

내장형 소프트웨어의 신뢰성 품질 측정 및 향상 방안 연구

장윤정*, 윤청**
*충남대학교 컴퓨터공학과
e-mail:jung30233@naver.com

A Study on the Reliability Quality Measurement And Improving of Embedded Software

Yoon-Jeong Jang*, Cheong Youn**
*Dept of Computer Engineering, Chung-nam National University

요 약

오늘날 선박, 항공, 자동차산업 등의 복합화로 인하여 내장형 소프트웨어의 중요성이 크게 대두되고 있다. 중요도가 높아질수록 고장 현상 발생률이 증가하고 이에 따른 오류나 고장에 대한 영향도 급증하기 때문에, 신뢰성이 그만큼 중요하게 되었다. 신뢰성의 부특성에는 성숙성, 오류허용성, 회복성, 준수성이 있고, 이에 따라 품질평가 항목 매트릭이 제시되어 있다. 신뢰성 평가 기준은 수리적 난해함과 데이터 수집에 관한 문제에 부딪혀 적용하는 데에 어려움이 따르는 실정이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 품질평가 매트릭의 새로운 방안을 제시하였다. 기존에 제시되어 있는 대표적인 신뢰성 모델 두 가지 NHPP(Non-Homogeneous Poisson Process) Model과 Jelinski-Moranda Model의 결과 값과 제시한 방법을 토대로 나온 결과 값을 비교하여 타당성을 입증한다. 기존의 난해한 방법을 이용하지 않고도 정확한 평가 결과를 얻을 수 있도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

1. 서론

최근 내장형 소프트웨어 사용량이 증가함에 따라 규모와 복잡도 또한 증가하게 되며, 시스템 고장 발생 가능성 역시 높아질 수 있다. 신뢰성을 향상시키기 위해서는, 여러 측정 기준을 세워 신뢰도를 측정하여 상황을 파악하고 관리해야 한다. 본 논문에서는 기존의 복잡한 신뢰성 성장 모델에서 벗어나 신뢰도 측정의 간단한 방안을 제안한다.

신뢰성 성장 모델과 본 논문에서 제안한 수식을 비교하기 위해 기존에 많이 알려져 있는 'CASRE'라는 도구를 이용하여 신뢰성 성장 모델 중에서도 잘 알려진 NHPP Model과 Jelinski-Moranda Model의 신뢰도 측정 결과 값을 도출해낸다. 수식의 타당성을 검증하기 위하여 총 5번의 실험을 거쳐, 도출된 실험데이터 값을 수식에 대입하여 결과 값과 비교한 후 본 논문에서 제안한 수식의 타당성을 입증한다. 정확한 평가 결과를 얻을 수 있도록 하는 것이 본 논문의 목적이다.

2. 신뢰성 및 신뢰성 품질평가 매트릭

신뢰성은 '성숙성', '오류허용성', '회복성', '준수성'과 같이 4가지의 품질평가 매트릭으로 구성되어 있다. 각각의 품질평가 매트릭에는 성질에 맞게 여러 가지의 품질 측정 매트릭이 포함되어 있다. 매트릭명, 세부 항목, 계산식, 계산 범위가 그 구성요소이다.

3. 신뢰성 측정을 위한 품질평가 매트릭

품질평가 매트릭을 적용하여 소프트웨어 신뢰성을 측정하기 위해, 본 논문에서는 ISO/IEC 9126에 제시되어 있는 품질평가 매트릭과 각 품질평가 매트릭의 부특성 성질을 토대로 수식을 제안하였다. ISO/IEC 9126 품질측정 매트릭을 수식화하여 신뢰도를 측정하기 위해, 각 품질측정 매트릭에서 수식화 가능한 매트릭을 추출한다. 예를 들어, 해당 소프트웨어의 예상 결함 수나 실제 총 결함 수를 알기 위해 신뢰성 성장 모델을 통해 값을 도출해 내어야 하는 경우는 수식화 가능 매트릭에서 미추출하였다.

수식화 가능 매트릭을 추출한 후, 비슷한 요소 중 보다 큰 가중치를 나타내는 매트릭의 사용을 위해 상대적으로 작은 가중치를 나타내는 매트릭은 수식화 가능 매트릭에서 제외한다. 아래의 [표 1]은 매트릭 최종 추출 결과이다.

[표 1] 수식화 가능 매트릭 추출

성숙성	오류허용성	회복성
- 테스트 케이스에 대한 결함 밀도	- 고장 회피	- 평균 고장 시간
- 테스트 적용 범위	- 결함 회피	- 평균 복원 시간
- 테스트 성숙도		- 재가동성
		- 복원 가능

각각의 품질평가 매트릭인 4가지 성숙성, 오류허용성, 회복성, 준수성을 *Mat*, *Fa*, *Re*, *Rec*라고 가정한다. 그리고 그 안에 포함되는 각각의 부특성을 *Tf*, *Tc*, *Tm*, *Ba*,

$Fa, Mdt, Mrt, Res, Rest, Rec$ 와 같이 칭한다. 이러한 가정 하에 본 연구에서 제안하는 수식은 다음과 같다.

$$Mat \times W_{Mat} + Fa \times W_{Fa} + Re \times W_{Re} + Rec \times W_{Rec} = R(\text{신뢰도}) \dots (1.1)$$

Mat : 성숙성, Fa : 오류허용성, Re : 회복성, W : 가중치

위의 성숙성(Mat), 오류허용성(Fa), 회복성(Re)은 각각의 부특성 성질에 따라 가중치를 부여하여 완성될 수 있다. 품질평가 메트릭의 부특성에 가중치를 부여하면, 신뢰도를 구하는 위의 수식이 도출된다. 수식은 다음과 같다.

$$Tf \times W_{Tf} + Tc \times W_{Tc} + Tm \times W_{Tm} = M \dots (1.2)$$

$$Ba \times W_{Ba} + Fa \times W_{Fa} = F \dots (1.3)$$

$$Mdt \times W_{Mdt} + Mrt \times W_{Mrt} + Res \times W_{Res} + Rest \times W_{Rest} = Re \dots (1.4)$$

Tf : 테스트케이스에 대한 결함밀도, Tc : 테스트 적용범위, Tm : 테스트 성숙도, Ba : 고장 회피, Fa : 결함 회피, Mdt : 평균 고장 시간, Mrt : 평균 복원 시간, Res : 재가동성, $Rest$: 복원 가능, W : 가중치

4. 사례 연구

신뢰성을 측정하기에 앞서서 어떤 제품의 내장형 소프트웨어를 기반으로 신뢰도를 측정할지에 대해 결정해야 한다. 본 연구에서는 우리가 일상생활에서 흔히 사용하는 모바일의 내장형 소프트웨어에 관하여 각각의 모델과 메트릭을 적용하고, 신뢰도를 측정하였다. 아래의 [표 2]는 모바일 소프트웨어 사용 도중 나타나는 결함을 체크리스트로 작성한 것이다.

[표 2] 모바일 소프트웨어 결함 체크리스트

구분	구성	체크
1	구동되어야 하는 작업이 구동되지 않는다.	
2	데이터 저장이 불가능하다.	
3	저장된 데이터가 완벽히 보존되지 않는다.	
4	데이터 입출력이 불가능하다.	
5	화면 멈춤 현상이 나타난다.	
6	해당 화면이 아닌 다른 화면으로 전환된다.	
7	갑자기 전원이 나가버린다.	
8	전화 송수신이 되지 않는다.	
9	메시지 송수신이 되지 않는다.	
10	배터리가 급속도로 닳는다.	
11	...	

일정한 간격의 시간차를 둔다는 전제 하에 1일 간격으로 4시간 마다 총 5일에 걸쳐 모바일의 단위시간당 고장 발생을 측정해 고장 자료를 검출한 후 실험하였다. 아래의 [표 3]은 시간 당 발생된 고장 수이다.

[표 3] 일정한 고장 시간 간격에 따른 발생 고장 수

시간(일 단위)	시간 당 발생 고장 수(4시간 간격)					
	4	8	12	16	20	24
1	0	1	2	1	0	1
2	0	1	2	0	2	0
3	1	0	1	0	0	1
4	1	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0

품질평가 메트릭의 부특성 요소에서 요구사항 값과 테스트 케이스를 알아내기 위해 모바일 소프트웨어의 기능적, 성능적인 요구사항, 테스트케이스를 작성한다. 본 연구는 통화, 문자, 애플리케이션, 전원, 화면 데이터에 대한 기준을 명시하여 실험하였다. 해당 기준을 벗어나면 정상적인 애플리케이션의 상황으로 간주한다. 아래의 [표 4]는 요구사항과 테스트 케이스의 결과 값을 근거로 도출된 결과 값이며, 이를 토대로 제안한 수식을 해결할 수 있다.

[표 4] 부특성의 성질에 대한 실험 결과

부특성의 성질	실험 횟수				
	1	2	3	4	5
발견된 결함 수	12	2	6	8	4
수행된 테스트케이스 테스트 수	30	10	20	20	10
실패 수행된 테스트 수	30	10	20	20	10
테스트 또는 동작 도중 통과된 테스트케이스 수	30	10	20	20	10
요구사항이 충족되어야 할 테스트케이스 수	30	10	20	20	10
테스트케이스 고장 패턴에 대한 중요하고 심각한 결함 발생의 수	1	1	1	1	1
테스트하는 동안 결함 패턴(거의 실패가 유발되는)으로 실행되는 테스트케이스 수	0	0	1	0	0
총 고장 시간(단위: 시간)	3	2	1	1	2
측정되어야 하는 관찰된 최악의 고장 수 또는 고장시간의 분포 수	0	0	1	0	0
복원된 소프트웨어 시스템 시간(단위: 시간)	1	1	1	1	1
관찰된 소프트웨어 시스템 복원 시작 수	1	1	1	1	1
테스트 또는 사용자 작업을 지원하는 동안 제한된 시간 안에 재시작한 수	1	0	1	1	1
테스트 또는 사용자 작업을 지원하는 동안 재시작한 총 수	1	0	3	3	0
성공적으로 복원한 경우의 수	3	0	2	1	3
요구사항 당 실제 복원된 수	0	0	2	1	2

4.1. 신뢰도 측정 결과 및 신뢰성 성장 모델과의 비교

NHPP Model과 Jelinski-Moranda Model은 고장 자료를 판단하여 신뢰성을 측정하는 신뢰성 성장 모델 중 가장 많이 알려져 있는 모델이다. 파라미터 값 계산에 대한 더욱 정확한 수치 값 계산을 위해 기존에 많이 알려진 'CASRE'라는 도구를 사용하여 계산 값을 도출하였다.

4.1.1 신뢰성 성장 모델의 신뢰도 측정

각 모델의 가설에 근거한 신뢰도 평가는 5일에 걸쳐 4시간 마다 결함 수를 측정하며, 미지의 모수에 대한 값을 신뢰도 함수에 대입하여 신뢰도를 측정한다. 'CASRE' 도구를 이용하여 각 모델의 신뢰도를 측정하기 위해서는, 고장 발생 수와 고장 발생 시간 간격 등의 수치가 필요하다. 아래의 [그림 1]은 필요한 수치를 입력한 결과이다.

Est. reliability: 4.00000e+000 Hr	Est. reliability: 3.29681e+001 Hr
3.19601e-001	6.51067e-004
3.47714e-001	6.98011e-004
3.75951e-001	7.47927e-004
4.04142e-001	8.01154e-004
4.32131e-001	8.57841e-004
4.59777e-001	9.18017e-004
4.86955e-001	1.04163e-003
5.13555e-001	1.24840e-003
5.39483e-001	1.48914e-003
5.64661e-001	1.86642e-003
5.89025e-001	2.44447e-003
6.12524e-001	3.16470e-003
6.35122e-001	4.24516e-003
6.56793e-001	5.61236e-003
6.77521e-001	7.62880e-003
6.97299e-001	1.05898e-002
7.16131e-001	1.49051e-002
7.34024e-001	2.18363e-002
7.50992e-001	3.47159e-002
7.67057e-001	5.21793e-002
7.82240e-001	8.14177e-002
7.96569e-001	1.48466e-001
8.10073e-001	2.34462e-001
8.22783e-001	3.31970e-001
8.34731e-001	4.32435e-001
8.45951e-001	5.28718e-001
8.56476e-001	6.16082e-001
8.66340e-001	6.92250e-001
8.75576e-001	7.57056e-001
8.84217e-001	8.10294e-001

[그림 1] 각 Model의 신뢰도 측정 결과

결과적으로, 위의 [그림 1]과 같이 신뢰도가 측정되고 그 값을 계산해보면 좌측 NHPP의 신뢰도는 0.8884217, 우측 Jelinski-Modranda의 신뢰도는 0.810294로 나온다.

4.1.2 신뢰성 품질측정 매트릭 수식

실험을 거쳐 도출된 데이터를 수식에 대입하여 계산하며, 계산된 결과 값으로 신뢰도 측정이 가능하게 된다. 각 부특성에서 도출된 값은 아래의 [표 5]와 같이 총 5번의 실험을 거쳐 나온 값들로, 통계적인 수치를 적용하였다.

[표 5] 실험을 통한 부특성 결과 값 추출

품질평가 매트릭	부특성	1	2	3	4	5
성숙성	<i>Tf</i>	0.4	0.2	0.3	0.4	0.4
	<i>Tc</i>	1	1	1	1	1
	<i>Tm</i>	1	1	1	1	1
오류허용성	<i>Ba</i>	0.4	0.9	0.7	0.9	0.9
	<i>Fa</i>	0	0	0	0	0
회복성	<i>Mdt</i>	0	0	1	1	1
	<i>Mrt</i>	1	1	1	1	1
	<i>Res</i>	1	0	0.3	0.3	0
	<i>Rest</i>	0	0	1	1	1.5

부특성의 가중치를 결정하기 위해, 본 논문에서 제안하는 수식을 다른 시스템에 적용했을 때 값이 변동하는 상황을 고려하였다. 하위 단계에서 고정된 값의 수식을 계산하기 위하여 각 부특성의 개수만큼 나누는 것을 가중치로 가정한다. 예를 들어, 본 논문에서 성숙성 매트릭 수식에 사용되는 부특성의 개수가 3개이기 때문에, 가중치는 1/3이라고 가정한다. 아래와 같이 품질평가 매트릭마다 계산된 부특성의 값과 가중치를 곱한 값들을 더하여 값을 도출한다.

- 성숙성 (*Mat*) 결과 값 도출

$$Tf \times W_{Tf} + Tc \times W_{Tc} + Tm \times W_{Tm} = Mat,$$

$$Mat = 0.4 \times 1/3 + 1 \times 1/3 + 1 \times 1/3 = 0.8, \quad Mat = 0.2 \times 1/3 + 1 \times 1/3 + 1 \times 1/3 = 0.73,$$

$$Mat = 0.3 \times 1/3 + 1 \times 1/3 + 1 \times 1/3 = 0.76, \quad Mat = 0.4 \times 1/3 + 1 \times 1/3 + 1 \times 1/3 = 0.8,$$

$$Mat = 0.4 \times 1/3 + 1 \times 1/3 + 1 \times 1/3 = 0.8$$

- 오류허용성 (*Fa*) 결과 값 도출

$$Ba \times W_{Ba} + Fa \times W_{Fa} = Fa,$$

$$Fa = 0.4 \times 1/2 + 0 \times 1/2 = 0.2, \quad Fa = 0.9 \times 1/2 + 0 \times 1/2 = 0.45$$

$$Fa = 0.7 \times 1/2 + 0 \times 1/2 = 0.35, \quad Fa = 0.9 \times 1/2 + 0 \times 1/2 = 0.45$$

$$Fa = 0.9 \times 1/2 + 0 \times 1/2 = 0.45$$

- 회복성 (*Re*) 결과 값 도출

$$Mdt \times W_{Mdt} + Mrt \times W_{Mrt} + Rest \times W_{Rest} + Res \times W_{Res} = Re$$

$$Re = 0 \times 1/4 + 1 \times 1/4 + 1 \times 1/4 + 0 \times 1/4 = 0.5$$

$$Re = 0 \times 1/4 + 1 \times 1/4 + 0 \times 1/4 + 0 \times 1/4 = 0.25$$

$$Re = 1 \times 1/4 + 1 \times 1/4 + 0.3 \times 1/4 + 1 \times 1/4 = 0.825$$

$$Re = 1 \times 1/4 + 1 \times 1/4 + 0.3 \times 1/4 + 1 \times 1/4 = 0.825$$

$$Re = 1 \times 1/4 + 1 \times 1/4 + 0 \times 1/4 + 1.5 \times 1/4 = 0.875$$

Tf: 테스트케이스에 대한 결함밀도, *Tc*: 테스트 적용범위, *Tm*: 테스트 성숙도, *Ba*: 고장 회피, *Fa*: 결함 회피, *Mdt*: 평균 고장 시간, *Mrt*: 평균 복원 시간, *Rest*: 복원 가능, *Res*: 재가동성, *W*: 가중치

최종적으로 상위 단계에서의 신뢰도 값을 도출해 내기 위해서는, 아래와 같이 각각의 품질특성 매트릭에 가중치를 곱하여 나온 값들을 더해야 한다.

$$Mat \times W_{Mat} + Fa \times W_{Fa} + Re \times W_{Re} = R(\text{신뢰도})$$

앞서 도출된 각각의 품질특성 매트릭 결과 값을 토대로 미지수인 가중치 W_{Mat} , W_{Fa} , W_{Re} 의 값을 도출해낸다. 부특성과 미지수였던 가중치를 곱하여 나온 값들을 더하면 신뢰도가 도출된다. $R(\text{신뢰도})$ 값은 대표적으로 NHPP Model에서 각 실험 데이터들을 선정하여 계산한 값이다. 여기서, 부특성의 값은 첫 번째, 두 번째, 세 번째 실험까지 도출된 결과를 토대로 계산한다. 계산된 신뢰도 측정값과 신뢰성 성장 모델을 통해 도출된 신뢰도를 비교한다.

$$0.8 \times W_{Mat} + 0.2 \times W_{Fa} + 0.5 \times W_{Re} = 0.459777$$

$$0.73 \times W_{Mat} + 0.45 \times W_{Fa} + 0.25 \times W_{Re} = 0.612524$$

$$0.76 \times W_{Mat} + 0.35 \times W_{Fa} + 0.825 \times W_{Re} = 0.734024$$

본 논문에서는 미지수인 값을 알아내기 위하여, 선형대수학의 가우스 소거법을 이용하였다. 3차방정식을 해결하면, 각각 아래와 같이 M_{Mat} , M_{Fa} , M_{Re} 의 값이 도출된다.

$$W_{Mat} = 0.0802839462, W_{Fa} = 1.0175479934, W_{Re} = 0.3840804887$$

아래 두 개의 수식은, 실험 네 번째와 실험 다섯 번째의 데이터로 구성된 수식이다. 이에 앞서 도출된 가중치를 대입하여 신뢰도 값을 구한다.

$$0.8 \times W_{Mat} + 0.45 \times W_{Fa} + 0.825 \times W_{Re} = R, 0.8 \times W_{Mat} + 0.45 \times W_{Fa} + 0.875 \times W_{Re} = R$$

Mat: 성숙성, *Fa*: 오류허용성, *Re*: 회복성, *W*: 가중치

위의 수식에, 앞서 도출된 가중치를 대입하여 계산하면, 다음과 같은 신뢰도 측정 결과 값이 도출된다.

$$0.8 \times 0.0802839462 + 0.45 \times 1.0175479934 + 0.825 \times 0.3840804887 = 0.83899378576$$

$$0.8 \times 0.0802839462 + 0.45 \times 1.0175479934 + 0.875 \times 0.3840804887 = 0.85819803011$$

실험한 결과를 토대로 품질평가 메트릭에 대한 부특성의 데이터를 추출하고, 추출한 데이터로 품질평가 메트릭을 계산하였다. 계산한 결과, 본 논문에서 다룬 모바일 내장형 소프트웨어 시스템 신뢰도 측정 결과 값이 각각 실험 네 번째에서는 0.83899378576(약 84%), 실험 다섯 번째에서는 0.85819803011(약 86%)로 나왔다.

[표 6] 신뢰성 성장 모델과 제안한 수식의 신뢰도 비교

구분	결과 값	신뢰도
NHPP Model	0.8884217	89%
Jelinski-Moranda Model	0.810294	81%
실험 네 번째	0.83899378576	84%
실험 다섯 번째	0.85819803011	86%

위의 [표 6]은 신뢰성 성장 모델의 신뢰도를 본 논문에서 제안한 수식의 신뢰도와 비교한 표이다. 'CASRE' 모델을 통하여 도출된 신뢰성 성장 모델의 신뢰도와, 신뢰성 품질평가 메트릭의 부특성에 따른 신뢰도는 계산 과정에서의 복잡도 차이가 존재하나, 측정 결과 값은 비슷하다.

5. 연구 평가

본 연구에서 주장한 메트릭을 이용하면 보다 간편하게 신뢰도를 측정할 수 있다. 각 메트릭의 체크리스트를 토대로 한 특성들로 수치 값을 내고, 신뢰도를 결정할 수 있게 하였다. 필요한 수치 값은 신뢰성 성장 모델 수식을 통하지 않고 신뢰성 평가 메트릭에서 수식을 유도하여 계산

값을 도출하였다. 기존의 신뢰성 성장 모델에서 주장하고 있는 각 단계 별 과정과 비교하면 쓰이는 변수의 의미 등 내용 자체는 비슷하지만, 결국 목표하는 측정값에 대해서는 보다 간편하게 접근할 수 있는 방안을 모색하였다.

이처럼 앞서 거론한 여러 절차를 걸쳐 도출된 메트릭만으로 만들어진 수식을 이용하면 보다 간단한 신뢰도 계산을 할 수 있게 된다. 이로써 보다 나은 신뢰성 평가 척도 방안에 이바지할 수 있게 되었다는 것을 밝혀내었다.

6. 결론 및 향후 연구과제

기존의 대표적인 신뢰성 성장 모델의 측정값과 제안한 수식의 신뢰성 평가를 진행하기 위해 실제 시스템을 실험하고 분석하여 나온 더욱 정확한 실험 데이터로 심도 있게 연구하였다. 각각의 데이터 적용 결과를 통해 수식의 타당성에 대하여 정확한 근거를 제시하였다. 결과적으로 기존의 복잡한 수식 대신 제시한 수식만으로도 신뢰도 측정이 가능함을 보였다. 이는 실제 시스템에서 신뢰성을 향상시키는 작업에 적극 활용되도록 도모될 것이다.

본 연구에서 상위 단계인 신뢰성 품질평가 메트릭은 나름대로의 논리로 가변적인 성질을 지니는 가중치를 계산 후 수식에 대입하여 결과 값을 도출해 내었지만, 하위 단계인 신뢰성 품질평가 메트릭의 부특성들에는 가중치를 고정 값으로 지정하였다. 이 부분에서는 각각 어떻게 가중치를 가변적으로 계산하고 수식에 대입하여 결과 값을 도출해 낼지에 대해서 깊게 고민하고 보완하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] David E. Simon, "An Embedded Software Primer", Addison Wesley 1999
- [2] ISO/IEC 9126 "Information Technology - Software Quality Characteristics and Metrics - Part 1,2,3
- [3] Jelinski, Z. and Moranda, P.B, "Software reliability research", in Statistical Computer Performance Evaluation, Freiburger, W.(ed.), pp. 465-484, Academic Press, 1972.
- [4] Azuma, M., "Software Quality Evaluation System:Quality Model, Metrics and Processes - International Standards and Japanese Practice", Information and Software Technology, 1996.
- [5] Cook, M.L., "Software Metrics : An Introduction and Annotated Bibliography", ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, pp.41.60, Vol.7, No.2, April 1982.
- [6] K. H. and Paulis, D.j., "Software Metrics", Chapman & Hall(IEEE Press), 1993