신뢰성응용연구
제16권, 제4호. pp.295-304, 2016

마르코프 프로세스를 활용한 시스템 가용도 분석 방법 고찰*

김보현 · 김성경 · Pagulayan Dhominick · 허장욱†

금오공과대학교 기계시스템공학과

A Study on System Availability Analysis Utilizing Markov Process*

Bohyeon Kim · Seongkyung Kim · Dhominick Pagulayan · Jangwook Hur†

Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea

Purpose: This paper presents an application of Markov Process to reliability and availability analysis. In order to do that of analysis, we set up a specific case of Tablet PC and it's usage scenario. The case has it some spares and maintenance and repair processes.
Methods: Different configurations of the tablet PC and as well as their functions are defined. The system configuration and calculated failure rates of components are modeled from Windchill Quality Solution. Two models, without a spare and with spare, are created and compared using Markov Process. The Matlab numerical analysis is used to simulate and show the change of state with time. Availability of the system is computed by determining the time the system stays in different states.
Results: The mission availability and steady-state condition availability in accordance with the mission are compared and the availability of the system with spares have improved availability than without spares. Simulated data shows that downtime of the system increased which results in greater availability through the consideration of spares.
Conclusion: There's many techniques and methods to do reliability and availability analysis and mostly are time-independent assumptions. But Markov Process, even though its steady-state and ergodic properties, can do time analysis any given time periods.

Keywords: Availability, Markov Process, Tablet PC, Spare, Failure Rate, Repair Rate

1. 서 론

사용자의 여러 가지 요구사항 중 가장 중요하게 고려되어야 할 요소로는 특정시점의 장비 가동상태를 표시하는 가용도를 들 수 있으며, 정량적인 가용도 분석을 위한 여러 기법들이 있으나, 일부 한계점을 가지고 있다. 예를 들어 RBD(Reliability Block Diagram)나 FTA(Fault Tree Analysis)와 같이 시스템 수준에서 가

* 본 논문은 방위사업청과 국과연의 지원(RAM 특화연구실)을 받아 수행된 연구 결과임.
† 교신저자 koc343434@gmail.com
2016년 8월 10일 접수; 2016년 10월 19일 수정본 접수; 2016년 10월 25일 게재 확정.

용도를 평가하는 방법도 있지만[1, 2], 분석 모델이 단순하고, 시간의 흐름을 고려한 특정시점이 아닌 정상상태의 가용도 분석만을 수행할 수 있어 실질적인 가용도 분석에는 한계가 있다.

위의 한계점을 개선할 수 있는 방법으로 시스템의 운용시간에 따른 가용도를 분석할 수 있는 여러 기법들이 적용되고 있으며, 보다 실제적인 시스템 가용도 분석이 가능한 균질 연속시간 마르코프 체인(Homogeneous Continuous Time Markov Chain)에 대한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있다. 마르코프 프로세스(Markov Process)라고도 불리는 이 기법은 실제 현상에서 발생하는 사건들을 각 상태로써 표현이 가능하고, 구성품의 고장에 따른 시스템의 상태를 정의할 수 있으며, 개별적인 각 상태가 시간에 따라 변화하는 과정을 관찰할 수 있다는 장점이 있다[3].

대표적으로 시간에 따른 시스템의 상태변화 추이를 분석하기 위해 무인항공기의 임무수행 간 발생되는 상태를 모델링하고, 가용도를 분석하여 실전배치 및 구성품 확보에 활용하는 연구가 수행된 바 있으며[4-6], 특정 구성품의 NHPP(Non Homogeneous Poisson Process)를 고려한 가용도 분석과 같이 한 구성품에 대한 고장률 변화에 따른 시스템 단위의 가용도 변화 추이를 분석하는 연구결과들도 발표되고 있다[7].

그러나 시스템의 가용도는 컴포넌트들의 spare 수량의 영향을 많이 받을 수밖에 없으며, 제한된 예산하에서 spare를 무한정으로 보유할 수 없기 때문에 가용도에 민감한 품목 위주로 spare 구입이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 태블릿 PC를 대상으로 마르코프 프로세스 모델을 활용하여 구성품의 고장·수리뿐만 아니라 시스템의 임무를 고려했으며, 특정 구성품의 spare를 고려한 가용도 비교를 위한 모델링을 수행하였다. 또한 수치해석을 통해 도출된 시스템의 상태 변화 추이와 각 상태에 머문 시간을 이용하여 시스템의 정상상태 가용도 및 임무수행 간 가용도를 비교·분석하였다.

2. 시스템 개요

2.1 태블릿 PC의 정의 및 구성

태블릿 PC는 태블릿(Tablet)과 PC가 합쳐진 합성어이다. 각 단어의 뜻을 합쳐보면 태블릿 PC는 명판, 평판과 같이 납작하고 평평한 모양의 개인용 컴퓨터를 의미한다. 태블릿 PC는 키보드 없이 전도성 물체인 손가락 또는 전자 펜을 이용하여 액정화면에 글씨를 써서 문자를 인식하게 하는 터치스크린 방식을 주 입력 방식으로 하고 있으며, 이를 활용하여 각종 응용 프로그램을 실행할 수 있는 모바일 인터넷 기기이다. 또한, 무선 랜이나 통신사의 데이터망을 통해 어느 곳에서나 인터넷 접속이 가능하여 현대사회에서 취미생활은 물론 각종 작업환경에서도 널리 쓰이고 있는 제품이다[8]. 본 논문에서 사례연구를 수행하고자 하는 태블릿 PC의 제품 구성도는 Fig. 1과 같으며, 다음과 같이 6가지 구성요소로 이루어져 있다.

1. Motherboard : PC의 실행환경 및 정보를 유지해주며, PC가 안정적으로 구동되게 해주고, PC의 모든 장치들의 데이터 입출력 교환을 원활하게 해주는 장치
2. Touch panel : 사용자가 스크린을 보면서 손가락으로 직접 위치를 지정하여 입력할 수 있는 대화형 그래픽 입력 장치
3. Memory board : 컴퓨터 시스템에 주기억 장치의 용량을 늘려 보다 효율적인 작업을 수행하게 해주는 장치
4. Hard disk assembly : 작업 수행 시 저장된 데이터를 읽어오고, 이를 저장하는 장치
5. Transmitter-receiver : 저장된 데이터를 지정된 PC나 기타 매체에 송수신하는 장치

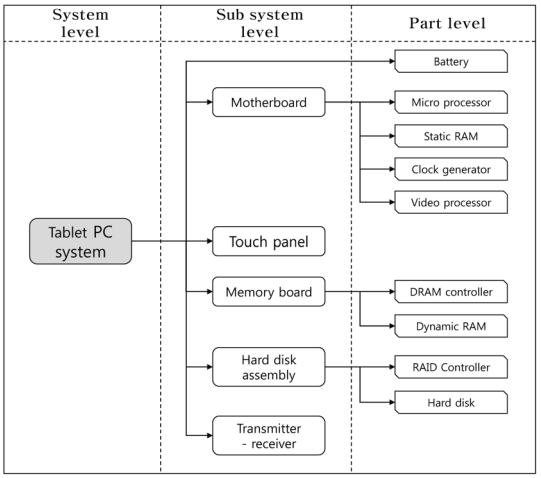


Fig. 1 Configuration of tablet PC

6. Battery : PC가 작동할 수 있도록 전원을 공급해 주는 장치

2.2 임무 및 데이터 저장 및 전송장치 구성

본 논문에서 임무수행 간 태블릿PC의 가용도를 분석하기 위해 공장 제조라인에서의 태블릿PC를 이용한 작업을 주 임무로 정의하였다. 주요 임무는 Fig. 2와 같이 사용자가 태블릿PC에 저장된 어플리케이션을 이용하여 기 구축된 제조라인의 작업을 수행한 다음, 결과물인 작업 데이터를 본사로 송신하는 간단한 임무이다.

이 임무는 세부적으로 제조 작업, 데이터 송신 작업으로 이루어져 있으며, 제조 작업은 기계를 이용하여 자동설비로 제조공정이 이루어지는 라인에서 생산품의 수량 및 불량을 기록하고, 생산성을 계산하는 업무를 태블릿 PC를 이용하여 수행한다. 또한 데이터 전송 작업은 제조 작업을 수행하면서 만들어지는 데이터들을 하드 디스크에 저장하고, 제조 작업이 완료될 경우 저장된 데이터들을 송수신기를 통해 전송한다.

일련의 작업들은 마더보드, 터치패널, 메모리 보드를 포함한 PC 구성품들을 이용하여야 하는 임무이나, 데이터 저장 및 전송을 수행하는데 핵심이 되는 구성품들은 하드디스크 및 송수신기이므로, 이들 구성품은 따로 취급하여 구성하였다.

이와 같이 공장 제조라인에서의 태블릿PC를 이용한 일련의 작업과 저장된 데이터를 전송하는 임무수행 상태를 모형화한 마르코프 프로세스 모형을 구성하였다.

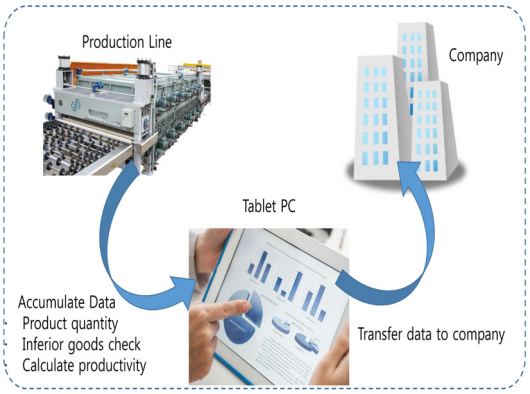


Fig. 2 Mission definition of tablet PC

3. 태블릿 PC 모델링 제안

3.1 마르코프 프로세스

일반적인 확률의 문제에서는 시간적인 개념을 고려하지 않고 있으나, 시간에 따라 나타나는 현상들이 확률적인 성격을 갖는 경우가 많이 있으며, 이와 같이 시간을 고려한 확률변수들의 집합을 확률과정(Stochastic process)이라고 한다[9]. 시간을 고려하지 않은 상태에서의 확률이론은 정적인 반면에 시간을 고려한 확률이론은 동적이라고 볼 수 있다. 이러한 성질을 이용하여 시스템의 시간을 고려한 신뢰성 분석으로 마르코프 프로세스 기법이 활용되고 있다.

상태공간이 X이고, 시점 t에서의 상태를 X(t)라고 할 때, t가 이산형인 경우를 이산시간 마르코프 연쇄(Discrete time Markov Chain), 그리고 t가 연속형인 경우를 연속시간 마르코프 연쇄(Continuous time Markov Chain)라고 하며, 연속시간 마르코프 연쇄는 마르코프 프로세스(Markov Process)라고도 한다.

마르코프 프로세스는 확률과정이 모든 $x(u)$, $0 \le u < s$에 대하여 식 (1)과 같은 조건을 만족해야만 한다.

$$P[X(t+s)=j|X(s)=i, X(u)=k, 0 \le u < s] = P[X(t+s)=j|X(s)=i] \quad (1)$$

그리고 위와 같은 성질을 마르코프 성질(Markov property)이라고 하며, 이는 '과거와 현재에 관한 정보가 주어질 때 미래에 관한 조건부 분포는 현재의 정보에만 의존하고 과거의 정보와는 무관하다'는 의미이다.

State 1을 운용상태, state 2를 고장상태로 가정하고, 서로 다른 state로 넘어갈 상태를 확률적 표현인 고장률과 수리율로 표시하면 <Fig. 3>과 같이 표현할 수 있다. 이를 통해 각각의 state로 넘어갈 전이 매트릭스 Q를 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 이산 마르코프 프로세스의 미분과 전이 매트릭스를 통해 연속시간 마르코프 프로세스의 확률값을 구할 수 있다[9].

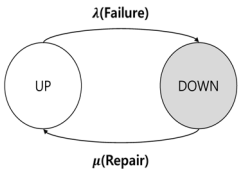


Fig. 3 Basic markov model

$$Q=\begin{bmatrix}-\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu\end{bmatrix} \tag{2}$$

전이매트릭스 Q를 표준화 해보면,

$$Q^2=\begin{bmatrix}-\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}-\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\lambda^2+\lambda\mu & -\lambda^2-\lambda\mu \\ -\mu^2-\lambda\mu & \mu^2+\lambda\mu\end{bmatrix} \tag{3}$$
$$=-(\lambda+\mu)\times\begin{bmatrix}-\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu\end{bmatrix}=-(\lambda+\mu)\times Q$$

따라서

$$Q^k=-(\lambda+\mu)\text{k-1}\times Q \tag{4}$$

각각의 state에 머물러 있을 확률을 p(t)에 대한 집합으로 나타내면 식 (5)와 같으며, 이 확률의 변화율은 식 (6)과 같다.

$$p(t)=[p1(t),\, p2(t),\, p3(t)\cdots] \tag{5}$$
$$\frac{dp(t)}{dt}=p(t)\,Q \tag{6}$$

식 (6)은 Taylor series에 의해 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$p(t)=e^{Qt}=I+\sum_{k=1}^{\infty}\frac{Q^k t^k}{k!} \tag{7}$$

식 (7)에 일반화된 전이 매트릭스Q를 대입하면 확률 p(t)를 구할 수 있다.

$$p(t)=\begin{bmatrix}1 & 0 \\ 0 & 1\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\frac{-\lambda}{\lambda+\mu} & \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \\ \frac{\mu}{\lambda+\mu} & \frac{-\mu}{\lambda+\mu}\end{bmatrix} \tag{8}$$
$$-\begin{bmatrix}\frac{-\lambda}{\lambda+\mu} & \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \\ \frac{\mu}{\lambda+\mu} & \frac{-\mu}{\lambda+\mu}\end{bmatrix}e^{-(\lambda+\mu)t}$$

3.2 임무수행 상태 모델링

태블릿 PC의 임무수행 상태를 표현하기 위해 제조공정부터 임무 완수까지의 임무수행 과정을 각각의 상태로 나타내고, 각 상태에서 발생할 수 있는 구성품 고장에 따른 전체 시스템의 상태변화와 이에 따른 임무수행의 성공 여부를 <Fig. 4>와 같이 마르코프 프로세스 모델로 표현하였다. 또한, spare에 따른 임무 가용도의 변화를 조사하기 위해 송수신기는 1개의 spare를 가지고 있다고 가정하였다.

태블릿 PC가 임무를 수행하기 위해서는 시스템이 임무가 끝날 때 까지 가용 상태에 있어야 하고, 만일 비가용 상태라면 고장난 구성품을 수리한 후 가용 상태로 만들고 임무를 수행해야 한다. 이러한 태블릿 PC의 가용 및 비가용 상태를 표현하기 위해 제안한 모델에서는 <Fig. 4>의 각 상태에 음영으로 가용 및 비가용으로 표시하였으며, 흰색으로 표현된 상태는 임무수행이 가능한 가용 상태이고, 회색으로 표현된 상태는 임무 수행이 불가능한 비가용 상태이다 따라서 시스템이 지속적으로 임무를 수행하기 위해서는 흰색 상태로 순환해야 한다.

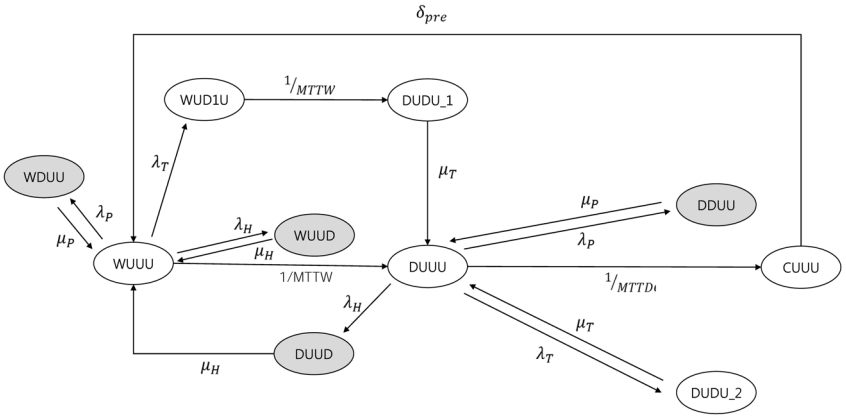


Fig. 4 Markov Process Model for Mission Availability(Non-spare)

모델을 구성하는 각 상태의 가용 및 비가용을 결정하는 임무와 구성품의 상태는4글자로 표현하였으며, 글자의 의미는 왼쪽부터 임무 상태, PC components의 상태, 송수신기의 상태, 하드디스크의 상태이다. 임무 상태는 Work(W), Data out(D), Complete(C)로 나타내었으며, 구성품의 상태는Up(U), Down(D)으로 표시하였다.

태블릿 PC가 임무를 수행하기 위해서는 시스템이 가용한 상태에서 작업을 수행해야 한다. 따라서 <Fig. 4>의 "WUUU" 상태는 제조 작업 임무를 수행하고 있으며, PC components, 송수신기, 하드디스크가 모두 가용 상태임을 나타낸다. 여기서 만약 송수신기가 고장이 발생할 경우 제조 작업은 문제없이 이루어지기 때문에 "WUDU"에서 가용 상태가 되며, 제조 작업이 끝나 Data out 임무를 수행할 경우에 "DUDU_1"로 전환되어 비가용 상태가 된다. 이 상태에서 송수신기의 수리작업이 수행되며, 수리가 완료될 경우 "DUUU" 상태가 된다. 태블릿 PC에 내장된 하드디스크는 고장이 발생할 경우 "WUUD" 상태로 전환되며, 시스템은 비가용 상태가 된다.

제조 작업이 성공적으로 끝나게 되면 저장된 데이터를 본사로 송신하는 임무를 수행하게 되는데 이를 표현하는 "DUUU" 상태는 Data out 임무를 수행하고 있으며, PC components, 송수신기, 하드디스크가 모두 가용 상태임을 나타낸다. 여기서 만약 송수신기 및 PC components가 고장이 발생할 경우 시스템은 비가용 상태에 도달한다. 데이터 전송 작업이 성공적으로 끝나게 되면 CUUU 상태로 전환되며, 일정 준비시간을 가진 다음 다시 작업을 수행하게 된다.

임무가 실패하는 예로는 "WUUU" 및 "DUUU"상태에서 하드디스크의 고장이 발생하여 "WUUD" 및 "DUUD"로 상태가 전환될 때이며, 이 상태에서는 작업을 수행한 데이터들이 초기화 된다. 그러므로 처음부터 작업을 수행해야 하며, 이전 작업을 수행한 시간만큼 작업시간의 손실이 따르므로 결과적으로 가용도 및 생산성이 저하된다.

<Fig. 5>는 송수신기의 spare를 1개 보유하고 있을 때의 임무수행 상태 모형을 도식화한 그림이며, spare는 고장발견 즉시 간단하게 교체할 수 있도록 모듈화 되어 있다고 가정하였다. 그림에서 <Fig. 4>와 다른 점은 "WUDU" 상태가"WUD1U"와 "WUD2U", "DUDU_1, 2" 상태가"DUD1U_1", "DUD2U_2" 및 "DUD2U_3" 상태로 수정 및 추가되었으며, 상태 및 전이 파라미터도 변화되었다. 예를 들어, 제조 임무 수행 중 송수신기가 고장이 발생하여 "WUD1U" 상태로 전이되었을 때 spare 교체가 이루어지며, 제조업무가 끝나도 전송임무로 바로 전이할 수 있게 되 었다. 또한, 전송임무를 성공적으로 수행하게 되면 "CUD1U_1" 상태로 전이되고, 재 임무 준비와 송수신기의 수리 후 다시 "WUUU"로 복귀하게 된다. 하지만 "WUD2U"에서 "DUD2U_3"의 상태 전이처럼 spare가 고장이 날 경우에는 시스템이 비 가용상태로 전환되며, 이때 "DUUU"로 전이할 때 송수신기 수리시간의 2배가 소요된다.

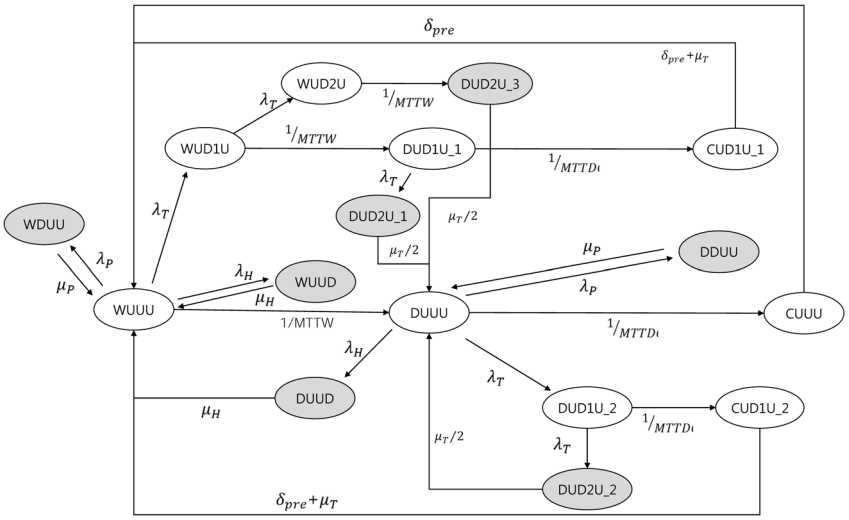


Fig. 5 Markov process model for mission availability(1 transmitter-receiver spare)

Table 1 State transition parameters for markov process model

Parameters	Description
MTTW	Mean Time To Work
MTTDO	Mean Time To Date out
1/Lambda_Transmitter-Receiver	Mean Time To Failure Transmitter-Receiver
1/Lambda_PC Components	Mean Time To Failure PC Components
1/Lambda_Hard disk	Mean Time To Failure Hard disk
1/Mu_Transmitter-Receiver	Mean Time To Repair Transmitter-Receiver
1/Mu_PC Components	Mean Time To Repair PC Components
1/Mu_Hard disk	Mean Time TO Repair Hard disk
1/Delta_Prepare	Mean Time To Prepare

각각의 전이 파라미터에 대한 설명을 <Table 1>에 나타내었으며, 모델의 각 상태는 임무수행 여부나 컴포넌트 고장에 따라 그림에서 화살표로 표시된 것과 같이 다른 상태로 전이하게 된다.

3.3 구성품 파라미터 산출

태블릿 PC의 임무수행 상태 모델에서는 자동설비 라인의 제어, 공정 및 데이터 전송 작업을 대표하는 구성요소인 하드디스크, 송수신기와 PC components의 고장에 따른 임무수행 상태를 표현하였다. 하드디스크와 송수신기를 따로 구성하고, PC components를 한 구성품으로 표시한 이유는 특정 임무수행에 따른 분류뿐만 아니라, 그들이 상호 영향을 미치기 때문이다. 예를 들어 motherboard의 고장이 발생할 경우, 태블릿 PC는 비가용 상태에 도달하며, 이는 다른 모든 구성품들도 비가용 상태라는 뜻이고, motherboard를 제외한 나머지 구성품들도 동일하다. 각각의 구성품이 직렬로 연결되어 있는 태블릿PC의 특성을 임무수행 상태 모델링에 반영할 수 있다면, 특정임무에 따른 구성품의 분류가 가능할 것이다.

하드디스크, 송수신기 및 PC components의 고장률을 산출하여 임무수행간 모델링의 입력 파라미터를 정립하고자 <Fig. 6>과 같이 Windchill Quality Solution

Name	Part Number	System Tree Identifier	Reference Designator	Description	Manufacturer	Failure Rate, Predicted	MTBF, Predicted
Motherboard	MB060415	A1	A1	Motherboard	iTronics	5.298192	188744
Microprocessor	MIC870A	A1U1	U1	Dual core mic...	AB Electronics	4.670594	214106
Static RAM	SRAM031	A1U3-U6	U3-U6	60 ns SRAM	Memory Unlimited	0.512888	2e+006
Clock Generator	CLKS04	A1U7	U7	DDS-based cl...	AB Electronics	0.056319	2e+007
Video Processor	VP899011	A1U8	U8	Digital video ...	AB Electronics	0.058390	2e+007

Name	Part Number	System Tree Identifier	Reference Designator	Description	Manufacturer	Failure Rate, Predicted	MTBF, Predicted
Memory Board	MEM061789	A3	A3	DRAM memo...	Tuf-Tablet International	1.355120	737942
DRAM Controller	DRAMC7001	A3U1	U1	DRAM contro...	Memory Unlimited	0.958604	1e+006
Dynamic RAM	DRAM512-31	A3U2-U3	U2-U3	31ns DRAM	Memory Unlimited	0.396516	3e+006

(a) Failure rate prediction of motherboard and memory board

Name	Part Number	System Tree Identifier	Reference Designator	Description	Manufacturer	Failure Rate, Predicted	MTBF, Predicted
Hard Disk Assembly	HD061455	A4	A4	Hard disk ass...	Tuf-Tablet International	7.729327	129377
RAID Controller	RAID-023C	A4U1	U1	SATA RAID ...	Megastorage Corporation	0.229327	4e+006
Hard Disk	HD70AS-500	A4HD1-HD2	HD1-HD2	500 GB Hard ...	Megastorage Corporation	7.500000	133333

(b) Failure rate prediction of hard disk assembly

Fig. 6 Failure rate prediction for input parameters

Table 2 Input parameters of availability model

Parameters	Value
MTTW	18 hours
MTTDO	2 hours
1/Lambda_transmitter-receiver	44,357 hours
1/Lambda_PC Components	64,741 hours
1/Lambda_Hard disk	129,377 hours
1/Mu_transmitter-receiver	8 hours
1/Mu_PC components	3 days
1/Mu_hard disk	8 hours
1/Delta_prepare	4 hours

의 예측 모듈을 이용하였다.

신뢰도 분석의 대상이 되는 구성품 단위의 수명은 지수분포를 가정하며, 품질수준은 Commercial을 적용하였다. 또한, 주변 온도는 30℃이고, 환경 조건은 Ground Benign으로 하였다. 구성품 및 부품에 대한 고장률은 MIL-HDBK-217F 및 NPRD를 따라 산출하였고[10-12], 구성품 단위로 고장률을 예측하였다. 구성품 각각의 기능에 영향을 미치는 part들은 모두 직렬로 연결되어 있기 때문에, part의 고장률을 더하여 구성품의 고장률을 산출하였다. <Fig. 6(a)>는 PC components의 고장률을 구하기 위해 motherboard와 memory board의 고장률을 산출한 결과이고, <Fig. 6(b)>는 하드디스크에 대한 산출값이다. 터치패널과 배터리는 단일 구성품이기 때문에, MIL-HDBK-217F 및 NPRD를 참고하여 고장률을 산출하였으며, 이들 고장률을 더한 값으로 PC components의 고장률을 계산하였다. 송수신기도 마찬가지로 단일 구성품이기 때문에, MIL-HDBK-217에 따라 고장률을 산출하였다.

마르코프 모형의 전이 인자로 사용될 입력 파라미터를 <Table 2>와 같이 나타내었다. MTTW와 MTTDO는 일반적인 공장의 설비 운용시간이며 Mu_Transmitter-receiver, Mu_PC components, Mu_Hard disk 값은 각각의 모듈 고장에 대한 수리시간을 대략적으로 표시하였다.

4. 수치해석 결과 및 고찰

실제 Tablet PC의 고장률은 <Table 2>에서 알 수 있는 바와 같이 매우 작기 때문에 동적인 시뮬레이션 결과를 산출하기 위해 구성품의 고장률을 100배 증가시켰으며, 고장률이 조정된 결과를 <Table 3>과 같이 나타내었다.

Table 3 Tailored parameters

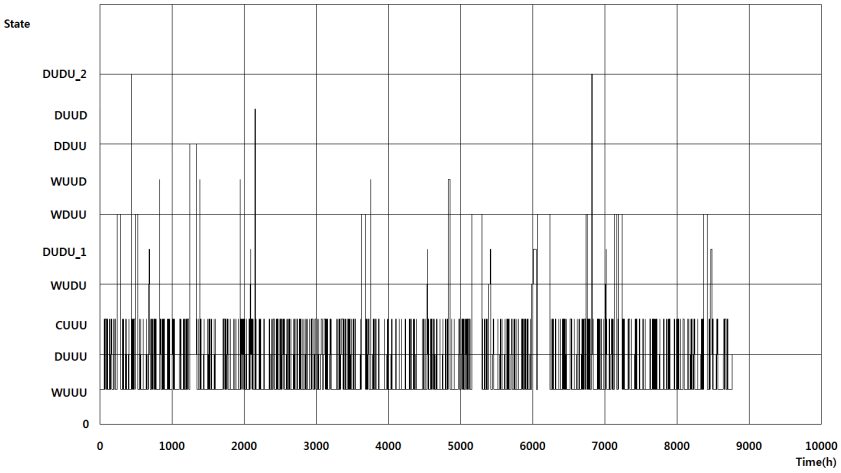
Parameters	Value
1/Lambda_transmitter-receiver	443.57 hours
1/Lambda_PC components	647.41 hours
1/Lambda_hard disk	1,293.77 hours

수치해석은 매트랩에 관련 수식을 적용하여 수행하였으며, spare를 고려하지 않은 태블릿 PC의 시간에 따른 상태변화를 <Fig. 7>과 같이 나타내었다. <Fig. 7(a)>는 시간의 흐름에 따라 마르코프 모형의 임무상태가 변하는 경향을 나타내고 있으며, <Fig. 7(b)>는 각 상태에 머문 시간을 표시하고 있다. 여기서 임무 수행 간 가장 많이 머문 상태는 “CUUU”, “DUUU”, “WUUU”임을 확인할 수 있으며, 이는 임무 가용도와 직결되는 중요한 상태로, 이 상태에 머무는 시간이 많을수록 시스템의 가용도가 높아지게 된다.

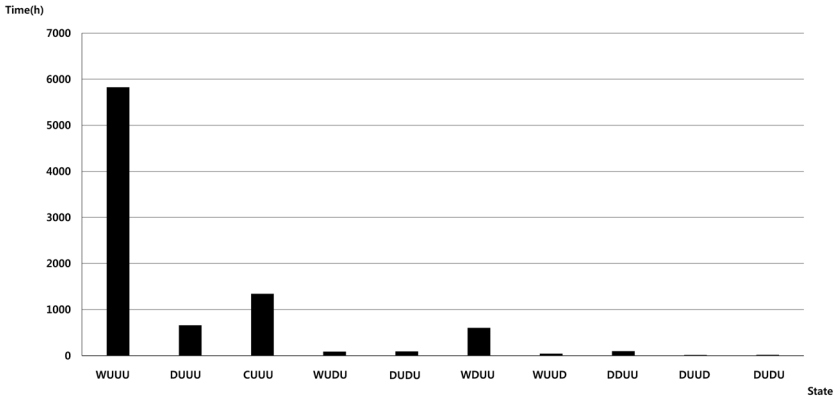
<Fig. 4>의 음영 처리되지 않은 상태들이 시스템의 가용 상태를 표현하고 있으므로 가용도 향상에 기여를 하게 되며, 비가용 상태에 도달한 시간이 길어질수록 시스템의 가용도는 낮아지게 된다. 예를 들어, “WDUU”나 “DDUU”의 상태에서는 PC Component의 수리시간이 긴 편에 속하므로 상태에 머무는 시간이 길어지며, 이에 따라 가용도에 영향을 미치게 된다. 또한, 각 상태에 머문 총 시간을 이용하여 시스템의 임무가용도 및 정상상태 가용도를 산출할 수 있다

송수신기 1개의 spare를 추가한 임무모형에 대해서도 동일한 해석을 수행하였고, 그 결과를 <Fig. 8>과 같이 나타내었으며, spare를 미 고려한 경우보다 상태전이 경향이 활발한 것을 확인할 수 있다. 또한, spare를 고려함으로 인한 임무수행 성공사례를 <Fig. 8(b)>와 같이 표시할 수 있는데, “DUD1U_1”에서 “CUD1U_1” 상태로 전이하여 임무를 성공적으로 완수할 수 있었던 이유는 송수신기의 spare 고장이 발생하지 않고 Data out 임무를 수행하였기 때문이다.

2가지 모형의 임무수행 가용도 및 정상상태 가용도를 비교한 표를 <Table 4>와 같이 나타내었다. spare를 미 고려한 경우보다 송수신기 spare를 1개 반영하였을 때, 가용도가 전체적으로 개선된 것을 확인할 수 있으며, 특히 Data out 임무의 가용도가 크게 향상되었음을 알 수 있다. 이는 spare 고려에 따른 임무수행 상태 모델링에 대한 긍정적인 결과로 볼 수 있으며, 향후 이러한 모델링을 보완하여 전·평시 무기체계

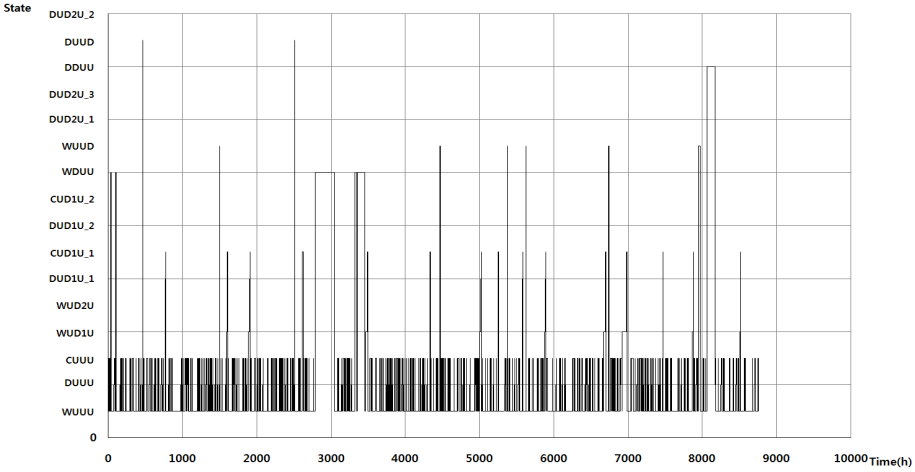


(a) State transition tendency

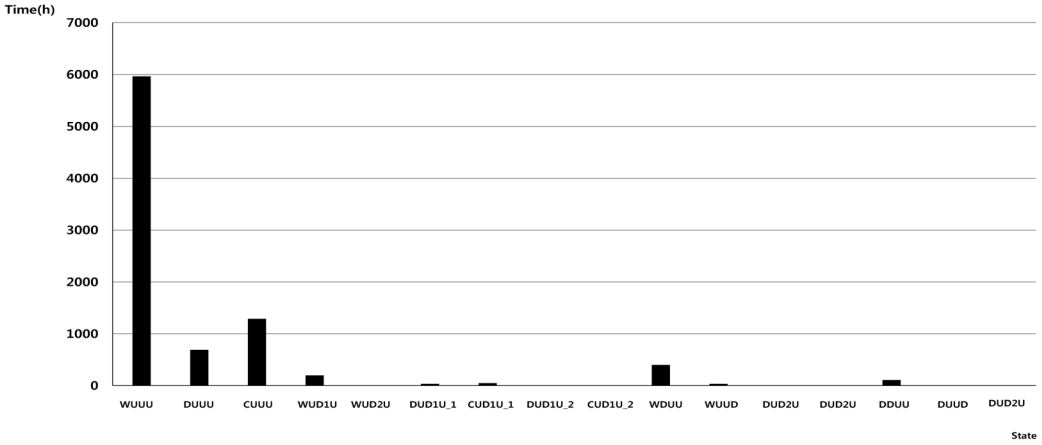


(b) Total stay time of each state

Fig. 7 Numerical analysis on non-spare case



(a) State transition tendency



(b) Total stay time of each state

Fig. 8 Numerical analysis on 1 transmitter-receiver spare case

Table 4 Availability of mission state and steady state

Parameters	Value(non-spare)	Value(1 transmitter-receiver spare)
Work availability	0.90227	0.93481
Data out availability	0.75314	0.86592
Steady state availability	0.90241	0.93818

에 대한 가용도 분석의 효과성을 향상시키기 위해 예산을 고려한 spare 도출 등이 필요하며, 이를 통해 무기체계의 군수 및 정비계단과 연계된 실질적인 전투준비태세 향상 방안 모색이 가능할 것이다.

5. 결언

기존의 가용도 분석 기법의 일부 한계를 개선하고자 마르코프 프로세스를 통한 임무수행 모델링을 수행하고, 수치해석 및 분석을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기존의 RAM 분석은 시스템의 정상상태 가용도만을 다루고 있어 임무 적용이나 복합적인 시스템의 상태 분석에 한계가 있다. 마르코프 프로세스는 이를 개선할 수 있는 기법이며, 시스템의 정상상태 가용도 분석은 물론 실제 현상에서 경험할 수 있는 상태를 모델링할 수 있고, 상태전이의 경향 분석에 유효하다.

둘째, 태블릿 PC를 대상으로 임무수행 상태 변화를 마르코프 프로세스를 이용하여 모델링하였으며, 수치해석을 통해 임무 및 정상상태 가용도 산출을 수행하였다. 또한 특정 부품의 spare를 고려하여 수리부속을 고려한 가용도 분석을 수행하였다.

셋째, 이러한 마르코프 프로세스를 이용한 모델링을 보완하여 전·평시 무기체계에 대한 가용도 분석의 효과성을 향상시키기 위해 예산을 고려한 spare 도출 등이 필요하며, 이를 통해 무기체계의 군수 및 정비계단과 연계된 실질적인 전투준비태세 향상 방안 모색이 가능할 것이다.

References

[1] http://reliawiki.org/index.php/RBDs_and_Analytical_System_Reliability.

[2] http://reliawiki.org/index.php/Fault_Tree_Diagrams_and_System_Analysis.

[3] Practical Guidebook of Reliability Analysis of Weapon System. (2012). “Reliability prediction standards and methods”. Republic of Korea Army.

[4] Lee, S. K. (2013). "Reliability and Availability Analysis for UAS by Using Hierarchical Fault Tree and Continuous Time Markov Chain". Department of Computer Engineering, Graduate School of Korea Aerospace University.

[5] Kim, D. M., Choi, Y. H., Seok, J. Y. and Yu, C. S. (2003). "An Investigation on the Reliability of the Flight Control System for an Unmanned Aerial Vehicle". The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, Vol. 11, pp. 1149-1152.

[6] Kim, S. S. and Park, C. B. (2005). "Design for Flight Control System Focused on Reliability". Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 11, pp. 33-40.

[7] Kim, J. H. and Lyou, J. (1999). "A computation method of reliability for preprocessing filters in the fire control system using Markov process and state transition probability matrix". The Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 131-139.

[8] Hoang, Y. J. and Shin, D. J. (2016). "A Study on Elementary School Teachers` Recognition for Using Tablet PC in Art Class". Journal of are education, Vol. 44, pp. 247-263.

[9] Oliver Ibe. (2013). "Markov Processes For Stochastic Modeling 2nd Edition". Elsevier.

[10] MIL-HDBK-217F. (1965). Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense.

[11] MIL-HDBK-217F Notice 2. (1995). Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense.

[12] NPRD. (2016). Reliability Databook Series(failure data for a wide variety of component types), QUANTERION.