

자가 치유 시스템을 위한 목표 트리 기반 평가 기법

민동욱*, 김영덕*, 고재현*, 이현숙*, 김훈기*, 정석용*, 박정민*

*동양공업전문대학 전산정보학부

{appeal, episod2, jhko, hsrhee, kimhk, syjung, ya23ma}@dongyang.ac.kr

Goal Tree based Testing Method for Self-healing System

Dongwook Min*, Yeongduck Kim*, Jaeheon Ko*,

Hyunsook Rhee*, Hoonki Kim*, Sukyong Jung*, Jeongmin Park*

*School of Computing and Information, DongYang Technical College

요 약

자가 치유란 시스템에서 발생될 수 있는 예러나 오류를 미리 예상하거나 감지하고 시스템 스스로 치유함으로써 시스템의 오동작을 최소화하는 것을 의미한다. 자가 치유 시스템의 신뢰성을 높이기 위해서는 정확한 테스트 기법이 필요하다. 하지만 기존의 테스트 기법은 성공 또는 실패만으로 나타내기 때문에 정량적인 평가가 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 자가 치유 시스템이 달성해야 할 목표를 추출하고 관계에 따라 트리로 작성하여 이를 기반으로 시스템의 자가 치유 기법의 성공률을 정량적 측정하는 기법을 제안한다. 본 기법을 통해 자가 치유 시스템의 치유 결과를 정량적으로 평가 가능하고, 평가결과를 기반으로 치유 전략에 대한 문제점이 분석 가능하므로 자가 치유 시스템의 신뢰성 향상이 가능하다.

1. 서론

자가 치유(self-healing)는 시스템에서 발생될 수 있는 예러나 오류를 미리 예상하거나 감지하고 이러한 오류를 시스템 스스로 치유 혹은 수정함으로써 시스템의 오동작을 최소화하는 것을 의미한다[1].

자가 치유 시스템은 스스로 오류를 조사, 발견, 진단하여 목표시스템의 강건성을 높여준다. 하지만 자가 치유가 제대로 이뤄지지 못한다면 시스템의 신뢰성은 떨어지게 된다. 이러한 시스템의 신뢰성은 테스트를 통해서 판단하게 되는데 기존의 테스트 기법들은 테스트의 결과를 통해 성공 또는 실패만을 나타내지만 비정상상태에서 정상상태로 전이가 될 수 있는 자가 치유 시스템에서는 불완전한 성공에 대해서도 성공상태를 나타내야 하므로 정량적인 평가를 통해 구체적으로 나타낼 필요가 있다.

따라서 본 논문은 목표트리를 이용하여 자가 치유 시스템의 치유 성공률을 정량적으로 평가할 수 있는 기법을 제안한다. 제안기법은 다음과 같은 5단계를 통해 수행된다.

1단계-목표 모델링(Goal Modeling)

목표 시스템의 오류가 정상이기 위한 목표들을 추출

2단계-목표 모델 분석(Goal Model Analysis)

목표들의 인과관계에 따라 트리로 구성

3단계-기여도 정의(Dependency Definition)

각 노드의 부모에 대한 기여도를 설정

4단계-최소달성률 정의(Minimum Achievement-rate Definition)

목표가 성공하기 위한 최소 달성률을 정의

5단계-치유성공률 측정(Success-rate Measurement)

목표 시스템의 자가 치유 성공률을 측정

사례 연구는 우리의 이전 연구인 자가 치유 시스템을 적용한 지능형 서비스 로봇[2,3]에 적용하였으며, 제안 사항을 통해 자가 치유 시스템은 자가 치유의 정도를 정량적으로 분석 가능하고 치유 전략에 대한 문제점이 분석 가능하므로 신뢰성이 높아진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구를 분석하고, 3장에서 제안 사항을 서술한다. 4장에서 사례연구를 소개하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 컴포넌트의 신뢰성 측정 기법

컴포넌트 신뢰성 측정 방법론[4]은 오류 주입(fault injection) 기법을 통해 자가 치유 시스템의 신뢰성을 측정하는 방법을 제안하였다.

오류 주입이란 소프트웨어의 신뢰성과 강건성을 테스트하는 방법으로, 발생 가능한 오류를 주입하여 소프트웨어가 오류에 대해 대처하는 방법을 분석하기 위해 사용되는 기법이다. 그러나 오류 주입 기법은 결과의 측정 방법이 제시되지 않기 때문에 치유의 성공 또는 실패 여부를 테스터의 판단에 맡길 수밖에 없다.

따라서 본 논문에서는 목표 트리를 이용하여 자가 치유 시스템의 치유 성공률을 정량적으로 표현할 수 있는 기법을 제안한다.

2.2 자기적응형 소프트웨어를 위한 목표 기반의 외부상황 평가 기법

목표 기반의 외부상황 평가 기법[5] 논문에서는 소프트웨어가 실행 중에 추구하는 목표(goal)를 기반으로 외부상황(contextual situation)문제를 평가(evaluation)하는 것을 제안하고 있다.

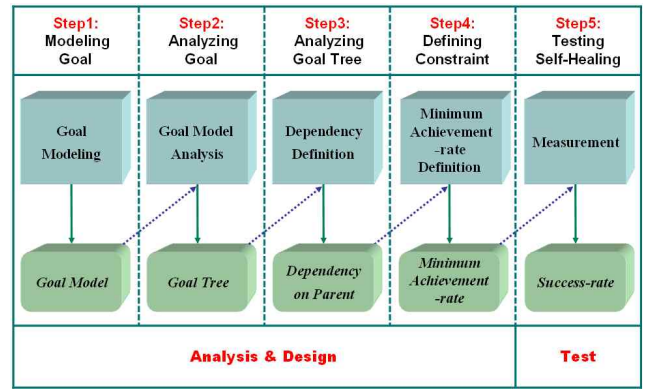
본 논문에서는 시스템의 목표를 목표 그래프로 모델링하며 다음과 같은 내용으로 정의되어 있다.

- 1) 목표 그래프에는 부모 목표(parent goal)와 서브 목표(sub-goal)와의 정량적 관계를 가지고 있다.
- 2) 목표 간의 관계 선에는 부모 목표를 달성하기 위한 기여도 비율을 나타내게 된다.
- 3) 목표 간의 관계들을 이용하여 전체 목표 그래프에서의 특정 목표의 우선순위, 또는 비중 값(goal's priority value)을 계산할 수 있다.

본 논문에서는 위의 목표 트리를 이용하여 자가 치유의 성공률을 평가한다. 이를 통해 일률적인 성공 또는 실패가 아닌 정량적 수치로 표현함으로써 치유 결과에 대한 신뢰성을 높인다.

3. 제안사항

본 절에서는 자가 치유 시스템의 치유성공률을 정량적으로 측정하기 위해서 [그림 1]과 같이 5단계로 자가 치유 시스템 평가 기법을 제안한다. 1-4단계는 목표트리를 설계하는 단계이고, 5단계는 목표트리를 이용해 치유성공률을 측정하는 단계이다. 구체적인 각 단계의 정의는 다음과 같다.



[그림 1] 자가 치유 시스템 평가 기법

1단계-목표 모델링(Goal Modeling)

목표 모델링 단계는 목표 시스템의 오류 트리에서 최하위 노드가 정상 동작하기 위해 달성해야 할 목표들을 추출하는 단계이다. 또한, 목표를 추출하기 위해서는 목표 시스템의 정상동작에 기반을 두어 추출해야 하므로 목표 시스템에 정상동작을 정확히 분석해야 한다.

목표 모델링 단계를 통해 추출된 목표들은 목표 모델(goal model)로 작성된다. 작성된 목표 모델은 다음 단계에 참조된다.

2단계-목표 모델 분석(Goal Model Analysis)

목표 모델 분석 단계는 목표 모델링 단계에서 추출된 목표 모델을 참조하여 목표들의 인과관계에 따라 목표 트리(goal tree)를 작성하는 단계이다. 목표 트리는 1단계에서 추출된 목표들로 구성되며, 오류트리의 최하위 노드와 연결이 된다. 목표 트리의 목표는 테스터가 성공/실패 여부를 판단할 수 있거나 시스템이 스스로 평가할 수 있는 목표들로 작성되어야 한다. 또한, 목표들 간의 관계는 원인과 결과 상태에 따라 상위 노드를 만족시키기 위해 필요한 목표들로 하위 노드를 구성한다.

목표 모델 분석 단계를 통해 얻어진 목표트리는 다음 단계에 참조되어진다.

3단계-기여도 정의(Dependency Definition)

기여도 정의 단계에서는 부모 노드와 자식노드들로 구성되어진 목표 트리에 자식노드가 부모노드에 미치는 영향을 정량적으로 정의하는 단계이다.

기여도 정의를 하기 위해서는 자식노드에 초기 값을 균등하게 설정하고, 자식 노드의 성공여부에 따른 모든 경우를 확인한다. 각 경우에서 부모 노드의 성공과 실패에 따라 자식 노드는 최적 기여도 증감

값을 균등하게 부여받아 기여도가 정의된다. 이 때, 최적 기여도 증감값이란 모든 경우의 수에서 전부 감소된다 하더라도 기여도가 음수가 되지 않는 최댓값으로 [표 1]에 정의된 값과 같다.

[표 1] 최적 증감값

자식 노드의 개수	최적 증감값
2	0.25000000
3	0.08250000
4	0.03571429
5	0.01666667
⋮	⋮

부모노드에 자식 노드(A, B, C)가 3개로 구성된 트리의 경우, 각각의 자식노드는 초기 값으로 약 0.33이 설정된다. 최초 기여도가 설정되면, 자식노드들의 성공여부에 따른 경우의 수만큼 테스트를 거쳐 자식노드인 A, B, C가 성공 실패에 따라 최적 기여도 증감값을 균등하게 부여받는다. 성공한 노드의 증가값은 (최적 기여도 증감값/성공한 노드의 수)으로 정의하며, 실패한 노드의 감소 값은 (최적 기여도 증감값/실패한 노드의 수)로 정의한다. 예를 들어, A노드가 실패하고 B, C노드가 성공하여 부모노드를 만족시킨다면 A노드는 (0.08/1)만큼 기여도가 감소된다. 반면, B, C노드는 각각 (0.08/2)씩 증가된다. 이러한 과정의 반복을 통해 자식노드의 기여도를 설정할 수 있다.

기여도 정의 단계를 통해 얻어진 기여도 값은 다음 단계에 참조되어진다.

4단계-최소 달성률 정의(Minimum Achievement-rate Definition)

최소 달성률 정의 단계는 기여도를 설정한 자식노드들이 부모의 목표를 만족시키기 위한 값을 설정하는 단계이다.

최소 달성률은 목표를 성공한 노드의 최솟값과 실패한 노드의 최댓값의 사이 값을 가지게 되고, 평균 기여도 보다 높아야 하며, 최소 목표 달성률로 성공한 사례의 노드가 최하위 노드가 아니라면 해당 노드의 최소 달성률과 부모에 대한 기여도를 곱한 값 보다 작아야 한다.

[표 2] 자식노드 성공여부에 따른 사례

A	B	C	부모노드 성공여부
0	0	0	실패
1	0	0	실패
0	1	0	성공
0	0	1	실패
0	1	1	성공
1	0	1	실패
1	1	0	성공
1	1	1	성공

예를 들어, 부모 노드와 자식 노드인 A, B, C노드가 존재하는 목표트리에서 A, B, C노드의 기여도를 [표 2]와 같이 경우의 수에 따라 증감하여 A노드는 0.17, B노드는 0.65, C노드는 0.17의 기여도 값이 추출되었다고 가정한다.

기여도를 추출하는 과정의 경우의 수를 보면 A, C노드가 목표를 만족했음에도 불구하고 부모 노드가 실패하는 것을 [표 2]에서 확인 할 수 있다. 이를 통해 A, C노드가 목표를 만족해도 최소 달성률에 미치지 못한다는 것을 알 수 있다. 즉, 최소 달성률 정의 시 A, C노드의 기여도 값의 합 0.34이 실패한 노드의 최댓값이 된다.

또한, [표 2]를 보게 되면, B노드 1개의 목표만을 만족하는 경우에 부모 노드가 목표를 만족하는 경우가 발생 한 것을 볼 수 있다. B노드는 A, C노드에 비해 기여도가 높아 B노드 하나의 목표를 만족해도 부모 노드의 목표를 만족할 수 있는 것이다. 즉, B노드 0.65의 값이 성공한 노드의 최솟값이 된다.

앞에서 설명한 내용을 정리해보면 P노드의 최소달성률은 다음과 같다.

$$0.34 < P\text{노드 최소달성률} < 0.65$$

최소 달성률 정의 단계에서 얻어진 최소 달성률은 치유성공률 측정 단계에서 목표의 성공여부를 판단하는 기준이 된다.

5단계-치유성공률 측정(Success-rate Measurement)

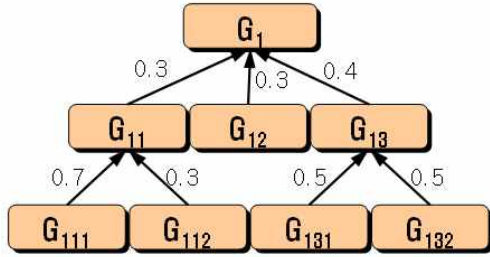
치유성공률 측정단계는 이전단계에서 정의된 목표 트리를 이용해 목표시스템의 치유 성공률을 측정하는 단계이다.

목표 트리에서 루트 노드(R : Root node)에 종속된 노드의 ‘루트 노드에 대한 기여도(DR : Dependency on Root)’는 루트노드로부터 해당 목표에 이르는 경로의 모든 노드들의 DP를 곱한 것이며 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$DR(G_x, G_y) = G_x'sDP \times G_{\lfloor \frac{x}{10} \rfloor}'sDP \times G_{\lfloor \frac{x}{100} \rfloor}'sDP \times \dots \times G_y'sDP$$

*DP (Dependency on Parent: 부모 노드에 대한 기여도)

예를 들어, [그림 2]에서 G₁₁₁의 DR을 구하기 위해서는 다음과 같이 계산된다. 단, G₁의 DP는 루트노드이기 때문에 1로 설정한다.



[그림 2] 목표트리 예

$$DR(G_{111}, G_1) = G_{111}'sDP \times G_{11}'sDP \times G_1'sDP = 0.7 \times 0.3 \times 1 = 0.21$$

위 수식의 결과에서 G₁₁₁의 G₁에 대한 기여도는 0.21이 됨을 확인할 수 있다.

최하위 노드의 DR이 설정되면, 각 부모 노드의 목표 달성률을 계산할 수 있다. 예를 들어, 루트 노드 R의 ‘목표 달성률(GA : Goal Achievement-rate)’은 최하위 노드(L : Leaf node)들의 DR과 목표 달성률을 곱한 것을 합산하여 구하게 되며 수식은 다음과 같다.

$$GA(R) = \sum_n \{DR(L_n, R) \times GA(L_n)\}$$

또한, 루트 노드의 목표 달성률에 × 100(%)을 계산하면 치유 성공률과 일치하게 된다.

위와 같이 목표 트리를 이용하면 치유 성공률을 정량적으로 구하는 것이 가능해진다. 또한 각 노드의 성공 여부를 확인할 수 있으므로 이를 통해 치유전략의 문제점을 분석할 수 있다.

4. 사례 연구

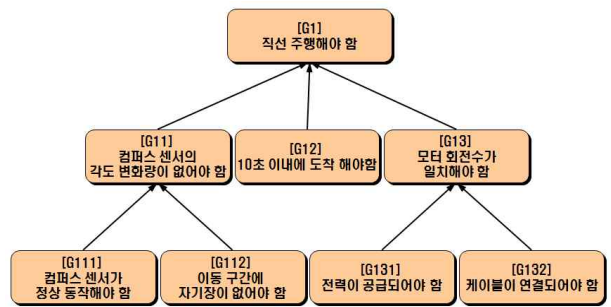
본 절에서는 우리의 이전 연구인 지능형 서비스 로봇의 자가 치유 시스템을 제안 기법에 따라 평가한다. 다음 [표 3]은 목표 시스템의 오류 중 “스텝모터 비정상(step motor = abnormal)”이 치유되어 시스템

이 정상 상태임을 증명할 수 있는 목표들이다.

[표 3] 목표 모델

시스템 목표	
스텝모터 비정상	직선 주행해야 함
	컴퍼스 센서의 각도 변화량이 없어야 함
	10초 이내에 목적지에 도착해야 함
	모터 회전수가 일치해야 함
	컴퍼스 센서가 정상 동작해야 함
전력이 공급되어야 함	
⋮	⋮

추출된 목표 모델은 목표 시스템의 오류가 정상적으로 치유되었는지 확인하기 위한 목표들로 [그림 3]과 같이 목표 트리로 구성된다.



[그림 3] 목표 트리

예를 들어, 스텝 모터가 정상이기 위해서 가장 중요한 목표인 “이동 시 로봇이 직선으로 이동해야 함”은 루트 노드가 되고, “컴퍼스 센서의 각도 변화량이 없어야 함”, “다음 이동 좌표까지 10초 이내에 도착해야 함”, “양쪽 모터의 회전 수가 일치해야 함”이라는 목표는 루트 노드가 달성되기 위한 전제 목표이므로 루트 노드의 하위 노드가 된다.

[표 4]는 루트노드에 대한 기여도를 설정하는 단계이다. G₁은 루트노드를 가리키고, G₁₁, G₁₂, G₁₃노드는 각 자식 노드를 가리킨다.

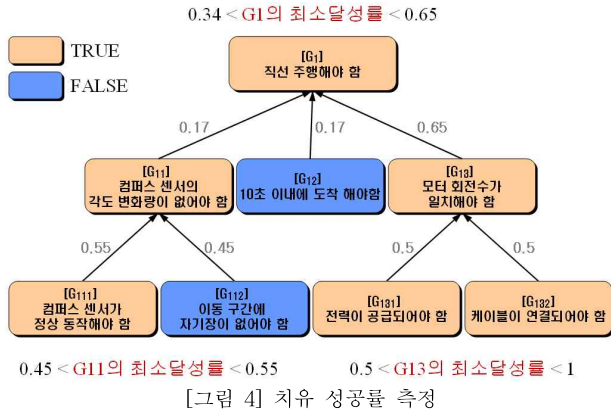
[표 4] 기여도 정의 예

G ₁₁	G ₁₂	G ₁₃	G ₁	G ₁₁ 기여도	G ₁₂ 기여도	G ₁₃ 기여도
-	-	-	-	≈0.33	≈0.33	≈0.33
0	0	0	실패	0.33(-)	0.33(-)	0.33(-)
0	0	1	성공	0.29(▼0.04)	0.29(▼0.04)	0.41(▲0.08)
0	1	0	실패	0.33(▲0.04)	0.21(▼0.08)	0.45(▲0.04)
0	1	1	성공	0.25(▼0.08)	0.25(▲0.04)	0.49(▲0.04)
1	0	0	실패	0.17(▼0.08)	0.29(▲0.04)	0.53(▲0.04)
1	0	1	성공	0.21(▲0.04)	0.21(▼0.08)	0.57(▲0.04)
1	1	0	실패	0.17(▼0.04)	0.17(▼0.04)	0.65(▲0.08)
1	1	1	성공	0.17(-)	0.17(-)	0.65(-)

G₁의 최소 달성률은 기여도 정의 단계에서 실패한

사례 중 최대 목표 달성률인 0.34보다 커야하며, 성공한 사례 중 최소 목표 달성률인 0.65보다 작아야 한다. 또한 최소 목표 달성률로 성공한 사례가 G_{13} 이 성공한 경우이므로 G_{13} 의 최소 달성률에 기여도를 곱한 값 보다는 작아야 한다.

모터 오류에 관한 자가 치유 성공률을 측정하는 경우 다음과 같이 진행 된다.



목표트리의 가장 하위 노드인 G_{111} , G_{112} , G_{12} , G_{131} , G_{132} 가 성공했는지 여부를 판단한다. 결과는 [그림 4]와 같이 G_{12} , G_{112} 두 목표가 실패 했다.

G_{112} 와 G_{12} 가 FALSE, 즉 $GA(G_{112})=0$, $GA(G_{12})=0$ 일 때의 치유 성공률을 수식에 적용시킨다면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 DR(L_1, R) &= DR(G_{111}, G_1) = 0.55 \times 0.17 \times 1 = 0.0935 \\
 DR(L_2, R) &= DR(G_{112}, G_1) = 0.45 \times 0.17 \times 1 = 0.0765 \\
 DR(L_3, R) &= DR(G_{12}, G_1) = 0.17 \times 1 = 0.17 \\
 DR(L_4, R) &= DR(G_{131}, G_1) = 0.5 \times 0.65 \times 1 = 0.325 \\
 DR(L_5, R) &= DR(G_{132}, G_1) = 0.5 \times 0.65 \times 1 = 0.325 \\
 GA(L_1) &= GA(G_{111}) = 1 \\
 GA(L_2) &= GA(G_{112}) = 0 \\
 GA(L_3) &= GA(G_{12}) = 0 \\
 GA(L_4) &= GA(G_{131}) = 1 \\
 GA(L_5) &= GA(G_{132}) = 1 \\
 \therefore GA(R) &= (0.0935 \times 1) + (0.0765 \times 0) + (0.17 \times 0) + \\
 &\quad (0.325 \times 1) + (0.325 \times 1) = 0.7435 \\
 \therefore \text{치유성공률(success-rate)} &= 0.7435 \times 100 \approx 74(\%)
 \end{aligned}$$

5. 결론

본 논문에서는 목표트리를 이용한 자가 치유 시스템 평가 기법을 제안하였다. 사례연구를 통해 제안한 기법은 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있었다.

- 목표트리를 이용해 자가 치유 시스템의 치유 결과를 정량적으로 평가 가능
- 평가결과를 기반으로 치유 전략에 대한 문제점이

분석 가능하므로 자가 치유 시스템의 신뢰성 향상 제안 평가 기법을 적용하기 위해서는 목표 트리가 필요하다. 하지만, 목표 트리는 반복적인 경험과 시행착오를 통해 휴리스틱(heuristic)한 설계가 이루어지기 때문에 많은 시간이 소요될 뿐 아니라 개발자의 주관적으로 설계된다. 이 문제점을 해결하기 위해서는 시스템의 프로세스를 분석하여 목표를 추출하고 이를 통해 목표 트리를 자동적(automatic)으로 생성하는 기법이 필요하다. 이에 대해서는 향후 연구에서 다룰 예정이다.

참고문헌

- [1] IBM, "IBM and Autonomic Computing ", <http://www-03.ibm.com/servers/autonomic/>
- [2] 고재현, "Ez-Robomaster를 이용한 네트워크 기반의 서비스 로봇 시스템의 설계와 구현" 한국정보과학회 제 35회 추계학술대회 논문집 2008. 10.
- [3] 민동욱, "지능형 서비스 로봇을 위한 자가 치유 방법론", 제31회 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집 제16권 제1호 2009. 04.
- [4] Leslie Cheung, "Early Prediction of Software Component Reliability" ICSE 08, May 10 - 18, 2008. 05.
- [5] 김재선. "자기적응형 소프트웨어를 위한 목표 기반의 외부상황 평가 기법" 정보과학회 논문지, 제 33권 제 3호, pp.316-334, 2006.