
효율적인 네트워크의 구축 비용 및 성능을 고려한 선박 백본 네트워크의 설계기법

김혜진* · 탁성우*

*부산대학교

Design of a Ship Backbone Network for Effective Performance and Construct Cost

Hye-jin Kim* · Sung-woo Tak*

*Busan National University

E-mail : frvrhot@nate.com

요 약

본 논문에서는 선박 네트워크의 생존성과 효율성을 기반으로 선박 백본 네트워크의 설계 기법을 제안하였다. 현재 선박 네트워크의 표준은 IEC에서 담당하고 있으며 네트워크 생존성을 다루고 있는 표준 명세 IEC 61162-410은 이중화로 설계된 선박 네트워크가 존재한다는 가정하에 단말 기기가 이중화 네트워크를 통해 중복 프레임을 전송하여 선박 네트워크의 고생존성을 제공하기 때문에 이와 관련된 기존의 연구는 매우 미비하다. 이에 본 논문에서는 이중화 선박 백본 토폴로지 구조에 대하여 분석한 다음, 정수 선형 계획법을 사용한 선박 백본 네트워크의 최소 비용 배치 기법을 제안하였다. 그리고 정수 선형 계획 기법과 메타 휴리스틱 기법, 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 배치된 선박 백본 네트워크에서 효율적인 트래픽 할당 기법을 제안하였다. 설계한 이중화 선박 백본 네트워크의 설계 기법을 시험한 결과, 네트워크의 생존성 및 비용 효율적인 선박 네트워크의 배치와 트래픽 할당에 우수한 성능을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a design of a ship backbone network-based on the survival and efficiency of the ship network. Currently IEC operates the standard ship network, a standard specification "IEC 61162-410 maintains the operation of the network. IEC 61162-410 offers a high stability of the ship network by using terminal equipment. But current studies are incomplete because it has been assumed that the ship's network will operate at double its current capacity. This paper analyzes the double ship backbone topology for an organization and then will summarise the minimum costs required to implement the ship backbone topology using an ILP. Also, we present an effective traffic assignment technique that uses an ILP, metaheuristic, heuristic algorithm-based underlying the ship backbone network. The results by experimenting the design of the network confirmed a greater efficiency, stability and cost-effectiveness of the ship network.

키워드

선박 백본 네트워크, 생존성, 최소비용, 트래픽 분할

1. 서 론

국내 조선기술은 현재 세계 1위를 차지하고 있으나 여러 나라들의 경쟁이 가속화됨에 따라 이에 높은 경쟁력을 가지기 위해서는 부가가치가 높은 IT 융합 기술을 주목해야 한다. IT 융합이란

고도화된 IT 기술을 기반으로 하여 다른 기술과의 복합 또는 화학적 결합으로 새로운 산업을 창출하고 경쟁력을 제고하는 것을 목적으로 한다. 이러한 상황에서 국내 조선산업은 IT와 조선기술을 융합한 지능형 선박 기술에 대한 연구에 주목하고 있으며 선박 네트워크(SAN : Ship Arear

Networks) 기술을 정의하였다.

SAN은 자동화 및 무인화 특징으로 인해 선박 사고로 발생하는 네트워크 결손은 선박의 운항 장애 및 큰 손실을 가져올 수 있으므로 이에 대비하여 고수준의 생존성을 가지는 네트워크가 요구된다.

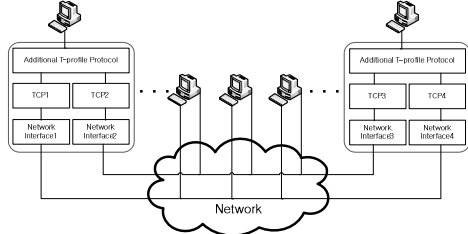


그림 1. IEC 61162-410 표준의 인터페이스

(그림 1)은 두 개의 인터페이스를 통해 서로 다른 IP 및 MAC 주소를 가지는 현재 선박 네트워크의 표준인 IEC 61162-410의 구조적 특징을 나타낸다. 그러나 IEC 61162-410 표준은 이중화로 설계된 선박 네트워크가 존재한다는 가정하에 선박 네트워크의 고생존성을 제공한다. 따라서 이중화 선박 백본 네트워크에 대한 표준 명세는 현재까지는 없으며 이와 관련된 기존의 연구는 매우 미비하다. 이에 본 논문에서는 이중화 선박 백본 토폴로지 구조에 대하여 분석하고 정수 선형 계획법(ILP : Integer Linear Programming)을 사용한 선박 백본 네트워크의 최소 비용 배치 기법을 제안하였다. 또 설계한 선박 백본 네트워크를 기반으로 효율적으로 트래픽을 운용할 수 있는 기법을 제안하였다.

II. 선박 네트워크의 최적 배치

SAN은 지능형 선박에 필요한 고기능의 정보화 장비들이 데이터를 송수신하고 통신할 수 있도록 제어한다. 기존의 선박 네트워크는 중앙 집중형 특징을 나타내며 이러한 구조는 중앙 시스템의 장애 발생 시 네트워크의 생존성이 급격하게 떨어질 수 있다. 이에 국내 조선산업은 (그림 2)의 (b)와 같은 이중화 백본 네트워크를 개발하였다.

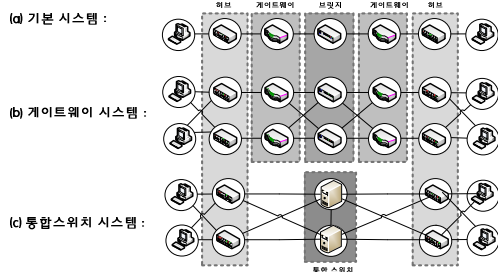


그림 2. 그래프이론으로 모델링된 SAN

(그림 2)의 (c) 통합스위치 시스템 네트워크는 (b) 게이트웨이 시스템의 프로토콜을 가지지 않는

허브가 네트워크의 결손을 보완할 수 없는 단점을 보완하기 위하여, 브릿지와 게이트웨이의 기능을 결합하여 네트워크 결손을 감시하는 통합스위치를 제공한다.

(그림 2)의 3개의 네트워크에 그래프 이론을 적용하였을 때 (b)와 (c)네트워크는 연결계수가 2로써 전송경로 장애에 대비한 예비 전송경로를 확보하고 있음을 나타낸다. 또한 링크 또는 노드 i 가 ($i = 1, 2, \dots, N$) 결손될 확률을 F_i 라고 하였을 때 $F_1 \times F_2 \times F_3 \times \dots \times F_N$ 에 의미에 따라 통합스위치 시스템이 게이트웨이 시스템보다 우수한 생존성을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

이러한 내용을 바탕으로 N개의 노드로 이루어진 통합스위치 시스템 네트워크의 최적 배치 기법을 ILP를 이용하여 최소비용으로 설계하였다.

표1. 최적 배치 기법의 기호 설명

기호	설명
N	스위치 및 허브가 설치가능한 후보지역 수
S	서브 네트워크에 설치할 스위치의 수
T	전체 네트워크에 설치할 스위치의 수
M_j	위치 j의 스위치에 연결하는 최대 허브 수
L_{ij}	위치 i와 j간의 연결 비용
C_j	위치 j에서 스위치를 설치하는 비용
v_{ij}	허브 i가 스위치 j에 연결되면 1, 아니면 0
w_j	위치 j에 스위치가 설치되면 1, 아니면 0

$$\min_{x,y} \sum_{k=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij}^k \cdot v_{ij}^k + \sum_{j=1}^N C_j^k \cdot w_j^k \right\} \quad (1)$$

수식(1)은 전체 네트워크의 최소 설계비용을 나타내는 목적함수이다. 즉 스위치와 허브의 개수 및 각 설치비용을 수식(1)에 적용하면 최소비용으로 설계 가능한 스위치와 허브의 설치 위치와 그들 사이의 연결관계를 알 수 있다.

$$\sum_x \sum_y M_x^k \geq T \quad (2) \quad \sum_x \sum_y M_x^k \leq T \quad (3) \quad \sum_x \sum_y M_x^k \geq 2 \quad (4)$$

수식(2), (3)은 위치 i의 허브가 위치 j의 스위치들 중 반드시 단 하나의 스위치와 연결되어야 하는 조건을 나타낸다. 또한 수식(4)는 위치 j의 노드에 연결되는 링크들의 총 개수를 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^N v_{ij}^k \leq M_j + T - 1, \quad i, j = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N v_{ij}^k = N + T(T-1)/2, \quad i, j = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^T w_j^k \leq 1, \quad j = 1, \dots, N \quad (7)$$

수식(6)은 각 스위치에 연결된 링크의 개수의 최대개수를 나타낸다. 수식(8)은 모든 링크의 개수를 나타내며 수식(9)는 스위치들의 위치는 모두 달라야 하는 조건을 나타낸다. 위의 조건 식에서 k는 설치할 스위치의 각 번호를 나타낸다. 예를 들어 총 설치할 스위치가 3개라면 w_j^k 는 각 스위치를 나타내는 변수 w_j^1, w_j^2, w_j^3 을 나타낸다.

III. 선박 네트워크의 효율적인 트래픽운용

IEC 61162-410에서는 각 허브들이 메시지를 중복 전송하여 생존성을 제공한다. 그러나 이러한 방식은 네트워크의 트래픽 전송량을 급격하게 증가시키고 트래픽이 많아지는 링크가 결손되는 경우 네트워크에 큰 영향을 미치게 된다. 이에 본 논문에서는 ILP와 메타 휴리스틱 알고리즘들을 이용하여 효율적인 트래픽 운용 기법을 설계하였다.

$$\min_{x_{i,j}^p, C_{k,l}} \sum_{i=1}^P \alpha_{kl} C_{kl} \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^P x_{ij}^p = \lambda_{ij}, (i, j) \in D \quad (9)$$

$$\sum_{(i,j) \in D} \sum_{m=1}^P \delta_{ij}^{p,kl} x_{ij}^p \leq \beta \gamma C_{kl}, \quad (k,l) \in L \quad (10)$$

$$C_l(N, f) = \begin{cases} \frac{r}{N} + \frac{r}{N-f-1} & f=1 \\ \frac{2r}{N-f-1} & otherwise \end{cases} \quad (11)$$

$$x_{ij}^p \leq C_l(N, f) \quad (12)$$

제안된 수식에 사용된 기호에서 x_{ij}^p 는 트래픽 전송경로를 나타내며 f 는 결손된 링크의 개수, C_l 은 트래픽 분할을 위한 각 링크의 트래픽 upperbound를 나타낸다. 수식(8)은 전체 네트워크의 최소 비용(트래픽)을 나타내는 목적함수이다. 또 수식(9), (10)은 노드 i, j 간의 전송되는 트래픽을 나타내고 수식 (11)과 (12)는 각 링크의 트래픽 upperbound를 나타낸다. 이러한 트래픽 upperbound 조건은 트래픽을 분할시켜 전송하고 트래픽이 특정 링크에 집중화되지 않도록 예방하며 결손된 링크에 대한 우회경로 및 대역폭을 예측할 수 있도록 한다.

IV. 실험 및 성능 평가

2장에서 제안한 선박 백본 네트워크 최적 배치 기법의 성능을 검증하기 위하여 이중화 네트워크를 설계할 선박환경은 다음과 같다. 선박 내에는 총 10개의 통합 스위치 및 허브를 설치하고 각 허브에는 지역적으로 인접한 선박장치들이 10개 내외로 연결된다고 가정한다. 또한 통합 스위치의 설치비용은 중앙점(25, 150, 20)으로부터 멀어질수록 많이 발생한다.

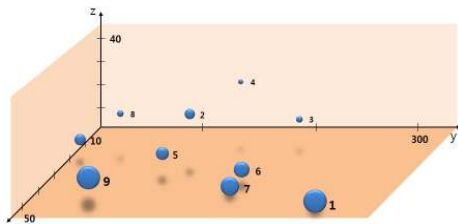


그림 3. 최적 배치 기법의 선박 실험환경

표 2. 최적 배치 기법의 선박장치 실험환경

후보위치	x	y	z	Cost
1	42	254	6	10.631
2	24	114	23	3.614
3	15	226	17	7.671
4	13	169	32	2.548
5	25	79	11	7.157
6	33	153	10	1.315
7	36	147	1	2.216
8	15	19	19	13.138
9	42	30	13	12.140
10	20	4	7	14.666

위의 실험환경을 바탕으로 2장에서 제안한 선박 백본 네트워크의 최적 배치기법의 수식을 ILP로 설계한 결과와 Random Algorithm으로 설계하여 실험한 결과는 다음과 같다.

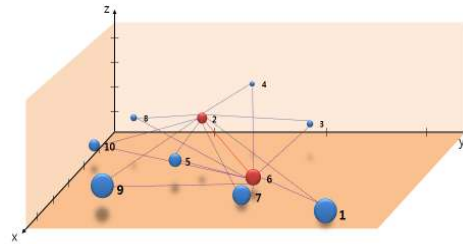


그림 4. ILP 및 Random Algorithm을 이용한 최적 배치 기법의 네트워크 구성

제안한 선박 백본 네트워크의 최적 배치 기법을 ILP로 설계한 결과와 Random Algorithm의 결과는 (그림 4)와 같은 네트워크 구성을 나타내었다. (그림 4)의 네트워크를 구성하는데 필요한 설계비용은 스위치가 2개 일 때 ILP와 Random Algorithm 모두 1477.153의 최소 비용을 나타내었다.

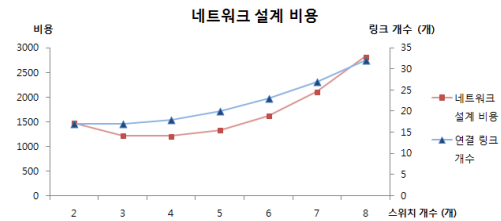


그림 5. ILP 및 Random Algorithm을 이용한 최적 배치 기법의 네트워크 설계비용 그래프

(그림 5)의 그래프는 스위치의 개수가 허브의 개수보다 많아지는 구간에서 네트워크의 설계비용이 급격하게 증가함을 나타낸다. 이러한 결과는 스위치의 개수가 증가할수록 스위치 설치 비용과 스위치 간의 폴 메시 구조로 인하여 장치간의 연결 링크의 개수가 증가하기 때문이다. 또한 네트워크의 생존성을 위해 스위치의 개수를 늘리더라도 허브의 개수를 초과하는 경우 네트워크의 설계비용이 증가할 수 있음을 나타낸다. 따라서 허브의 개수보다 적은 범위 안에서 스위치의 개수

를 설정하고 제안한 기법을 적용하는 것이 최적의 생존성 및 최소 설계비용을 나타낼 수 있다.

3장에서 제안한 효율적인 트래픽 운용을 위한 네트워크 설계 기법의 실험환경은 풀 메시 구조로 이루어진 5개의 스위치 간 트래픽 운용을 기반으로 하고 (그림 6)과 같이 2-4 링크가 결손되었다고 가정한다. 또 각 스위치간의 전송되는 트래픽과 트래픽의 전송시간은 (표 3)과 같고 트래픽을 전송하는 경로는 2홉으로 제한한다.

표 3. 트래픽 분할 기법의 트래픽 전송 실험환경

S-D	Morning	Afternoon
1-5	8	5
1-4	5	7
2-4	4	3
3-5	4	5

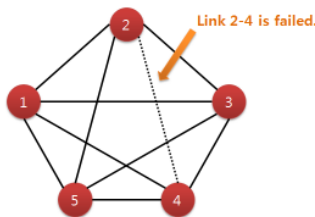


그림 6. 트래픽 분할 기법의 네트워크 실험환경

위의 실험환경을 바탕으로 3장에서 제안한 선박 백본 네트워크의 효율적인 트래픽 분할 기법을 ILP, Random, Simulated Annealing, Tabu Search Algorithm으로 설계하여 실험한 결과는 다음과 같다.

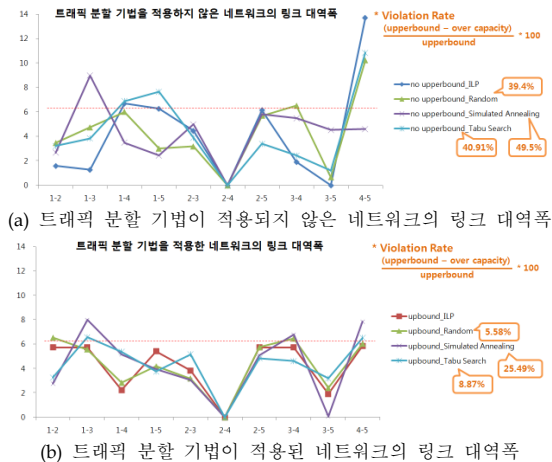


그림 7. ILP, Random, SA, Tabu Algorithm을 이용한 트래픽 분할 기법의 성능평가 그래프

(그림 7)의 (b) 그래프와 같이 트래픽 분할을 위해 upperbound 조건을 적용하였을 때 모든 알고리즘에서 최대 링크 대역폭과 링크 대역폭들의 편차가 줄어드는 것을 알 수 있다.

또한 (표 4)과 같이 트래픽 분할 기법이 적용되지 않은 "no_upperbound ILP" 실험의 전체 네트워크 비용이 가장 작으나 각 링크에 필요한 대역폭

의 표준편차가 가장 크다. 트래픽 분할 기법이 적용된 "upperbound Tabu" 실험의 각 링크에 필요한 대역폭의 표준편차가 가장 작으나 전체 네트워크의 비용은 매우 크다. 네트워크에서 각 링크 대역폭의 표준편차가 큰 경우에는 특정 링크에 트래픽이 집중화되고, 트래픽이 집중된 링크가 결손될 경우에는 네트워크에 미치는 영향이 매우 크다.

표 4. ILP, Random, SA, Tabu Algorithm을 이용한 트래픽 분할 기법의 성능평가

	네트워크 비용	최대 링크 대역폭	표준편차
no_upperbound ILP	41.995	13.681	3.956
upperbound ILP	42.113	5.842	2.295
upperbound Random	42.883	6.533	2.352
upperbound SA	42.637	7.984	3.243
upperbound Tabu	43.237	6.554	1.943

따라서 최대 링크 대역폭 및 각 링크 대역폭의 표준편차가 작으면서도 전체 네트워크의 비용도 작은 "upperbound ILP"의 트래픽 분할 기법이 적용된 네트워크가 다른 설계 기법들 보다 논리 토폴로지 설계에 매우 효과적임을 알 수 있다.

V. 결 론

산업의 발달과 세계 여러나라들의 경쟁이 가속화됨에 따라 우리나라 조선산업은 높은 경쟁력을 가지기 위해 IT와 조선의 융합을 통한 지능형 선박(Smart Ship)을 활발히 연구하고 있다. 조선 산업 기술과 IT 기술을 융합시킨 지능형 선박 기술은 차세대 신규 기술이며 고부가가치를 창출할 수 있는 가능성을 지니고 있다. 본 논문에서는 기존 선박의 단점을 보완하여 생존성을 향상시킨 SAN을 최소비용으로 설계 할 수 있는 기법을 제안하였다. 또한 설계된 백본 네트워크에서 효율적인 트래픽 운용 기법을 제안하였다. ILP 및 메타휴리스틱 알고리즘을 사용하여 제안한 선박 통신망 설계 기법의 성능을 분석한 결과, 최소 비용으로 효율적인 트래픽 운용 및 생존성을 더욱 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] IEC61162-410, "Multiple Talkers and Multiple Listeners Ship System Interconnection Transport Profile Requirements and Basic Transport Profile," 2001.
- [2] 손치원, 신정화, 탁성우, "통신망 생존성과 트래픽 효율성을 고려한 선박 통신 시스템 (SAN)에 관한 연구," 한국정보처리학회 춘계 학술발표대회, 16권, 제 1호, pp. 1132-1135, 2009.