

소프트웨어 신뢰성의 정량적 분석 방법론

(A Quantitative Analysis Theory for Reliability of Software)

조용순[†] 윤현상[†]
(Yongsoon Cho) (Hyunsang Youn)

이은석^{††}
(Eunseok Lee)

요약 전통적인 소프트웨어 공학 관점에서 소프트웨어의 비 기능적 요구사항 중 하나인 신뢰성은, 소프트웨어 개발 프로세스에서 마지막 단계인 통합 테스트 이후에 검증이 가능하다. 그러나 이것은 소프트웨어 개발에 있어서 많은 위험성과 개발 비용을 발생시킨다. 따라서 본 논문에서는 소프트웨어 개발 초기 단계에서 수학적 분석 모델을 통해 신뢰성을 분석할 수 있는 방법을 제안한다. 소프트웨어의 신뢰성 분석을 위하여 본 논문에서는 다음 두 가지를 제안한다. 첫째로, 계층형 큐잉 패트리넷을 이용하여 신뢰성 분석을 위한 소프트웨어 모델링 방법론을 제안한다. 둘째로, 완성된 계층형 큐잉 패트리넷 모델로부터 신뢰성 분석을 위한 마코프 리워드 모델(Markov Reward Model)을 유도해내는 방법에 관하여 제안한다. 본 논문의 유효성을 검증하기 위하여, 화상회의 시스템 개발사례에 적용하였다. 본 연구 결과를 통해 소프트웨어 신뢰성의 정량적인 분석이 가능하다.

키워드: 계층형 큐잉 패트리넷, 마코프 리워드 모델, 신뢰성, 리워드율, 신뢰성 분석

· 본 연구는 교육 과학 기술부에서 주관하는 일반연구자 지원 사업(과제번호: 2009-0077453)과 성균관대학교의 2008학년도 석급학술연구과제의 일환으로 수행되었습니다.

· 이 논문은 제35회 추계학술대회에서 '소프트웨어 신뢰성의 정량적 분석 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 성균관대학교 컴퓨터공학파
bluecase1@nate.com
wizehack@ecc.skku.ac.kr

^{††} 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
eslee@ecc.skku.ac.kr

논문접수 : 2009년 2월 18일

심사완료 : 2009년 4월 24일

Copyright©2009 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제15권 제7호(2009.7)

Abstract A reliability of software is a type of non-functional requirement. Traditionally, a validation of the reliability is processed at the integration phase in software development life cycle. However, it increases the cost and the risk for the development. In this paper, we propose reliability analysis method based on mathematical analytic model at the architecture design phase of the development process as follows. First, we propose the software modeling methodology for reliability analysis using Hierarchical combined Queueing Petri Nets(HQPN). Second, we derive the Markov Reward Model from the HQPN based model. We apply our approach to the video conference system to verify the usefulness of our approach. Our approach supports quantitative evaluation of the reliability.

Key words: Hierarchically Combined Queueing Petri Nets, Markov Reward Model, Reliability, Reward rate, Reliability Analysis

1. 서론

신뢰성은 소프트웨어가 주어진 시간 내에 사용자에게 특정 서비스를 정확하게 전달하는 능력[1]을 말하는 것으로, 크리티컬(critical) 시스템 등을 위한 소프트웨어를 개발하기 위해 필수적이다. 기존 소프트웨어 개발 초기 단계에서 신뢰성을 분석하고자 하는 연구는 일반적으로 소프트웨어의 수학적 분석 모델을 이용하는 방법을 통해서 이루어졌다. 이러한 연구들은 대부분 마코프 리워드 모델(Markov Reward Model)을 기반으로 소프트웨어의 신뢰성을 분석하였는데[2], 복잡한 시스템 내부에 존재하는 모든 상태를 마코프 기반 모델로 기술해야 하는 문제점과 이것은 상태 공간 폭발(State Space Explosion)문제로 인하여 실질적인 분석이 불가능한 문제를 가지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 계층형 큐잉 패트리넷을 기반으로 소프트웨어의 신뢰성을 모델링하고 이를 기반으로 마코프 리워드 모델을 유도해내는 방법을 제안한다. 계층형 큐잉 패트리넷은 기존의 큐잉 패트리넷에 서브셋 공간(place)를 추가하여 큐잉 패트리넷 형식의 하위 계층을 가지는 방식으로 이를 통해 기존 상태 기반 분석에서 발생하는 문제점인 상태 공간 폭발(State Space Explosion) 문제를 해결하고 있다. 추가적으로 기존 모델링 언어들의 경우 복잡한 분산 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어의 통합된 모델링에 있어서 표현능력의 한계를 가지고 있었지만, 계층형 큐잉 패트리넷의 경우 이러한 문제점을 상당부분 해결하고 있다[3]. 그러나 기존 계층형 큐잉 패트리넷의 경우 성능 분석을 위한 마코프 모델 기반의 분석기법과 모델링 방법론이 제공되고 있지만 신뢰성 분석을 위한 분석

기법 및 모델링 방법론에 관한 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 다음 두 가지 기법의 제안을 통하여 소프트웨어 개발 초기 단계에서 신뢰성을 분석하는 기법을 제안한다. 첫째로, 계층형 큐잉 패트리넷을 이용하여 신뢰성 분석을 위한 소프트웨어 모델링 방법론을 제안한다. 둘째로, 완성된 계층형 큐잉 패트리넷 모델로부터 신뢰성 분석을 위한 마코프 리워드 모델(Markov Reward Model)을 유도해내는 방법에 관하여 제안한다. 본 논문의 유효성을 검증하기 위하여, 화상회의 시스템 개발사례에 적용하였다. 본 연구 결과를 통해 시스템의 모델링 과정에서 신뢰성 측정이 가능하다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 소프트웨어의 모델링 기법과 신뢰성 분석을 위한 관련 연구들을 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 소프트웨어 신뢰성 분석 방법론을 설명한다. 4장에서는 화상 회의 시스템 사례를 통하여 제안 방법을 평가하였으며 5장에서는 결론을 내린다.

2. 관련연구

Falko[4]는 큐잉 네트워크와 패트리넷을 결합하여 계층적인 모델을 제안한다. 이 패트리넷은 큐잉 네트워크의 특징인 하드웨어 관점에서 모델링이 가능하다는 점과 소프트웨어 관점에서 상태 표현이 가능한 패트리넷의 특징을 가지고 있다. 또한 계층적으로 구성하는 모델이기 때문에 상태 폭발 문제를 해결하고 있다. 따라서 계층형 큐잉 패트리넷은 복잡한 시스템의 상태들을 모델링하기 좋은 모델이다.

Samuel[7]은 계층형 큐잉 패트리넷을 모델링을 위한 방법론을 제안하였다. 본 논문에서는 이러한 계층형 큐잉 패트리넷으로 모델링한 모델을 기반으로 신뢰도를 분석 한다.

마코프 체인에서는, $\{X(t), t > 0\}$ 을 상태 공간 S와 무한소 생성 매트릭스 $Q=[q_{ij}]$ 의 homogeneous finite state continuous time Markov chain(CTMC)라고 두고, $P_i = P\{X(t) = i\}$ 는 CTMC에서 상태 i, 시간 t에서의 무조건적인 확률로 둔다. 이 때 순간적인 CTMC는 $P(0)$ 가 시간이 0일 때의 최초의 확률이라고 한다면 콜 모고로프 미분방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{dP(t)}{dt} = P(t)Q, \text{ given } P(0) \quad (1)$$

정상상태(Steady state)에서의 확률벡터 $\pi = \lim_{t \rightarrow \infty} P(t)$ 는 식 (2)를 만족한다.

$$\frac{dL(t)}{dt} = L(t)Q + P(0), L(0)=0 \quad (2)$$

마코프 체인의 각 상태들은 다른 상태로 전이가 가능한 일시적인 상태와 더 이상 전이할 수 없는 흡수 상태로 나눌 수 있다. Q_s 를 Q의 서브 매트릭스 중 일시적인 상태들 간의 전이를 위한 매트릭스라고 하면, 흡수 상태가 되기 전 일시적인 상태에 머무르는 시간은 $L_T(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} L_T(t)$ 로 계산 가능하다. 즉, 흡수 상태까지의 평균 시간(Mean time to absorption)은 식 (3)과 같다.

$$MTTA = \sum_{i \in T} L_i(\infty) \quad (3)$$

CTMC의 각 상태와 전이들에 보상(reward)을 할당한 것을 마코프 리워드 모델(MRM)이라고 정의한다. r_i 를 상태 i의 리워드율(reward rate)라고 하고 $Z(t) = r_{X(t)}$ 를 시간이 t인 마코프 리워드 모델의 순간적인 리워드율이라고 하면 다음과 같은 값들을 구할 수 있다. 식 (4)는 순간 리워드율의 기대값(The expected instantaneous reward rate)을 의미한다. 식 (5)는 시간 0~t 동안의 축적된 리워드(accumulated reward)를 의미한다. 식 (6)은 정상상태 리워드율의 기대값(The expected reward rate in steady-state)을 의미하며, 식 (7)은 축적 리워드의 기대값(The expected accumulated reward)을 의미한다. 식 (8)은 흡수 상태가 되기 직전의 축적 리워드 기대값(The expected accumulated reward until absorption)을 나타낸다.

$$E[Z(t)] = \sum_{i \in S} r_i P_i(t) \quad (4)$$

$$Y(t) = \int_0^t Z(u)du = \sum_{i \in S} r_i P_i(t) \quad (5)$$

$$E[Z] = \sum_{i \in S} r_i \pi_i \quad (6)$$

$$E[Y(t)] = \sum_{i \in S} r_i L_i(t), \quad (7)$$

$$E[Y(\infty)] = \sum_{i \in S} r_i L_i(\infty) \quad (8)$$

3. 계층형 큐잉 패트리넷을 이용한 신뢰성 분석 방법론

본 장에서는 마코프 리워드 모델을 통해 신뢰성을 측정하는데 필요한 파라미터 값들을 정의하고, 기존에 제시된 계층형 큐잉 패트리넷에서 마코프 리워드 모델로의 변환 기법과 마코프 모델을 통한 시스템의 신뢰성 측정 방법론을 이용하여 시스템 설계 초기에 계층형 큐잉 패트리넷 모델링을 통한 시스템의 신뢰성과 고장간 평균 시간 측정에 대한 방법론에 관해서 제안한다.

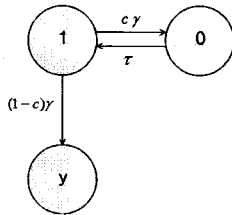


그림 1 신뢰성을 위한 마코프 리워드 모델

표 1 실패의 분류

예측 가능한 실패	일시적 (Transient)	특정 입력에서만 발생
	영구적 (Permanent)	모든 입력에서 일어남
	복구 가능 (Recoverable)	오퍼레이터의 조정 없이 시스템 복구 가능
	비훼손 (Non-corrupting)	실패가 시스템의 상태나 데이터에 영향을 미치지 않음
예측 불가능한 실패	복구 불가 (Unrecoverable)	시스템 복구를 위해 오퍼레이터의 조정이 필요
	훼손 (Corrupting)	실패로 인해 시스템의 상태나 데이터가 손상됨

3.1 신뢰성을 위한 마코프 리워드 모델 파라미터 정보

신뢰성 관점에서 마코프 리워드 모델의 각 상태들은 사용가능한 프로세서가 있어서 서비스를 제공할 수 있는 업 상태(up states)와 다운 상태(down states)로 구분이 가능하다. 마코프 리워드 모델을 이용해 신뢰성을 측정하기 위해서는 항상 업 상태가 유지되어야 하기 때문에 업 상태의 리워드 값은 1이 되고 다운 상태의 리워드 값은 0이 된다. 실패에 대한 구분은 표 1과 같다.

그림 1에서 표현된 시스템은 싱글 프로세서의 동작을 하고 있고 예측 가능한 실패(covered failure)에 관대한 (tolerate) 시스템을 표현한 것이다. 여기서 c는 예측 가능한 실패가 일어날 확률이고, (1-c)는 예측 불가능한 실패(covered failure)가 일어날 확률이다. 그리고 γ 는 실패가 발생할 확률을 뜻하며, τ 는 시스템이 복구되는 확률을 뜻한다. 그림 1은 세 개의 상태가 존재하는데 1과 0은 사용가능한 프로세서의 수를 의미하고 y는 예측 불가능한 실패가 일어난 상태이다. 여기서 사용가능한 프로세서가 존재하는 상태는 1이기 때문에 up states = {1}, down states = {0, y}가 된다.

3.2 계층형 큐잉 패트리넷에서 마코프 리워드 모델로의 변환 기법

시스템을 계층형 큐잉 패트리넷으로 모델링하기 위해서는 정확하게 정의된 요구사항을 바탕으로 하드웨어와 소프트웨어의 구성요소들과 소프트웨어에 의해서 제공되는 서비스들에 대한 정의가 필요하다. 정의된 구성요

표 2 계층형 큐잉 패트리넷에서 마코프 리워드 모델로 변환

단계	설명
1	하드웨어와 소프트웨어의 구성요소 정의
2	정의된 구성요소를 활동적 공간과 수동적 공간으로 나눔
3	각각의 구성요소를 계층형 큐잉 패트리넷의 공간으로 표현
4	공간이 가질 수 있는 토큰의 개수 제한
5	소프트웨어가 제공하는 서비스를 토큰으로 표현

소들은 계층형 큐잉 패트리넷에서 각각 공간으로 표현된다. 대부분의 구성요소들은 패트리넷의 일반적인 공간으로 표현되고 이들을 수동적인 공간(passive place)이라고 한다. 그 외 하드웨어의 구성요소 중 CPU나 디스크같이 프로세서의 처리부분을 맡은 구성요소들은 활동적 공간(active place)이라고 하며 패트리넷에서 큐잉 공간으로 표현된다. 이렇게 표현된 공간은 시스템의 사양에 따라 공간이 가질 수 있는 토큰의 개수를 제한하는 과정이 필요하고 이렇게 정의된 공간들을 통해 시스템의 구성을 모델링 하게 되면 이 시스템이 제공하는 서비스들의 동작을 표현하는 과정이 필요하다. 앞에서 정의된 소프트웨어의 서비스들을 각각 패트리넷 공간내의 토큰으로 표현하고 각 서비스들을 구분하기 위해 토큰을 서로 다른 color로 설정한다. 표 2는 위의 과정을 정리한 것이다. 이러한 과정들을 통해 얻어진 계층형 큐잉 패트리넷 모델들은 신뢰성 측정을 위한 모델로는 적합하지 않기 때문에 시스템을 수학적으로 분석하기 용이한 마코프 리워드 모델로 바꾸기 위해 먼저 마코프 모델로 바꾸는 과정이 필요하다.

계층형 큐잉 패트리넷을 마코프 모델로 바꾸기 위해서 초기 계층형 큐잉 패트리넷의 무한소 생성 매트릭스 Q_0 에 대한 정의가 필요하다. Q_0 는 초기 패트리넷 모델의 각 공간에서 전이가 일어나는 것은 다른 공간으로 전이되거나 다른 공간에서 전이되어 오는 두가지 경우로 나눌 수 있다. 공간의 수가 n개라고 할 때, 이 두가지 경우를 이용하여 크기가 $n \times n$ 의 무한소 생성 매트릭스 Q_0 를 생성하고 각각의 행, 열은 각 공간을 의미하고 각 행과 열이 전이되기 전의 공간과 후의 공간을 의미한다. 행열의 값이 모두 자기 자신일 경우에는 공간에서 다른 공간으로 전이되는 확률들의 경우 그 값들을 다 더해서 음수로 바꾼 값이 Q_0 의 값이 되며 다른 경우는 다른 공간에서 자신의 공간으로 들어오는 값들이 Q_0 를 이룬다. 초기값 Q_0 를 이용해 Q_i 를 구해낼 수 있다[6]. 이 값을 마코프 모델로 변환하는데 사용한다.

계층형 큐잉 패트리넷을 마코프 모델로 바꾸는 가장 기본적인 개념은 패트리넷의 공간이 가지고 있는 토큰의 수를 의미하는 마킹 m을 이용하는 것이다. 마코프 모델의 상태들의 집합을 S라고 하면 $S = m$ 과 같고

Q_j^m 을 공간 n 에서 토큰의 상태를 마킹 m 과 같이 되는 확률이라고 하면 패트리넷 모델의 트랜지션에 따라서 모든 경우의 공간과 마킹을 정의할 수있다. 이것을 마코프 모델의 상태로 만들면 HQPN에서 마코프 모델로 변환이 가능하다.

위의 과정을 통해 얻어진 마코프 모델을 신뢰성을 위한 마코프 리워드 모델로 만들기 위해서 각 상태들에 리워드 값을 할당하는 과정이 필요하다. 시스템의 신뢰성 측정은 시스템의 구동 중 예상하지 못한 이벤트가 일어났는지, 그렇지 않은지를 통해 측정 가능하다. 이를 마코프 모델에 적용시키면 흡수 상태(absorbing state)들이 시스템이 예상하지 못한 상태에 있다는 것을 표현한 것이고 나머지 상태들은 정상적인 상태로 볼 수 있다. 위의 이론을 바탕으로 신뢰성 측정을 위해 정상적인 상태에 리워드 값을 1로 할당하고 흡수 상태의 리워드 값을 0으로 할당하면 신뢰성을 위한 마코프 리워드 모델이 완성된다.

앞에서 정의된 마코프 리워드 모델을 통한 신뢰성의 측정은 시간 t 에서의 순간 리워드율의 기댓값(The expected instantaneous reward rate)에 대한 식(2.2절의 식 (4) 참조)을 이용한다. S 를 전체 상태(state)들이라고 하고, U 를 업 상태(up state)들이라고 할 때 신뢰성의 측정에는 리워드 값으로 1이 주어진 업 상태들만이 필요하기 때문에 식 (9)를 통해 신뢰성이 측정 가능하다.

$$R(t) = E[Z(t)] = \sum_{i \in S} r_i P_i(t) = \sum_{i \in U} P_i(t) \quad (9)$$

여기서 $P_i(t)$ 는 시간 t 에서 상태 i 일 확률을 말하는 것이므로 만약 전체 상태가 신뢰성을 만족한다고 하면 $\sum P_i(t)$ 값은 1이 된다. 즉, 어떤 시스템의 신뢰성을 분석했을 때 그 값이 1에 가까울수록 신뢰성을 만족하는 시스템이라고 볼 수 있다.

마코프 리워드 모델에서의 흡수 상태(absorbing state)들은 시스템의 실패(failure)가 일어난 상태로 볼 수 있기 때문에 흡수 상태까지의 평균 시간(Mean time to absorption)은 고장 간 평균 시간(Mean Time To Failure)와 같다고 볼 수 있기 때문에 2.2절의 식 (3)을 이용해 신뢰성 기반의 마코프 리워드 모델의 고장 간 평균 시간을 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$MTTF = MTTA = E[Y(\infty)] = \sum_{i \in U_j} L_i(\infty) \quad (10)$$

4. 적용 사례 : 화상회의 시스템 개발

제안 방법론의 유효성 평가를 위해 본 절에서는 화상회의 시스템에 적용하였다. 본 장의 화상회의 시스템은 화상채팅과 일반 문자 채팅이 가능하며, 채팅도중 데이

표 3 세부 시스템 구성 요소

구성요소	사양
Load Balancer	Commercial HTTP Load Balancer, 1xAMD Athlon 64 X2 4800, 1GB RAM, SuSE Linux8
Server	WebLogic 8.1 Server, 1xAMD Athlon 64 X2 4800, 1GB RAM, SuSE Linux8
Local Area Network	1Gbit Switched Ethernet

터 송수신이 가능하다. 최대 1000명의 사용자가 동시에 사용 가능하고 각 서비스별로 화상 채팅 600명, 문자 채팅 400명, 데이터 송수신은 850명이 동시에 사용 가능한 시스템이다. CPU는 1000명 접속 시의 동작까지 원활하게 동작하고 쓰레드풀은 동시 10명의 접속자를 허용한다. 시스템의 목표 신뢰성은 90%이며 세부 구성 요소는 표 3과 같다[5].

화상회의 시스템은 그림 2과 같은 과정을 거쳐 동작한다. 클라이언트들이 인터넷을 통해 접속하면 로드 밸런서에서 각 서버로 일을 할당해주고 요청받은 일에 대한 결과를 다시 클라이언트들에게 보내주는 역할을 한다. 그림 3은 그림 3을 바탕으로 3.2절에서 제안된 계층형 큐잉 패트리넷을 이용한 시스템 모델링 기법을 통해 구현된 화상회의 시스템의 모델이다. 그림 3의 (a)의 공간 {LB, S1, S2, S3}은 로드 밸런서와 서버들이 표현된 공간으로 하위계층을 포함하고 있다. 하위계층은 그림 3의 (b)와 같이 큐잉 패트리넷으로 이루어져 있다.

계층형 큐잉 패트리넷의 토큰은 화상회의 시스템이 제공하는 서비스를 바탕으로 세 가지로 나누어져 있으며 C는 문자채팅, V는 화상채팅, D는 데이터 전송을 의미하는 토큰이다. 그리고 전이 부분에서 {t1, t3, t5}, {t2, t4, t6}, {t7, t8}, {t9, t10}에서의 각각의 발화율(firing rate)은 표 4와 같다.

계층형 큐잉 패트리넷을 신뢰성 분석을 위해 마코프 모델로 바꾸는 과정은 3.2에서 제안된 기법을 사용하여 가능하지만 변환된 마코프 모델에 의해 표현된 상태가 매우 많기 때문에 본 논문에서 생략한다. 마코프 리워드 모델로의 변환은 더 이상 상태변이가 발생되지 않는 흡수 상태(absorbing state)에 리워드율(reward rate)을 0으로 할당하고 나머지 상태의 리워드율을 1로 할당하는 작업을 통해 가능하다.

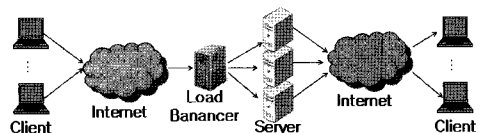


그림 2 화상회의 시스템의 동작 과정

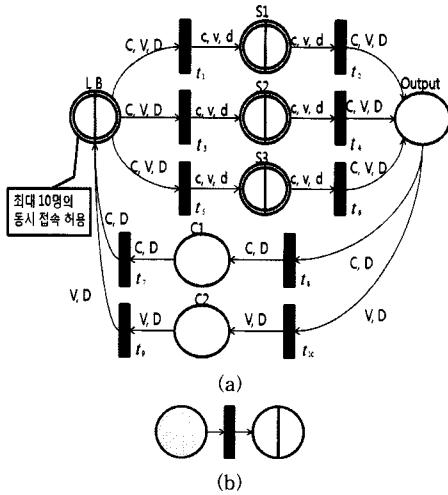


그림 3 HQPN을 통한 화상회의의 시스템 모델링

표 4 Firing rate

{t1, t3, t5}	{t2, t4, t6}
IN(C)→OUT(c) : 0.34	IN(c)→OUT(C) : 0.32
IN(V)→OUT(v) : 0.51	IN(v)→OUT(V) : 0.55
IN(D)→OUT(d) : 0.15	IN(d)→OUT(D) : 0.13
{t7, t8}	{t9, t10}
IN(C)→OUT(C) : 0.82	IN(V)→OUT(C) : 0.87
IN(D)→OUT(D) : 0.18	IN(D)→OUT(D) : 0.13

신뢰성 측정을 위한 화상회의의 시스템의 계층형 큐잉 패트리넷을 모델링을 하기 위해 인위적으로 화상채팅 서비스를 이용하는 사용자의 수를 계속 증가하여 고장이 일어나도록 설정하여 신뢰성과 MTTF를 측정하도록 하였다. 이 과정을 10회 정도 반복 측정하여 신뢰성 측정 결과로 마코프 리워드 모델에서의 흡수 상태(absorbing state)들이 전체 상태의 7%를 차지하였고 이를 제외한 나머지 93%의 상태들은 신뢰성을 만족하는 상태들이었다. 그 결과 이 시스템의 신뢰성은 93%로 요구사항이었던 90%의 신뢰성을 만족함을 알 수 있었고 시스템 실패되는 동작으로는 화상채팅 과정에서 화상전송이 제대로 이루어지지 않거나 화상채팅 또는 문자채팅 과정에서 데이터전송이 제대로 이루어지지 않는 경우, 동시에 다수의 접속이 이루어지는 경우가 있었다.

고장 간 평균시간(MTTF)은 기존의 레가시(Legacy) 시스템과 과거의 유사한 시스템을 참고하여 측정을 하였다. 측정 결과, MTTF는 113,271 사이클로 100,000 사이클에 가까운 값을 가지는 것을 확인할 수 있었고 다른 유사 시스템들과의 비교 결과, 이와 비슷한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 계층형 큐잉 패트리넷과 마코프 리워드 모델을 이용한 시스템의 신뢰성 분석에 대해서 제안했다. 이를 위해 계층형 큐잉 패트리넷에서 마코프 모델로 변환을 위한 방법론과 마코프 모델에서 신뢰성을 위한 마코프 리워드 모델로 변환하는 방법론을 제안하고 이를 이용한 신뢰성 측정이 가능함을 입증하였다. 또한 화상 회의의 시스템 개발에 적용하여 시스템 개발 초기 단계에서 신뢰성을 분석하였다.

신뢰성을 포함한 비기능적 요구사항들은 시스템의 통합 단계에서 측정이 가능하여 만약 이를 만족 못하면 다시 설계단계부터 수정이 필요했다. 신뢰성을 초기에 측정 가능하면 이후에 시스템 유지, 보수에 사용되는 시간을 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안된 방법론의 자동화를 지원하는 프로세스를 개발하여 신뢰성 측정에 더욱 도움이 될 수 있도록 현재 에디터를 구현 중이며 이에 대해 향후 연구에서 다룰 예정이다.

참고 문헌

- [1] Ian Sommerville, "Software Engineering 8th," Addison Wesley, 2006.
- [2] Katerina Goseva-Popstojanova, and Kishor S. Trivedi, "Stochastic Modeling Formalisms for Dependability, Performance and Performability," *Lecture Notes In Computer Science*, pp.403-422, 2000.
- [3] Samuel Kounev, and Christofer Dutz, "QPME 1.0-Queueing Petri net Modeling Environment User's guide; A software tool for performance modeling and analysis using Queueing Petri Nets," *QPME 1.0 User's Guide*, 2007.
- [4] Falko Bause, Peter Buchholz, and Peter Kemper, "Hierarchically Combined Queueing Petri Nets," *Lecture Notes in Control Information Sciences*, vol.199, pp.176-182, 1994.
- [5] Jeongmin Park, Joonhoon Lee, and Eunseok Lee, "Goal graph based Performance Improvement for Self-Adaptive Modules," *ACM SIGKDD International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication(ACM SIGKDD ICUIMC 2008)*, pp.68-72, 2008.
- [6] Katerina Goseva-Popstojanova, and Kishor S. Trivedi, "Stochastic Modeling Formalisms for Dependability, Performance and Performability," *Lecture Notes in Computer Science*, vol.1769, pp.403-422, 2000.
- [7] Samuel Kounev, "Performance Modeling and Evaluation of Distributed component-Based Systems Using Queueing Petri Nets," *IEEE Trans. on Software Engineering*, pp.486-502, 2006.