

네트워크 생존성을 고려한 선박 통신망(SAN)의 이중화 네트워크 토폴로지 및 중복 전송 프로토콜의 설계

손치원[†] · 신정화^{††} · 정민영[†] · 문경덕^{†††} · 박준희^{††††} · 이광일^{††††} · 탁성우^{†††††}

요 약

지능형 선박(Smart Ship)에 탑재되는 정보화 장비의 종류와 수량이 증가하고 있는 최근 국내의 조선 산업계 동향에 따라, 이들 장비를 효율적으로 통합하고 제어할 수 있는 선박 백본 네트워크 개발의 필요성이 대두되고 있다. 선박 백본 네트워크는 자동화 및 무인화 특징을 가지는 지능형 선박에 구축된다는 점에서 고수준의 생존성을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 네트워크 구축 환경의 특성과 네트워크 생존성 요구 사항을 고려하여, 효율적인 선박 운용을 제공하는 고생존 선박 통신망(SAN: Ship Area Network)에 대한 연구를 수행하고자 한다. 이를 위해 지능형 선박의 정보화 장비를 포함한 모든 네트워크 노드들이 이중 경로를 통해 서로 연결된 이중화 네트워크 토폴로지를 설계하였다. 그리고 설계한 이중화 네트워크 토폴로지 환경에서 최소의 중복 전송을 통해 최대의 생존성 성능을 나타내는 효율적인 중복 전송 프로토콜을 설계하였다. 또한 본 논문에서 제안한 토폴로지 및 프로토콜이 적용된 새로운 선박 통신망의 성능을 그래프 이론, 확률 이론, 구현 명세, 시뮬레이션 등을 포함한 체계적이고 실증적인 분석을 통해 검증하였다.

키워드 : SAN, 지능형 선박, 네트워크 생존성

Design of Dual Network Topology and Redundant Transmitting Protocol for High Survivability of Ship Area Network (SAN)

Chiwon Son[†] · Jung Hwa Shin^{††} · Minyoung Jung[†] · Kyeong Deok Moon^{†††} · Jun Hee Park^{††††}
Kwangil Lee^{††††} · Sungwoo Tak^{†††††}

ABSTRACT

In the shipbuilding industry, due to the global trends where the number of IT (Information Technology) devices of a smart ship have been increased rapidly, the need to develop a new shipboard backbone network has recently emerged for integrating and managing the IT devices of a smart ship efficiently. A shipboard backbone network requires high survivability because it is constructed in automatic and unmanned smart ships where a failure of the backbone network can cause critical problems. The purpose of this paper thus is to study SAN (Ship Area Network) as a efficient shipboard backbone network, considering particularity of shipboard environment and requirement of high survivability. In order to do so, we designed a dual network topology that all network nodes, including the IT devices installed in a smart ship, are connected each other through dual paths, and reuding tht IT devices pnstalles supporices network survivability as well as t Iffic efficiency for the dual network topology. And then, we verified the performance of the suggested SAN by theoretical and practical analysis including the graph theory, the probability theory, implemental specifications, and computer simulations.

Keywords : Ship Area Network, Smart Ship, Network Survivability

1. 서 론

현재 조선 산업계에서는 정보 기술을 기반으로 선박 운용의 자동화 및 무인화 서비스를 제공하는 지능형 선박(Smart Ship)에 대한 관심이 증가하고 있다[1-4]. 국외의 관련 기술 현황을 살펴보면, 미국 및 유럽 국가에서는 선박-육상 통합 플랫폼 개발과 해당 기술 표준화 작업 등 선박 운용에 정보 기술을 적용하기 위한 연구를 오래전부터 수행해 왔다. 그

* 본 연구는 지식경제부의 IT 성장동력기술개발사업의 일환으로 수행하였
음(IT 기반 선박용 토털 솔루션 개발).
† 준회원: 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정
†† 정회원: 한국연구재단지원 박사후국내연수과정
††† 정회원: 한국전자통신연구원 그린컴퓨팅기술웨어연구팀장
†††† 정회원: 한국전자통신연구원 선임연구원
††††† 종신회원: 부산대학교 정보컴퓨터공학부 부교수(교신저자)
논문접수: 2009년 9월 2일
수정일: 1차 2009년 10월 16일
심사완료: 2009년 11월 30일

러나 국내에서는 국제 표준과 해양 조약에 대응하기 위한 연구를 한발 늦게 진행하여, 현재 지능형 선박의 제품 가치를 향상시키는 정보 기술 기반의 선박 솔루션 분야는 대부분 국외 기술이 주도하고 있는 실정이다. 그 결과, 선박 규모의 대형화와 선박 서비스의 다양화 추세에 따라 국내에서 생산되는 선박에서 선박 운용 기술 및 정보화 장비의 국외 의존도가 점차 증가하고 있다[1, 2, 5].

국내 조선 산업계는 이와 같은 불리한 여건을 극복하기 위해 대형 조선업체와 정보 연구소를 주축으로 조선 기술과 정보 기술이 융합된 신규 기술 개발을 목표로 여러 단계의 추진 전략을 기획하고 있다. 그 중 첫 번째 단계가 선박에 배치된 정보화 장비들을 통합하고 제어하는 지능형 선박의 백본 네트워크 기술 개발이다.

과거 국내외에서는 선박 제어 네트워크[5], Shipboard LAN(Local Area Network)[6], Redundant Internet[7] 등과 같은 명칭으로 선박의 백본 네트워크에 관한 유사한 연구가 수행된 바 있다. 그러나 이들 연구는 선박의 백본 네트워크에 대한 구체적인 구현 방안 및 성능 분석은 제시하지 않고 선박-육상 통합 플랫폼[5]을 위한 부분 표준만을 제시하고 있다. 따라서 국내외 조선업체들은 선박에 배치된 정보화 장비들을 단순 연결하기 위한 임시적인 백본 네트워크를 타당한 검증 없이 구축하여 사용하고 있는 실정이다.

최근 들어 선박 운용의 편의성과 정밀성을 향상시키기 위한 목적으로 지능형 선박에 탑재되는 정보화 장비의 종류와 수량이 증가함에 따라, 선박의 임시적인 백본 네트워크를 대체할 수 있는 선박 통신 인프라 구축의 필요성이 대두되었다. 이에 국내 조선 산업계는 지능형 선박의 백본 네트워크 기술로 선박 통신망(SAN: Ship Area Network) 기술을 정의하고, 관련 기술 개발을 진행하고 있다[1].

SAN은 자동화 및 무인화 특징을 가지는 지능형 선박에 구축되는 백본 네트워크라는 점에서 고수준의 생존성을 만족해야 한다. 충돌, 침수 등과 같은 선박 사고에 의한 백본 네트워크의 결손은 운항 장애를 유발할 뿐만 아니라 최악의 경우 인명 재해의 원인이 되기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 사고 상황에 견고하면서 효율적인 선박 운용을 제공하는 고생존 SAN을 제안하고자 한다. 이를 위해, 선박의 특수성을 고려한 이중화 네트워크 토폴로지를 설계하고, 표준의 중복 전송 프로토콜을 개선하였다. 또한 제안하는 SAN의 생존성을 수학 이론 및 시뮬레이션 결과를 통해 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 SAN의 설계 시 고려해야 할 국제 통신 표준을 살펴본다. 3장에서는 지능형 선박의 이중화 네트워크 토폴로지를 설계하고, 4장에서는 이를 운용하는 중복 전송 프로토콜에 대한 개선 방안을 제안한다. 그리고 5장에서는 본 논문에서 제안한 SAN의 성능을 분석한 후, 6장에서 결론을 맺는다.

2. 선박 정보화 장비의 통신 표준

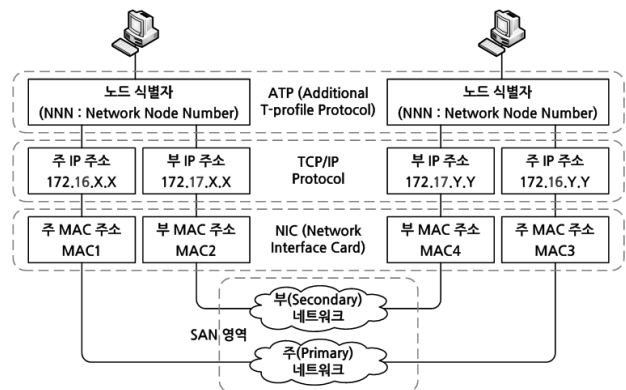
선박에 탑재된 정보화 장비들 사이의 통신 방식을 다룬

IEC 61162-410 표준은 선박 통합화 네트워크를 구축하기 위한 전송 계층 프로토콜의 기능 명세를 기술하고 있다[7]. 이 표준은 응용 계층에 제공되는 TLI(Transport Layer Interface)와 함께 새로운 전송 프로파일(T-profile)을 정의한다. 특히 IEC-6116410 전송 프로파일은 단말이 두 개의 인터페이스를 통해 동일한 데이터를 중복하여 송·수신하는 기능을 다룬 것으로, 그 목적은 선박 백본 네트워크의 부분 결손에 의해 단말 간의 통신이 마비되는 위험을 감소시키는 것이다. 이와 같은 중복 전송 프로토콜을 분석하기 위하여 두 단말이 IEC-6116410 전송 프로파일을 통해 통신하는 상황을 (그림 1)에 나타내었다.

(그림 1)은 IEC 61162-410 전송 프로파일의 다음과 같은 구조적 특징을 보여준다. 단말은 두 개의 인터페이스를 통해 네트워크에 접속하며, 두 인터페이스는 서로 다른 IP 및 MAC 주소를 가지고 있다. 따라서 각 인터페이스는 독립적인 TCP/IP 프로토콜로 제어된다. 이러한 구조는 IP의 멀티 홈잉(Multi-homing) 기법을 통해 구현되어 프로토콜 기능 개선에 따르는 비용을 최소화한다. 그리고 프로토콜 스택에서 TCP/IP 프로토콜 상위에 위치한 ATP(Additional T-profile Protocols) 모듈은 단말의 중복 전송 기능을 담당한다.

또한 IEC 61162-410 전송 프로파일은 단말의 중복 전송을 위한 두 개의 독립적인 세션 설정을 기술한다. 이에 따르면, 송신 단말이 가진 하나의 인터페이스는 수신 단말의 하나의 인터페이스와 논리적인 연결(세션)이 설정된다. 그리고 IEC 61162-410 표준은 논리적으로 분리된 두 개의 네트워크를 운용하기 위해 Class B의 서로 다른 IP 주소 범위를 정의하여 주(Primary) IP 및 부(Secundary) IP를 할당할 것을 정의하고 있다. 기본적으로 주 IP 주소는 172.16.0.1 ~ 172.16.255.254의 범위를 가지며 부 IP 주소는 172.17.0.1 ~ 172.17.255.254의 범위를 가진다. 그러므로 실제 통신에서는 두 단말의 주 인터페이스 사이의 세션과 부 인터페이스 사이의 세션이 설정된다.

또한 IEC 61162-410 표준은 통합 네트워크에서 단말을 구분하기 위한 고유 식별 정보인 NNN(Network Node Number)을 정의하고 있다. NNN은 보통 단말의 Internet Host Number(IP 주소에서 Network Number를 제외한 부



(그림 1) IEC 61162-410 전송 프로파일의 구조

분)로 설정되며, ATP 모듈에서 관리되고 TLI를 통해 응용 계층에 제공된다. 특히 IEC 61162-410 전송 프로파일에서는 두 쌍의 주소를 가지는 단말을 모호성 없이 식별하기 위해 NNN을 활용한다. 따라서 하나의 NNN을 두 개의 IP 주소로 변환하는 작업은 이중 세션 설정을 응용 계층에 추상화시키는 작업과 함께 ATP 모듈의 중요한 기능 요구 사항이다.

이와 같은 표준 관련 사항들을 기반으로 본 논문에서는 기존에 연구된 선박-육상 통합 플랫폼에 끊임없이(seamless) 수용되고 성능 개선을 위한 지속적인 지원이 가능하도록 국제 통신 표준을 채택한 개방형 구조를 가지는 SAN을 제안하고자 한다.

3. 지능형 선박의 이중화 네트워크 토폴로지 설계

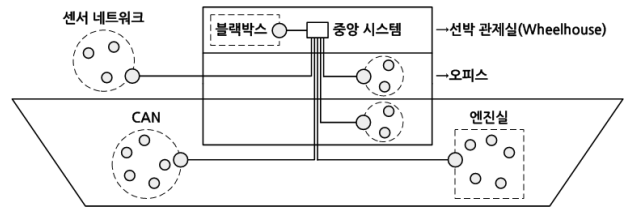
IEC 61162-410 전송 프로파일의 기능 명세는 단말이 이중 경로를 통해 서로 연결되어 있는 네트워크 토폴로지 환경을 가정한 것으로, 단말을 제외한 선박 백본 네트워크의 구체적인 토폴로지 명세는 포함하지 않는다. 반면, 선박 백본 네트워크만을 고려한 Shipboard LAN[6]과 SAFENET (Survivable Adaptable Fiber optic Embedded Network) [8]에서는 인터넷 환경에서 그 성능이 검증된 이중 환형(Ring) 구조의 FDDI(Fiber Distributed Data Interface)를 선박 백본 네트워크의 토폴로지로서 제안하고 있다. 이들 세 연구의 공통적인 목적은 네트워크의 생존성을 향상시키기 위해 경로 장애에 대비한 예비 경로를 확보해 두는 네트워크 보호(Protection) 기법[9]을 적용하여 선박 네트워크의 토폴로지를 설계하는 것이다.

즉, 네트워크 생존성은 네트워크 토폴로지 특성과 밀접한 관련이 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 장에서는 모든 네트워크 노드가 이중 경로에 접속된 이중화 SAN 토폴로지를 설계하고, 그 생존성을 분석한다.

3.1 SAN의 트리(Tree)형 토폴로지

지능형 선박에 탑재된 정보화 장비들은 SAN을 통해 필요한 정보를 획득하고 처리한 정보를 제공한다. 이 때, 지역적으로 인접하거나 유사한 목적을 수행하는 정보화 장비들은 소규모 네트워크를 구축하여 SAN의 서브 네트워크를 구성한다. SAN의 각 서브 네트워크는 선박 통합화 네트워크 구조에서 필드기 네트워크[5]에 해당한다. 이러한 네트워크에는 선박 주변의 물리 현상을 감지하는 센서 네트워크, 정보화 장비들을 제어하는 CAN (Controller Area Network) 등이 있다. 각 서브 네트워크는 게이트웨이로 구축되어 선박의 각종 정보가 상호 운용될 수 있도록 게이트웨이 간의 네트워크에 접속된다. 이와 같은 선박 네트워크의 구성 특징을 바탕으로 쉽게 고려할 수 있는 SAN의 구조를 (그림 2)에 나타내었다.

(그림 2)는 선박 통합화 네트워크의 중앙 집중형 특징을 반영한다. 모든 서브 네트워크는 선박 관제실과 단일 링크로 직접 연결되어 선박 관제실에 위치한 브릿지를 통해 통



(그림 2) 선박의 정보화 장비들을 통합하는 SAN 구조

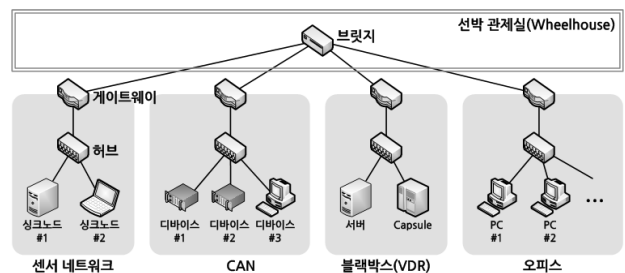
합된다. 따라서 게이트웨이 간의 네트워크를 포함한 (그림 2)의 전체 SAN 구조는 (그림 3)과 같은 트리(Tree)형 토폴로지로서 표현할 수 있다. 이 때, SAN의 각 서브 네트워크의 하드웨어 멀티캐스팅 (Multicasting)은 허브의 멀티-포트 리피터(Multi-port Repeater) 기능으로 치환되었다. 그리고 이 허브는 토폴로지의 단일 노드로 표현되었다.

(그림 3)과 같이 트리형 토폴로지로서 설계된 SAN은 다음과 같은 장점을 가진다. 첫째, SAN의 트리형 토폴로지의 계층 구조는 네트워크 장애를 일정 영역으로 제한한다. 따라서 일부 장애가 전체 네트워크에 끼치는 영향을 최소화시킨다. 둘째, 게이트웨이들의 네트워크가 선박 관제실에 위치하여 관리자는 인터넷네트워킹 장애 시 효율적으로 대응할 수 있다. 이와 같은 중앙 집중형 구조에서는 전체 네트워크의 감시와 유지가 용이하다. 셋째, 선박의 정보화 장비와 중앙 시스템은 항상 최단 경로를 통해 정보를 교환한다. 이 정보는 SAN에서 가장 빈번하게 발생하는 트래픽이므로, SAN의 트리형 토폴로지는 전체 네트워크의 처리량을 높인다.

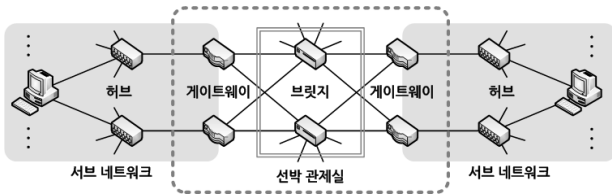
네트워크의 트리형 토폴로지에서도 가장 중요한 고려사항은 부모 노드와 자식 노드 간의 점대점(Point to Point) 링크 구축이다. 건물 크기를 가지는 선박의 규모를 감안하면 SAN에서 점대점 링크들은 큰 제약사항이 되지 않으므로 고 생존 및 고효율 장점을 가지는 선박 네트워크의 트리형 토폴로지는 기존 연구에서 제안하는 환형(Ring) 토폴로지보다 SAN에 더욱 적합한 구조이다.

3.2 이중화 SAN 토폴로지 설계

(그림 3)의 토폴로지는 장애 발생 시 프레임 전송의 우회 경로가 존재하지 않기 때문에 네트워크 생존성에 취약한 구조를 나타낸다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 국내 조선업체는 (그림 4)와 같은 지능형 선박을 위한 백본 네트워크 토폴로지를 개발하였다[10]. (그림 4)는 (그림 3)의 토폴



(그림 3) SAN의 트리(Tree)형 토폴로지



(그림 4) 게이트웨이-브릿지 기반 이중화 네트워크 토폴로지

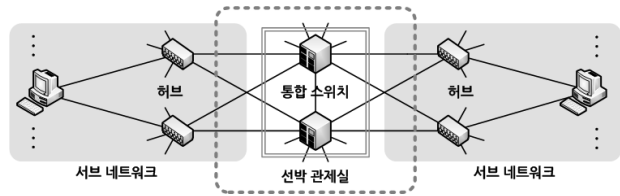
로지에 네트워크 보호 기법을 적용하여 생존성을 개선시킨 SAN의 이중화 토폴로지, 단말을 포함한 전체 네트워크가 두 개의 독립적인 네트워크로 구성된다. 그리고 각 독립적인 네트워크는 앞서 살펴본 트리형 토폴로지의 장점을 취하고 있다.

(그림 4)의 토폴로지에서 두 개의 트리형 네트워크는 게이트웨이-브릿지 간의 교차 경로로 결합된다. 이 경로는 신뢰성 있는 프레임 전송을 위해 게이트웨이 혹은 브릿지가 중복된 프레임을 전송하여 네트워크의 부분 결손을 보완하는데 사용한다. 그러나 이와 유사하게 두 개의 트리형 네트워크를 결합하는 허브-게이트웨이 간의 교차 경로는 다음과 같은 실제의 통신 환경을 고려하면 네트워크의 생존성을 향상시키지 않는다. 단말의 두 네트워크 인터페이스는 각각의 기본 게이트웨이(Default Gateway)와 통신하고, 허브는 단말과 게이트웨이 간의 프레임을 단지 물리 신호로 전달할 뿐이다. 따라서 허브-게이트웨이 간의 교차 경로를 통해 전송되는 여분의 프레임은 수신측의 프로토콜 스택에서 폐기된다. 이와 같이 허브는 주소와 프로토콜을 가지지 않는 인터넷워킹 장비이기 때문에 허브에 연결된 추가 경로는 네트워크의 결손을 보완할 수 없다. 특히 두 허브 간 연결된 경로는 루프를 형성하여 네트워크 대역이 포화상태가 되는 브로드캐스트 스톰(Broadcast storm) 현상을 발생시킨다.

또한, (그림 4)의 구조는 네트워크 보호 기법을 통해 설계되어, 장애에 대비하는데 불필요한 예비 경로를 고려 대상에서 제외하였다. 만약 게이트웨이 간, 또는 브릿지 간의 경로가 설정되어 있다면, 이들 경로를 활용하여 네트워크의 생존성을 향상시키기 위해서는 네트워크에서 장애를 인지한 후 새로운 경로를 탐색하는 네트워크 복구(Restoration) 기법[9]을 사용하는 것이 적합하다. 그러나 네트워크 복구 기법에서 경로 배정(Forwarding) 정보의 재설정을 시도하고 수렴하기까지 걸리는 시간 지연은 대량의 트래픽 손실을 야기하므로, (그림 4)에서 보호 경로를 통한 단순 중복 전송은 SAN의 생존성뿐만 아니라 효율성을 향상시키기 위한 타당한 방안이다.

지금까지 살펴본 분석 결과는 (그림 3)을 기반으로 이중화 토폴로지를 설계할 때 (그림 4)의 구조가 가장 타당한 토폴로지임을 의미한다. 본 논문에서는 국내 조선업체에서 SAN의 초기 모델로 제안한 (그림 4)의 토폴로지를 성능 비교의 대상 시스템으로 정의하고, 더욱 우수한 네트워크 생존성을 가지는 새로운 이중화 네트워크 토폴로지를 설계하고자 한다.

(그림 4) 토폴로지가 가지는 네트워크 생존성 강점을 기



(그림 5) 통합 스위치 기반 이중화 네트워크 토폴로지

반으로, 현재 국내를 중심으로 활발히 연구되고 있는 자율 운항 제어 시스템(INS: Intelligent Navigation System)[11] 개발과 접목하여 새로운 고생존 SAN 토폴로지를 설계하기 위해 다음 사항을 고려하였다. 자율 운항 제어 시스템의 목표는 지능형 선박의 1인 제어 시스템(One-man Bridge System)을 구축하는 것으로, 이 기술은 관제실에서의 의사 결정을 지원하기 위해 선박 정보를 취합하는 다양한 정보화 장비가 필요하다. 그 중 선박 상태의 모니터링과 정보 발생을 담당하는 ICMS(Integrated Control and Monitoring System)[1]는 1인 제어 시스템의 핵심 요소이다.

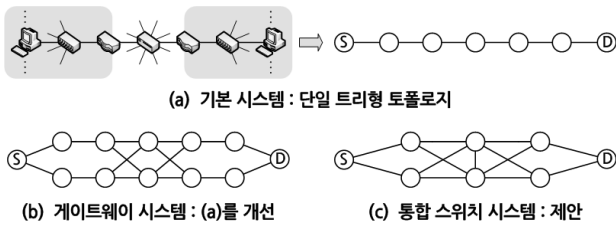
이와 같이, 자율 운항 제어 시스템은 안전한 선박 운용을 위해 정보화 장비로부터 수집된 자료를 처리하는 새로운 임베디드(Embedded) 장비가 필수적이다. 이 장비는 SAN에 최적화된 인터넷워킹 기능을 내장한다는 점에 착안하여, 본 논문에서는 (그림 4) 구조를 바탕으로 새로운 인터넷워킹 장비인 통합 스위치를 도입함으로써 (그림 5)와 같은 이중화 SAN 토폴로지를 설계하였다.

(그림 5) 구조는 통합 스위치가 ICMS의 하드웨어 모듈로 구현되는 것을 가정한 것이다. 따라서 통합 스위치는 네트워크 결손을 감시하는 전용 중앙 장치로서 SAN의 고생존성을 제공한다. 또한 통합 스위치는 일종의 라우터(Router)로, 서브 네트워크 사이의 인터넷워킹을 지원하여 (그림 4)의 브릿지의 경로 배정(Forwarding) 기능과 게이트웨이의 필터링(Filtering) 기능을 통합한다 (접선 영역 비교).

3.3 SAN 토폴로지와 연결 계수(Connectivity)

SAN 토폴로지의 네트워크 생존성을 분석하기 위해 그래프 이론을 사용하여 (그림 3), (그림 4), (그림 5)의 세 토폴로지를 평가하였다. 그래프 이론을 적용하기 위해 먼저 세 토폴로지를 각각 기본 시스템, 게이트웨이 시스템, 통합 스위치 시스템으로 표기하고, 그래프 표현 방식을 사용하여 모델링하였다. 그래프 모델링 작업은 네트워크 생존성 비교 목적에 맞도록, 대상 네트워크를 한 쌍의 단말 S(Source)와 D(Destination)에 대한 프레임 전송 경로를 포함하는 부분 네트워크로 단순화하여 그래프 변환을 수행하였다. S와 D는 서로 다른 서브 네트워크에 위치하여 인터넷워킹이 필요하다고 가정한다. (그림 6)은 세 시스템에 대해 그래프 변환을 수행한 결과이다.

그래프 이론에서 연결 계수(Connectivity)는 연결 그래프(Connected Graph)를 몇 개의 그래프 요소(노드 또는 링크)를 제거하여 단절 그래프(Disconnected Graph)로 변환시킬 때, 제거된 그래프 요소들로 구성된 집합들 중 최소의



(그림 6) SAN 토폴로지의 그래프 모델

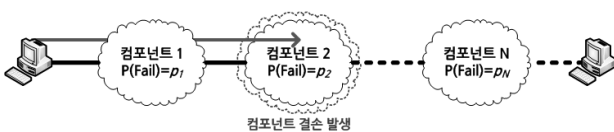
개수를 가지는 집합의 원소의 개수로 정의된다. Menger의 정리에 따르면 연결 계수는 그래프 내의 임의의 두 노드 간 서로소인 경로의 개수를 뜻하는 것으로 알려져 있다[12]. (그림 6)의 세 그래프에 Menger의 정리를 적용시켜 보면 (그림 6)의 (a)는 1의 연결 계수를 가지는 반면, (그림 6)의 (b)와 (c)는 모두 2의 연결 계수를 가진다. 이는 이중화 네트워크 토폴로지의 특징으로, 두 시스템 모두 네트워크의 가장 취약 지점에서도 하나의 전송 경로 장애에 대비한 여분의 전송 경로를 확보하고 있음을 나타낸다. 따라서 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템에서는 단일 지점 장애가 전체 시스템을 마비시키는 SPOF(Single Point of Failure)가 존재하지 않는다는 것을 알 수 있다.

3.4 SAN 토폴로지와 신뢰율(Reliability)

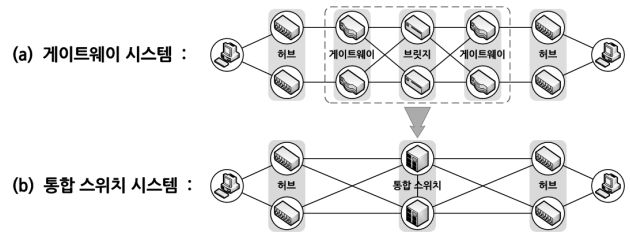
(그림 6)의 그래프 모델을 기반으로 또 다른 성능 지표인 확률 이론의 신뢰율(Reliability)을 통해 토폴로지의 생존성을 이론적으로 평가할 수 있다. 확률 이론에서 신뢰율은 그래프 모델의 노드 및 링크에 해당하는 컴포넌트(Component)가 직렬, 병렬, 또는 혼합 구조를 가지는 시스템에서 각 컴포넌트가 확률에 따라 결손될 때 전체 시스템이 정상 동작할 확률을 의미한다[13]. 즉, 신뢰율은 다수의 네트워크 구성 요소에 장애가 발생한 상황에서 단말 간의 전송 경로 확보 가능성을 평가한다. 따라서 신뢰율은 네트워크의 단일 지점 장애에 대한 우회 경로 존재 여부만을 평가하는 연결 계수에 비해 좀 더 실용적인 네트워크 생존성 지표가 된다.

$$Reliability = \prod_{i=1}^N (1 - p_i) \quad (\text{식 } 1)$$

토폴로지의 네트워크 생존성 평가를 위해 다음과 같은 신뢰율 산출의 개념적 아이디어에 착안하였다. (그림 7)과 같이 컴포넌트(네트워크 구성 요소)들이 직렬 구조로 설계된 시스템의 경우, 하나의 컴포넌트 결손이 전체 시스템의 결손을 유발한다(이와 같은 관점에서, 그래프 모델에서 1의 연



(그림 7) 컴포넌트의 직렬 구조 시스템



(그림 8) 게이트웨이 시스템을 단순화시킨 통합 스위치 시스템

결 계수는 시스템의 직렬 구조와 유사한 속성이다. 그리고 직렬 시스템의 신뢰율 계산식(식 1)은 직렬 연결된 컴포넌트의 수가 증가할수록 전체 시스템의 생존성이 저하됨을 보여주고 있다.

이를 바탕으로 동일한 2의 연결 계수를 가지는 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템의 생존성을 비교하기 위해 다음 가정을 고려하였다. (그림 6)의 (b)와 (c)가 모델링한 이중화 토폴로지에서 단말로부터 같은 거리에 위치한 두 노드는 동시적 결손이 전체 시스템의 결손을 유발하는 가장 간단한 노드 쌍이다. 이 노드 쌍은 직렬 시스템에서 하나의 컴포넌트와 동일한 특징을 나타내므로, 이 노드 쌍을 하나의 컴포넌트로 취급하면, (그림 6)의 (b)와 (c) 시스템의 구조는 (그림 8)과 같은 직렬 구조로 표현할 수 있다. (그림 8)은 통합 스위치 시스템이 게이트웨이 시스템의 게이트웨이-브릿지-게이트웨이로 연결되는 3개의 컴포넌트를 통합 스위치 컴포넌트 하나로 통합시킨 구조를 보여준다. (식 1)의 의미에 따라, 본 논문에서 제안하는 통합 스위치 시스템은 간단한 구조적 특징을 통해 게이트웨이 시스템보다 우수한 생존성을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

4. 중복 전송 프로토콜의 개선 방안

SAN의 생존성은 이중화 네트워크 토폴로지와 함께 이를 운영하는 프로토콜의 기능에 의해 결정된다. IEC 61162-410 전송 프로파일의 중복 전송 기능은 이중화 토폴로지 환경에서 단말간의 이중 세션 설정을 통해 선박 네트워크의 생존성을 향상시키는 방법을 보여준다. 그러나 이 방식은 네트워크가 안정된 상황에서는 중복된 프레임 전송하기 때문에 네트워크의 트래픽 효율을 저하시키는 문제점을 가지고 있다. SAN은 선박의 모든 정보화 장비가 정보를 교환하는 네트워크이므로, 대용량의 트래픽을 효율적으로 처리할 수 있어야 한다.

따라서 일정 수준의 네트워크 생존성을 보장하면서 트래픽의 효율성을 향상시키는 기법에 대한 연구가 필요하다. 이에 본 장에서는 중복 전송 프로토콜의 생존성과 효율성 성능을 분석하고, 최적 성능의 SAN을 위한 중복 전송 프로토콜의 개선 방안 및 그 명세를 제안한다.

4.1 SAN의 중복 전송 기능

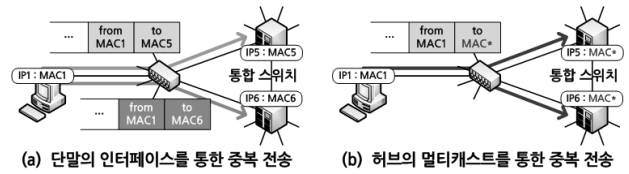
이중화 SAN 토폴로지를 효율적으로 운용하는 프로토콜

을 제안하기 위해, (그림 4)와 (그림 5)의 토폴로지를 대상으로 중복 전송 프로토콜에 따라 프레임이 전달되는 네트워크 상황을 분석하였다. (그림 9)는 이중화 SAN 토폴로지 에서 단말이 두 개의 서로 다른 주소를 가지는 인터페이스를 통하여 분리된 두 네트워크에 연결되어 있는 상태를 나타낸다. 그리고 이 그림은 SAN이 네트워크 장애 상황에서 성공적으로 프레임을 전달하는 과정을 설명하고 있다.

본 논문은 (그림 9)의 프레임 흐름에서 보여주는 바와 같이 SAN의 모든 노드들이 중복 프레임을 전송하는 상황을 가정한다. 네트워크 보호 기법으로 설계된 SAN 토폴로지의 이중 경로는 임의의 장애에 대한 전용 보호 경로를 포함하고, 이는 SAN의 시간 지연 없는 장애 복원을 지원한다. 대용량의 트래픽이 흐르는 백본 네트워크에서 네트워크 복구 기법은 경로 배정 정보를 교환하고 새로운 경로를 탐색하는데 걸리는 시간 지연이 대량의 트래픽 손실을 초래할 수 있다. 따라서 (그림 9)와 같이 모든 노드들의 중복 전송하는 상황은 SAN의 생존성뿐만 아니라 효율성을 향상시키기 위한 타당한 방안이다.

그러나 (그림 9)의 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템에서 단말을 제외한 노드들의 중복 전송 기능에는 다음과 같은 차이점이 있다. 게이트웨이 시스템의 게이트웨이는 저장 및 전달(Store and Forward) 방식을 통해 단말로부터 수신한 프레임을 자신의 기본 게이트웨이에 해당하는 두 개의 브릿지로 전송한다. 따라서 게이트웨이는 서로 다른 목적지 MAC 주소를 가지는 서로 다른 두 프레임을 생성한다. 반면, 통합 스위치 시스템의 허브는 주소와 프로토콜을 가지지 않는 단순한 하드웨어 멀티캐스트 장비(멀티-포트 리피터)로써, 통합 스위치가 수신하는 중복 프레임은 단말이 하나의 인터페이스를 통해 전송한 프레임의 복제본이다. 허브를 통한 중복 프레임이 서로 다른 MAC 주소를 가지는 두 통합 스위치에 성공적으로 수신되기 위해서는 (그림 10)의 (a)와 같이 단말은 하나의 인터페이스를 통해 두 개의 프레임을 전송해야 한다.

통합 스위치 시스템에서 (그림 10)의 (a)를 구현하기 위해 단말 프로토콜을 수정해야 하는 번거로움을 해결하는 가장 간단한 방안은 (그림 10)의 (b)와 같이 두 통합 스위치의



(그림 10) 통합 스위치 시스템에서 허브의 중복 전송 기능

MAC 주소를 동일한 값으로 설정하는 것이다. 그러나 두 통합 스위치는 동일한 MAC 주소를 가지더라도 게이트웨이의 서브네트워킹(Subnetworking) 기능을 제공하기 위해 서로 다른 IP 주소를 유지할 필요가 있다. 따라서 두 통합 스위치가 서로 다른 IP 주소와 서로 동일한 MAC 주소를 가지는 것은 본 논문에서 제안하는 통합 스위치 시스템의 중요한 구현 명세가 된다.

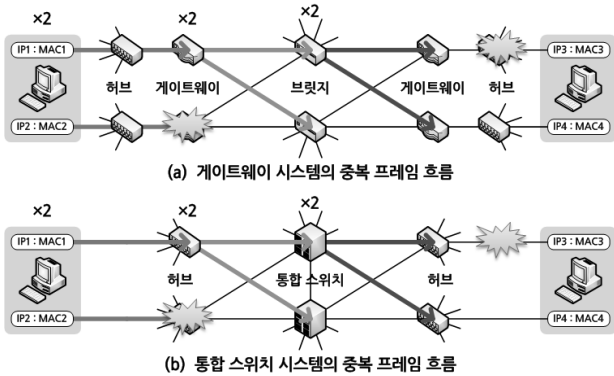
지금까지 살펴 본 SAN의 중복 전송 기능에 따라 각각의 노드들은 1-Hop 너머의 네트워크 장애에 대한 불확실성을 극복하기 위해 이웃 노드를 향하여 복제 프레임을 전달한다. 이 불확실성은 프레임의 목적지로부터 발신지로 후위 전파되는 특성을 가지므로, 두 네트워크에는 모두 최대 8개의 중복된 프레임이 흐르게 된다. 중복 전송 기능의 이러한 플러딩(Flooding) 유사 기법은 동시다발적인 네트워크 장애 상황에서 단말 간 하나의 전송 경로만 확보하면 프레임 전달을 보장할 수 있다.

4.2 단말 프로토콜의 생존성 개선

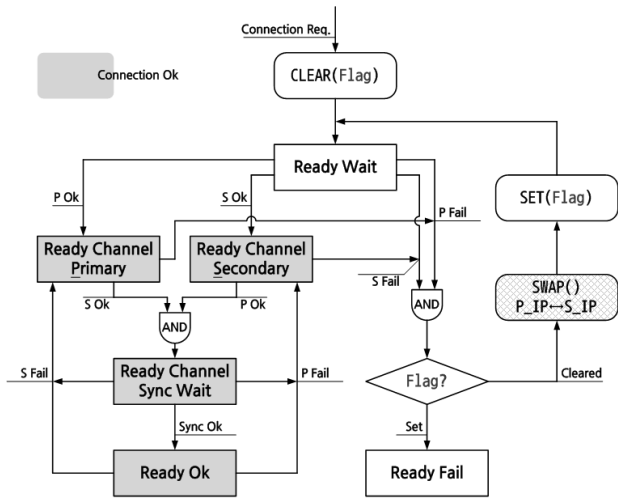
표준에서 기술한 두 인터페이스 간의 독립적인 세션 설정에 따르면, 사실 (그림 9)의 두 쌍의 단말은 통신이 불가능하다. 이들 단말 사이에는 주 또는 부 인터페이스 간의 세션 설정이 이루어지지 않기 때문이다. 이와 같이 이중화 SAN 토폴로지에서는 물리적으로 연결되어 있더라도 논리적인 연결이 설정되지 않는 경우가 발생한다.

중복 전송 프로토콜의 이러한 문제점을 해결하기 위해 다음 두 사항을 고려하였다. 이중화 SAN 토폴로지 에서 두 개의 트리형 토폴로지는 게이트웨이-브릿지, 혹은 통합 스위치-허브 간의 교차 링크로 결합되어 있다. 그리고 세션 설정은 TCP/IP 프로토콜의 기능이므로, IEC 61162-410 표준에서 정의한 주 IP 및 부 IP의 범위 제한에 영향을 받지 않는다. 이를 바탕으로 본 논문은 Active open을 수행하는 클라이언트 단말이 세션 실패를 인지할 경우, Passive open을 수행하는 서버 단말의 주 IP와 부 IP를 바꾸어 통신하는 방안을 제안한다.

(그림 11)은 제안 방안을 단말 프로토콜에 적용하기 위하여 IEC 61162-410 전송 프로파일에 명세된 Redundancy 통신 모드를 수정한 것으로, 두 세션 설정이 모두 실패할 경우, 준비 실패(Ready Fail) 상태로 가기 전 목적지(서버)의 주 IP와 부 IP를 바꾸어 세션 설정을 한 번 더 시도하는 기능을 추가하였다. 이 방안은 ATP 모듈만을 수정하기 때문에 IEC 61162-410 전송 프로파일의 다른 모듈에 영향을 끼치지 않으면서 SAN의 생존성을 개선한다.



(그림 9) 중복 전송 프로토콜에 의한 프레임 흐름 분석



(그림 11) 제안하는 중복 전송 프로토콜의 상태 전이도

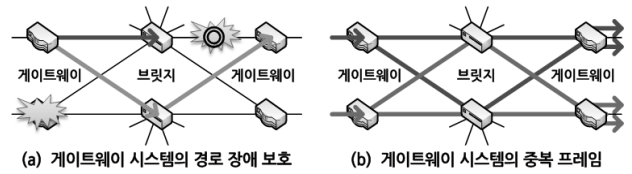
4.3 중앙 장치 프로토콜의 효율성 개선

모든 네트워크 노드가 중복 전송하는 상황을 고려한 (그림 9)는 SAN의 생존성뿐만 아니라 효율성에 관한 문제점을 보여주고 있다. 중복 전송에 의해 동일한 정보를 담은 다수의 프레임이 전달되더라도, 몇 개의 프레임은 수신지의 프로토콜 스택에서 폐기되어 응용 영역까지 도달하지 않는다. 이러한 중복 전송 프레임은 SAN의 생존성을 향상시키지 않으면서, 네트워크 처리량을 악화시킬 뿐이다.

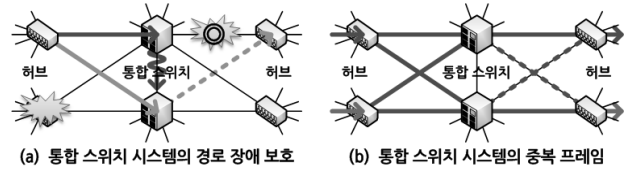
동일한 네트워크 생존성을 나타내면서 중복된 프레임의 개수를 줄일 수 있는 중복 전송 기능의 효율성 개선 방안을 제안하기 위해, 다음과 같은 실제의 선박 통신 상황을 분석하였다. 표준에서 기술한 단말 간의 두 인터페이스의 독립적인 세션 설정에 따라 중앙 장치인 브릿지와 통합 스위치에서 중복 전송하는 두 프레임 중 하나는 반드시 폐기된다. 그리고 선박 네트워크는 한 번 구축되면 거의 변경되지 않으므로, 중앙 장치는 정적인(네트워크 운용 전에 미리 설정된) 경로 배정 테이블을 유지한다.

따라서 중앙 장치는 중복 전송하여 폐기될 프레임을 전송 전에 판단할 수 있고, 그 결정은 정적인 경로 배정 정보를 바탕으로 즉시 수행된다. 즉, 중앙 장치에 대해 보호 기법 대신 복구 기법을 적용하면, 중앙 장치는 시간 지연 없이 동일한 네트워크 생존성을 나타내며 중복된 프레임을 제거할 수 있다. 따라서 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템 모두 목적지 단말에 도달하는 중복 프레임의 개수를 8개에서 **4개**로 감소시킨다. 이와 같이 중복 전송 프로토콜의 트래픽 효율성을 향상시키는 방법은 중앙 장치의 경로 배정 기능을 활용하는 것과 밀접한 관련이 있다.

그러나 예를 들어, (그림 12)의 (a)가 보여주는 것처럼 ㉠ 지점에서 장애가 발생하면 브릿지는 프레임 전달을 보장하기 위한 더 이상의 개선 방안을 고려할 수 없다. 이러한 프레임 전달의 불확실성은 후위로 전파되어 게이트웨이는 두 브릿지로 중복된 프레임을 전송해야 한다. 그러므로 게이트웨이 시스템에서는 (그림 12)의 (b)가 나타내는 바와 같이,



(그림 12) 게이트웨이 시스템의 경로 보호



(그림 13) 통합 스위치 시스템의 경로 보호

4개의 중복 프레임이 SAN의 최고 생존성을 나타내는 최소 트래픽이 된다.

(그림 13)의 (a)의 통합 스위치는 동일한 경로 장애를 인지하면, 해당 정보를 통합 스위치 간의 링크를 통해 이웃 통합 스위치에 통지하여 경로 복원을 명시적으로 요청한다. 만약 이러한 경로 복원 신호가 없다면, 허브가 전송한 두 복제 프레임 중 하나는 통합 스위치의 Subnet Masking을 통해 필터링 된다. 따라서 네트워크가 안정된 상황(경로 복원 요청이 없는 상황)에서 통합 스위치 시스템은 (그림 13)의 (b)와 같이 단말 간의 두 세션에 각각 하나씩 대응하는 **2개**의 중복 프레임만으로 4개의 프레임을 중복 전송할 때와 동일한 생존성을 나타낸다.

통합 스위치의 Subnet Masking은 통합 스위치 IP 주소와 프레임 목적지 IP 주소의 Subnet Number를 비교하는 작업이며, Subnet Number의 계산식은 (식 2)와 같다. (식 2)는 프레임이 전송될 주 또는 부 네트워크와 함께 프레임의 단일 전송 경로에 위치하는 주 또는 부 통합 스위치를 구분함으로써, 허브에서 중복 전송하는 프레임 중 하나를 제거하여 SAN의 최적 효율을 제공한다.

$$\text{Subnet Number} = (255.255.0.0) \& (\text{IP Address}) \quad (\text{식 } 2)$$

경로 장애를 감지하기 위한 통합 스위치의 가장 중요한 기능은 이웃 노드와 주기적으로 생존(Keep-alive) 메시지를 교환하고, 타임-아웃에 근거하여 특정 노드를 향한 경로 결손을 판단하는 것이다. 그 결과, 각 통합 스위치는 자신이 담당하는 경로 배정 정보와 함께 이웃 통합 스위치가 미리 제공한 경로 복원 정보를 기반으로, 여전히 정적인 경로 배정을 매우 빠르게 수행한다.

5. 성능 평가

본 장에서는 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템을 대상으로, 선박 사고 상황을 시뮬레이션하여 시스템의 생존성을 정량적으로 평가한다. 그리고 시뮬레이션 결과 분석을

통해 검증된 성능 우수성에 근거하여, 앞서 이론적 평가에서와 마찬가지로, 고생존 SAN으로서 통합 스위치 시스템을 제안한다.

5.1 생존성 평가 시뮬레이션

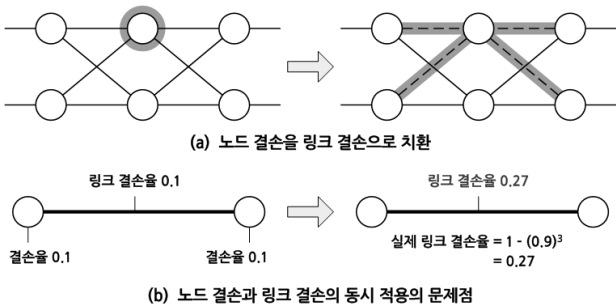
실제 선박 사고 상황에서는 동시다발적인 네트워크 장애가 발생한다는 점을 고려하면, 네트워크의 생존성은 다수의 네트워크 구성 요소의 결손 상황에서 단말 간의 전송 경로 설정 가능성을 나타내는 것이 적합하다. 이는 앞서 토폴로지의 신뢰율을 분석한 것과 동일한 접근 방식으로, 시뮬레이션은 계산식에 의한 신뢰율 산출이 어려운 이중화 SAN에 대해 정량적인 생존성 측정을 목적으로 한다.

시뮬레이션 방법은 (그림 6)에서 모델링한 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템을 대상으로 변화하는 확률(결손율)에 따라 네트워크 구성 요소(노드와 링크)를 제거하여, 서로 다른 서브네트워크에 위치한 두 단말 S와 D의 연결 설정 여부(Connectedness)를 통계하는 방식을 사용하였다. 이때, 새로운 네트워크 생존성 지표로 연결율(Connectedness ratio)을 정의한다. 연결율은 동일한 네트워크 구성 요소 생존율을 기반으로 임의 생성한 총 그래프(Total Graph)에 대해 단말 간 연결이 설정된 그래프(Survivable Graph)의 개수의 비(식 3)로 나타낸다.

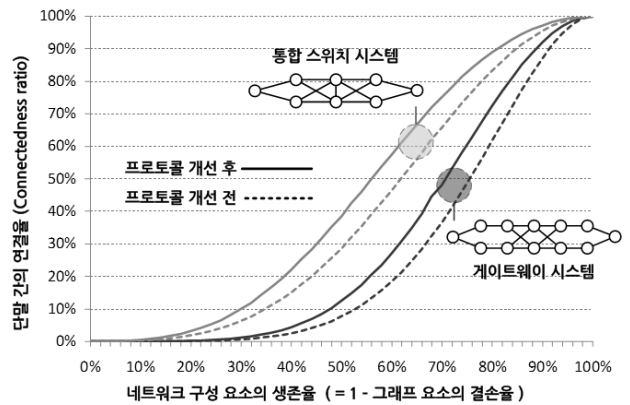
$$\text{Connectedness Ratio} = \frac{\text{Count of Survivable Graphs}}{\text{Total of Randomly Created Graphs}} \quad (\text{식 3})$$

시뮬레이션에서 노드 결손 상황은 해당 노드와 연결된 모든 링크의 결손으로 치환되므로, 확률적인 노드 결손과 링크 결손을 동시에 적용시킬 경우, 실제 링크 결손율은 노드 결손율에 영향을 받아 더 큰 값을 나타내는 문제점이 발생한다(그림 14). 이러한 이유로, 생존성 평가 시뮬레이션은 링크 결손 및 노드 결손 상황을 구분하여 수행하였으며, 시뮬레이션 결과로서 연결율 지표는 두 상황에 대한 평균값을 의미하도록 조정하였다.

네트워크 결손 시뮬레이션을 두 이중화 토폴로지에 대해 프로토콜 개선 전후의 환경에서 수행한 결과는 (그림 15)와 같다. 이 결과는 본 논문에서 제안하는 통합 스위치 시스템



(그림 14) 노드 결손과 링크 결손의 관계



(그림 15) 시뮬레이션을 통한 이중화 SAN의 생존율 성능

이 모든 구간에서 게이트웨이 시스템보다 우수한 네트워크 생존율을 가지는 것을 보여준다.

5.2 시뮬레이션 결과 분석

(그림 15)의 시뮬레이션 결과를 통해 통합 스위치 시스템에서는 각 네트워크 구성 요소의 생존율이 64% 이상이면 이중화 SAN 구축을 통한 생존율 성능 이득이 발생하는 것을 확인하였다. 반면, 게이트웨이 시스템에서는 네트워크 구성 요소의 생존율이 88% 이상을 만족시켜야 생존율 성능 이득이 발생한다. 이중화 SAN 구축의 목적이 낮은 생존율을 가지는 네트워크 구성 요소를 조합하여 전체 시스템의 생존율을 향상시키는 것이라는 점을 고려하면, 이 분석 결과는 비교적 높은 확률로 네트워크 구성 요소 결손이 발생하는 선박 사고 상황을 대비하기 위한 통합 스위치 시스템 구축의 타당성을 보여준다.

또한, 통합 스위치 시스템에서는 네트워크 구성 요소 장애율(결손율)이 4.3% 이하인 영역에서, 네트워크 결손이 거의 발생하지 않는다고 판단할 수 있는 99.5% 이상의 네트워크 생존율을 달성한다. 반면, 게이트웨이 시스템에서는 2.4% 이하를 만족시켜야 한다. 이는 선박 사고 상황이 아니더라도 자체 결함에 의한 네트워크 구성 요소 장애가 발생하는 상황에서, 통합 스위치 시스템의 결함-허용(Fault Tolerance) 성능의 상대적 우수성을 나타내는 것이다.

그리고 두 시스템 모두 공통적으로 프로토콜 수정 (실선)을 통해 그 이전(점선)보다 생존율이 개선되었다. 분석 결과, 네트워크 생존성을 위해 제안된 프로토콜은 평균적으로 게이트웨이 시스템에서는 4.2%, 통합 스위치 시스템에서는 4.9%의 생존율을 향상시키는 것을 확인하였다. 또한 네트워크 효율성을 위해 제안된 프로토콜은 불필요하게 중복 전송되는 프레임 제거하며, 특히 통합 스위치 시스템은 표준에 의한 2개의 중복 프레임만으로 최적 생존성 및 효율성을 달성한다.

<표 1>은 프로토콜 개선 전과 후의 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템의 성능을 비교한 결과를 나타내고 있다.

〈표 1〉 프로토콜 개선 전후, 게이트웨이 시스템과 통합 스위치 시스템의 생존성 및 효율성 비교

		SAN의 생존성 성능 이득이 발생하는 조건	SAN 생존율 99.5% 이상을 나타내는 조건	중복 전송되는 프레임 개수
프로토콜 개선 전	게이트웨이 시스템	네트워크 각 구성 요소의 최소 생존율 94%	네트워크 각 구성 요소의 허용 장애율 1.7%	8 개
	통합 스위치 시스템	네트워크 각 구성 요소의 최소 생존율 76%	네트워크 각 구성 요소의 허용 장애율 3.3%	8 개
프로토콜 개선 후	게이트웨이 시스템	네트워크 각 구성 요소의 최소 생존율 88%	네트워크 각 구성 요소의 허용 장애율 2.4%	4 개
	통합 스위치 시스템	네트워크 각 구성 요소의 최소 생존율 64%	네트워크 각 구성 요소의 허용 장애율 4.3%	2 개
비 고		최소 생존율이 낮을수록 생존성 성능 이득이 증가	허용 장애율이 높을수록 장애 상황에 유연	중복 전송 프레임 개수가 적을수록 네트워크 부하 감소

6. 결 론

조선 기술과 정보 기술을 융합시킨 지능형 선박 기술은 차세대 조선 산업의 신규 기술로써, 고품질 선박 제조를 통해 고부가가치를 창출하는 잠재적 가능성을 지니고 있다. 그러나 이 융합 기술은 현재 개념 정립 단계이며, 특히 선박의 최적 통신망에 대한 연구 사례는 국내외적으로 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 선박 통합 네트워크를 구축하는 SAN에 대한 초기 연구 결과로, 지능형 선박의 고생존 SAN으로서 통합 스위치 시스템을 제안하였다. 통합 스위치 시스템은 네트워크 생존성뿐만 아니라 트래픽 효율성에 우수한 성능을 나타내며, 다양한 접근 방법에 따른 이론적 분석 및 실험 결과를 통해 그 최적 성능을 검증하였다.

본 논문을 통해 연구된 통합 스위치 시스템은 향후 지능형 선박의 다양한 서비스들을 지원하는 통신 인프라로 활용될 수 있으며, 그 결과 지능형 선박 제조에 필요한 비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 SAN이 미래 지능형 선박에서 제공하는 다양한 서비스들을 위한 핵심 기반 기술임을 감안하면, 이에 대한 원천 기술 확보는 국내 선박 제품의 국가 경쟁력을 향상시키고, 국내 조선 산업체가 세계 시장을 주도하는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 김재명, "IT 기반 선박 토탈 솔루션 기술 개발 현황과 추진 방향", IT SoC Magazine 2008년 11월호, pp.40-47, 2008.
 [2] 오문균, 박윤용, 김재명, 함호상, "조선 IT 융복합 기술 동향 및 산업 전망", 한국정보처리학회지, 제16권, 제4호, pp.47-56, 2009.
 [3] 이병길, 한중욱, 조현숙, "IT 융합환경에서 안전한 해상교통관제 및 해상보안기술", 한국정보처리학회지, 제16권, 제4호, pp.64-74, 2009.
 [4] 이원호, 김창민, 최중락, 강일권, 김용기, "지능형 선박의 자율

운항제어를 위한 시뮬레이션 시스템의 설계 및 구현", 한국정보처리학회논문지B, 제10권, 제4호, pp.403-410, 2003.
 [5] 김재양, 정선태, 임준석, 박종원, 홍기용, 임용곤, "디지털 선박을 위한 선박 통합화 네트워크 설계 및 구현", 한국해양정보통신학회논문지, 제9권, 제6호, pp.1202-1210, 2005.
 [6] L-Der Chou and Jeng Yih Juang, "Network- Integrated Ship Automatic System and Internetworking to the Internet," Journal of Marine Science and Technology, Vol.4, No.1, pp.35-41, 1996.
 [7] IEC61162-410, "Multiple Talkers and Multiple Listeners - Ship System Interconnection - Transport Profile Requirements and Basic Transport Profile," 2001.
 [8] LT Jeffrey L. Paige, "SAFENET: The Standard and its Application," Proceedings of the 15th Conference on Local Computer Networks, pp.268-273, 1990.
 [9] Arun Somani, "Survivability And Traffic Grooming In WDM Optical Networks," Cambridge University Press, 2006.
 [10] 손치원, 신정화, 탁성우, "네트워크 생존성과 트래픽 효율성을 고려한 선박 통신 시스템(SAN)에 관한 연구", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회, 16권, 제1호, pp.1132-1135, 2009.
 [11] 임용곤, 박종원, "지능형 디지털 선박의 구현방안", 대한조선학회논문집, 제45권, 제5호, pp.554-561, 2008.
 [12] Douglas B. West, "Introduction to Graph Theory," 2nd ED, Prentice Hall, 2000.
 [13] Scott L. Miller, Donald Childers, "Probability and Random Processes," Elsevier, 2004.

손 치 원

e-mail : sonchiwon@gmail.com

2008년 부산대학교 정보컴퓨터공학부(학사)
 2008년~현 재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야: IT조선융합, 무선 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 응용 수학 이론





신정화

e-mail : shinjh@pknu.ac.kr
1997년 한국방송통신대학교 컴퓨터과학과 (학사)
2000년 부경대학교 전산정보학과(이학석사)
2006년 부경대학교 전자계산학과(이학박사)
2007년~2009년 부산대학교 U-Port 정보 기술산학공동사업단 전임연구원
2009년~현재 한국연구재단 지원 박사후국내연수과정
관심분야: 암호이론, 네트워크 이론, P2P Security, Reputation Management System, Incentive Mechanism



정민영

e-mail : jminyoung44@gmail.com
2009년 부산외국어대학교 컴퓨터공학부(학사)
2009년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정
관심분야: IT조선융합, 네트워크 토폴로지



문경덕

e-mail : kdmooon@etri.re.kr
1990년 한양대학교 전자계산학과(학사)
1992년 한양대학교 전자계산학과(이학석사)
2005년 ICU 정보통신공학부(공학박사)
1992년~1996년 시스템공학연구소 연구원
1997년~1999년 한국전자통신연구원 선임 연구원

2000년~현재 한국전자통신연구원 그린컴퓨팅미들웨어연구팀장
관심분야: 홈 네트워크, u-컴퓨팅, Green ICT, IT조선융합



박준희

e-mail : juni@etri.re.kr
1995년 충남대학교 컴퓨터과학과(학사)
1997년 충남대학교 컴퓨터과학과(이학석사)
2005년 충남대학교 컴퓨터과학과(이학박사)
1997년~현재 한국전자통신연구원 선임 연구원

관심분야: 홈 네트워크, 미들웨어, IT조선융합



이광일

e-mail : leeki@etri.re.kr
1993년 충남대학교 컴퓨터과학과(학사)
1996년 충남대학교 컴퓨터과학과(이학석사)
2001년 충남대학교 컴퓨터과학과(이학박사)
2000년~2002년 미국 국립표준기술 연구소 연구원

2002년~2004년 미국 매릴랜드대학교 연구원
2004년~2006년 미국 텍사스주립대학교 연구원
2006년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야: 홈 네트워크, 스위칭/라우팅, 미들웨어, IT조선융합



탁성우

e-mail : swtak@pusan.ac.kr
1995년 부산대학교 컴퓨터공학과(학사)
1997년 부산대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
2003년 미국미주리주립대학교 Computer Science(공학박사)
2004년~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 부교수

2004년~현재 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소 겸임연구원
관심분야: 유무선 네트워크, SoC 설계, 실시간 시스템, 위치인식, 최적화 기법, 그래프 이론, 큐잉 이론