

송수신 에너지 효율성을 고려한 선내 자율구성 대피경로 유도 시스템

조명훈¹ · 주양익[†]

(Received May 3, 2018 ; Revised June 12, 2018 ; Accepted June 12, 2018)

Self-configurable evacuation guidance system in a ship considering tranceiver energy efficiency

Myeong-Hun Cho¹ · Yang-Ick Joo[†]

요약: 화재 등의 재난 상황 시 대피 경로를 안내하기 위해 대부분의 건물, 선박 등의 구조물에서는 중앙통제실이나 승무원 및 안전요원의 안내나 대피 경로 유도등을 통해 대피 경로를 안내하고 있다. 하지만 이러한 방식은 재난 상황에 대한 실시간 정보가 부족하여 상황에 대한 효과적인 대응이 어려우며, 재난 상황의 특성상 2차적인 사고 발생의 우려가 매우 크다. 따라서 경로 탐색 알고리즘에 기반한 지능적 대피경로 탐색 및 안내 시스템이 제안되었고, 구조물 내 설치된 센서 노드로부터 수집된 상황 정보를 기반으로 중앙 서버에서 각 위치별 최적의 경로를 제시하는 중앙집중적 방식으로 대피 유도가 이루어졌다. 그러나 재난 상황의 특성상 실시간 상황 정보 수집을 위한 센서 노드나 경로 안내를 위한 장치가 중앙 서버로부터 고립될 우려가 존재하여 분산적 대피 유도 방식이 제안되었으며, 분산적 대피 유도 방식은 분산 배치된 노드의 특성상 중앙집중적 방식에 비해 동작 및 운용의 에너지 효율성에 대한 검토가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 대피 경로의 탐색과 유도를 위한 정보의 에너지 효율적인 송수신 방식과 함께 경로 정보의 수신을 보장할 수 있는 방안을 적용한 분산적 대피 유도 시스템을 제안하였다. 제안된 방식의 실효성을 검증하기 위해 선박 내 재난 상황을 가정한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 성능을 검증하였다.

주제어: 분산시스템, 대피유도, 에너지 효율

Abstract: Using current evacuation methods, a crew describes the physical location of an accident and guides evacuation using alarms and emergency guide lights. These methods are unsuitable for dynamically changing emergency situations, owing to the lack of real-time status information. Therefore, several studies have been performed on emergency evacuation. However, because most studies were about centralized guidance methods, real-time sensing data still cannot be delivered to a central control server. Thus, passengers are unable to receive optimal routing information when the evacuation guidance system is isolated from the viewpoint of communication and/or power. Thus, distributed schemes are proposed to tackle these problems. However, in a distributed system architecture, energy-efficient operations of decision nodes during emergencies must be considered, because operating power may be insufficient for the deployed nodes. In this paper, we propose a distributed evacuation guidance system that considers the energy-efficiency of data exchange and guarantees accurate delivery of guiding information. Performance evaluation using a computer simulation shows that the proposed scheme guarantees energy-efficient operations and sufficient information accuracy for effective evacuation.

Keywords: Distributed system, Evacuation guidance, Energy efficiency

1. 서론

선박 재난 사고의 발생이 꾸준히 증가하고 있으며, 1911년 타이타닉호 침몰사고를 비롯하여 최근 우리나라에서도 2014년 세월호 침몰 사고가 있었다. 그 이후에도 2015년 나일강에서는 여객선 침몰로 20명 이상이 익사하는 사고가

발생하였다. 많은 인원과 화물이 선박 내 제한된 공간에 탑승 및 적재되어 사고 발생 시 상당한 인명 및 재산 피해가 발생할 수 있고, 선박 사고의 경우 구조 인력이 재난 및 사고 지역에 접근하기까지 많은 시간이 소요되므로 사고 대응과 승객의 대피가 육상에 비해 보다 짧은 시간 내에 더욱

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3125-5316>): Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: yijoo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4419

¹ Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: winglet744@naver.com, Tel: 051-410-5080

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적극적으로 이루어져야한다.

국제 해사 기구(International Maritime Organization; IMO)에서는 이러한 선박 재난 사고에 대비하기 위해, 여객선 설계 시 비상 상황에서의 승객 탈출에 대한 규정인 Maritime Safety Committee / Circulation 1238 (IMO MSC / Circ. 1238)을 마련하고 있으며, IMO에서는 여객선 승객의 안전을 위해 이 규정을 만족할 것을 요구하고 있다[1]. 현재까지 이러한 IMO 규정을 만족하기 위한 많은 국내의 연구개발이 진행되어 왔으며, 선박 재난상황뿐만 아니라 일반적인 육상 재난상황에 대응하기 위한 다양한 기술들이 개발되어왔다.

화재, 침수 등의 재난 상황 시 대피 경로를 안내하기 위해 건물, 선박 등과 같은 대부분의 구조물에서는, 중앙통제실에서의 상황 설명 및 대피 안내, 혹은 안전요원 및 승무원의 대피 유도, 그리고 대피자 스스로 비상구 유도등을 통해 대피 경로를 탐색하도록 경로를 안내하고 있다. 하지만 이러한 방식은 재난 상황에 대한 실시간 정보가 부족하여 상황에 대한 효과적인 대응이 어려우며, 재난 상황의 특성상 2차적인 사고 발생의 우려가 매우 크다. 따라서 경로 탐색 알고리즘에 기반한 지능적 대피 경로 탐색 및 안내 시스템이 제안되었고 [2]-[4], 구조물 내 설치된 센서 노드로부터 수집된 상황 정보를 기반으로 중앙 서버에서 각 위치별 최적의 경로를 제시하는 중앙집중적 방식으로 대피 유도가 이루어졌다.

그러나 재난 상황의 특성상 실시간 상황 정보 수집을 위한 센서 노드나 경로 안내를 위한 장치가 중앙 서버로부터 고립될 우려가 존재하여 분산적 대피 유도 방식이 제안되었다[5][6]. A. Filippoupolitis *et al.* [5]에서는 센서 노드에서 실시간으로 획득한 정보와 공유된 경로 정보를 바탕으로 분산적 대피경로 획득 방식을 제안하였다. 하지만 제안된 방식은 확실적인 전송 주기와 범위를 기반으로 동작하여 재난상황에서의 적응적인 동작을 보장할 수 없으며, H. G. Kim *et al.* [6]에서는 상황에 따라 전송주기를 달리하는 분산적 대피 유도 시스템을 제안하였으나, 전송주기 간 동기를 보장할 수 없어 불필요한 전송이 이루어질 수 있어 효율적인 동작을 보장할 수 없고, 에너지 효율적 동작에 대한 검증이 이루어지지 못하였다.

분산적 대피 유도 방식은 다수의 결정 노드가 여러 위치에 분산되어 배치되므로 배터리 기반으로 동작하거나 전원이 공급되더라도 전원 차단에 대응하기 위한 UPS (Uninterrupted Power Supply) 등의 장치가 적용되기 어려우므로 중앙집중적 방식에 비해 에너지 효율적 동작에 대한 고려가 이루어져야 한다. 따라서 본 논문에서는 대피 경로의 탐색과 유도를 위한 정보의 에너지 효율적인 송수신 방식과 함께 경로 정보의 수신을 보장할 수 있는 방안을 고려하며, 본 연구진에서 M. H. Cho *et al.* [7]에 제시한 상위체계 결과를 보다 구체화하고 개선하여 에너지 효율적인 분산적 대피 유도 시스템을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 제안한 시스템의 근간이 되는 분산

적 경로 탐색 방식에 대해서 살펴본 후, 3장에서는 제안하는 대피경로 유도 시스템을 기술한다. 이후 4장에서 제안된 시스템에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과를 살펴보고, 이후 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 분산적 경로 탐색

현재까지 제안된 대부분의 경로 탐색 및 유도 시스템은 중앙집중적 방식으로, 모든 감지된 상황 정보와 경로 정보가 중앙의 서버에서 취합되어, 모든 노드에서의 탈출구까지의 전체 경로가 동시에 결정된다. 이러한 중앙집중적 방식은 병목현상을 해결하기 위한 부하 분산(load balancing) 등의 측면에서 유리하지만, 전체 상황에 대한 정보의 취합에 대한 시간과 정보처리에 대한 비용 및 시간이 많이 소요된다. 그리고 Figure 1과 같이 재난 상황의 특성상 실시간 정보 수집을 위한 센서 노드(Sensor node)나 경로 탐색을 위한 결정 노드(Decision node)가 전원의 공급 혹은 통신 영역으로부터 고립될 수 있으며 이 경우 효과적인 경로 탐색 및 유도가 불가능한 문제가 있다.

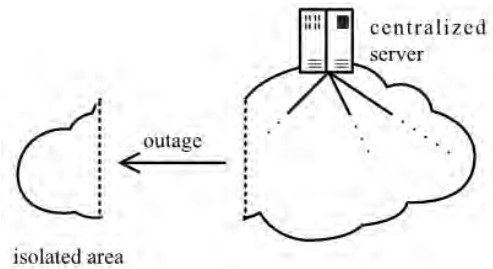


Figure 1: Network isolation

이러한 문제점을 개선하기 위해, A. Filippoupolitis *et al.* [5]에서 각 노드에서 독립적으로 대피 경로를 탐색하는 분산적 탐색 방안이 제안되었다. 이는 센서 노드에 의해 감지된 화재정보와 릴레이 방식으로 공유된 경로정보를 바탕으로 출구까지의 경로를 분산적으로 획득하는 방식이다. 하지만 분산적 대피 유도 방식은 이동성, 자율성과 같은 분산 배치된 노드에 필연적으로 수반되는 특성으로 인해 중앙집중적 방식에 비해 동작 및 운용의 에너지 효율성에 대한 검토가 필요하다.

분산적 경로 탐색 방안에서, 각 노드는 이웃노드들까지의 재난상황 정보를 주기적으로 확인하여 인접한 각 이웃노드, n_i 까지의 체감거리 정보(D_{own,n_i})를 계산한다. 이 정보와 인접 이웃노드, n_i 에서 주기적으로 수신한 이웃노드로부터 출구노드까지의 체감거리 정보($D_{n_i,exit}$)를 더한 값을 취합하여 가장 작은 체감거리 값($D_{own,exit}$)을 갖는 이웃노드를 다음 번 이동 목적지 노드로 결정한다. 모든 노드는 $D_{own,exit}$ 를 주기적으로 전송하여 이웃노드들과 공유하며, 이 값을 수신한 이웃노드들에게는 $D_{n_i,exit}$ 로 인식된다. 초기에는 대

피 경로에 대한 정보가 없으므로, 출구에 설치된 출구노드가 전송하는 $D_{own,exit}$ 는 0으로, 그 외 노드는 무한대(∞)의 값으로 설정되며, 정보 공유가 이루어짐에 따라 출구노드로부터 각 노드로 정상적인 $D_{own,exit}$ 값이 전달되어 최적의 대피 경로가 결정된다.

다시 말해 분산적 경로 탐색 방식에서는 **Figure 2**에 도시한 바와 같이 i 번째 노드 주변에는 $(i-1)$ 번째 노드와 $(i+1)$ 번째 노드만이 인접하여 존재하는 것으로 가정할 경우, i 번째 노드는 자신의 최단 경로에 대한 체감거리 값, $D_{i,exit}$ 정보를 전송하고 인접한 $(i-1)$ 번째 노드와 $(i+1)$ 번째 노드로부터 $D_{i-1,exit}$ 과 $D_{i+1,exit}$ 정보를 수신한다. 인접 노드로부터 수신된 정보와 자신의 센싱 정보에 근거하여 $(i-1)$ 번째 노드와 $(i+1)$ 번째 노드 중 최적의 next hop을 결정하고, 해당 next hop이 위치한 경로에 대한 $D_{i,exit}$ 값을 갱신하여 다음 번 송신주기에 전송한다.

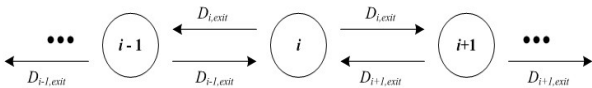


Figure 2: Data exchange between adjacent nodes in the distributed manner

3. 제안하는 방식

3.1 정보 공유를 위한 패킷 포맷

Node identifier	Weighted distance of the shortest path to an exit	State notification
-----------------	---	--------------------

Figure 3: Proposed packet format

각 노드가 인접 이웃노드와 정보 공유를 위해 사용하는 패킷 포맷은 **Figure 3**과 같다. **Figure 3**에서 ‘Node identifier’ 필드(field)는 전송하는 노드를 구별하기 위한 자신의 고유 식별자로, 별도의 체계에 따라 할당되거나 혹은 MAC address 등을 활용할 수도 있다. ‘Weighted distance of the shortest path to an exit’ 필드는 패킷을 전송하는 노드 자신의 임의의 출구까지의 최단 체감거리(weighted distance)를 의미한다. 본 논문에서는 분산적 방식으로 정보 전달이 이루어지므로, 특정 노드에서 자신과 인접한 이웃노드까지의 체감거리, $D_{own,ni}$ 를 식 (1)과 같이 계산한다. 여기서 W_l 은 전체 L 가지의 위험인자에 대해 각 위험인자 l 에 대한 가중치를 나타내며, O_l 은 해당 위험인자가 자신과 이웃노드 사이의 경로에 존재하는지를 의미하며, \overline{Ri} 은 인접 지역에 발생한 위험인자에 대한 시간에 따른 영향을 표현하는 위험 예측 계수이다. 물론 체감거리는 재난 상황이 아닌 경우 실제 물리적 거리인 $d_{own,ni}$ 와 동일하며, ‘Weighted distance of the shortest path to an exit’ 필드에 포함된 정보는 최적 경로 상에 존재하는 각 노드에 대해 분산적으로 계산된 1 홉(hop) 단위의 부분 경로의 체감거리가 모두 더해진 결과이다.

$$D_{own,ni} = d_{own,ni} \cdot \frac{\sum_{l=1}^L W_l \times O_l \times \overline{Ri}}{L}, \quad (1)$$

where $L = \max(1, \sum_{l=1}^L O_l)$

그리고 ‘State notification’ 필드는 현재의 상태 정보를 표현하는 것으로, 일반적인 정상상태인 State0부터 재난 상황의 심각성에 따라 차례로 State1, State2와 같이 상태번호를 높은 값을 부여한다.

3.2 정보 패킷의 전송

분산적 대피 유도 방식은 앞서 설명한 바와 같이, 분산 배치된 노드에 필연적으로 수반되는 이동성, 자율성 및 전력원의 제한 등의 특성으로 인해 중앙집중적 방식에 비해 동작 및 운용의 에너지 효율성에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 논문에서 제안한 방식에서는, 에너지 효율적 동작을 위해 각 노드의 송수신 주기를 결정하고 정보 패킷의 송수신 시점이 아닌 구간에서는 저전력 모드로 동작할 수 있도록 한다. 이를 위한 정보 패킷 전송 주기를 Discontinuous Notification Cycle (DNC)로 정의하고, 이는 식 (2)와 같다.

$$DNC = 2^n T \quad (2)$$

여기서, T 는 기본 전송주기를 나타내며, n 은 ‘State notification’ 필드를 통해 상태번호로 표현되는 전체 상태의 수를 N 으로 가정할 경우, $(N-1)$ 상태번호의 값으로 정의된다. 상태번호는 State0은 ‘0’, State1은 ‘1’과 같이 적용된다. 따라서 일반적인 상태에서는 상대적으로 긴 주기로 정보가 공유되어 송수신에 대한 에너지를 절약할 수 있고 재난 상황에서는 단계적으로 송수신주기를 줄여 상황에 적응적으로 대응할 수 있다. 갱신된 DNC 값은 다음 번 주기부터 적용되고, 상태 정보는 재난 상황 발생 지점으로부터 점차적으로 한 홉씩 전달되므로 이에 따라 송수신기도 갱신된다.

정보 공유의 주기를 DNC로 결정하고, 송수신 시점은 식 (3)을 통해 결정한다.

$$TFN \bmod DNC = AP \quad (3)$$

여기서 TFN은 시간 프레임 번호(Time Frame Number)로 시스템 전체의 시간 흐름을 특정 시간의 프레임 번호로 표현한 것이며, AP (Anchor Point)는 각 노드가 정보 패킷을 공유하기 위한 시점을 표현하며, 0 ~ DNC-1의 범위를 갖는다.

3.3 노드의 동작 절차

정의된 패킷 포맷과 해당 전송 시점에 기반한 각 노드의 동작 과정을 **Figure 4**에 도시하였다. 매 주기마다 모든 노드는 출구까지의 최단 체감거리 정보를 전송하므로, 각 노드는 인접한 이웃노드로부터 관련 정보를 수신하게 된다.

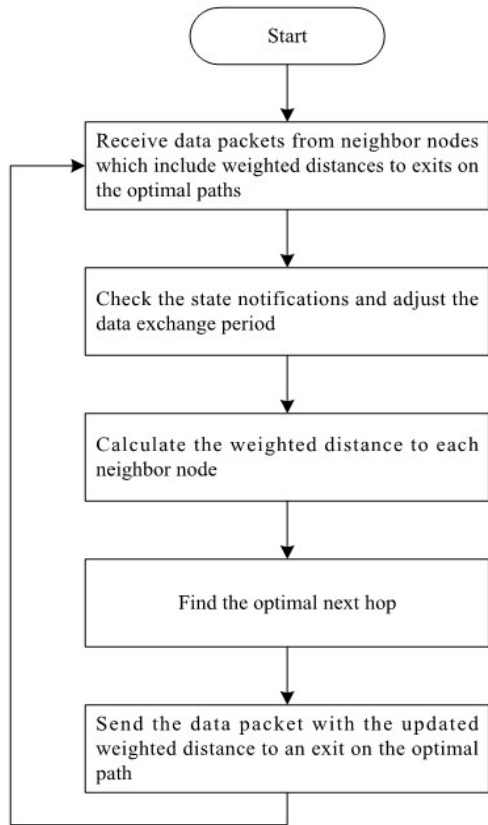


Figure 4: Proposed procedure

이 수신된 정보 패킷에는 체감거리 정보와 각 노드가 파악한 상태 정보가 포함되어 있으며, 이들 중 상태 정보, 즉 ‘State notification’ 필드의 정보를 취합하여 가장 심각한 재난 상황을 나타내는 상태번호를 기준으로 다음번 주기부터 송수신 주기를 조절한다. 이를 통해 상대적으로 전력 및 통신자원이 충분치 못한 재난 환경에서 에너지 효율적인 동작이 가능하도록 한다.

그리고 각 이웃노드로부터 수신한 ‘Weighted distance of the shortest path to an exit’ 필드와 센서 노드의 센싱을 통해 파악한 해당 이웃노드까지 경로의 상황 정보를 토대로 계산한 체감거리를 취합하여, 최적의 ‘next hop’을 결정한다. 최적의 ‘next hop’은 앞서 설명한 바와 같이 $D_{own,exit}$ 를 기준으로 이루어지며, 이 값은 다음번 전송주기에서 ‘Weighted distance of the shortest path to an exit’ 필드에 포함되어 전송된다. 센서 노드를 통해 파악된 상황정보는 각 결정 노드 자신의 $D_{own,exit}$ 갱신에 적용되고, 갱신된 값을 통해 새로운 $D_{own,exit}$ 값이 공유되므로, 재난 상황 발생 시 관련 상황 정보는 ‘Weighted distance of the shortest path to an exit’ 필드의 값의 크기와 ‘State notification’ 필드의 정보를 통해 홉 단위로(hop-by-hop) 전체 노드에 전파된다.

각 노드가 중앙집중적인 방식에서와 같이 구조물 내 모든 노드와 경로 및 상황 정보를 확인할 수는 없지만, 이러한 과정을 통하여 모든 노드는 인접한 이웃노드에 대한 정보를 취합하여 해당 이웃노드들 중 최적의 ‘next hop’에 대

한 선택만을 진행하여, 분산적이고 자율 구성 및 유지가 가능한 대피유도 시스템으로 동작할 수 있다. 이를 통해 일부 지역이 전력 혹은 통신 가능 영역으로부터 고립되더라도 상황에 맞게 최적의 경로를 탐색할 수 있다.

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경 및 조건

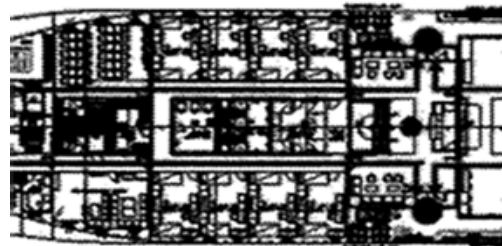
컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 위해 Table 1과 같은 파라미터를 사용한다. 대피자의 이동 평균 속도는 3 m/s, 인접한 결정 노드 간 거리는 2 m로 가정하고, 20명의 대피자는 가정한 시뮬레이션 공간의 각 노드 위치에 균일분포(uniform distribution)에 따라 존재하는 것으로 가정한다.

Table 1: Parameters for computer simulation

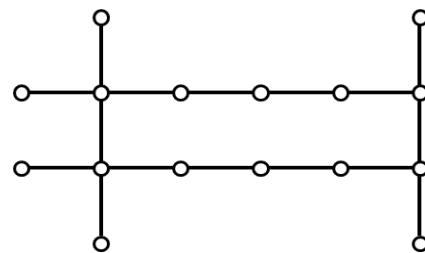
Parameters	Values
Average speed of evacuees	3 m/s
Distance between adjacent nodes	2 m
Number of evacuees	20 (uniformly distributed)

그리고 모든 결정 노드는 시뮬레이션 환경으로 고려된 선박에 대한 내부 경로 정보와 경로별 노드의 배치 정보는 초기 설치 시 저장되어 사전에 파악한 것으로 가정한다.

구조물에 대한 구성은 Figure 5와 같이 한국해양대학교 실습선 한바다호의 일부를 단순화하여 모델링하였다. 각 격실의 위치에 결정 노드가 배치되고 그 주변에 결정 노드가 인접 결정 노드까지 경로의 상황을 파악하기 위한 센서 노드가 배치된 것으로 가정하며, 인접 센서 노드에서는 화재 및 매연 내 일산화탄소 농도 등에 대한 정보를 검출하여 결정 노드로 전달하는 것으로 가정한다. 각 센서 노드로부터 전달된 정보는 결정 노드에서 식 (1)에 의해 체감거리 값으로 적절히 반영된다.



(a) A section of the floor plan of the training ship Hanbada



(b) Decision nodes deployment
Figure 5: Simulation environment

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 화재 상황 시 시간의 흐름에 따른 출구까지의 대피자 수를 누적하였으며, 그 결과를 Figure 6과 Figure 7에 나타내었다.

Figure 6은 2곳의 화재지점을 가정하고 시간에 따른 대피자 수를 비교한 결과로, 기본 주기 8T로 송수신 주기를 고정한 경우(fixed cycle)에 비해 본 논문에서 제안한 가변 송수신 주기(adaptive cycle)의 경우가 보다 빠른 시간 내에 모든 대피자가 대피에 성공하는 것으로 수렴하는 성능을 보였다. 이는 매연 등의 화재에 대한 2차적인 위험요소를 반영할 경우 고려해야하는 탈출 요구시간 등을 적용한다면 생존률과 밀접한 결과로 나타날 수 있다.

Figure 7은 3곳의 화재지점을 가정하고 시간에 따른 대피자 수를 비교한 결과로, Figure 6과 마찬가지로 기본 주기 8T로 송수신 주기를 고정한 경우(fixed cycle)에 비해 본 논문에서 제안한 가변 송수신 주기(adaptive cycle)의 경우가 보다 빠른 시간 내에 모든 대피자가 대피에 성공하는 성능을 보였다. 그리고 Figure 6에 비해 화재 지점이 늘어난 만큼 전체적인 대피 시간이 증가되는 양상을 보였다.

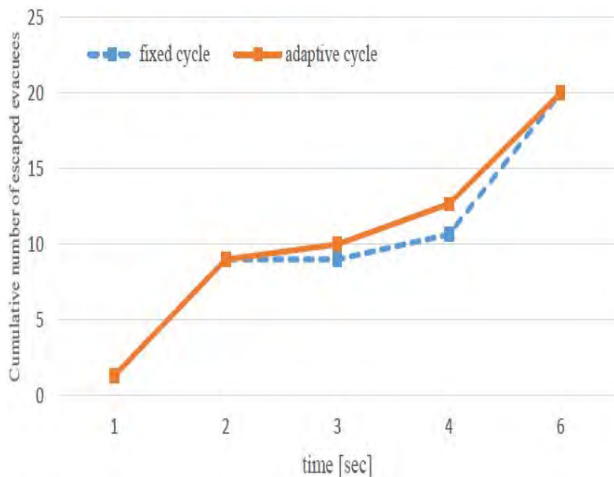


Figure 6: Cumulative number of escaped evacuees with 2 fire points

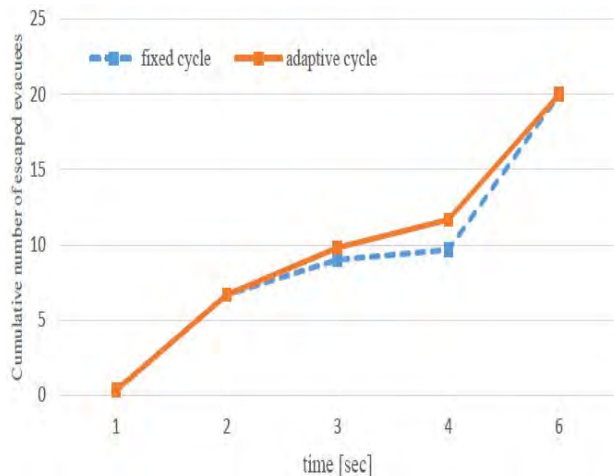


Figure 7: Cumulative number of escaped evacuees with 3 fire points

5. 결 론

본 논문에서는 다양한 위험 요소가 존재하는 환경에서 재난 상황 시 안전하게 출구까지 대피하기 위한 방안을 고려했다. 재난 상황 시 전력 및 통신이 고립되는 상황에 대처하기 위해 분산적 대피 유도 방식이 제안되었으며, 분산적 대피 유도 방식에서 고려해야 할 동작 및 운용의 에너지 효율성에 대한 장치를 마련하였다. 제안된 방식을 통하여 대피 경로의 탐색과 유도를 위한 에너지 효율적인 정보의 송수신이 가능하도록 하였으며, 분산적 경로 탐색 알고리즘을 통해 전력 및 통신이 고립되는 상황에서도 각 노드에서 계산한 최적의 경로를 대피자에게 제시할 수 있었다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 제안된 방식을 통해 승객의 대피 시간을 줄일 수 있음을 확인하였다.

향후 분산적 경로 탐색 방식에서 문제가 될 수 있는 병목현상을 해결하기 위한 방안에 대한 연구가 필요하며, 아울러 실질적인 화재 상황을 고려한 환경에서의 성능 평가를 위해 Pyrosim 등의 재난 상황에 대한 시뮬레이터를 적극 활용하여 보다 실용적인 성능 평가 기반을 구축할 계획이다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2016R1D1A3B03934492)이며, (사)한국마린엔지니어링학회 2018년도 전기학술대회 포스터발표내용을 확장한 것입니다.

References

- [1] International Maritime Organization, Guide lines for evacuation analysis for new and existing passenger ship, IMO MSC/Circ1238, 2007.
- [2] S. H. Ok, J. H. Ahn, S. H. Kang, and B. I. Moon, "A combined heuristic algorithm for preference-based shortest path search," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 47, no. 8, pp. 74-84, 2010 (in Korean).
- [3] M. B. Kang, G. Park, S. H. Yim, and Y. I. Joo, "Design of optimal evacuation route guidance system for accidents on board the ship," Proceedings of the 40th KOSME Spring Conference, p. 158, 2016 (in Korean).
- [4] M. B. Kang and Y. I. Joo, "Intelligent evacuation systems for accidents aboard a ship," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 40, no. 9 pp. 824-829, 2016 (in Korean).
- [5] A. Filippopolitis and E. Gelenbe, "A distributed decision support system for building evacuation,"

Proceedings of the 2009 2nd Conference on Human System Interactions, pp. 323-330, 2009.

- [6] H. G. Kim and Y. I. Joo, "Distributed optimal path guidance system considering communication isolation and transmission power for multistory ship evacuation," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 41, no. 7 pp. 677-682, 2017 (in Korean).
- [7] M. H. Cho and Y. I. Joo, "Design of an emergency evacuation guidance algorithm considering power efficiency in a ship," Proceedings of the 42nd KOSME Spring Conference, p. 258, 2018 (in Korean).