

구간 추정 기법을 이용한 이동통신 시스템의 통화 성공률 시험 방법

(A Testing Method for Evaluating the Call Success Rate of a Mobile Communication System using Interval Estimation)

황익순[†] 박재성^{**}
(Iksoon Hwang) (Jaesung Park)

요약 시스템의 성능 요구 사항은 일반적으로 해당 시스템이 제공하는 서비스의 품질과 높은 연관성을 가진다. 예를 들어 이동통신 시스템에서 통화 성공률은 서비스 품질과 직결되는 사항으로 매우 높은 중요도를 가지며 체계적인 성능 시험 방법이 요구되고 있다. 본 논문에서는 구간 추정 기법을 이용하여 이동통신 시스템의 통화 성공률을 시험하는 방안을 제안한다. 또한 제안된 시험 방안을 기반으로 방송통신위원회에서 최근 시행한 3G 이동전화 서비스 품질 평가에서 사용된 판정 기준에 대해 고찰해 보고 문제점에 대해 살펴본다.

키워드 : 이동통신 시스템, 성능 시험, 통화 성공률, 시험 데이터 분석, 구간 추정

Abstract Performance requirements of a system are usually closely related to the quality of service provided by the system. The call success rate of a mobile communication system is, for example, directly linked with the quality of call service. Therefore, meeting the performance requirements is one of the critical issues during the operation of services as well as in system development. In this paper, we present a testing method for evaluating the call success rate of a mobile communication system by using interval estimation. Also we analyze the criterion used in the evaluation of the quality of 3G mobile communication services which was recently performed by Korea Communications Commission and then discuss the problems.

Key words : Mobile communication system, Performance testing, Call success rate, Test data analysis, Interval estimation

1. 서론

이동통신 시스템과 같은 대용량 시스템은 다양한 기능의 제공뿐만 아니라 높은 안정성과 성능 등의 다양한 요구 조건을 만족하여야 한다. 성능 요구 사항에는 처리

율(throughput), 응답 시간(stimulus-response time), 리소스 사용 정도, 큐 길이 등 다양한 기준이 존재하며 [1], 이러한 다양한 요구 사항들은 일반적으로 해당 시스템이 제공하는 서비스의 품질과 연관되는 경우가 많다. 이동통신 시스템에서 통화 성공률은 서비스 품질과 직결되는 성능 요구 사항의 대표적인 예라 할 수 있다. 따라서 개발된 시스템이 성능 요구 사항을 만족하는지에 대한 여부를 판단하는 것은 양질의 서비스를 제공해야 하는 개발사와 서비스 제공업체뿐만 아니라 사용자에게 서비스 제공업체 선택 기준 제공을 위해서도 매우 중요하다 할 수 있다.

이러한 중요성에도 불구하고 성능 시험과 관련된 연구는 미비한 실정이다. 일부 표준화 기구에서는 시스템이 만족해야 하는 성능 요구사항을 정의하고 있으나[2] 시험 방법에 대해서는 구체적인 방안이 제시되어 있지 않다. 따라서 대부분의 성능 시험은 개발사, 서비스 제

[†] 정 회 원 : TELECOM SudParis Software-Networks
Department Research Engineer
Iksoon.Hwang@it-sudparis.eu

^{**} 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보학과 교수
jaesungpark@suwon.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2010년 6월 16일
심사완료 : 2010년 8월 11일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 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.

공업체, 또는 제3의 시험 주체의 자의적인 기준에 의해 진행되고 있는 것이 현실이다. 성능 시험 진행 이후 성능 요구 조건 만족 여부를 판단하기 위한 판정 기준은 비공개인 경우가 많으며, 일반적으로 시험 주체의 자체 판단 기준에 의해 진행되고 있다[3]. 통화 성공률의 경우 일반적으로 통화 시도 횟수 대비 통화 성공 횟수를 기준 확률 값과 단순 비교하는 best practices에 의해 판정이 내려지고 있다. 일례로 최근 방송통신위원회에서 시행한 3G 이동전화에 대한 서비스 품질 평가(이하 품질 평가라 함)의 경우 통화 시도 횟수 대비 통화 성공 횟수가 95% 이상인 경우는 양호 판정이, 95% 미만인 경우에는 미흡 판정이 주어졌다[4].

본 논문에서는 우리의 이전 연구인 [5]에서 제안된 구간 추정(interval estimation) 기법을 이용한 PFSM (Probabilistic Finite-State Machine) 시험 방안을 이용하여 이동통신 시스템의 통화 성공률을 시험하는 방안을 제안한다. 제안된 통화 성공률 시험 방안은 측정된 통화 성공 확률 값을 기준 확률 값과 단순 비교하는 기존의 방안과 달리 측정된 통화 성공 확률 값의 통계적 특성을 고려하며, 일정한 신뢰수준(confidence level)을 가지고 시험 대상에 대한 판정을 내린다. 높은 신뢰수준을 가질수록 높은 시험의 품질(quality)을 보장할 수 있다. 또한 본 논문에서는 제안된 시험 방안을 기반으로 방송통신위원회에서 실시한 품질 평가에서 사용된 기존의 판정 기준에 대해 고찰한 후 문제점을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 품질 평가에서 사용된 기존 판정 기준에 대해 살펴보고 3절에서는 구간 추정 기법을 이용한 이동통신 시스템의 통화 성공률 시험 방안을 제안한다. 4절에서는 기존의 판정 기준과 제안된 판정 기준에 대해 비교 분석하며, 끝으로 5절에서는 결론을 맺는다.

2. 품질 평가 판정 기준 및 평가 결과

최근 방송통신위원회에서는 3G 이동전화, 초고속 인터넷, 인터넷 전화, WiBro 등 다양한 분야에 대한 서비스 품질 평가를 실시하여 이에 대한 결과를 발표하였다. 3G 음성 통화의 경우 전국 2717개의 읍, 면, 동과 고속도로, 국도, 국립공원 등 149개의 테마 지역에 대해 통화 성공률에 대한 평가를 진행하였다. 품질 평가에서는 통화 성공률을 측정하기 위해 통화 연결로 이어지지 못한 호, 시스템 내에서 지나치게 지연된 호(28초 내에 통화 연결이 되지 않은 호), 지정된 시간(65초) 이내에 단절된 호, 음질이 불량한 호 등을 모두 통화 실패로 정의하였다. 전국 각 지역에 대해 해당 지역의 가입자 수 또는 면적 등의 기준을 이용하여 측정 횟수를 차등 적용하였으며, 이동 차량으로 품질을 측정하였다.

품질 평가에서는 측정 횟수가 30회 미만인 경우 통계적으로 유의미하지 않다고 판단하여 판정은 내리지 않고 측정 데이터만 공개하였으며, 측정 횟수가 30회 이상인 각 지역과 테마 지역에 대해 다음의 기준을 적용하여 양호 또는 미흡을 판정하였다.

$$\begin{cases} \text{양호} & \hat{p} \geq 95\% \\ \text{미흡} & \text{그 밖의 경우} \end{cases} \quad (1)$$

이 때 $\hat{p} = m/n$ 이고, m 은 통화 성공 횟수, n 은 측정 횟수이다. 표 1에 품질 판정 결과가 나와 있다. 시/군/구와 광역시/도의 경우 해당 지역에 속하는 읍/면/동의 측정 결과를 취합하여 판정이 내려졌다.

표 1 기존 판정 기준에 의한 품질 평가 결과

지역구분	사업자 A			사업자 B		
	양호	미흡	<30회	양호	미흡	<30회
읍/면/동	1051	121	1547	969	203	1545
시/군/구	202	16	30	184	34	30
광역시/도	16	0	0	14	2	0
국도	50	1	0	51	0	0
지하철/철도	30	2	0	32	0	0
국/도립공원	29	3	0	26	6	0

3. 통화 성공률 시험 방안

3.1 구간 추정 기법

음성 통화 서비스를 제공하는 전체 시스템(이동 교환기, 기지국 제어기, 기지국, HLR 등)을 고도로 추상화하여 하나의 입력(통화시도)에 대해 두 가지 출력(성공 또는 실패)을 내는 PFSM이라 가정하자. 해당 PFSM은 하나의 상태를 가지며, 통화시도 입력에 대해 p 의 확률로 성공 출력을, $(1-p)$ 의 확률로 실패 출력을 내는 두 개의 천이(transition)가 존재하게 된다. 이러한 모델링을 통해 이동통신 시스템의 통화 성공률이 성능 요구 조건을 만족하는지 여부를 판단하는 문제는 추상화된 PFSM에서 통화시도/성공이라는 천이의 확률 값 p 가 주어진 기준 이상인지를 판단하는 문제와 같게 된다.

시스템에 통화시도 입력을 n 번 반복하여 제공하였을 때 관찰되는 데이터를 표본(sample)이라 하면, n 은 표본크기가 된다. 주어진 표본을 기반으로 p 값을 일정 수준의 신뢰수준을 가지는 구간으로 예측할 수 있으며, 이렇게 예측된 구간을 신뢰 구간(confidence interval)이라 부른다[6]. [5]에서는 [7]에서 사용하기를 권장한 Agresti-Coull 구간을 이용하여 p 값을 예측하였다. p 에 대해 $(1-\alpha)$ 의 신뢰수준을 가지는 Agresti-Coull 구간은 다음과 같다.

$$\tilde{p} - \kappa \sqrt{\frac{\tilde{p}(1-\tilde{p})}{\tilde{n}}} < p < \tilde{p} + \kappa \sqrt{\frac{\tilde{p}(1-\tilde{p})}{\tilde{n}}} \quad (2)$$

이 때 $\bar{X} = X + \kappa^2/2$, $\tilde{n} = n + \kappa^2$, $\tilde{p} = \bar{X}/\tilde{n}$, $\tilde{q} = 1 - \tilde{p}$ 이고 X 는 확률 값 p 을 가지는 이벤트, 즉 성공 출력이 관찰된 횟수이며, κ 는 표준 정규 분포를 따르는 랜덤 변수 Z 에 대해서 $P\{|Z| < \kappa\} = 1 - \alpha$ 을 만족한다. 단, $\alpha = 0.05$ 일 경우 κ 는 1.96 대신 2를 사용한다. Agresti-Coull 구간은 p 가 0 또는 1에 매우 근접한 경우라도 매우 높은 커버리지 확률(coverage probability: 해당 신뢰 구간이 실제 확률 값을 포함하고 있을 확률)를 제공하는 장점이 있다.

3.2 구간 추정 기법을 이용한 판정 기준

[5]에서는 시험의 품질을 판단하기 위해 올바른 구현 제품이 시험을 통과할 확률(P_{EP})과 잘못된 구현제품이 시험을 통과하지 못할 확률(P_{NEF})을 고려하였다. P_{EP} 과 P_{NEF} 가 높을수록 높은 품질을 가지는 시험 결과를 얻을 수 있게 된다. 시험하고자 하는 구현 시스템이 p' 의 성공 확률 값을 가진다고 가정하자. 시스템 성능 요구 사항이 p 이상의 확률 값을 가지도록 되어 있다면, 다음과 같은 판정 기준이 성능 시험에 사용될 수 있다.

$$\begin{cases} \text{양호} & p \leq \tilde{p} + d \\ \text{미흡} & \text{그 밖의 경우} \end{cases} \quad (3)$$

이 때 d 는 (2)에서 구한 신뢰 구간 길이의 1/2이다. 이러한 판정 기준은 [5]에서 제시된 시험 기준과 매우 유사하다. [5]에서는 시험 대상의 확률값이 기준 확률값과 유사한지 여부를 판단해야 하므로 양측검정을 사용한 반면 본 논문에서는 시험 대상의 확률값이 기준 확률값 이상인지를 판단해야 하므로 단측검정을 사용한 차이점이 있다. 위와 같은 기준을 사용하면 $(1 - \alpha)$ 의 신뢰수준을 가지고 시험을 수행했을 때 $p' \geq p$ 인 올바른 구현 시스템에 대해 $(1 - \alpha/2)$ 이상의 P_{EP} 를 보장할 수 있고 $p' < p - 2d$ 인 잘못된 구현 시스템에 대해서 약 $(1 - \alpha/2)$ 정도의 P_{NEF} 를 보장할 수 있다. $p - 2d \leq p' < p$ 인 잘못된 구현 시스템에 대해서는 의미 있는 기준을 제공하기 어렵다.

다음에서는 P_{EP} 와 P_{NEF} 를 보장하기 위한 입력 반복 횟수 n 을 결정하는 방법에 대해 알아보자. P_{EP} 를 보장하기 위해서는 사용된 구간 추정 기법이 높은 커버리지 확률을 보장하여야 하며, 커버리지 확률이 높다면 n 값에 상관없이 P_{EP} 는 보장될 수 있다. $p' < p - 2d$ 인 구현 제품에 대해 P_{NEF} 를 $(1 - \alpha/2)$ 정도로 보장하려면 표본에서 얻어지는 신뢰 구간의 길이가 $2d$ 보다 작아져야 한다. 이를 위해서 n 은 주어진 p 에 대해 다음 조건을 만족해야 한다.

$$n > \left(\frac{\kappa}{d}\right)^2 p(1-p) - \kappa^2 \quad (4)$$

$p(1-p)$ 값은 $p = 0.5$ 일 때 최대값을 가진다. 성능 요

구 사항에서는 일반적으로 $p > 0.5$ 이고 $\tilde{p} < p - d$ 인 경우 미흡 판정을 받으므로 P_{NEF} 가 $(1 - \alpha/2)$ 이상이 되도록 하는 n 은 (4)에서 p 대신 (5)에 나와 있는 \tilde{p} 를 사용하여 얻을 수 있다.

$$\tilde{p} = p - d \quad (5)$$

4. 품질 평가 판정 기준 비교 분석

4.1 기존 판정 기준의 문제점 분석

본 절에서는 품질 평가에서 사용된 기존 판정 기준을 P_{EP} 와 P_{NEF} 를 고려해 분석해 본다. 본 분석에서는 편의상 95%의 신뢰수준을 고려한다. 시험 대상 서비스가 p' 의 통화 성공 확률을 제공한다고 가정하자. 측정 횟수 n 이 충분히 크다면 측정되는 확률 값 \hat{p} 은 평균값을 p' 으로 하는 정규분포에 가까워진다[6]. $p' = 0.95$ 인 경우를 고려해 보면 해당 시험에서는 약 50% 정도의 P_{EP} 를 가질 수 있으며, $p' > 0.95$ 인 경우에는 50% 이상의 P_{EP} 를 가질 수 있다. 다음으로는 P_{NEF} 를 고려해 보자. 3.2절에서 제안된 방안에서는 잘못된 구현 제품의 범위, 즉 d 가 정해지면 $p' < 0.95 - 2d$ 인 구현제품들에 대해 97.5% 정도의 P_{NEF} 를 만족할 수 있는 입력 반복 횟수 n 을 결정하였다. 하지만 품질 시험에서는 각 지역의 가입자 수 또는 면적 등의 기준을 이용하여 측정 횟수를 결정하고 시험을 수행했기 때문에 97.5% 정도의 P_{NEF} 를 만족하는 구현 서비스의 범위는 측정 횟수에 의해 결정되게 된다.

Agresti-Coull 구간에서 크기가 n 인 표본에 대해서 95% 정도는 $\tilde{p} - d \leq p' \leq \tilde{p} + d$ 을 만족한다. 즉, 측정을 반복하면 \tilde{p} 는 95% 정도로 $p' - d \leq \tilde{p} \leq p' + d$ 를 만족하게 되므로, $p' < 0.95 - d$ 인 구현 서비스는 97.5% 정도로 미흡 판정(즉, 97.5% 정도의 P_{NEF})을 받을 수 있다. 주어진 n 에 대해서 d 값은 식 (4)와 (5)를 이용하여 구할 수 있다. 품질 평가에서 사용된 측정 횟수는 1회에서 15,620회까지 매우 다양하다. 표 2에는 품질 평가에서 사용된 다양한 측정 횟수 n 에 대해 식 (4)와 (5)를 이용하여 구한 d 값과 $0.95 - d$, $0.95 - 2d$ 의 값이 각각 나와 있다.

표 2 다양한 측정 횟수에 대한 d 값

n	d	$0.95 - d$	$0.95 - 2d$
30	0.1325	0.8175	0.6850
60	0.0856	0.8644	0.7788
140	0.0500	0.9000	0.8500
350	0.0286	0.9214	0.8928
660	0.0198	0.9302	0.9105
1080	0.0150	0.9350	0.9201
2480	0.0095	0.9405	0.9310
7640	0.0052	0.9448	0.9395
15620	0.0036	0.9464	0.9428

4.2 실험 결과 및 분석

본 절에서는 다양한 측정 횟수에 대한 실험을 통해 품질 평가에서 사용된 기존 판정 기준과 제안된 판정 기준을 비교한다. 3.1절에서 설명한 것과 같이 전체 시스템을 하나의 상태와 통화시도 입력에 대해 p' 의 확률로 성공 출력을, $(1 - p')$ 의 확률로 실패 출력을 내는 두 개의 천이를 가지는 PFSM으로 고려하였으며, 입력이 제공되면 PFSM에서 각 천이를 주어진 확률 값에 따라 실행하는 PFSM 시뮬레이터를 구현하였다. PFSM 시뮬레이터에 품질 평가에서 사용된 다양한 측정 횟수만큼 통화시도 입력을 제공하고 관찰되는 결과에 대해 (1)에서 제시된 기존 판정 기준과 (3)에서 제시된 제안된 판정 기준을 이용하여 각각 양호 또는 미흡 판정을 내리었다.

품질 평가에서 95%의 통화 성공률을 고려하였으므로 P_{EP} 의 경우 $p' = 0.95$ 으로 설정하였다. P_{NEF} 의 경우 판정 기준에 따라 97.5% 정도의 P_{NEF} 를 만족하는 구현 서비스의 범위가 다르므로 기존 판정 기준을 이용한 경우에는 $p' = 0.95 - d$, 제안된 판정 기준을 이용한 경우에는 $p' = 0.95 - 2d$ 로 설정하고 실험을 수행하였다. 30회에서 15,620회까지의 각 측정 횟수에 대해 1,000,000번 실험을 반복하여 P_{EP} 및 P_{NEF} 를 측정하였다. 기존 판정 기준을 이용한 경우의 실험 결과가 그림 1에 나와 있다.

P_{EP} 의 경우 측정 횟수가 작을 경우 0.5에서 0.7 사이의 값을 보이다가 측정 횟수가 증가함에 따라 0.5에 수렴함을 볼 수 있다. P_{EP} 가 50% 정도의 값을 가질 것으로 분석된 이유는 \hat{p} 가 정규분포에 가까울 것이라는 Central Limit Theorem(CLT)[6]을 기반으로 한다.

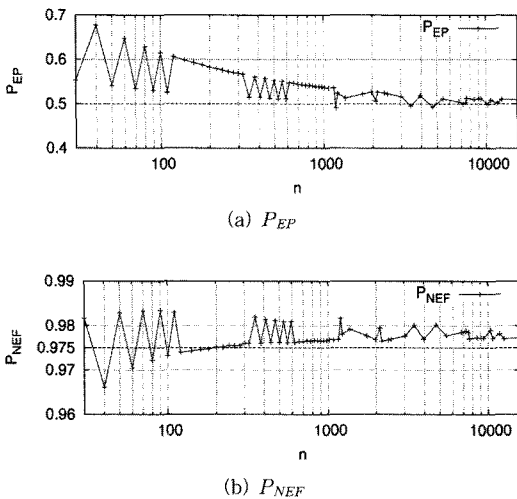


그림 1 기존 판정 기준에 의한 P_{EP} 와 P_{NEF}

하지만 표본의 크기가 충분히 크지 않을 경우에는 확률 값이 50%와는 큰 차이를 가지고 진동하는 모습을 보이며, 이는 Wald 구간의 전형적인 문제점 중 하나라 할 수 있다[7].

분석 결과와 실험 결과에서 보듯이 품질 평가에서 사용된 판정 기준은 P_{NEF} 의 경우 $p' < 0.95 - d$ 인 경우에 대해 측정 횟수가 작더라도 97.5%에 근접한 우수한 결과를 보여주고 있으나 P_{EP} 의 경우는 성능 요구사항을 만족하는 서비스라 하더라도 약 50% 정도 밖에 양호 판정을 받을 수밖에 없는 매우 열악한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이러한 문제의 근본적인 원인은 통계적 특성을 가지는 통화 성공 확률 측정 값을 기준 확률 값과 단순 비교하여 판정함으로써 인해 발생한다고 볼 수 있다.

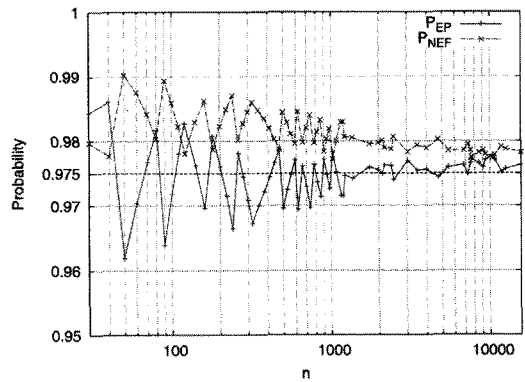


그림 2 제안된 판정 기준에 의한 P_{EP} 와 P_{NEF}

제안된 판정 기준을 이용한 경우의 실험 결과는 그림 2에 나와 있다. 제안된 품질 평가 판정 기준의 경우 P_{EP} 는 측정 횟수가 작을 경우 0.96에서 0.98 사이의 값을 보이다가 측정 횟수가 증가함에 따라 0.975에 수렴함을 볼 수 있다. 측정 횟수가 약 1,500회 이상이면 대부분의 경우 97.5%의 P_{EP} 를 보장할 수 있으며, 측정 횟수가 약 1,500회 미만이라 하더라도 언제나 96% 이상의 P_{EP} 를 보장하고 있다. P_{NEF} 의 경우는 언제나 97.5% 이상의 값을 보장하고 있으나 미흡 판정을 받을 수 있는 성능 요구사항을 만족하지 않는 서비스의 범위가 기존 판정 기준보다 작다는 점을 고려하면($p' < 0.95 - 2d$) 기존 품질 평가 판정 기준 보다는 상대적으로 떨어지는 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

표 3은 제안된 판정 기준을 바탕으로 한 품질 판정 결과를 보여주고 있다. 결과에서 보듯이 전반적으로 미흡 판정을 받은 읍/면/동의 숫자가 30%에서 50% 정도 감소된 것을 알 수 있다.

표 3 제안된 판정 기준에 의한 품질 평가 결과

지역구분	사업자 A			사업자 B		
	양호	미흡	< 30회	양호	미흡	< 30회
읍/면/동	1112	60	1547	1074	98	1545
시/군/구	207	11	30	195	23	30
광역시/도	16	0	0	14	2	0
국도	51	0	0	51	0	0
지하철/철도	32	0	0	32	0	0
국/도립공원	32	0	0	29	3	0

끝으로 품질 평가에서 사용된 통계적으로 유의미하지 않다고 판단된 측정 횟수인 30회에 대해 고찰해보자. 측정 횟수가 작으면 통화 성공 확률이 성능 기준을 만족하지 못하더라도 통화 실패가 관찰되지 않을 수도 있다. 이런 경우 구간 추정을 통해 시험을 하게 되면 구원 서비스는 언제나 양호 판정을 받게 된다. 본 논문에서는 이러한 경우가 발생할 확률을 기준 값 이하가 되도록 최소 측정 횟수를 설정하는 방안을 제안한다. 통화 성공 확률이 p 일 때 n 번의 측정에서 통화 실패가 한번도 관찰되지 않을 확률 값은 p^n 이다. $p' < p$ 인 경우 $(1 - \alpha)$ 의 신뢰수준을 가지고 판정을 내리려면 통화 실패가 한번도 관찰되지 않을 확률 값이 α 이하가 되어야 하므로 n 은 다음 조건을 만족해야 한다.

$$p^n < \alpha \tag{6}$$

95%의 신뢰수준으로 판정을 내리는 경우 $p = 0.95$ 이면 $n \geq 59$ 을 만족해야 한다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 [5]에서 제안된 구간 추정 기법을 이용한 PFSM 시험 방안을 이용하여 이동통신 시스템의 통화 성공률을 시험하는 방안을 제안하였다. 또한 방송통신위원회에서 시행한 3G 이동전화 품질 평가 시험에서 사용된 기존 판정 기준에 대해 고찰해 보고 문제점에 대해 분석하였다. 분석 결과 기존의 판정 기준의 경우 통계적 특성을 가지는 통화 성공 확률 측정 값을 기준 확률 값과 단순 비교하여 판정함으로써 성능 요구사항을 만족하는 서비스에 대해 약 50% 정도의 매우 열악한 양호 판정 확률을 보이는 것을 알 수 있었으며, 제안된 판정 기준의 경우 통화 성공 확률 측정 값의 통계적 특성을 고려한 구간 추정 기법을 이용함으로써 성능 요구사항을 만족하는 서비스에 대해 96% 이상의 높은 양호 판정 확률을 보임을 알 수 있었다.

제안된 시험 방안은 통화 성공률이나 처리율과 같이 요구 사항이 고정된 확률 값으로 주어지는 경우에는 적용이 가능하다. 향후 연구 방향으로는 지연 시간과 같은 보다 다양한 성능 요구 사항에 대한 시험 방법에 대한 연구가 진행되어야 한다.

참고 문헌

- [1] E.J. Weyuker, F. I. Vokolos, "Experience with Performance Testing of Software Systems: Issues, an Approach, and Case Study," *IEEE Trans. on Software Engineering*, vol.26, no.12, pp.1147-1156, Dec. 2000.
- [2] 3GPP TS 43.005: Technical performance objectives.
- [3] J.D. Meier, Carlos Farre, Prashant Bansode, Scott Barber, Dennis Rea, "Performance Testing Guidance for Web Applications," Microsoft Press, 2007.
- [4] Korea Communications Commission Consumer Protection Bureau, "Communication Service Quality Test Results 2009," available at URL <http://www.wiseuser.go.kr/quality/main.do>
- [5] Iksoon Hwang, Ana Cavalli, "Testing a probabilistic FSM using interval estimation," *Computer Networks*, vol.54, no.7, pp.1108-1125, May. 2010.
- [6] S.M. Ross, *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Johns Wiley & Sons, New York, 1987.
- [7] L. D. Brown, T. T. Cai, A. DasGupta, "Interval Estimation for a Binomial Proportion," *Statistical Science*, vol.16, no.2, pp.101-117, 2001.



황 익 순

1995년 2월 연세대학교 전자공학과(학사). 1997년 2월 연세대학교 전자공학과(석사). 2001년 2월 연세대학교 전기전자공학과(박사). 2001년 3월~2002년 2월 프랑스 INT PostDoc. 2002년 4월~2007년 4월 LG전자/LG-Nortel 책임연구원. 2007년 5월~현재 프랑스 TELECOM SudParis 연구원. 관심분야는 Validation and verification, Model-based testing, 통신 프로토콜 및 서비스

박 재 성

정보과학회논문지 : 정보통신
제 37 권 제 4 호 참조