 $h(x_i) = h(x_{i+1})$ 이라 하고, E_i 는 X의 부분집합이라 하자. 이 때, 슈게노의 적분은 다음 식 9와 같이 정의된다.

$$(식 9) \int_X h(x) \cdot g(\cdot) = \text{Max} \text{ Min}[\text{Min}h(x_i), g(E_i)]$$

$i=1, 2 \dots n$

X는 평가 항목들의 집합인 보통집합을 의미하며 $g(E)$ 는 X의 부분 집합인 E에 대한 중요도 즉, 가중치를 의미한다. 또한 $h(x)$ 는 항목 x에 대한 평가치 즉, 측정치를 의미한다. 소프트웨어 평가 항목별 가중치와 측정치가 다음과 같이 주어졌을 때 슈게노의 적분을 이용하여 종합해 보면 결과는 다음의 표 4와 같다.

(표 4) 슈게노(Sugeno)의 적분을 이용한 소프트웨어 품질 평가

	{a}	{b}	{c}	{d}
가중치	0.18	0.23	0.41	0.18
측정치	0.9	0.8	0.85	0.95
슈게노의 적분	$(0.8 \vee 1) \wedge (0.85 \vee 0.77) \wedge (0.9 \vee 0.36) \wedge (0.95 \vee 0.18) = 0.8$			
최종 평가치	0.8			
가중치	0.18	0.23	0.41	0.18
측정치	0.95	0.9	1	0.95
슈게노의 적분	$(0.9 \vee 1) \wedge (0.95 \vee 0.82) \wedge (0.95 \vee 0.59) \wedge (0.1 \vee 0.41) = 0.9$			
최종 평가치	0.9			

슈게노의 적분을 이용하면 유사한 소프트웨어의 품질을 평가할 때 동일한 가중치를 바탕으로 측정치의 변화에 따라 상대적인 비교 자료를 제공할 수 있다.

6. 평가 결과 및 분석

6.1 개선된 DS 이론의 결합 규칙 적용 결과 분석

항목별 가중치에 대한 평가자들의 의견은 비교 표현으로부터 계산된 bpa 값의 연산으로 결합된다. 가중치 결정에 이용될 Bel 함수, Pl 함수 값은 모두 bpa 값에 의해 계산되므로 결합 결과의 bpa 값이 최종 가중치 결정에 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서 결합할 항목을 단일 평가 항목과 다중 평가 항목으로 나누고, 각각의 경우에 따른 결합 결과의 bpa 값의 변화를 살펴보고자 한다. 표 5는 단일 평가 항목에 대한 서로 다른 평가자 A, B, C의 의견과 이들의 결합 결과를 나타내는 것이다.

(표 5) 단일 평가 항목에 대한 결합 결과

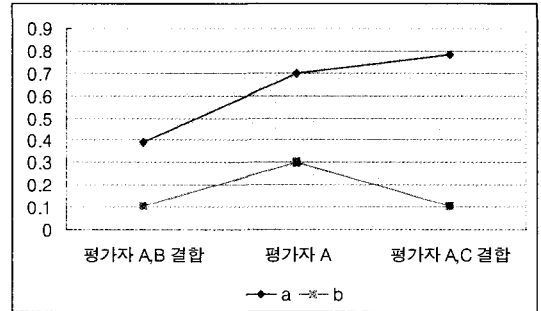
평가자	비교 표현	핵심 요소	bpa 값
A	{a}>{b}	{a},{b}	{a}=0.7, {b}=0.3
B	{c}>{d}	{c},{d}	{c}=0.7, {d}=0.3
C	{a}>{c}	{a},{c}	{a}=0.7, {c}=0.3
A, B 결합 (상호 배타적인 항목의 결합)	-	{a},{b}, {c},{d}	{a}=0.392, {b}=0.108, {c}=0.392, {d}=0.108
A, C 결합 (공통 항목이 포함된 결합)	-	{a},{b}, {c}	{a}=0.784, {b}=0.108, {c}=0.108

표 5의 내용을 살펴보면 평가자 A와 평가자 B는 단일 평가 항목에 대해 상호 배타적인 항목들의 가중을 제시하고 있다. 이 때, 평가 항목 {a}의 bpa 값의 변화를 살펴보면 0.7에서 0.392로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 평가자 A와 평가자 C의 결합 결과를 살펴보면, 평가 항목 {a}에 대해 bpa 값이 0.7에서 0.784로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 평가자 A와 평가자 C의 평가 항목들이 상호 배타적이지 않고 공통으로 {a}라는 항목에 대한 가중을 크다고 제시했기 때문이다.

표 5에서 평가 항목 {a}와 {b}에 대한 bpa 값의 변화를 그래프로 나타내면 그림 1과 같다.

평가 항목 {b}는 평가자 A, B의 결합에서나 평가자 A, C의 결합에서 공통으로 제시된 항목이 아니다. 따라서 두 결합 결과 모두 평가자 A 혼자 평가한 값보다 작은 동일한 값으로 계산된 반면, 평가 항목 {a}는 평가자 A, B의 결합에서는 고려되지 않아 bpa 값이 감소하였고, 평가자 A, C의 결합에서는 공통으로 가중의 정도를 크게 지원 받았으므로 평가자 A

혼자 평가한 값보다 bpa 값이 증가한 것을 볼 수 있다.



(그림 1) 평가 항목 {a}, {b}에 대한 bpa 값의 변화

표 6은 다중 평가 항목에 대한 서로 다른 평가자 A, B의 의견과 이들의 결합 결과를 나타내는 것이다.

(표 6) 다중 평가 항목에 대한 결합 결과

평가자	비교 표현	핵심 요소	bpa 값
A	{a}>{b}, {b}>{c}	{a},{b}, {c}	{a}=0.5, {b}=0.3, {c}=0.2
B	{a}>{b,c}	{a},{b,c}	{a}=0.7, {b,c}=0.3
A, B 결합 (공통 항목이 포함된 결합)	-	{a},{b}, {c},{b,c}	{a}=0.701, {b}=0.152, {c}=0.09, {b,c}=0.056

다중 평가 항목에 대한 결합 결과 역시 표 6의 평가자 A, B의 결합 결과에서 알 수 있듯이 상호 배타적이지 않은 항목들의 결합이면 공통으로 지원 받은 항목의 bpa 값은 증가한다. 표 6에서 평가 항목 {a}의 bpa 값의 변화를 살펴보면 결합 전 0.5에서 결합 후 0.701로 증가한 것을 알 수 있다.

소프트웨어 품질 평가 항목의 가중치라는

특성은 임의의 항목에 대해 평가자들의 중요도가 많으면 많을수록 가중치 값은 커야 한다. 표 5와 표 6의 결과를 통해 개선된 DS 이론의 결합 규칙은 이와 같은 품질 평가 항목의 가중치라는 특성을 만족시킨다고 할 수 있다.

7. 결론 및 향후 연구

유사한 여러 개의 소프트웨어가 존재할 때 각 소프트웨어마다 품질에 대한 기능별 가중치를 계산하는 방법은 개발자나 사용자의 입장을 생각할 때 상대적으로 좋은 소프트웨어를 결정, 선택할 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 이에 본 논문에서는 가중치를 계산하는 방법에 대해 DS 이론을 이용해 평가자의 주관적인 관점을 배제함으로써 보다 객관적이고 정량적인 방법을 제시하고자 했다. 평가자들의 상의한 의견을 조합함에 있어 기존의 DS 이론의 결합 규칙이 갖는 문제점을 보완하고자 개선된 DS 이론의 결합 규칙을 제안하고 예를 들어 설명하였다. 또한 가중치 계산에 있어 상위 계층의 가중치를 곱해줌으로써 상, 하 계층 관계에서의 연관성을 함께 고려하였다.

하지만 개선된 DS 이론의 결합 법칙을 이용하는 과정에서 의 발생을 막기 위해 상호 배타적인 항목들을 모두 수용하기 때문에 여전히 0계산량이 많고, 각 레벨의 평가항목에 대해 상호 배타적인 관계가 보장되어야 하는 문제점이 있었다.

실제 소프트웨어 품질 평가에 있어서는 계산된 가중치를 이용하여 슈게노 적분법을 적용시켜 보았다. 그러나 슈게노 적분법은 정성적인 평가치에 대한 가중치와의 중간값을 찾

아주는 이론으로 실험적인 값에 대해서는 유효한 평가 방법이 아니다. 따라서 올바른 소프트웨어 평가가 이루어지기 위해서는 실험적인 평가치와 정성적인 평가치를 분리하여 계산 한 후 종합하는 방법이 이루어져야 할 것이다. 또한 향후 정성적인 표현을 수치화하는 방법에 있어서 평가자들의 애매한 표현을 처리하기 위하여 퍼지 이론의 퍼지 척도에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다. 마지막으로 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 구현을 통하여 실제 평가 항목들의 가중치를 자동적으로 산정할 수 있는 도구를 설계 및 구현할 계획이며, 이 도구를 소프트웨어설계의 품질 평가 프로세스로까지 확장, 적용할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] "Software Quality Characteristics and Metrics - Part 1 : Quality Characteristics & Sub-Characteristics", TTAS. IS-9126.1, 1998.10.27
- [2] 이영주, IT시험연구소 S/W 시험센터 S/W 시험 운영팀, "제 82 호 TTA 저널"
- [3] 신석규, "S/W 품질인증과 경쟁력 강화 전략", 한국소프트웨어진흥원, 2002. 07. 26
- [4] "Evaluation of Software Product - Part 5 : Process for Evaluators", TTAS. IS-14598.5, 1998.10.27
- [5] 양해술, 이하용, "설계단계에서의 품질 평가 툴킷(ESCORT-D)의 설계 및 구현", 정보과학회논문지(C), 제3권 제3호, pp 262-274 1997.06.
- [6] 양해술, 이용근, "소프트웨어 명세서 품질평

- 가 지원도구의 설계 및 구현", 정보과학회논문지(C), 제3권 제2호, pp 152-163, 1997.04.
- [7] 양해술, 권기현, 이하용, 조영식, 이용근, 박정호, 허태경, "소프트웨어 품질평가 도구(ESCORRT)의 설계 및 구현", 정보처리논문지, 제2권 제2호, pp 185-198, 1995.
- [8] Catherine K. Murphy, "Combining belief function when evidence conflicts", Decision Support System 29, pp 1-9, 2000.
- [9] L.A. Zadeh, "Review of Mathematical theory of evidence, by G Shafer", AI Magazine5(3), pp 81-83, 1984.
- [10] Joseph Giarratano, Gray Riley, "Expert Systems", PWS Publishing Company, 1994.
- [11] 위금숙, "품질 요소간의 가중치 결정이 용이한 소프트웨어 품질 평가 전문가 시스템의 설계", 동국대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사학위 논문, 1995.12.
- [12] 위금숙, 이금석, "소프트웨어 품질 평가를 위한 전문가 시스템의 설계" 정보과학회논문지(B), 제22권 제10호, pp 1434-1444 1995.10.
- [13] 도용태, 김일곤, 김종완, 박창현, "인공지능 개념 및 응용", 사이텍 미디어, pp 77-96, 2001.
- [14] 김희승, "인공지능과 그 응용", 생능출판사, pp 199-216, 1994.
- [15] 김진형, 박승수, 백은옥, 서정연, 이일병, "인공지능 이론 및 실제", 사이텍 미디어, pp 373-384, 1998.
- [16] Wong, S.K.M. and P.Lingras, "Representation of Qualitative User Preference by Quantitative Belief Functions", IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, Vol.6, No.1, 1994, pp. 72-78.
- [17] 이계성, "불확실성 처리를 위한 효율적 Dempster 웨이퍼 증거병합 방법", 정보처리학회논문지 제3권 제4호, pp 908-914, 1996.07
- [18] 이계성, "효율성 제고를 위한 근사적 증거병합 방법", 정보처리학회논문지 B 제9-B권 제1호, pp 17-22, 2002.02
- [19] 이종무, 정호원, "소프트웨어 품질평가를 위한 정성적 선호이론의 적용", 한국경영과학회지 제25권 제3호, pp 109 -124, 2000.09
- [20] <http://pami.uwaterloo.ca/tizhoosh/measure.htm>
- [21] <http://www.math.byu.edu/~marichal/Mywebpage/internetfiles/SugenoFunctionEU FIT98.pdf>

○ 저 자 소개 ○



유 지 현

2001년 서울여자대학교 컴퓨터학과 졸업(이학사)

2003년 서울여자대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(이학석사)

2003년~현재 : 서울여자대학교 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 소프트웨어 품질 평가, 소프트웨어 형상관리, 소프트웨어 개발 방법론

E-mail : jhyu@swu.ac.kr



이 병 길

1988년 University of Bridgeport 물리학과 졸업(학사)

1996년 Auburn University 전산학과 졸업(공학석사)

1998년 Auburn University 전산학과 졸업(공학박사)

1988년~현재 : 서울여자대학교 컴퓨터학과 부교수

관심분야 : 소프트웨어 형상관리, CSCW, 분산시스템

E-mail : byongl@swu.ac.kr