

고장극복 기능이 있는 이중망의 신뢰도 분석에 대한 연구

Study on the Reliability Analysis for Fault-Tolerant Dual Ethernet

김 현 실*

Kim, Hyun-Sil

ABSTRACT

This paper describes the Petri Net(PN) model for reliability analysis of fault-tolerant dual Ethernet which is applied in Naval Combat System. The network for Naval Combat System performs failure detection and auto path recovery by handling redundant path in case of temporary link failure. After studying the behavior of this kind of network, the reliability analysis model is proposed using stochastic Petri Net and continuous-time Markov chains. Finally, the numerical result is analyzed according to changing the failure rate and the recover rate of link.

주요기술용어(주제어) : 듀얼 이더넷, 고장극복(Fault-Tolerance), 신뢰도, 페트리네트(Petri Net), GSPN, 전투체계

1. 머리말

현대의 정보처리 시스템들은 통신 네트워크를 기반으로 구축됨으로써 효율적인 서비스 제공이 가능하다고 해도 과언이 아니다. 특히 군사용 무기체계의 경우에도 시스템 차원의 요구 성능을 만족하기 위해서는 네트워크 기술의 적용은 필수적이다. 함정 전투체계는 이러한 네트워크 기술을 기반으로 구축되는 대표적인 무기체계의 하나이다.

함정 전투체계는 함정에 탑재된 다수·다종의 탐지 체계로부터 획득되는 표적정보 및 전술정보를 바탕으로 전술편집, 위협평가, 무장할당 등의 작업(task)들을 실시간으로 처리하고 그 결과를 이용하여 실시간으로 무장체계를 통제하는 실시간 정보처리 시스템이

다. 따라서, 전투체계를 구성하는 다수의 정보처리 장치들 사이에서 신속하고 정확하게 정보를 교환토록 하는 네트워크의 가용성은 전투체계 전체의 가용성을 좌우하는 핵심 요소라 할 수 있다.

이러한 전투체계 네트워크의 가용성을 높이기 위한 방법으로 네트워크를 이중화하여 시스템을 구축하고 있으며, 여기에 네트워크 링크의 일시적인 고장을 대비하여 하드웨어적 또는 소프트웨어적으로 고장극복 기법을 적용하기도 한다^[1,2]. 이러한 설계 개념은 전투체계 네트워크의 신뢰성을 높이는데 크게 기여하는 것이 사실이지만, 네트워크를 통한 정보 전송 성능에 대한 분석은 수행되어 왔으나, 신뢰도에 대한 정량적인 분석에 대한 연구는 구체적인 사례가 없는 실정이다. 따라서, 함정 전투체계 네트워크에 적용되고 있는 Fault-Tolerant Dual Ethernet의 신뢰도 분석 모델링 기법 및 전투체계 네트워크의 신뢰성을 평가하기 위한 방법론에 대한 연구에 대한 필요성이 대두되었다.

† 2007년 4월 20일 접수~2007년 6월 8일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : shyla@add.re.kr

네트워크의 신뢰성을 분석하기 위한 방법에 대해 여러 연구가 진행되어 왔으나, 고전적인 신뢰도 분석 기법들^[3~7]에서는 시스템의 시간 의존적 특성을 고려하지 않았거나 부분적인 고장 발생시 자동 복구를 고려하지 않았으므로, 구성요소 중 일부가 고장 나더라도 계속 작동될 수 있는 점진적인 기능 상실을 갖는 고장 극복 시스템(fault-tolerant system)에서의 신뢰도 분석 모델에는 적합하지 않다. 또한, 비상태공간에 근거한 모델인 신뢰도 분석 다이어그램, 고장나무, 신뢰도 그래프 모델들은 시스템 구성요소 사이에서 시스템 고장을 표현할 수 있는 구체적인 방법을 제공해주지만 종속성, 동시성, 동기화 등 사용 능력에 있어서 여러 가지 제한 사항들이 존재한다^[8].

이러한 제한점들을 해결하기 위해서, 페트리네트(Petri Net)을 사용한다. 상태/사건 모델로 간주되는 페트리네트는 순서도나 블럭 다이어그램과 같은 시각적으로 의사소통을 가능하게 해주는 도식적 도구일 뿐만 아니라 견고한 이론을 갖는 수학적 모델링 도구이다^[9~12]. 페트리네트는 여러가지 목적에 따라 다양하게 수정, 확장되어 왔는데, 추계적 페트리네트(SPN : Stochastic Petri Net)이 CTMC(CTMC : Continuous Time Markov Chain)와 동형임을 Molloy가 증명한 이후 다양한 SPN의 확장이 만들어졌으며, 확장된 SPN 모델이 성능 및 신뢰도 분석에 사용되어 왔다^[13~15]. 특히, Ajmone-Marsan이 제안한 GSPN(Generalized Stochastic Petri Nets)^[14]은 시간천이에 즉시천이의 기능이 추가되었으며, 이러한 GSPN은 마르코프 모델로 자동 변환이 가능하여^[16], 네트워크의 다양한 동작 특성 모델링 뿐만 아니라 수학적 해석도 용이한 장점을 가진다.

따라서, 본 논문에서는 Fault-Tolerant Dual Ethernet의 신뢰도 분석을 위하여 페트리네트 기반의 GSPN 모델링 기법을 적용하였으며, 이를 바탕으로 시스템 구조 및 구성요소의 고장(failure)/복구(repair)를 고려한 네트워크의 신뢰도를 정량적으로 분석하였다.

먼저 2장에서는 페트리네트 기반의 신뢰도 분석을 위한 네트워크 모델링 기법인 GSPN의 적용 방법을 기술한 후 본 연구의 신뢰도 분석 흐름을 제시한다. 3장에서는 이를 바탕으로 Fault-Tolerant Dual

Ethernet의 신뢰도 모델을 제시하고, 4장에서는 제시된 GSPN 신뢰도 모델을 이용하여 주어진 예제 네트워크의 신뢰도를 정량적으로 분석한다. 5장에서는 본 연구의 결론 및 추후 연구방향을 제시한다.

2. GSPN 모델 및 신뢰도 함수

시스템의 모델링을 위해서는 앞서 기술한 바와 같이 즉시 시간천이 표현이 용이한 GSPN을 적용하며, 모델링된 시스템의 신뢰도 분석을 위한 신뢰도 함수를 정의한다.

가. Generalized Stochastic Petri Nets(GSPN)

페트리네트는 원으로 표현되는 장소(place)와 막대(bar)로 표현되는 천이(transition)의 두 노드를 갖는 방향성 이분(bipartite) 그래프이다. 장소에서 천이로의 에지가 존재하면 장소를 천이에 대한 입력장소라 하며, 역으로 존재할 경우는 출력장소라 한다. 페트리네트의 상태는 각 장소에 있는 토큰의 개수로 정의되며, 이를 페트리네트의 마킹이라 하고, 벡터 $M = (l_1, l_2, \dots, l_k)$ 로 표현한다. 여기서 l_i 는 장소 I에 있는 토큰의 개수이고, k 는 페트리네트에 있는 장소의 개수이다. 한 천이의 발사는 새로운 마킹을 생성하며, 마킹 M_i 에서 출발하여 마킹 M_j 로 가는 천이의 발사순서가 존재할 경우 M_j 는 M_i 로부터 도달가능(reachable)하다고 한다. 초기 마킹으로부터 도달가능한 모든 마킹들의 집합을 도달성 집합이라 하고, 이로부터 도달성 그래프(reachability graph)를 구축한다.

페트리네트는 각 천이에 지수분포의 발사시간을 허용함으로써 SPN으로 확장되며, SPN의 도달성 그래프는 연속시간 마르코프체인(CTMC)으로 변환된다^[10]. GSPN은 페트리네트의 천이에 지수분포의 발사시간을 부여한 것으로써, 시간행동에 대한 모델과 시간의 random 성질을 특징지어 프로토콜의 성능평가를 수행할 수 있다. GSPN은 즉시 천이와 시간 천이를 가지며, 지수분포 함수의 천이시간은 시간 천이에 의해서만 정의된다. 즉, 즉시 천이는 시간 천이보다 높은 우선 순위를 가지며, 마킹에 종속적인 발사 확

를 갖는다.

페트리네트는 시스템의 실제 작동과정을 모델링 할 수 있지만, 도달 가능한 모든 마킹들을 분석하는 과정이 복잡하며, 표현하는 상태수의 증가는 상태공간에서의 상태 폭발을 일으킬 수 있다. 이러한 점을 극복하기 위하여 시스템의 특성에 맞도록 페트리네트의 정의를 축소, 수행 규칙의 변경, 도달성 그래프의 변형 등의 방법을 사용하기도 한다.

나. 신뢰도 함수

신뢰도(reliability)는 일정 시간구간동안 시스템이 작동중일 능력으로서, 다음 식 (1)로 정의 할 수 있다.

$$R(t) = P_r(\text{the system is operational in } [0,t]) \tag{1}$$

여기서, X를 시스템의 수명시간을 나타내는 랜덤 변수라 하고 F를 X의 누적분포 함수라 가정하면, 시점 t에서의 시스템 신뢰도는 식 (2)로 주어지며, t = 0에서 시스템은 작동 중, 즉 R(0) = 1로 가정한다.

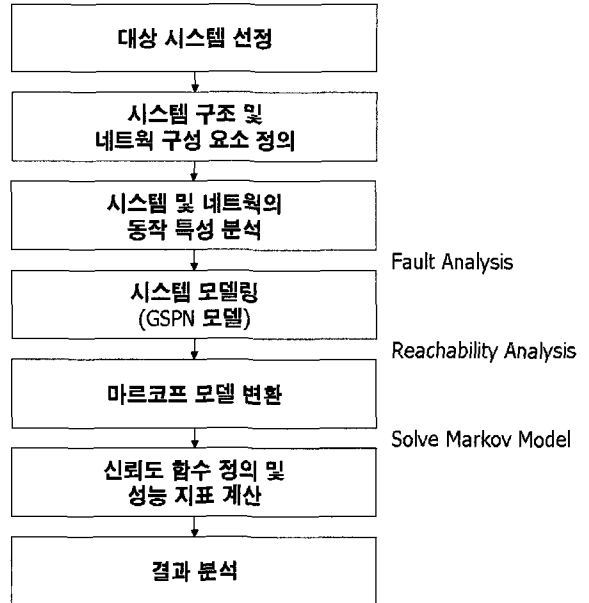
$$R(t) = P_r(X > t) = 1 - F(t) \tag{2}$$

만약, 시스템의 고장율(λ)을 상수로 가정하면, 시스템 수명시간의 누적분포함수는 지수분포가 된다. 즉, $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ 가 되며, $R(t) = e^{-\lambda t}$ 로 구해질 수 있다.

3. Fault-Tolerant Dual Ethernet 신뢰도 모델 설계

앞서 기술한 바와 같이, 본 논문에서는 함정 전투 체계에 적용되는 Fault-Tolerant Dual Ethernet과 같이 점진적인 기능 상실의 특성을 갖는 고장 극복 시스템의 신뢰도를 분석하기 위하여, 상태공간에 근거한 추계적 페트리네트(SPN)의 일종인 GSPN 및 마르코프 모델을 이용하고 앞의 2장에서 정의한 신뢰도 함수를 적용한다.

이러한 신뢰도 분석 업무를 수행하기 위해서는 가



[그림 1] 시스템 신뢰도 분석 절차

장 먼저 분석 대상 시스템 및 네트워크의 동작 특성 분석이 선행되어야 한다. 특히 네트워크 자원의 구성 요소 및 네트워크 토폴로지, 신뢰도에 결정적인 영향을 미치는 고장 발생 사례, 고장 복구 가능시 복구 방법 등에 대한 철저한 분석을 통하여 네트워크의 동작 특성을 정확히 이해해야 한다.

이러한 신뢰도 분석 업무 절차를 도식화하면 그림 1과 같다.

가. 네트워크 정의 및 동작 특성 분석

전투체계 네트워크(Combat System Data Bus, 이하 CSDB)는 분산처리 구조를 갖는 구성 장비들간의 실시간 데이터 통신 실현과 체계 생존성 및 고가용성 확보를 위해서, 두개의 Fast Ethernet 스위치를 중심으로 장비들이 연동되는 스타 토폴로지 형태로 구성된다. 또한, CSDB는 네트워크 고장(링크 또는 랜 스위치 고장) 발생시, 자동 고장 감지를 통해 네트워크를 자동 복구 및 재구성하는 특징을 가진다^{1,2)}. 즉, 앞서 기술한 Fault-Tolerant Dual Ethernet이 CSDB의 기본 구조라 할 수 있다.

일반적으로 네트워크의 성능에 관한 중요한 특성은 두 노드간의 성공적인 통신의 확률로 규정한 터미널

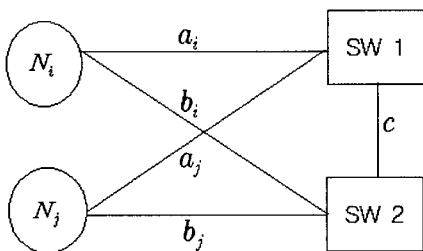
신뢰도와 전송 능력으로서 규정한 전송량이다. 여기서 신뢰도는 성공적인 통신을 위한 두 노드간의 유효한 적어도 하나의 경로의 존재 여부로서, 경로의 전송량은 고려하지 않는다^[16]. 따라서 Fault-Tolerant Dual Ethernet 구조를 가지는 CSDB의 신뢰도 모델은 그림 2와 같이 임의의 두 노드(N_i, N_j)들이 두 대의 랜스위치(SW1, SW2)에 연결된 듀얼 이더넷 망에서, 두 노드간에 성공적으로 통신이 될 확률로 정의한다(그림에서 a와 b는 스위치와 노드간 링크(link)를, c는 스위치간 트렁크(trunk)를 의미한다). 즉, 임의의 두 노드간의 통신이 불가능한 경우가 발생하면 네트워크는 다운(down)된 것으로 간주한다.

여기서 Fault-Tolerant Dual Ethernet 특성을 가지는 CSDB의 자동 복구 및 재구성 특성은 하나 이상의 고장을 허용할 수 있다는 것이다. 예를 들어서, 그림 2의 링크 a_i , 링크 a_j 및 링크 c가 동시에 고장인 상태에서도, CSDB는 b_i 및 b_j 로의 새로운 경로를 자동으로 재설정함으로써, 두 노드간의 통신이 가능하게 된다. 이 경우는 해당 노드간의 지속적인 통신이 가능하기 때문에, CSDB는 다운되지 않는다.

이러한 CSDB의 동작 특성을 분석하여 보면, 다음의 4가지 상태들 중 하나에 포함될 경우에는 CSDB가 다운됨을 알 수 있다.

- ① 노드 N_i 에서 a_i 및 b_i 링크 동시 고장 상태
- ② 노드 N_j 에서 a_j 및 b_j 링크 동시 고장 상태
- ③ a_i, b_j 및 c 링크 동시 고장 상태
- ④ a_j, b_i 및 c 링크 동시 고장 상태

따라서, 위 4가지 경우를 제외하면 그림 2의 두 노



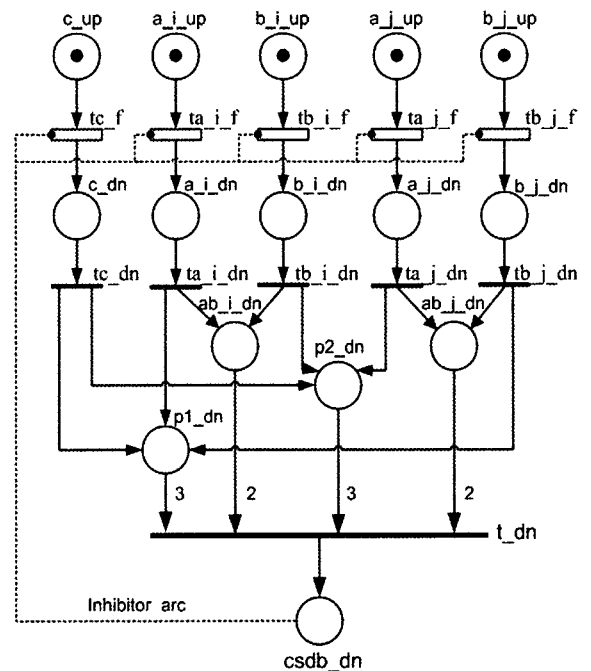
[그림 2] CSDB 네트워크 구조

드간에는 항상 하나 이상의 통신 경로가 존재하며, 이는 앞서 기술한 자동복구 기능을 고려한 것이다. 만약 위 4가지 경우중 하나의 상태가 되어 즉, 자동 복구 기능이 적용되지 않는 경우가 되어 CSDB가 다운될 경우에는, 네트워크 관리자 또는 정비자가 이를 인지하고 수동으로 복구해야 한다. 이러한 경우가 Fault-Tolerant Dual Ethernet 구조를 가지는 CSDB의 신뢰도를 저하시키는 경우이며, 이와 같은 수동 복구 확률을 다음 절에서 복구율로 정의한다.

나. GSPN 모델링

먼저 앞 절에서 분석한 CSDB의 동작 특성에 따라서 4가지의 CSDB 다운 상태를 반영한 GSPN 신뢰도 모델을 그림 3과 같이 설계하였다. 이 모델은 각 링크의 고장시 복구가 없는 경우이다.

설계된 GSPN 모델에서, 각 링크(a_i, b_i, a_j, b_j, c)에 대한 시간천이(tc_f, ta_i_f, tb_i_f, ta_j_f, tb_j_f)의 발사(fire)는 대응되는 각 링크의 고장($a_i_{dn}, b_i_{dn}, a_j_{dn}, b_j_{dn}, c_{dn}$)을 의미한다. 고장결과

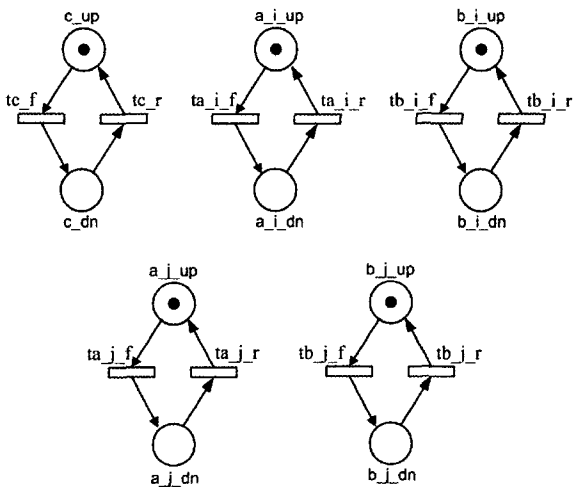


[그림 3] CSDB의 GSPN 모델 (링크 고장시 수동복구를 고려하지 않은 경우)

에 의해서, $a_i(b_i, a_j, b_j, c)_{up}$ 의 토큰은 $a_i(b_i, a_j, b_j, c)_{dn}$ 의 장소(place)에 놓이게 된다. 즉, 천이들이 발사되면 토큰은 해당 up 장소에서 dn 장소로 이동하고 해당 링크는 고장인 상태를 나타낸다. 이때, 각 링크의 고장율(λ)은 시간천이의 발사율이 된다.

그림 3에서, 링크의 고장은 즉시천이($tc_{dn}, ta_{i,dn}, tb_{i,dn}, ta_{j,dn}, tb_{j,dn}$)가 발사되어, 장소($ab_{i,dn}, ab_{j,dn}, p1_{dn}, p2_{dn}$)에 토큰이 놓이며, 즉시 천이 t_{dn} 은 CSDB의 고장 조건을 만족하는 경우 발사되어, 결국 망 전체의 고장을 의미하는 $csdb_{dn}$ 에 토큰이 오게 된다. $csdb_{dn}$ 에 토큰이 존재하게 되면 CSDB가 고장인것으로 정의하였으므로, GSPN상에서 더이상 시간천이의 발사가 되지 않도록 금지 아크(inhibitor arc)를 설정하였다.

다음으로, 그림 3의 GSPN 모델을 각 개별 링크의 고장시 (수동)복구 개념까지 고려하기 위해서, 설계된 모델의 상위 5개의 천이부분이 각각 다음 그림 4와 같이 복구를 위한 천이가 추가되도록 설계하였다. 여기서 시간천이 $tc_f(ta_{i,f}, tb_{i,f}, ta_{j,f}, tb_{j,f})$ 는 각 링크의 고장율을, 시간천이 $tc_r(ta_{i,r}, tb_{i,r}, ta_{j,r}, tb_{j,r})$ 은 극복율을 나타낸다. 이렇게 하여 Fault-Tolerant Dual Ethernet 특성을 가지는 CSDB의 신뢰도 분석을 위한 GSPN 모델을 완성하였다.



[그림 4] CSDB의 GSPN 모델(추가부분) (링크 고장시 수동복구를 고려한 경우)

다. 신뢰도 함수 도출

위와 같이 설계된 Fault-Tolerant Dual Ethernet 특성을 가지는 CSDB의 신뢰도 모델을 바탕으로 신뢰도 함수를 산출한다. 신뢰도 함수를 산출하기 전에, 설계된 GSPN 모델의 동작 특징을 쉽게 표현하기 위해 enabling 함수의 부울 함수 표현 방법을 사용하여 표 1과 같이 정의하였다. 참고로, enabling 함수는 SPN의 변형 모델의 하나인 SRN(Stochastic Reward Petri Net)에서 분석 대상 모델의 천이 조건을 표현하기 위하여 사용하는 함수 표현 방법이다.

[표 1] CSDB 신뢰도 모델의 enabling 함수

이름	부울 함수
G1	$(\#(ab_{i,dn}) < 2)$
G2	$(\#(ab_{j,dn}) < 2)$
G3	$(\#(p1_{dn}) < 3)$
G4	$(\#(p2_{dn}) < 3)$
G5	$G1 \wedge G2 \wedge G3 \wedge G4$

표에서 각 부울 함수는, 설계된 CSDB 신뢰도 모델의 각 장소($ab_{i,dn}, ab_{j,dn}, p1_{dn}, p2_{dn}$)에서의 토큰의 수에 따른 CSDB 네트워크의 상태를 의미하며, $\#(ab_{i,dn})$ 은 장소 $ab_{i,dn}$ 에 있는 토큰의 수를 의미한다. 즉, G1은 $\#(ab_{i,dn})$ 이 2보다 작으면 동작 상태가 되고 아니면 고장상태가 된다. 결과적으로 G5는 G1부터 G4의 모든 상태가 동작 상태이어야만 동작상태가 되며, 4개의 상태중 하나라도 고장상태가 되면 CSDB 전체는 고장상태가 된다.

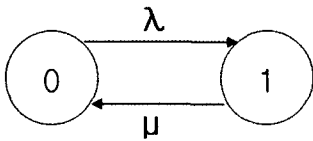
따라서, 이를 바탕으로 CSDB의 신뢰도 함수를 정의하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \Pr\{G5\} \\
 &= \Pr\{G1\} \times \Pr\{G2\} \times \Pr\{G3\} \\
 &\quad \times \Pr\{G4\}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서, 각 장소의 상태(G1, G2, G3, G4)는 서로 독립적이므로, 아래와 같이 분리하여 계산할 수 있다.

$$R(t) = R_{G1}(t) \times R_{G2}(t) \times R_{G3}(t) \times R_{G4}(t) \quad (4)$$

또한, 링크들의 고장이 서로 독립적이며, 동일한 물리적 특성을 가지는 링크들은 동일한 고장율 λ 및 극복율 u 을 가진다고 가정한다. 여기서, 고장율 λ 는 고장간 평균시간의 역수이며, 극복율 u 는 고장발생시 평균 복구 소요 시간으로 정의한다. 각 링크에서의 상태 천이는 토른의 수로 그림 5와 같은 마르코프 모델로 간단히 표현되며, 이때 토른이 1이면 각 링크의 고장상태를 의미한다.



[그림 5] 링크 상태 천이 Markov model

각 상태에서의 극소 생성기 행렬은 다음과 같다.

$$Q_i = \begin{pmatrix} -\lambda & \lambda \\ u & -u \end{pmatrix} \quad (5)$$

$P_k(t)$ 는 마르코프 모델이 시간 t 에서 상태 k 에 있을 임시(transient) 확률을 의미하며, 식 (6)과 같다.

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = Q_k^T P_k(t) \quad (6)$$

여기서, 각 상태의 초기 상태 확률 벡터는 다음과 같다.

$$P_k(0) \equiv [1 \ 0]^T \quad (7)$$

여기서, 안정상태 확률벡터 Π 는 식 (6)에서 시간 t 를 ∞ 로 지정하여, 식 (8)에 의해 구해진다.

$$\Pi Q_k = 0, \quad \sum_{k \in \Omega} \Pi_k = 1 \quad (8)$$

누적(cumulative) 확률벡터는 $L_k(t) = \int_0^t P_k(x) dx$

로 정의되고, 식 (6)을 적분하여 식 (9)로 구해진다.

$$\frac{dL_k(t)}{dt} = Q_k^T L_k(t) + P_k(0) \quad (9)$$

따라서, 미분방정식을 풀면 각 링크의 고장 확률은 다음과 같다.

$$F_{Link_i} = \frac{\lambda}{\lambda + u} (1 - e^{-(\lambda + u)t}) \quad (10)$$

시스템 신뢰도는 식 (4)로부터 식 (11) 및 (12)와 같이 구해진다.

$$R_{G_i} = \Pr[G_i] = (1 - F_{G_i}) \quad (11)$$

$$R(t) = (1 - F_{G1}) \times (1 - F_{G2}) \times (1 - F_{G3}) \times (1 - F_{G4}) \quad (12)$$

즉, 식 (12)가 Fault-Tolerant Dual Ethernet 특성을 가지는 CSDB의 신뢰도 함수가 된다. 여기서, 각 고장 상태(F_{G_i})는 관련된 링크가 고장임을 의미하므로 다음의 식 (13)과 (14)에 의해 구할 수 있다.

$$F_{G1} = F_{G2} = \left(\frac{\lambda}{\lambda + u}\right)^2 (1 - e^{-(\lambda + u)t})^2 \quad (13)$$

$$F_{G3} = F_{G4} = \left(\frac{\lambda}{\lambda + u}\right)^3 (1 - e^{-(\lambda + u)t})^3 \quad (14)$$

4. 예제 네트워크의 신뢰도 분석 결과

본 논문에서 신뢰도는 네트워크에서 두 노드간에 성공적으로 통신이 될 확률로 정의하고, 고장율 λ 및 복구율 u 은 시간의 파라미터로서 지수적으로 발생하는 것으로 가정하였다. 본 장에서는 식 (12)로 얻어진 신뢰도 함수에 근거하여 Fault-Tolerant Dual Ethernet 기반의 네트워크에서 각 링크의 고장에 따른 시스템의 비신뢰도(네트워크의 통신이 되지 않을 확

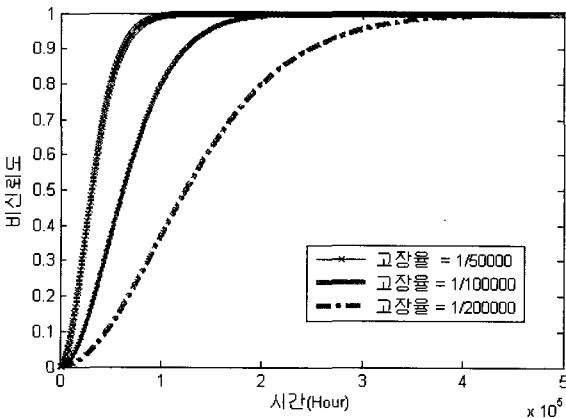
를로서, 신뢰도의 역)를 그림 2의 예제 네트워크를 대상으로 산출하였다.

먼저, 링크 고장 발생시 복구가 되지 않는 경우를 가정하였을 때, 그림 6에서와 같이 링크 고장율이 낮을수록 운용시간에 따른 신뢰도 저하 정도가 낮지만, 전체적으로 운용시간이 증가할수록 네트워크의 비신뢰도는 급격히 증가함을 알 수 있다. 그림 7의 결과로부터, 그림 6과 동일한 고장율 조건에서도 복구율을 고려하였을 때 네트워크의 비신뢰도는 현저히 감소됨을 알 수 있다.

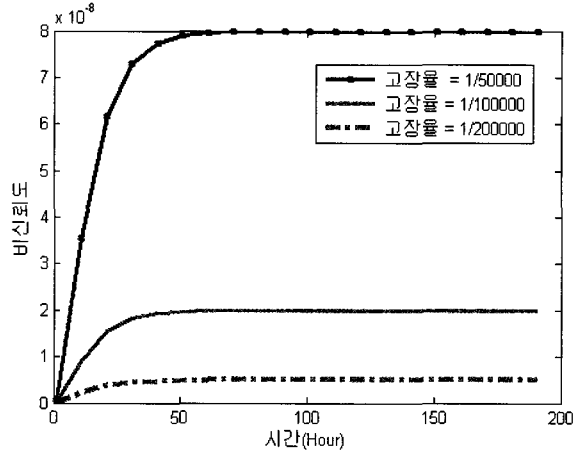
또한, 동일한 고장율 조건($\lambda = 1/50000$)인 경우, 특정 시점에서 복구율의 변화에 따른 비신뢰도를 계산하여 표 2와 같은 결과를 얻었다. 표 2의 수치 결과로부터, 운용중에 링크의 고장이 발생했을 때 현장에

[표 2] 복구율에 따른 비신뢰도 수치 결과

복구율(u) ($\lambda = 1/50000$)	비신뢰도($\lambda = 1/50000$)	
	$t = 10^2$	$t = 1 \times 10^5$
0	8×10^{-6}	0.992
0.01	3.2×10^{-6}	8.0×10^{-6}
0.02	1.5×10^{-6}	2.0×10^{-6}
0.1	0.08×10^{-6}	0.08×10^{-6}
0.5	0.3×10^{-8}	0.3×10^{-8}



[그림 6] 링크 복구가 없는 경우의 비신뢰도



[그림 7] 복구율 $u = \frac{1}{10}$ 일 경우의 비신뢰도

서 복구가 가능한지의 여부가 전체 네트워크의 신뢰도에 영향을 주는 결정적인 요소임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 점진적인 기능 상실의 특성을 갖는 고장 극복 기능이 있는 이중망인 Fault-Tolerant Dual Ethernet 기반의 CSDB에 대해 상태공간에 근거한 페트리넷 기반의 신뢰도 분석 모델을 제시하였다. 또한 신뢰도 모델로부터 링크의 고장율 및 복구율의 변경에 따른 예제 네트워크의 신뢰도를 분석하였다.

일반적으로 시스템의 고장율을 개선시키기 위해서는 시스템의 설계·개발시 고신뢰성의 부품을 사용하거나 고도의 자동복구 기능을 보유토록 해야 하며, 또한 시스템의 설치 정확성도 높여야 한다. 복구율을 향상시키기 위해서는 시스템의 고장 발생시 평균수리시간(MTTR : Mean Time To Repair)을 최소화 할 수 있도록 고장 발생에 대한 신속한 감지 능력 보유, 정비인력의 숙련도 향상, 수리부속품의 보유량을 증대해야 한다. 특히, 군사용 무기체계의 경우 시스템의 신뢰도는 작전의 성공을 뿐만 아니라 생존성과도 직결되기 때문에, 고장율 개선 및 복구율 향상은 선택이 아닌 필수 요구조건이다.

향후 연구과제로는 고장 극복 네트워크에서 링크뿐만이 아닌 노드의 상태를 고려한 신뢰도 모델에 대한 연구를 수행하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] “대형 수송함(LPX) 지휘무장통제체계 체계/부체계 규격서”, 국방과학연구소, LP-DSA-02000, 2004. 1.
- [2] “대형 수송함(LPX) 지휘무장통제체계 전투체계 데이터베이스(CSDB) 주장비 개발 사양서”, 국방과학연구소, LP-DSB-10100, 2003. 9.
- [3] Sheldon B. Akers, “Binary Decision Diagram”, IEEE Trans. On Computers, Vol. C-27, pp. 509~516, 1978.
- [4] S. Rai, K. K. Aggarwal, “An Efficient Methods for Reliability Evaluation of a General Networks”, IEEE Trans. on reliability, Vol. R-27, pp.206~211, 1978.
- [5] J. A. Abraham. “An Improved method for network reliability”, IEEE Trans. on Reliability, Vol. R-28, pp.58~61, 1979.
- [6] S. Hariri, C. S. Raghavendra, “SYREL : A Symbolic Reliability Algorithm Based on Path and Cutset Methods”, IEEE Trans. on Reliability, Vol. 36, No. 10, pp.1224~1232. 1987.
- [7] 조병엽, 박병전, “통신망의 성능 분석을 위한 신뢰성에 관한 연구”, 한국정보통신연구소논문지, pp.211~222, 2001.
- [8] Malhotra, M. and Ciardo, G. and Trivedi, K. S., Dependability Modeling Using Petri-Net, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 44, No. 3, pp.428~440, Sept., 1995.
- [9] K. H. Lee & J. Favrel, “Hierarchical reduction Method for Analysis and decomposition of Petri Nets”, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-15, No. 2, pp.272~280, Mar./Apr. 1985.
- [10] M. K. Molloy, “Performance Analysis using stochastic Petri Nets”, IEEE Trans. Computer, Vol. C-31, No. 9, pp.913~917, Sep. 1982.
- [11] J. L. Peterson, Petri Net Theory and The Modeling of Systems, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, Inc., 1981.
- [12] W. M. Zuberek, “D-Timed Petri Nets and Modelling of Timeouts and Protocols”, Trans. of the SCS, Vol. 4, No. 4, pp.331~357, Oct. 1988.
- [13] G. Ciardo, J. Muppala, K. Trivedi, “Analyzing concurrent and fault-tolerant soft-ware using stochastic reward nets”, J. Parallel & Distributed Computing, Vol. 15, pp.255~269, 1992.
- [14] Ajmone-Marsan A., Balbo G., “A class of generalized stochastic Petri nets for the performance evaluation of multiprocessor systems”, ACM Trans. Comp. Systems, Vol. 2, No. 2, pp.93~122, 1984.
- [15] J. Meyer, A. Movaghar, W. Sanders, “Stochastic activity networks Structure, behavior, and application”, Int’l Workshop Petri Net and Performance Models, pp.106~115; Torino, Italy, 1985 Jul.
- [16] Aggarwal, k. k, 1988. A Fast Algorithm for the Performance Index of a Telecommunication Network. IEEE Trans. Reliability. 37 : 65-69.