

네트워크 생존성과 트래픽 효율성을 고려한 선박 통신 시스템(SAN)에 관한 연구

손치원*, 신정화*, 탁성우**
*부산대학교 컴퓨터공학과
**부산대학교 정보컴퓨터공학부
e-mail: sonchiwon@gmail.com

A Study on The Ship Area Network(SAN) for Network Survivability and Traffic Efficiency

Chiwon Son*, Junghwa Shin*, Sungwoo Tak**

*Department of Computer Science, Pusan National University

**School of Computer Science and Engineering, Pusan National University

요 약

최근 지능형 선박(Smart Ship)에 탑재되는 정보화 장비의 종류 및 수량이 증가하고 있는 조선 산업계 동향에도 불구하고, 이들 장비를 효율적으로 통합하고 제어할 수 있는 선박의 백본 네트워크에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 지능형 선박의 특수성을 고려한 백본 네트워크로, 네트워크 생존성과 트래픽 효율성 측면에서 최적 성능을 나타내는 선박 통신 시스템(SAN: Ship Area Network)을 설계하고자 한다. 이를 위해 지능형 선박에 설치되는 이중화 네트워크 토폴로지 및 이를 효율적으로 운용하는 통신 프로토콜에 대한 연구를 수행하였다. 또한 제안한 선박 통신 시스템의 최적 성능을 그래프 이론, 시뮬레이션, 그리고 구현 명세 등을 포함한 체계적이고 실증적인 분석을 통해 검증하였다.

1. 서론

현재 조선 산업계에서는 정보 기술을 기반으로 선박 운용의 자동화 및 무인화 서비스를 제공하는 지능형 선박(Smart Ship)에 대한 관심이 증가하고 있다[1]. 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. 그러나 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 상태이다. 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].

국내 조선 산업계는 이와 같은 불리한 여건을 극복하기 위해 국내 대형 조선업체와 정보 기술 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[2], Shipboard LAN(Local Area Network)[3], 그리고 Redundant Internet[4] 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[2]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 안정성, 신뢰성, 그리고 정밀성을 향상시키기 위한 목적으로 지능형 선박에 탑재되는 정보화 장비의 종류 및 수량의 증가에 따라, 선박의 임시적인 백본 네트워크를 대체할 수 있는 선박 통신 인프라 구축의 필요성이 대두되었다. 이에 국내 조선 산업계는 지능형 선박의 백본 네트워크 기술로 선박 통신 시스템(SAN: Ship Area Network) 기술을 정의하고, 관련 기술 개발을 진행하고 있다[1].

SAN은 지능형 선박에 구축되는 백본 네트워크라는 점에서 고수준의 생존성 및 효율성 성능을 만족해야 한다. 이에 본 논문에서는 SAN의 구축 환경의 특수성과 성능 요구 사항을 고려하여 네트워크 생존성과 트래픽 효율성 측면에서 최적화된 SAN을 설계하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 SAN의

※ 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원 (07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

설계 시 필요한 요구 사항을 분석한다. 3장에서는 지능형 선박의 이중화 네트워크 토폴로지를 설계하고 4장에서는 이를 운용하는 통신 프로토콜에 대한 개선 방안을 제안한다. 그리고 5장에서는 본 논문에서 제안한 SAN의 성능을 분석한 다음 결론을 맺는다.

2. 선박 통신 시스템의 요구 사항 분석

SAN은 안전한 선박 운용을 위해 고수준의 네트워크 생존성 성능을 제공해야 한다. 자동화 및 무인화 특징을 가지는 지능형 선박에서 충돌, 침수 등과 같은 선박 사고에 의한 SAN의 결손은 운항 장애를 유발할 뿐만 아니라, 최악의 경우 인명 재해의 원인이 된다. 그러므로 산업계 표준은 지능형 선박에서 정보화 장비들의 통신 시 이중화 경로를 사용할 것을 권고하고 있다[4]. 또한 SAN은 선박의 모든 정보화 장비가 연결된 백본 네트워크로, 대용량의 트래픽을 효율적으로 처리할 수 있어야 한다. 산업계 표준에 따라 지능형 선박의 정보화 장비들이 이중화 경로를 사용하여 통신할 경우 네트워크 가용성이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 일정 수준의 네트워크 생존성 성능을 보장하면서도 트래픽 효율성을 향상시키는 기법에 대한 연구가 필요하다[3][4].

이와 같은 사항을 고려할 때, SAN에 기존의 인터넷 백본 네트워크 기술을 적용하는 것은 성능 및 비용 측면에서 부적합하다. 따라서 지능형 선박의 특수성에 최적화된 새로운 백본 네트워크 기술 개발이 필요하다. 또한 새롭게 구현되는 SAN은 기존에 연구된 선박-육상 통합 플랫폼에 끊임없이(seamless) 수용되고, 성능 개선을 위한 지속적인 지원이 가능하도록 국제 표준 및 산업 표준을 채택한 개방형 구조를 가져야 한다.

3. 지능형 선박의 이중화 네트워크 토폴로지 설계

네트워크 생존성 성능은 네트워크 토폴로지 특성과 밀접한 관련이 있다. 이에 본 논문에서는 SAN의 생존성을 향상시키기 위해 경로 장애에 대비하여 예비 경로를 사용하는 보호 기법[5]을 적용한 이중화 네트워크 토폴로지를 설계하고자 한다.

지능형 선박 서비스의 요구 사항을 만족시키고 현재 사용되고 있는 선박의 임시적인 백본 네트워크를 개선하기 위해, 국내 대형 조선업체는 [그림 1.(a)]와 같은 구조를 가지는 지능형 선박의 백본 네트워크를 개발하였다[6]. 이 구조는 단말을 포함한 전체 네트워크가 두 개의 독립적인 네트워크로 이중화되어 임의의 경로 장애를 대비한 보호 경로를 가지고 있다. 또한 이 구조는 트리(Tree)형 토폴로지로 설계되어 네트워크 장애를 일정 영역으로 제한하고, 중앙 장치에 해당하는 브릿지가 선박 관제실에 위치하여 전체 네트워크의 감시와 유지가 용이한 이점을 가진다.

본 논문에서는 [그림 1.(a)] 구조가 가지는 네트워크

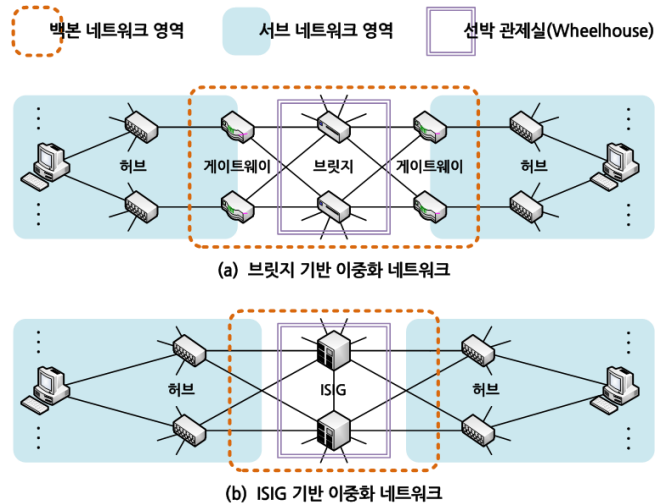


그림 1. 이중화 네트워크 토폴로지

생존성 강점과 중앙 집중형 특징을 현재 국내를 중심으로 활발히 연구되고 있는 자율 운항 제어 시스템 (INS: Intelligent Navigation System)[7] 개발과 접목하여 [그림 1.(b)]와 같은 SAN의 네트워크 토폴로지를 제안하였다. 자율 운항 제어 시스템은 지능형 선박의 1인 제어 시스템으로, 선상에서의 의사 결정을 지원하기 위해 정보화 장비로부터 자료를 수집하고, 저장, 처리하는 임베디드 네트워킹 기술을 통해 구현된다. 국내 정보 기술 연구소에서는 이와 같은 기술이 탑재된 임베디드 장비를 ISIG(Intra Ship Integrated Gateway)라 하고 해당 장비의 개발을 본 연구와 동시에 진행하고 있다[6]. ISIG는 본 논문에서 제안한 SAN의 트리형 네트워크 토폴로지로서 루트에 해당하는 것으로, 중앙 장치의 역할을 수행할 뿐만 아니라 서브 네트워크들의 인터넷네트워킹을 지원하여 게이트웨이와 브릿지의 기능을 통합한다.

본 논문에서 제안한 SAN의 네트워크 토폴로지가 기존의 네트워크 토폴로지보다 더 우수한 네트워크 생존성 성능을 가지는 것을 확인하기 위해 그래프 이론을 사용하여 [그림 1]의 두 토폴로지를 비교, 분석해 보았다. 그래프 이론을 적용하기에 앞서 [그림 1]의 두 네트워크 토폴로지를 그래프 표현 방식을 사용하여 모델링 하고, 두 그래프를 각각 브릿지 그래프와 ISIG 그래프로 표기하였다. 그래프 모델링 작업은 네트워크 생존성 성능 비교 목적에 맞도록, 대상 네트워크를 한 쌍의 단말 S와 D에 대한 프레임 전송 경로를 포함하는 부분 네트워크로 단순화하여 그래프 변환을 수행하였다. [그림 2]는 그래프 변환 결과를 나타낸다.

그래프 이론에서 Connectivity는 하나의 컴포넌트로

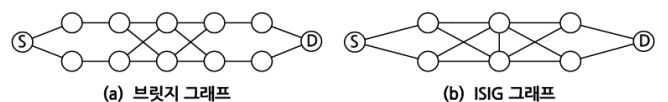


그림 2. 두 네트워크 토폴로지에 대한 그래프 모델

구성된 그래프를 몇 개의 그래프 요소(노드 또는 링크)를 제거하여 두 개의 컴포넌트로 변환시킬 때, 제거된 그래프 요소들로 구성된 집합들 중 최소의 개수를 가지는 집합의 원소의 개수로 정의된다. Menger의 정리에 따르면 Connectivity는 그래프 내의 임의의 두 노드 간 서로소인 경로의 개수를 뜻하는 것으로 알려져 있다[8]. 브릿지 그래프와 ISIG 그래프에 Menger의 정리를 적용시켜 보면 두 개의 그래프 모두 2의 Connectivity를 가진다. 이는 이중화 네트워크 토폴로지의 특징으로 두 네트워크 모두 네트워크의 가장 취약 지점에서도 하나의 전송 경로 장애에 대비한 여분의 전송 경로를 확보하고 있음을 의미한다.

실제 선박 사고 상황에서 동시다발적으로 네트워크 장애가 발생한다는 점을 고려하면, 네트워크의 단일 지점 장애에 대한 우회 경로 존재 여부만을 평가하는 Connectivity 외에 또 다른 평가 요소를 정의하여 네트워크 생존성 성능을 분석하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 동시다발적인 네트워크 장애 상황을 시뮬레이션 하여 전송 경로 확보 가능성을 분석하고 평가하였다. 시뮬레이션 방법은 앞서 정의된 그래프 모델을 대상으로, 변화하는 확률에 따라 그래프 요소들을 제거시키며 단말 S와 D의 연결 설정 여부(Connectedness)[6]를 통계하여, 그 연결율을 도출하는 방식을 사용하였다. [그림 3]의 연결율 성능 비교 결과는 본 논문에서 제안한 SAN의 네트워크 토폴로지 구조(ISIG 그래프)가 더 우수한 네트워크 생존성을 가지는 것을 보여준다.

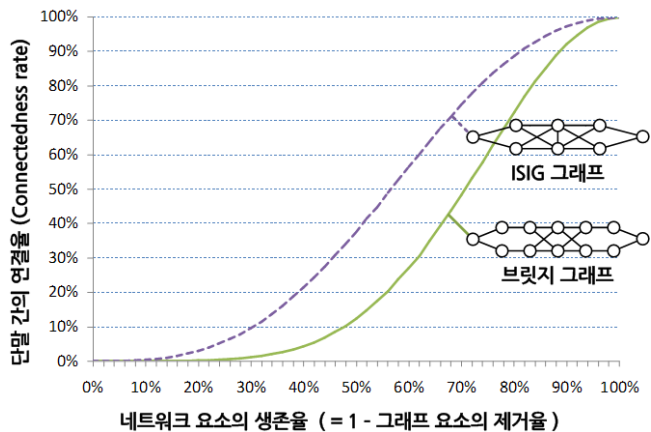


그림 3. 브릿지 그래프와 ISIG 그래프의 연결율 성능 비교

4. 복제 프레임 전송 프로토콜의 개선 방안

SAN의 생존성 성능은 이중화 네트워크 토폴로지와 함께 이를 운용하는 프로토콜의 기능에 의해 결정되므로, 산업계 표준에서는 네트워크 생존성을 향상시키는 방법으로 이중화 경로를 통해 복제 프레임을 전송하는 Redundancy 제공 프로토콜[4]을 정의하고 있다. 그러나 이 방법은 네트워크가 안정된 상황에서는 중복된 프레임을 전송하기 때문에 네트워크의 트래픽 효율을

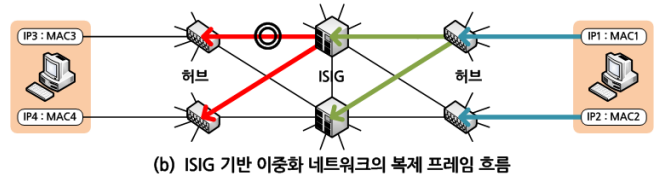
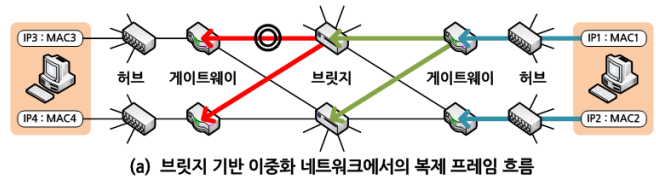


그림 4. Redundancy 제공 프로토콜에 의한 프레임 흐름 추적

저하시키는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 Redundancy 제공 프로토콜의 생존성과 효율성 관점에서 트레이드오프를 분석하고, 최적 성능의 SAN을 위한 Redundancy 제공 프로토콜의 개선 방안을 제안한다.

[그림 4]는 Redundancy 제공 프로토콜을 분석하기 위해 3장에서 다룬 두 이중화 네트워크에서 프레임의 흐름을 추적한 결과를 나타낸다. 또한 이 그림은 단말이 두 개의 서로 다른 주소를 가지는 인터페이스를 통해 백본 네트워크에 연결되어 있는 상황과 함께 네트워크 구성 노드들에 의한 복제 프레임 전송 과정을 설명하고 있다.

각각의 노드들은 1-Hop 너머의 네트워크 장애에 대한 불확실성 때문에 이웃 노드를 향하여 복제 프레임을 전송하고, 이 불확실성이 프레임의 목적지로부터 발신지 후위 전파되는 특성에 따라 두 네트워크에는 모두 최대 8개의 중복된 프레임이 흐르게 된다. 이와 같은 Redundancy 제공 프로토콜의 플러딩(Flooding) 유사 기법은 동시다발적인 네트워크 장애 상황에서 단말 간 하나의 전송 경로만 확보하면 프레임 전송을 보장하는 장점을 가진다. 그러나 1-Hop 너머의 경로 상태를 미리 인지할 수 있으면, 프레임을 복제하지 않고 프레임 전송을 보장할 수 있으므로, 중복된 프레임은 트래픽 오버헤드가 된다. 이와 같이 동일한 네트워크 생존성 성능을 나타내며 중복된 프레임의 전송을 줄이는 Redundancy 제공 프로토콜의 개선 방안에 착안하여, 구현을 위해 다음과 같은 실제 통신 상황을 분석하였다.

산업계 표준은 Redundancy 제공 프로토콜의 복제 프레임 전송 기능과 함께 단말 간 두 개의 독립적인 세션 설정을 기술하고 있다[4]. 이에 따르면 송신 단말이 가진 하나의 인터페이스는 수신 단말의 하나의 인터페이스와 논리적인 연결이 설정된다(예를 들면, IP1-IP3 또는 IP2-IP4). 따라서 브릿지 또는 ISIG에서 전송하는 복제 프레임 중 하나는 수신지의 프로토콜 스택에서 폐기되어 응용 영역까지 전달되지 않으므로, 해당 프레임은 네트워크 생존성 성능을 향상시키지 않는다. 또한 이 표준은 두 인터페이스의 IP 주소 범위를 명시하고 있고 선박의 백본 네트워크는 한 번 구축되면 변경되지

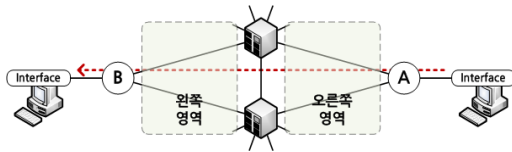


그림 5. [그림 4.(b)]의 부분 네트워크

않으므로, 브릿지와 ISIG에서의 프레임 경로 배정은 정적인 정보를 기반으로 매우 빠르게 수행된다. 즉, 실제 통신 상황에서는, 장애 인지 후 대처하는 복구 기법[5]을 브릿지와 ISIG에 적용하더라도 예비 경로를 동시에 운용하는 보호 기법과 동일한 네트워크 생존성 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

이와 같이 Redundancy 제공 프로토콜의 트래픽 효율성을 향상시키는 방법은 브릿지와 ISIG의 경로 배정 기법을 개선하는 것과 밀접한 관련이 있다. 그러나 일례로 [그림 4]의 ◎지점에서 경로 장애가 인지되더라도 [그림 4.(a)]의 브릿지는 프레임 전송을 보장하기 위한 어떤 노력도 할 수 없기 때문에 그 개선 방안을 전혀 고려할 수 없다(이와 같은 불확실성은 후위로 전파되어 게이트웨이는 두 브릿지를 향해 복제 프레임을 전송한다). 반면 [그림 4.(b)]에서는, 동일한 경로 장애를 인지한 ISIG가 단지 이웃 ISIG를 향해 프레임을 전송함으로써 장애를 효율적으로 복구할 수 있다.

이를 [그림 5]를 통해서 자세히 살펴보면 다음과 같다. 만약 두 영역 중 한 영역에 포함된 두 개의 링크에 모두 장애가 발생한 상황이라면, A에서 복제 프레임을 두 ISIG로 전송하더라도 두 프레임 모두 B에 도달할 수 없다. 그렇지 않은 경우에는, A가 둘 중 하나의 ISIG로 한 프레임만 전송하더라도 1-Hop 너머의 경로 장애 여부를 인지한 ISIG가 해당 프레임을 적절한 경로로 배정할 것이기 때문에 그 프레임이 B에 도달하는 것이 보장된다. 이 때, ISIG의 역할은 이웃 노드(B)와 주기적인 생존(Keep-alive) 메시지를 교환하고, 해당 노드의 결손이 감지되면, 이웃 ISIG로 프레임의 전송 경로를 수정하는 것이다. 이 기능은 ISIG가 우선순위에 따른 경로 배정 테이블을 유지함으로써 구현된다.

이와 같이 제안된 SAN은 비교적 간단한 Redundancy 제공 프로토콜 개선을 통해 네트워크 생존성 성능을 유지하면서 중복된 프레임에 의한 대역폭 낭비를 줄여 트래픽 효율성 성능을 향상시킨다.

5. 결론

본 논문에서는 네트워크 생존성과 트래픽 효율성을 고려하여 지능형 선박에 최적화된 SAN을 제안하였다.

제안된 SAN은 통합 장치를 사용한 이중화 네트워크 토폴로지로 설계되어 우수한 네트워크 생존성 성능을 나타낸다. 실험을 통해 각 네트워크 구성 요소의 장애율이 36% 이하인 영역에서 제안된 SAN의 네트워크 토폴로지

구축을 통한 생존율 성능 이득이 발생하는 것을 확인하였다. 또한 장애율이 4.3% 이하를 만족할 경우 99.5% 이상의 네트워크 생존율을 나타내는 것을 확인하였다(비교: 기존의 시스템의 경우, 각각 12%와 2.4%). 그리고 제안된 SAN은 Redundancy 제공 프로토콜 개선을 통해 트래픽 효율성을 향상시킨다. 분석 결과, 백본 네트워크 노드들의 프레임 복제를 제거하고 단말에 의한 2개의 복제 프레임 전송만으로 동일한 네트워크 생존성 성능을 보장하는 것이 가능함을 확인하였다.

이와 같은 성능을 나타내는 제안된 SAN은 과거에 수행된 관련 연구에 끊임없이 수용되고, 추후 성능 개선을 위한 연구 지원이 가능한 개방형 구조를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 SAN은 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.

참고 문헌

- [1] 김재명, "IT 기반 선박 토탈 솔루션 기술 개발 추진 방향", 한국통신학회지(정보와통신), 제25권, 제6호, 2008년 5월
- [2] 김재양, 정선태, 임준석, 박종원, 홍기용, 임용근, "디지털 선박을 위한 선박 통합화 네트워크 설계 및 구현", 한국해양정보통신학회논문지, 제9권, 제6호, 2005년
- [3] 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, 1996
- [4] International Standard IEC61162-4, "Multiple Talkers and Multiple Listeners," First Edition, 2001
- [5] Arun Somani, "Survivability And Traffic Grooming In WDM Optical Networks," Cambridge University Press, 2006
- [6] 한국전자통신연구원, "이중화 네트워크를 효율적으로 운용하는 통신 프로토콜 연구", 2008년
- [7] 박종원, 임용근, 전동욱, 배진호, "디지털 선박의 구현방안", 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회, 2001년
- [8] Douglas B. West, "Introduction to Graph Theory 2nd Edition," Prentice Hall, 2000