

TDX-1A 전자교환기 소프트웨어 신뢰도 예측

변 준범, 이 현영, 김 현우

한국 전기통신공사 사업지원단

The Prediction of TDX-1A ESS Software Reliability

Joon Bum Byun, Hyun Young Lee, Hyun Woo Kim

K T A Research Center

요 약

본 논문에서는 국내 개발 전자교환기 TDX-1A의 지내력 프로그램 2.0 Version에 대한 신뢰도를 종합 시험 단계에서 수집한 소프트웨어 장애 데이터를 근거로 예측하였다. 신뢰도 증가모델인 Exponential NHPP(Non-Homogeneous Poisson Process) 모델과 그의 변형인 S형태의 NHPP모델을 대상으로 예측의 정확성을 비교 분석하여 TDX-1A에 사용 가능한 모델을 선정하고, 이 모델을 사용하여 시험 종료시점에서 시스템에 남아있는 장애수 및 신뢰도를 예측하였다.

1. 서 론

소프트웨어 신뢰도라 함은 소프트웨어가 일정한 기간동안 주어진 환경에서 주어진 요구 규격대로 정상적으로 동작할 확률을 말하며 [1], 소프트웨어의 정확성을 정량적으로 측정하기 위한 방법으로 사용된다.

전자교환기의 경우 소프트웨어 에러로 인한 시스템 장애가 전체의 1/3이상을 차지하고 있어 [2] 교환기의 신뢰도 향상을 위해서는 소프트웨어의 신뢰도 향상이 필수적이다. 교환기 소프트웨어는 통신망의 변화 및 신규기능 추가 등으로 인한 계속 변경으로 새로운 에러가 삽입되며 일반적으로 그 구조가 매우 복잡하고 대규모인 관계로 완벽한 에러의 검출 및 수정이 거의 불가능하다. 따라서 변경 소프트웨어의 경우 현장 운용전 시험 단계에서 에러의 검출 및 수정작업을 통하여 규격에 명시된 서비스 기준을 만족시키는 수준으로 장애율을 낮추는 것이 필요하며 이를 위하여 시험단계에서 수집한 장애 데이터를 근거로 소프트웨어 신뢰도를 측정하여 시험기간 및 확대적용시점 등을 결정하여야 한다.

본 논문에서는 TDX-1A 지내력 프로그램 2.0 Version의 종합 시험 단계에서 수집 분석한 장애 데이터를 신뢰도 증가모델인 Exponential NHPP모델과 S형태의 NHPP모델에 적용하여 모델의 미지의 파라미터를 구하고 각 모델의 예측치와 실제의 데이터와의 정확성을 비교 분석하여 S형태의 NHPP모델을 TDX-1A용으로 제시하였다. 또한 이 모델을 사용하여 시스템에 남아있는 장애수 및 신뢰도를 예측하고 종합 시험후의 일정기간동안의 현장 적용시험을 통하여 모델에 의한 예측치의 정확성을 확인하였다.

II. 모델화

시험단계에서의 장애 데이터를 근거로 신뢰도를 예측하는 모델은 장애간 시간모델, 장애수 카운트모델, 에러 삽입모델 및 입력 Domain Based 모델로 구분할 수 있으며 [3] 각 종류별로 여러가지 가정 및 특성을 고려한 많은 수의 모델들이 제안되어 모델화하려는 대상의 특성에 따라 선정 적용된다. 일반적으로 모델의 선정은 예측의 정확성, 활용능력, 가정의 타당성, 적용성 및 간결성을 고려하여 이루어진다. [4]

본고에서 사용하려는 TDX-1A 장애 데이터는 종합 시험 단계에서 수집한 것이며 이때 사용된 테스트케이스들은 주로 경계값 점검(Boundary Value Check)을 위한 것들로 이러한 경우에 적합한 것으로 입증된 [3] 장애수 카운트모델을 사용하여 모델화하였다.

1. 기본가정

본 모델화에서 사용한 기본가정은 신뢰도 증가모델에서 사용하고 있는 다음과 같은 가정을 그대로 적용하였다.

- o 시스템의 에러는 랜덤하게 장애를 유발한다.
- o 장애율은 시간이 지남에 따라 계속 감소한다.
- o 장애율은 시스템에 남아있는 에러수에 비례하며 신뢰도는 남은 에러수의 함수이다.
- o 발견된 에러는 즉시 수정되며 수정시 새로운 에러를 발생시키지 않는다.

2. NHPP 모델

시험단계에서의 소프트웨어 신뢰도 향상 과정으로 Nonhomogeneous한 에러검출율을 갖는다는 가정을 기본으로 하는 NHPP모델은 장애수 카운트모델의 대표적인 모델로 많은 적용으로부터 그 예측의 정확성이 입증되었고 [5, 6] 적용성과 간결성이 우수한 관계로 실시간처리용 소프트웨어의 신뢰도 예측에 가장 널리 사용되고 있다. 기본적인 NHPP모델은 Goel과 Okumoto가 제안한 Exponential NHPP 모델이며 이의 변형인 S형태의 NHPP모델이 함께 많이 사용되고 있다.

본고에서는 수집한 장애 데이터의 특성과 적용성 및 간결성을 고려하여 Exponential과 S형태의 NHPP모델을 선정하였다. 각 모델의 기본수식의 차이는 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> Exponential 및 S형태 NHPP모델의 기본수식

| 구 분      | exponential NHPP                  | S형태의 NHPP   |
|----------|-----------------------------------|---|
| 평균값 함수   | $a(1 - e^{-bt})$                  | $a[1 - (1+bt)c^{-bt}]$                              |
| 순간예러 검출율 | $abc^{-bt}$                       | $ab^2tc^{-bt}$                                      |
| 남아있는 예러수 | $ae^{-bt}$                        | $a(1+bt)c^{-bt}$                                    |
| 신뢰도 함수   | $\exp[a(e^{-bt(t+s)} - e^{-bs})]$ | $\exp\{-a[(1+bs)c^{-bt} - (1+b(t+s))c^{-b(t+s)}]\}$ |

3. 장애 데이터

모델화의 대상인 TDX-1A 지내력 프로그램 2.0 Version은 기존의 운용중인 프로그램에서의 문제점 보완 및 신규기능 추가 등으로 기존 프로그램 화일의 1/2이상에서 변경이 이루어졌다. 이의 시험은 유니트별 시험을 거친후 하나의 패키지로 종합되어 모델교환기에서 333개의 테스트케이스에 대한 종합 시험을 수행하였으며 종합 시험후 검증단계로 4개의 운용시스템을 선정 실제 운용상황에서의 장애 발생을 관찰하였다.

모델교환기에서의 종합 시험시 검출된 장애는 다음 시험 수행전 수정 완료하였으며 수정작업에서 새로운 예러의 삽입은 이루어지지 않은 것으로 관찰되었다. 검증단계에서의 수정은 현장에서의 메모리 수정작업으로 장애 검출 즉시 예러를 제거하였다. 시험 기간중 검출된 장애수는 <표 2>와 같다.

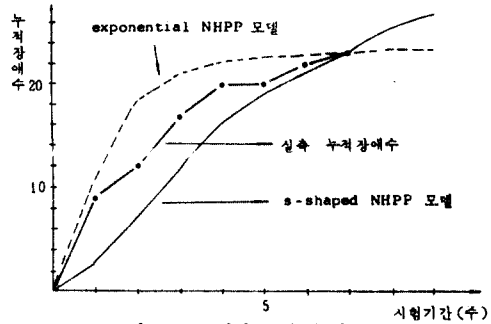
<표 2> 검출 장애수

| 기간(주) | 발생장애수 | 누적장애수 | 비 고  |
|-------|-------|-------|------|
| 1     | 9     | 9     | 종합시험 |
| 2     | 3     | 12    | 종합시험 |
| 3     | 5     | 17    | 종합시험 |
| 4     | 3     | 20    | 종합시험 |
| 5     | 0     | 20    | 종합시험 |
| 6     | 2     | 22    | 종합시험 |
| 7     | 1     | 23    | 종합시험 |
| 8     | 2     | 25    | 검증단계 |
| 9     | 1     | 26    | 검증단계 |

4. 파라미터 추정

NHPP모델을 이용하기 위해서는 실제의 장애 데이터로부터 미지의 파라미터 a와 b를 구하여야 한다. a와 b를 구하는 방법은 최소자승법(Least Square Estimation) 또는 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)이 주로 사용되나 MLE가 LSE보다 더 정확한 것으로 알려져 있어[7] 본 논문에서는 MLE를 사용하여 a와 b를 구하였다.

NHPP모델의 MLE 추정치  $\hat{a}$ 와  $\hat{b}$ 는 분석적인 방법으로 구하기는 힘들며 수치 해석적인 반복법을 이용하는 것이 일반적이다[4]. 따라서 컴퓨터 프로그램을 활용하여 Regular Falsi 반복법으로 b의 값을 구하였으며 이에 초기치  $b_1$ (하한값)와  $b_n$ (상한값)은 소프트웨어 신뢰도의 기본가정으로부터  $0 < b < 1$ 이므로 각각 -1과 1로 부여하였다.



<그림 1> 모델별 예상 누적장애수

Exponential NHPP모델에서의 Regular Falsi함 수는 다음과 같으며

$$a = y_n / (1 - e^{-bt_n})$$

$$0 = t_k + (y_k t_n e^{-bt_k}) / (1 - e^{-bt_n}) - y_k / b$$

<표 2>의 데이터를 적용하여 풀면  $\hat{a} = 23.083$ ,  $\hat{b} = 0.805$ 가 된다.

한편 S-Shaped NHPP모델에서의 Regular Falsi함 수는 다음과 같으며

$$a = [y_n / (1 - (1 + bt_n))] e^{-bt_n}$$

$$at_n^2 e^{-bt_n} = \frac{(y_k - y_{k-1})(t_k^2 e^{-bt_k} - t_{k-1}^2 e^{-bt_{k-1}})}{(1 + bt_{k-1}) e^{-bt_{k-1}} - (1 + bt_k) e^{-bt_k}}$$

MLE  $\hat{a}$  및  $\hat{b}$ 는 각각 26.32와 0.514가 된다.

이상에서 구한 MLE  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$ 를 적용한 각 모델의 M(t) 및 실제 누적 장애수 분포를 <그림 1>에 도시하였다.

5. 모델의 비교

두 모델의 예측의 정확성을 비교하기 위하여 시험 기간 및 검증단계에서 실측된 누적 장애수(Na)와 각 모델에 의하여 예측한 누적 장애수(Ne)의 상대오차 A와 예측 장애치와 실측 장애수간의 평균군 자승오차(Root Mean Square Error) RMS를 모델의 적합성 비교 기준으로 사용하였다.

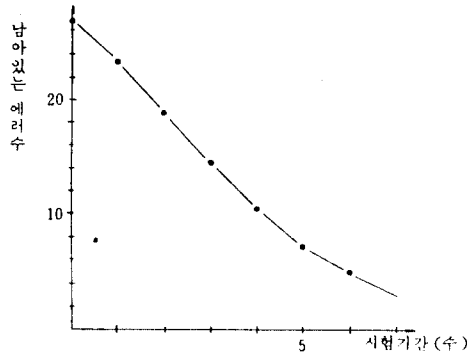
$$A = |(Na - Ne) / Na|$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (Ne_i - Na_i)^2}{n}}$$

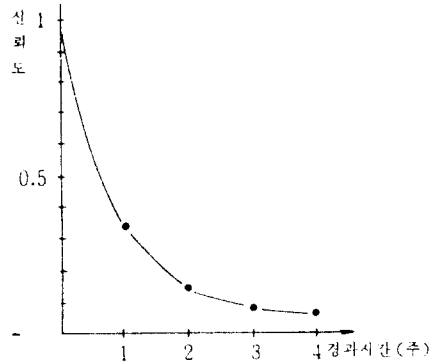
두 모델의 A와 RMS값은 <표 3>에 나타난 바와 같이 Exponential NHPP 모델이 S형태의 NHPP모델 보다 정확도가 떨어지므로 S형태의 NHPP모델이 TDX-1A 소프트웨어 장애 데이터 예측에 적합한 것으로 생각할 수 있다.

<표 3> 모델의 정확도 비교

| 모 델         | 비 교 기 준 |       | 최종 검출 예상장애수 |
|-------------|---------|-------|-------------|
|             | R M S   | A     |             |
| Exp. NHPP모델 | 18.17   | 11.2% | 23.08       |
| S형태 NHPP모델  | 14.66   | 1.2%  | 26.32       |



<그림 2> 시스템에 남아있는 에러수



<그림 3> 소프트웨어 신뢰도(s=7주)

### III. 신뢰도 성능측정

소프트웨어 테스트 기간동안 측정된 신뢰도 관련 성능은 테스트에 관련된 의사결정에 중요한 자료로 이용될 수 있다. 즉 새로운 장애가 발생할 시점 및 테스트의 종료시기 등을 예측하는데 활용될 것이다. 위에서 선정된 S형태의 NHPP 모델을 이용하여 시스템에 남아있는 에러수  $N(t)$ 와 가장 최근의 장애가 발생한 시점을  $s$ 라 할때 ( $s, s+t$ )기간동안 장애가 발생하지 않을 확률인 신뢰도  $R(t|s)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$N(t) = 26.32(1+0.514)*e^{(-0.514t)}$$

$$R(t|s) = \exp\{-26.32\{(1+0.514)*e^{(-0.514t)} - (1+0.514(t+s))*e^{(-0.514(t+s))}\}\}$$

<그림 2>에 나타낸바와 같이 종합테스팅 종료시점에서 시스템에 남아있는 예상에러수는 3.32개로 예측되었으며 실제 현장 운용시스템에서의 검증기간동안 3개의 에러가 추가로 검출되어 모델의 정확성이 입증되었다 할 수 있다.

### IV. 결 론

정량적인 TDx-1A 소프트웨어 정확도 측정을 위하여 신뢰도 모델을 도입하여 에러수와 신뢰도를 예측하였다. S형태의 NHPP모델이 TDx-1A 소프트웨어 시험단계에 적용이 적합한 것으로 판단되며 미지의 파라미터 추정에는 최우추정법과 Regular Falsi방법의 사용이 간단하고 정확한 것으로 나타났다.

시험기간동안 검출된 장애 데이터를 근거로 예측한 시스템에 남아있는 에러수와 시험 종료후 단기간동안 검출된 에러수가 거의 일치함을 나타내어 향후 종합 시험시 시험기간 결정에 활용가능함을 입증하였다.

모델에의 적용을 고려하지 않고 수행한 시험단계에서 수집된 장애 데이터를 활용한 관례로 시험 기간의 구분 등이 일부 부정확하였으므로 향후 데이터수집시 모델에의 적용을 고려하여 시험 시간, 정확한 장애수, 시험 요원의 기량 등을 자료화하는 작업이 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. M. L. Shooman, "Software Reliability: A Historical Perspective," IEEE tran. on Rel., vol. R-33, pp.48-55, 1984.
2. S. R. Ali, "Analysis of Total Outage Data for Stored Program Control Switching Systems," IEEE Journal on Selected Area Comm., vol. 4, pp.1044-1046, 1986.
3. A. L. Goel, "Software Reliability Models : Assumptions, Limitation, and Applicability," IEEE Tran. on S/E, vol. SE-11, pp.1411-1423, 1985.
4. A. Iannino, J. Musa, K. Okumoto and B. Littlewood, "Criteria for Software Reliability Model Comparision," IEEE Tran. on S/E vol. SE-10, pp.687-691, 1984.
5. A. L. Goel, K. Okumoto, "A Time Dependent Error Detection Rate Model for Software Reliability and other Performance Measures," IEEE Tran. on Rel. vol. R-28, pp.206-211, 1979.
6. S. Yamada, M. Ohba, and S. Osaki, "S-shaped Reliability Growth Modeling for Software Error Detection," IEEE Tran. on Rel., vol.R-32, pp.475-478, 1983.
7. 고 건희, "소프트웨어 품질/신뢰도 기초연구," 한국전자통신연구소, 1986