

# 선박내 환경 정보 모니터링을 위한 고장 감래 센서 라우팅 알고리즘 모델 설계에 관한 연구

박윤용<sup>1\*</sup>, 윤남식<sup>1</sup>, 배지혜<sup>2</sup>, 공헌택<sup>3</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 컴퓨터공학부, <sup>2</sup>선문대학교 IT교육학부, <sup>3</sup>공주대학교 컴퓨터공학부

## A Study on the Design of Fault-Tolerant Sensor Routing Algorithm for Monitoring of Ship Environmental Information

Yoon-Young Park<sup>1\*</sup>, Nam-Sik Yun<sup>1</sup>, Ji-Hye Bae<sup>2</sup> and Heon-Tag Kong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Engineering, Sun Moon University

<sup>2</sup>Dept. of IT Education, Sun Moon University

<sup>3</sup>Dept. of Computer Engineering, Kongju University

**요 약** 본 연구는 선박내에 센서 네트워크 영역을 구축하여 선박 내 환경감시를 통해 관리 효율을 극대화하고 모니터링 체계화를 향상시키는 것이 목적이다. 선박 내 구축된 센서 네트워크의 각 센서 노드들을 세부적으로 관리하며 명확한 센서 데이터를 얻기 위해서는 각 센서 노드들의 정확한 위치가 필요하다. 본 논문에서는 선박 내 배치된 많은 센서 노드의 상태를 효율적으로 관리하기 위해 센서 노드의 그룹을 구성하는 방법에 관하여 기술하였고 기본적으로 LEACH 및 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 이용하여 노드들 간의 상대 거리 정보를 수집하여 센서 노드의 위치 정보를 탐지하고 각 필드별로 그룹핑하여 데이터 전송 효율을 증가시키는 방법을 소개한다. 또한, 탐지된 위치 정보를 이용하여 임의의 노드에서 고장이 발생하였을 경우 최적의 라우팅 경로를 재설정하는 방법을 제시하고자 한다.

**Abstract** The goal of this research is to enhance the maintenance and monitoring system of ship environment using sensor network. It is important to know the location information of sensor nodes to control the sensors and to obtain the sensor data from sensor network inside the ship. In this paper, we address the grouping and routing mechanism according to the relative distance of sensor nodes, based on LEACH and PEGASIS. We also consider the fault tolerant mechanism using the location information of sensor nodes.

**Key Words** : Sensor Network, Shipboard Communication, Routing Path Recovery

### 1. 서론

우리나라 조선 산업의 현실은 비록 세계 1위의 조선건조 강국을 유지하고 있지만 IT기자재산업은 미국/유럽/일본이 중점적으로 세계시장을 주도하고 있고 선박 건조 산업에서는 중국의 도전을 받고 있는 실정이다[1,2]. 2005년 이후 중국이 세계 3대 조선강국으로 뒤따라오고 있으므로 노동집약형 조선 산업이 기술 집약형 고부가가치 선박산업으로 전환하여 원가우위의 양적 성장 전략에서 고부가가치 선박제조의 질적 성장 전환이 필요한 때

이다. 조선 산업은 노동집약형이면서도 기술집약적인 성격을 동시에 지니는 전통산업으로 고부가가치 산업으로의 업그레이드를 위해 IT융합 기술을 접목시켜야 하며, 특히 조선 기자재 산업 중 IT융합 시스템 산업을 중점 육성함으로써 조선 산업의 초일류 화를 달성할 수 있는 기반이 될 것이다[1,2].

수천 개의 센서 노드들 간의 공동 작업을 기반으로 한 유비쿼터스(ubiquitous) 환경의 무선 센서 네트워크는 대규모 서식지 모니터링, 침입 탐지, 자동화된 실시간 위치 평가, 홈 어플리케이션, 과학적인 탐사 등 수많은 응용에

이 논문은 2008학년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수 국내교류 연구비 지원에 의한 것임.

\*교신저자 : 박윤용(yypark@sunmoon.ac.kr)

접수일 09년 11월 30일

수정일 (1차 10년 03월 11일, 2차 10년 04월 02일)

게재확정일 10년 04월 09일

대한 새로운 플랫폼을 제공하고 있다. 이러한 조선 산업과 IT기술의 유비쿼터스 컴퓨팅 분야를 접목하여 주변 공간의 상황을 인식하고 인식한 상황을 바탕으로 적절한 시기에 필요한 정보를 올바른 사용자나 사용자 장치에게 제공해 주는 지능적인 환경을 구성하기 위한 차별화된 기술력을 배양할 필요가 있다[7,8].

특정 지역에서 발생하는 물리적인 현상을 관측하는 무선 센서 네트워크의 경우 센서 노드가 센싱한 값과 센서 노드의 위치가 매핑되지 않으면 센싱한 값으로부터 얻을 수 있는 정보는 매우 한정된다. 즉, 센서 노드의 위치를 아는 경우에는 센서노드의 위치를 모르는 경우에 비하여 센싱된 데이터들을 보다 유용한 정보로 활용할 수 있다. 또한, 센서 노드의 위치 정보는 센서 노드의 위치 정보를 기반으로 라우팅을 수행하는 지리적인 라우팅(geographic routing)에 유용하게 사용될 수 있다[7,8].

그러나 기존 위치 측정 알고리즘들을 애드혹을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 많은 문제점들이 존재한다. 우선 무선 센서 네트워크에서는 GPS 인공위성이나 이동 통신망과 혹은 실내 위치 측정 시스템에서 미리 설치되는 비컨들의 네트워크와 같은 위치 측정을 위한 인프라가 없다. 또한 센서 노드에는 비용적인 측면과 자원의 제약으로 말미암아 GPS 수신기와 같은 고가의 위치 측정을 위한 하드웨어를 추가하기 어렵다. 한편, 배터리로 동작하는 무선 센서 네트워크의 경우 전력 소모가 최우선적으로 고려되어야 하기 때문에 센서 노드들은 근거리 무선 통신 기술을 사용하여 데이터를 전송하고, 멀리 떨어져 있는 싱크 노드까지는 중간에 존재하는 다른 여러 센서 노드들을 경유해야만 데이터 전달이 가능한 멀티홉 방식의 라우팅을 사용한다[7,8].

본 연구는 선박 내 센서 네트워크 영역을 구축하여 선박 내 환경감시를 통해 관리 효율을 극대화하고 모니터링 체계화를 향상시키는 것이 목적이다. 선박 내 구축된 센서 네트워크의 각 센서 노드들을 세부적으로 관리하며 명확한 센서 데이터를 얻기 위해서는 각 센서 노드들의 정확한 위치가 필요하다.

본 논문에서는 선박 내 배치된 많은 센서 노드의 상태를 효율적으로 관리하기 위해 센서 노드의 그룹을 구성하는 방법에 관하여 기술하였고 기본적으로 LEACH 및 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 이용하여 노드들 간의 상대 거리 정보를 수집하여 센서 노드의 위치 정보를 탐지하고 각 필드별로 그룹핑하여 데이터 전송 효율을 증가시키는 방법을 소개한다. 또한, 탐지된 위치 정보를 이용하여 임의의 노드에서 고장이 발생하였을 경우 최적의 라우팅 경로를 재설정하는 방법을 제시하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 선박 내 통신 기술 사례에 관하

여 기술하였고, 3장에서는 본 논문에서 사용된 두 가지 라우팅 알고리즘인 LEACH와 PEGASIS에 대해 소개하였다. 4장에서는 센서 네트워크 라우팅 프로토콜을 이용한 선박 내 위치 추적 기법을 기반으로 특정 노드 고장 시 고장 복구 라우팅 알고리즘의 설계에 대해 설명하였고, 5장에서는 기존 알고리즘과의 비교 분석을, 마지막으로 6장에서 결론을 기술하였다.

## 2. 선박 통신 기술 사례

본 장에서는 선박 통신 기술에 관한 기존의 사례에 대하여 소개하고자 한다.

첫 번째 사례는 조선 건조 현장의 디지털화를 위한 선박을 건조하는 야드(Yard)에 YAN(Yard Area Network)이라 불리는 솔루션을 구축, 블록과 자재의 효율적인 관리를 통해 생산 효율을 극대화하고, 야적장 확보로 인한 비용절감 등 생산 경쟁력을 향상시키는 것에 대한 기술이다[1]. 이를 위해 기존의 무전기와 이동전화를 대체하고, 작업자 간 의사소통을 개선해 보다 효율적인 작업환경을 제공하기 위해 와이브로(WiBro) 기반 무선인프라를 이용한 그룹통신 시스템을 개발하고 있다. 선박의 디지털화를 위해서는 선박 내에 SAN(Ship Area Network) 프레임워크를 개발, 선박의 부가가치를 증대시키고 선박 장비시장의 국산화 및 국내 유관산업 육성을 모색하고 있다[1].

두 번째 사례로 선박의 실시간 상태 감시기술이다[3]. 유무선 통신과 센서 기술을 결합하여 선박의 상태를 실시간으로 감시하고, 자가진단을 통한 선박의 운항안전성을 향상시키기 위한 연구가 지난 3년(2006~2008)간 수행되었다. 유무선통신기술은 RFID(Radio Frequency Identification), 무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)와 전력선 통신(PLC, Power Line Communication)으로 구성되며, 3개의 기술이 독자적으로 사용되거나 2~3개가 혼합되어 적용되었다. RFID는 무선 주파수와 전자 칩을 이용하여 대상물을 인식하고 획득하는 무선 인식 시스템으로 인식거리, 인식각도, 인체영향 등에 대한 시험을 수행하였다. 무선 센서 네트워크는 센서 필드와 IPv6기반 BcN(Broadband convergence Network)의 결합으로 이루어지는 네트워크이다. 무선 센서 네트워크는 여러 개의 센서 네트워크 필드가 게이트웨이를 통해 외부 네트워크에 연결되는 구조를 갖는다[3].

본 사례에서는 전력소모시험, 철판통과시험, 통신거리 시험, 통신회절시험 등을 수행하여 선박을 위해 적절한 무선 센서 네트워크를 구성하였다. 선박의 구조적 환경적 특성으로 무선통신의 장애요인이 많으므로, 이를 극복하

기 위하여 전력선 통신을 동시에 활용하는 방법을 개발하였다. 특히 선박 내에 추가로 케이블을 포설해야할 필요가 없기 때문에 저비용으로 무선 통신을 보완할 수 있다. 선박 모든 곳에서 대용량의 데이터를 쉽게 획득하는 방법은 선박 곳곳에 배설되어 있는 전력선을 백본 통신망(backbone network)으로 사용하는 것이다. 선박 곳곳에 설치된 무선 센서 네트워크를 사용하여 환경 인지 정보를 습득하고, 이 데이터를 전력선 규격에 맞게 바꾸어 전력선으로 대용량 데이터들을 통신하게 하는 인터페이스 모듈을 추가로 개발하였으며 외관상 보기 좋고 안정적으로 운용될 수 있도록 소형/경량화 하였다. 본 사례를 통하여 장비 모니터링을 위한 고용량 데이터 처리, 냉동 컨테이너 감시 시스템, 승객/승무원 위치파악 시스템, 예비부품 관리 시스템, 화재위험 구역 모니터링 등과 같은 응용 시스템을 개발하였다. 개발된 응용시스템은 한국해양대학교의 실습선인 ‘한나라호’에서 다양한 유무선 통신 실험을 수행하여 검증하였다. 실제 선박에서의 성능 검증은 선박이 정박 중인 상태는 물론 주기관과 모든 항해 통신 장비가 작동중인 운항 상태에서도 수행되었다. 개발된 응용 시스템의 작동으로 선박에 탑재된 각종 기기에 미치는 영향이 없음을 확인하였다[3].

본 연구에서는 위와 같은 기존의 선박 통신 기술의 응용 사례를 기반으로 선박 내 실시간 모니터링의 고효율화를 위한 센서 필드 구성방법 설계 및 센서 필드 내의 센서 노드가 고장이 발생하였을 경우 이를 복구하는 라우팅 알고리즘을 설계하고자 한다.

### 3. 센서 네트워크 라우팅 알고리즘

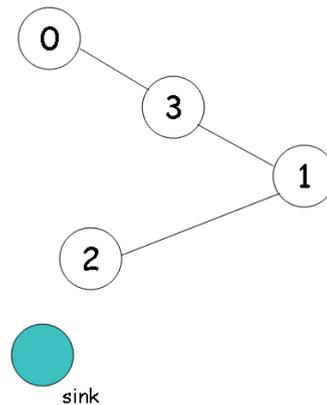
본 장에서는 본 연구에 사용된 선박 내 무선 센서 네트워크의 기본 라우팅 알고리즘을 기술하고자 한다. 기존 통신 인프라가 없는 무선 센서 네트워크로부터 정보 수집을 위해서는 센서 노드들 간의 무선 애드혹 네트워킹 능력이 필요로 된다. 그러나 기존의 무선 애드혹 네트워크를 위해 제안된 라우팅 프로토콜은 무선 센서 네트워크가 가지는 특성들로 인해 적용하기에 적합하지 않다. 그러므로 무선 센서 네트워크의 자가 구성적 능력, 제한된 전력과 데이터 중심적 특성을 고려한 센서 네트워크용 라우팅 기법이 요구된다[7].

본 장에서는 이러한 무선 센서 네트워크에서의 대표적인 라우팅 알고리즘에 관하여 기술하였다.

#### 3.1 PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems

PEGASIS의 특징으로는 토큰 패싱 체인 기반(Token-passing chain-based)으로 구성된 프로토콜로서 네트워크 생명 주기를 연장할 수 있고 거의 최적에 가까운 센서 네트워크 라우팅 프로토콜로 간주되어진다는 점이다. 이 프로토콜은 노드와 싱크가 고정되어 있어야 하며 모든 노드들은 글로벌 네트워크 맵을 가지고 있어서 이웃 노드뿐 아니라 센서 필드 내의 모든 노드들과의 거리 정보를 맵에 유지하고 있다. 각 노드는 신호 강도(signal strength)를 사용하여 이웃 노드들과의 거리를 측정할 수 있고 이에 따라 가장 이웃한 노드 하나를 식별하게 된다.

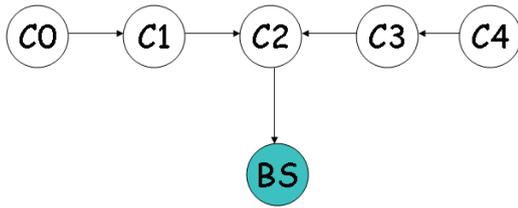
노드는 임의의 노드에서 시작하여 이웃노드와 하나의 체인(chain)을 구성한다. 구성 방식은 그리디(greedy) 알고리즘을 이용하여 노드들이 스스로 구성하거나 싱크에서 만들어 노드에게 브로드캐스트 할 수 있다. 싱크에서 체인을 구성할 경우는 싱크로부터 가장 먼 거리에 있는 노드부터 체인이 시작된다. 그림 1은 체인이 형성되는 예를 보여준다. 싱크로부터 가장 거리가 먼 노드 ‘0’이 체인의 시작점이 되고 노드 ‘0’은 가장 인접한 노드 ‘3’을 체인의 다음 노드로 선택한다. 이를 모든 노드가 하나의 체인에 속할 때까지 반복한다.



[그림 1] PEGASIS 프로토콜에서의 체인 구성

체인이 형성된 후에는 노드는 자신의 데이터를 체인의 이웃 노드에게 전송하고 이를 수신한 노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 이웃노드에게 전송한다. 싱크 노드로 전송하는 역할을 하는 리더 노드는 체인 중 임의의 노드가 돌아가며 맡는다. 예를 들어 라운드  $i$ 에는  $i \bmod N$ 번째 노드가 맡는다( $N$ 은 전체 노드의 수). 데이터 전송은 리더 노드가 토큰(token)을 체인의

말단 노드에게 전송하여 시작된다.



[그림 2] 토큰(Token)을 이용한 데이터 전달 방법

그림 2는 토큰을 이용한 데이터 전송의 예를 나타낸 그림이다. 노드 C2가 리더 노드 역할을 맡았다면, 토큰을 노드 C0에게 전달하고 이를 수신한 노드 C0는 데이터를 C1로 전달하고, C1은 수신한 데이터와 자신의 데이터를 병합하여 C2로 전달한다. C1로부터 데이터를 수신한 C2는 다시 C4로 토큰을 전달하여 반대 방향의 데이터를 수집한다.

PEGASIS 프로토콜에서는 토큰 패싱 체인 기반(Token-passing chain-based)의 데이터 전송방법을 제안하여 클러스터 구성과 클러스터 내에서 리더 노드와 일반 노드간의 전송거리를 줄이고자 하였다. 그러나 네트워크가 확장됐을 때 단일 체인으로 데이터를 전달하기에는 전송지연이 발생하고 체인 중간의 노드가 오류를 발생한 경우 대처하기 어려울 수 있다.

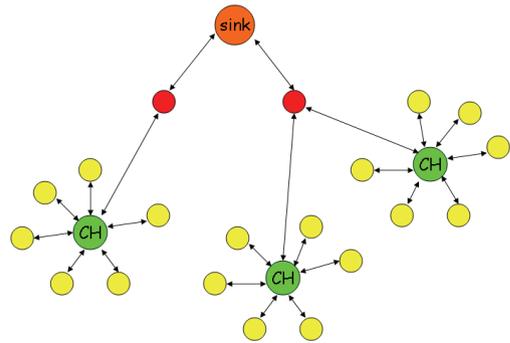
또한, 각각의 노드는 싱크노드와 직접적으로 통신할 수 있어야 하고 모든 노드들은 각 노드사이의 거리에 대한 데이터베이스를 유지하여야 하는 오버헤드가 발생하기 때문에 이러한 문제점들에 대한 개선을 필요로 한다.

### 3.2 LEACH : Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LEACH는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 데이터 퓨전(fusion)을 통해 데이터를 모아서 직접 싱크로 전달한다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터 내의 데이터를 모아 지역적으로 퓨전하는 것이다.

그림 3은 LEACH 프로토콜의 기본 구조를 나타내고 있다. 클러스터 헤드 결정은 모든 노드가 현재 라운드 동안 클러스터 헤드가 될 수 있을지에 대해 이전 라운드 동안 클러스터 헤드였는지의 여부와 이상적 클러스터 헤드

수에 기반을 두고 결정하게 된다. 현 라운드 동안 특정 노드들이 클러스터 헤드가 되기로 결정한 경우, 이를 이웃 센서 노드들에게 알린다. 이를 수신한 비클러스터 헤드 노드들은 수신 강도 등의 파라미터를 기반으로 클러스터 헤드를 결정하며 이를 클러스터 헤드로 전송하여 클러스터링이 형성된다.



[그림 3] LEACH 프로토콜의 기본 구조

그러나 LEACH의 성능은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고, 클러스터 헤드가 고르게 배치되는데 있으나 센서 노드가 자기 스스로 클러스터 헤드를 선출하는 방법(Self-Organizing)으로는 이를 보장할 수가 없는 문제점이 있다.

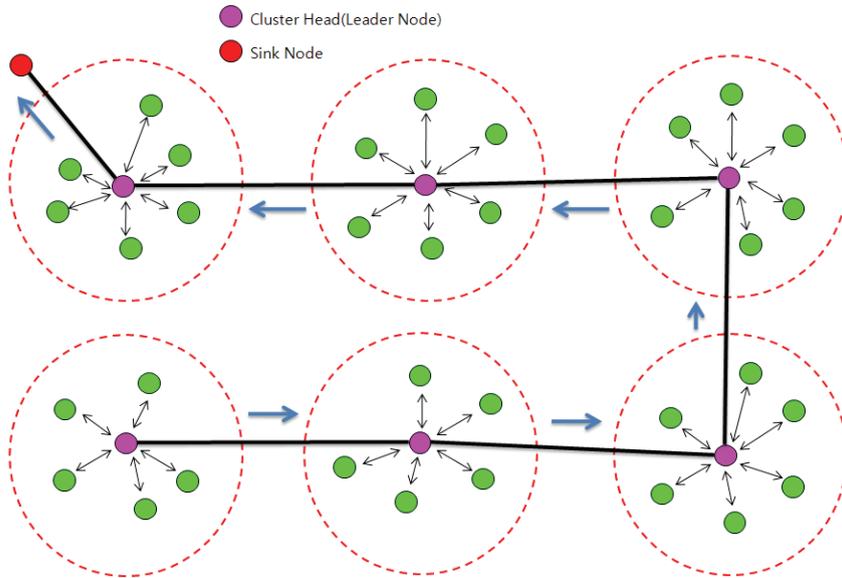
## 4. 선박용 복층 PEGASIS 알고리즘 모델 설계

본 장에서는 앞에서 소개한 센서 네트워크 라우팅 알고리즘을 응용한 선박 내 실시간 모니터링의 효율화를 위한 센서 필드 구성방법 설계 및 센서 필드 내의 센서 노드가 고장이 발생하였을 경우 이를 복구하는 라우팅 알고리즘 설계에 관해 기술하고자 한다.

### 4.1 기본 배경

본 연구를 위한 기본 환경 및 고려사항으로는 다음과 같다.

- 각 센서 노드들은 고정적(Stationary)이며 모니터링을 담당하는 중앙 관리실에서 각 센서 노드의 절대적인 위치를 인지
- 선박은 움직이는 환경
- 선박 내의 철관 등의 내부 환경으로 인한 RF통신의 장애가 발생



[그림 4] LEACH와 PEGASIS 알고리즘의 혼합 구성 설계

- 각종 통로 및 층계의 구분 등으로 인한 통신 장애가 발생

본 연구에서 제시한 센서 네트워크는 배 안의 여러 환경들(온도, 습도, 가스, 적외선, 화재감시 등)의 모니터링을 위한 센싱에 초점을 맞추며 환경 감시 센서 네트워크 관리가 목적이다. 또한, 일반적인 센서 네트워크에서 적용되는 LEACH와 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 혼합하여 선박내에 적용하고 체인기반의 PEGASIS 알고리즘을 계층적으로 구분하여 복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 제시하고자 한다.

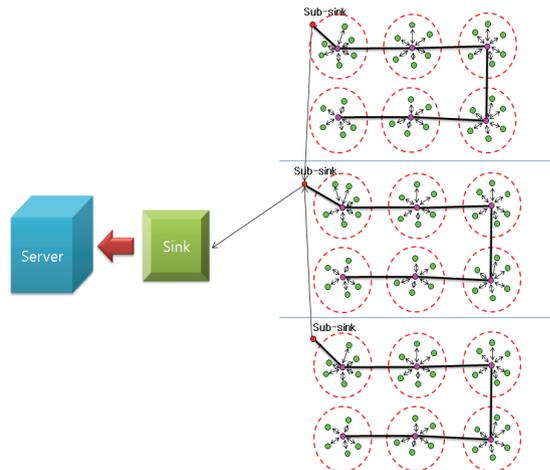
#### 4.2 센서 필드 구성 알고리즘 설계

본 연구에서 설계한 센서 필드를 구성하는 설계 방식으로는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 한 층 내에서 복도를 기준으로 센서 필드를 그룹핑
- LEACH 라우팅 알고리즘을 사용하여 그룹핑
- 각 그룹에서는 리더 노드가 될 수 있는 노드들을 미리 선정해 놓고 그 중에서 리더 노드 역할을 분담. 선박 내의 신호 전달 거리 및 통신 불가 위치 등을 고려하여 그룹핑하고 리더 노드 위치를 파악
- LEACH는 랜덤으로 클러스터 헤드(리더노드)를 정하고 각 그룹의 리더노드끼리는 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 기반으로 체인 형성

그림 4는 선박 내의 한 층에서 센서 네트워크를 형성하기 위한 알고리즘 설계를 제시한 것이다. 각 일반 노드

들은 LEACH 라우팅 알고리즘의 원리에 따라 수신 강도 등의 파라미터를 기반으로 클러스터 헤드(리더 노드)를 결정하며 클러스터링을 형성한다. 각 클러스터 군의 리더노드들끼리는 PEGASIS 라우팅 알고리즘의 원리에 따라 체인을 형성하고 각 리더노드는 자신의 데이터를 체인의 이웃 리더노드에게 전송하고 이를 수신한 리더노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 이웃 리더노드에게 전송한다. 최종적으로 선박 내 단일 층에서 형성된 센서 네트워크 상에서의 모든 데이터를 전송받는 노드는 싱크노드가 된다.



[그림 5] 선박 내 센서 네트워크 형성 및 데이터 전송 설계

그림 5는 그림 4의 설계를 기반으로 선박 내의 각 층에 본 연구에서 제시하는 알고리즘을 적용하고 각 층마다 데이터를 수집하는 서버 싱크 노드들이 최종적으로 PEGASIS를 한 번 더 형성하여 최종 리더 서버싱크 노드가 싱크 노드로 데이터를 전송하는 과정을 설계한 그림이다. 각 클러스터의 리더 노드가 되기 위한 조건은 신호 수신 강도가 높아야 하며 위치상 클러스터 형성 군의 사각지대에 속한 노드가 되어서는 안된다.

위와 같은 복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘 과정을 각 단계별로 기술하자면 다음과 같다.

**복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘**

1단계 : 초기화

- S1-1) 클러스터 형성
- S1-2) 클러스터 헤드 리스트(CHL) 결정
- S1-3) 클러스터 헤드(CH)들끼리의 PEGASIS 라우팅 연결

2단계 : 오퍼레이션

- S2-1) foreach ROUND
- S2-2) decide CH in CHL
- S2-3) 클러스터 헤드(CH) 사이에서 PEGASIS 기반으로 데이터 전송
- S2-4) end

3단계 : 고장발생노드 관리

- S3-1) 고장 노드 감지
  - S3-2) 고장 노드의 특성 파악 (3가지로 분류)
- 1) 고장 노드가 CH 노드일 경우 CHL에서 새로운 CH 선출. 새로운 CH 정보를 싱크노드를 통해 서버로 전송
  - 2) 고장 노드가 CHL의 임의의 노드일 경우 CHL 업데이트를 위해 서버로 데이터 전송
  - 3) 고장 노드가 CH 혹은 CHL의 노드가 아닐 경우 CH는 서버로 고장 노드의 정보만 전송

**[그림 6]** 복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘 3단계

복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘은 크게 3단계로 구분할 수 있다. 1단계는 초기화 단계로서 클러스터 및 클러스터 헤드를 형성하고 각 클러스터내의 클러스터 헤드 후보를 리스트화하는 클러스터 헤드 리스트를 결정한다. 또한 선출된 각 클러스터 헤드들 간의 PEGASIS 라우팅을 형성하여 싱크노드와 서버간의 통신 구조를 형성한다. 2단계는 클러스터 내에서 클러스터 헤드와 일반 노드들 간의 데이터 전송 및 클러스터 헤드들 간의 데이터 전송 과정을 나타내는 단계이다. 3단계는 데이터 전송 과정 중 특정 노드가 고장이 났을 경우 감지하고 고장 노드의 특성을 파악하여 각 경우에 따른 고장 노드를 관리하는 단계이다.

**특정 클러스터링 내의 CH와 노드들 간의 통신 알고리즘**

- LEACH 통신 in  $i$ th cluster (평균  $m$ 개 노드가 존재한다고 가정)

```
for(x=0; x<=m-1; x++)
{
    send Ci[x] to CH[i];
}
```

**[그림 7]** 클러스터 헤드와 클러스터링 내의 노드들 간의 통신 알고리즘

**정의(Definition)**

- $C[i]$  :  $C_i$ .  $i$ th cluster's node set
- $CHL[i]$  :  $CHL_i$ . Cluster Head candidates list in  $i$ th cluster
- $CH[i]$  :  $CH_i$ . Cluster Head in  $i$ th cluster
- $C_i[x]$  :  $x$ th node in  $i$ th cluster

**[그림 8]** 클러스터 및 클러스터 헤드 용어 정의

**클러스터 헤드들 간의 통신 알고리즘**

- PEGASIS 통신 ( $n$ 개의 클러스터가 존재한다고 가정)

```
for(y=0; y<=n-1; y++)
{
    send CH[y] to CH[y+1];
}
```

**[그림 9]** 클러스터 헤드들 간의 PEGASIS 통신 알고리즘

이 중 아래 기술 부분은 위 복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘 과정 중 2단계의 데이터 전송 부분을 상세히 설명하는 부분이다.

그림 7은 복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 기술할 때 사용되는 정의부분이다.  $C[i]$ 는  $i$ 번째 클러스터를 뜻하고  $CHL[i]$ 는  $i$ 번째 클러스터의 클러스터 헤드 후보자 리스트를 나타낸다.  $CH[i]$ 는  $i$ 번째 클러스터의 헤드를 나타내며  $C_i[x]$ 는  $i$ 번째 클러스터의  $x$ 번 노드를 뜻한다.

그림 8은  $i$ 번째 클러스터의 클러스터 헤드와 각 노드들 간의 데이터 통신에 관해 기술한 부분이다. 클러스터내의 데이터 통신은 LEACH 알고리즘을 기반으로 통신함을 가정한다.

그림 9는 클러스터 헤드들 간의 PEGASIS 통신 알고리즘을 기술한 부분이다. 선박 내의 선실, 계단 등의 공간적 제약으로 인해 그림 8과 같이 부분적으로 LEACH 통신으로 클러스터링을 형성하여 주기적으로 클러스터 헤드를 선출하고 각 클러스터 헤드들은 그림 9와 같이 PEGASIS 알고리즘을 통해 데이터 전송을 하게 된다.

클러스터링 내의 노드 고장 3가지 경우

- case 1 : fault in CH[i]  
select random CH[i] in CHL[i] except for fault CH[i]
- case 2 : fault in CHL[i]  
delete fault candidate CH[i] in CHL[i]  
update new CHL[i] information
- case 3 : fault in random node except for CH[i] and CHL[i]  
send fault C[i] to server for updating DB  
keep existing clustering structure

[그림 10] 클러스터링 내 노드 고장 3가지 경우

### 4.3 센서 노드 고장 시 라우팅 재설계

본 절에서는 앞 절에서 제시한 센서 필드를 형성하는 설계방법에서 특정 노드가 고장이 났을 경우 라우팅을 재형성하는 방법에 대해 설명하고자 한다. 기본적인 방법을 요약하자면 다음과 같다.

- 각 클러스터 내의 일반 노드가 고장이 났을 경우 리더 노드와 일반노드 간 메시지 전송과정 알고리즘을 통해 이에 관한 정보를 리더노드와 서브싱크, 최종적으로 싱크노드로 전달함
- 각 클러스터 내의 리더 노드가 고장이 났을 경우 클러스터 군 내의 일반 노드들이 LEACH 알고리즘의 리더 노드 선출방식에 따라 리더노드를 재 선출하고 새롭게

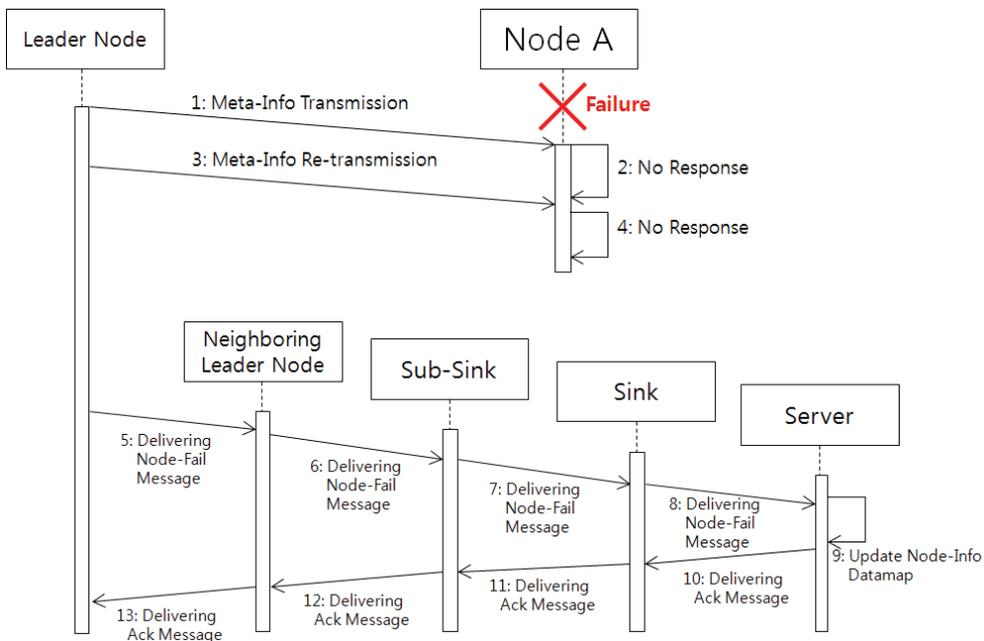
선출된 리더 노드가 고장 난 노드의 정보를 싱크 노드로 전송함

그림 10의 case 1은 고장 노드가 CH 노드일 경우의 처리과정이다. 고장 난 CH[i]를 제외하고 CHL[i]에서 새로운 CH[i]를 선출한다. 그 후 새로운 CH[i]의 정보를 업데이트하기 위해 새로운 CH[i]를 포함한 CH간의 PEGASIS 통신을 거쳐 싱크노드를 통해 서버로 전송한다.

그림 10의 case 2는 고장 노드가 CHL[i]의 임의의 노드일 경우이다. 이때 고장 난 CH 후보 노드를 CHL[i]에서 삭제하고 새로운 CHL[i] 정보를 업데이트를 위해 서버로 데이터를 전송한다.

그림 10의 case 3은 고장 노드가 CH[i] 혹은 CHL[i]의 노드가 아닐 경우이다. 클러스터 i의 임의의 노드가 고장이 났을 경우 CH[i]는 서버로 고장 노드의 정보만 전송하고 현 클러스터링을 그대로 유지한다.

그림 11은 클러스터 내의 센서 노드 사이에서의 데이터 전송 과정 중 특정 일반 노드가 고장이 났을 경우의 데이터 전송 과정을 도식화 한 것이다. 리더 노드는 자신의 클러스터 군 내의 특정 일반 노드로 메시지를 송신하는 클러스터 헤드이고 특정 노드 A는 데이터를 수신하는 일반노드이며 미리 정의된 라우팅에 의해 노드 A는 클러스터 헤드(리더 노드)의 클러스터 군에 속한 일반노드가 된다. 먼저 클러스터 헤드가 데이터 송신을 위한 메타 정보를 노드 A로 보냈을 때 현재 노드 A가 고장이 난 상태



[그림 11] 클러스터 내 노드 고장 시 노드 간 데이터 전송 과정

라면 이 노드는 어떠한 응답 메시지도 보낼 수 없게 된다. 일정 시간이 지난 후 아무 반응이 없으면 클러스터 헤드는 다시 한 번 노드 A에게 메타 정보를 보내게 된다. 이번에도 응답 메시지가 없으면 클러스터 헤드는 현재 노드 A가 고장이 났음을 감지하고 노드 A에 대한 고장 메시지를 PEGASIS로 연결된 이웃 클러스터 헤드와 서버 싱크 노드 및 최종 싱크 노드를 통해 서버로 보낸다. 서버에서는 현재 고장이 발생한 노드를 노드 위치 정보 데이터베이스에서 삭제한다. 그리고 위치 정보 데이터베이스를 기반으로 삭제된 고장 노드를 제외한 나머지 노드를 최단 경로 알고리즘 및 신호 세기에 따라 클러스터링 가능 여부를 판별하고 이에 대한 확인 메시지를 싱크 노드로 보내게 된다. 싱크 노드는 전달받은 확인 메시지를 처음에 요청한 클러스터 헤드로 보내게 되고 서버로부터 확인 메시지를 받은 클러스터 헤드는 고장 노드를 제외한 나머지 일반 노드들과 함께 데이터 전송을 위한 클러스터링을 유지하게 된다.

### 5. 고장 감래 센서 라우팅 알고리즘 비교 분석

표 1은 기존에 제시된 라우팅 알고리즘인 LEACH 및 PEGASIS와 이를 혼합 적용하여 본 연구에서 제시한 복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 비교한 표이다. LEACH 알고리즘은 매 라운드마다 새로운 클러스터 헤드를 선출함으로써 전체 센서 노드의 에너지 소모를 균일화 한다. 그러나 클러스터 헤드의 밀집 분포를 방지할 수 없으며, 에너지 소모가 극심한 노드가 클러스터 헤드로 선정될 위험을 지닌다. PEGASIS 알고리즘은 근거리 통신을 기반으로 전체 센서 네트워크에서의 통신량 및 에너지 소모를 최소화 한다. 이를 위해 센서 노드 간 상대 거리 기반의 단일 체인을 형성한다. 그러나 이로 인해 PEGASIS 알고리즘은 대규모 센서 네트워크 구성에 어려움이 있으며, 노드 이상으로 인한 체인 끊김이 발생하면 네트워크 복구에 상당한 오버헤드가 발생하게 된다.

본 연구에서 제시하는 알고리즘에서는 복층 PEGASIS 구조를 이용해 기존 PEGASIS 알고리즘에서의 체인의 길이에 따른 오버헤드 문제를 해결하고 대규모 센서 네트워크에 적용 가능토록 고안 하였다. 또한 센서 노드들 간 클러스터 구성 및 클러스터 헤드 선출에 있어 클러스터 헤드 리스트(ChL)를 유지함으로써 매 라운드 마다의 클러스터 헤드 선출 및 센서 노드 고장으로 인한 클러스터 유지에 필요한 소요 비용을 최소화 하였다.

[표 1] 각 라우팅 알고리즘 비교

알고리즘	비교분석
LEACH	<ul style="list-style-type: none"> <li>클러스터 헤드 선출에 있어 자가 구성능력이 떨어짐</li> </ul>
PEGASIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>모든 노드사이의 통신이 필요하고 각 노드들의 거리정보를 담은 데이터 베이스를 유지해야 하는데 있어 오버헤드가 발생</li> </ul>
복층 PEGASIS 라우팅 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> <li>클러스터 헤드 리스트(ChL)을 두어 각 클러스터링 별로 매 주기마다 자동으로 클러스터 헤드를 선출하도록 설정.</li> <li>전체 노드 대신 클러스터 헤드 노드들 사이에서만 통신하고 헤드사이의 거리정보만 유지하면 되기 때문에 PEGASIS의 오버헤드를 줄일 수 있음.</li> </ul>

### 6. 결론

본 연구는 선박 내에 센서 네트워크 영역을 구축하여 선박 내 환경감시를 통해 관리 효율을 극대화하고 모니터링 체계화를 향상시키는 것이 목적이다. 선박 내에 구축된 센서 네트워크의 각 센서 노드들을 세부적으로 관리하며 명확한 센서 데이터를 얻기 위해서는 각 센서 노드들의 정확한 위치가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 선박 내에 배치된 많은 센서 노드의 상태를 효율적으로 관리하기 위해 센서 노드의 그룹을 구성하는 방법에 관하여 기술하였고 기본적으로 LEACH 및 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 이용하여 노드들 간의 상대 거리 정보를 수집하여 센서 노드의 위치 정보를 탐지하고 각 필드 별로 그룹핑하여 데이터 전송 효율의 체계적인 작업을 증가시키는 방법을 제시하였다. 또한, 탐지된 위치 정보를 이용하여 임의의 노드에서 고장이 발생하였을 경우 최적의 라우팅 경로를 재설정하는 방법을 제시하여 노드가 고장이 났을 경우 이에 대한 대처방안을 위한 설계 방법을 기술하였다.

본 연구에서 제시한 복층 PEGASIS와 LEACH 복합 센서 네트워크 구조는 센싱 및 데이터 전송에 있어서의 효율성 향상은 물론, 선박 내 센서네트워크라는 특수한 환경에서 내부 구조물 및 격벽으로 발생할 수 있는 통신 장애를 최소화 할 수 있는 구조를 제공한다.

향후 본 연구에서 제공하는 설계기법을 적용하여 실제 선박 내에서의 모니터링 응용을 통해 고부가가치 산업으로의 업그레이드를 위한 IT융합 기술 접목 및 IT융합 시스템 산업을 중점 육성함으로써 조선 산업의 초일류 화를 달성할 수 있는 기반이 되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 오문균, 박운용, 김재명, 함호상, “조선 IT 융복합 기술 동향 및 산업 전망,”한국정보처리학회지 제16권 제4호, 2009년 7월.
- [2] 정민아, 장봉석, 이연우, 이성로, “조선 IT 융복합 전문인력 양성 방안에 관한 고찰,”한국정보처리학회지 제16권 제4호, 2009년 7월.
- [3] 이동근, “선박의 실시간 상태 감시기술 개발,”해양운송 연구, [http://www.kordi.re.kr/uploaded\\_data/research2009/17.pdf](http://www.kordi.re.kr/uploaded_data/research2009/17.pdf)
- [4] 박중현, 백중현, “국내의 IT융합기술 R&D 동향 및 추진 전략,”정보통신연구진흥원 주간기술동향 통권 1390호, 2009년 4월.
- [5] 이광희, 안춘모, 박광만, “전통산업과 IT산업의 융합화 분석,”전자통신동향분석 제23권 제2호, 2008년 4월.
- [6] 현창희, “IT 기반 융합정책 방향,”전자통신동향분석 23권 2호.(통권 110호)
- [7] Ji-Hye Bae, Hee-Kuk Kang, Yoon-Young Park, Jaeson Kim, Dong-Sun Lim, "A Failure-Recovery Routing Algorithm using Location Information of Sensor Nodes in Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 3rd International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications (ICUT), pp.539-pp.545, Ho Chi Minh, Vietnam, 18-20 Dec., 2008.
- [8] 배지혜, 엄익정, 윤남식, 박운용, 오문균, “무선 센서 네트워크에서의 노드 재라우팅 알고리즘 설계에 관한 연구”, 한국정보처리학회 춘계학술발표대회, pp.871-pp.874, 2009년 4월.

### 박 윤 용(Yoon-Young Park)

[정회원]



- 1983년 3월 ~ 1985년 8월 : 서울대학교 계산통계학과 이학석사
- 1990년 3월 ~ 1994년 8월 : 서울대학교 계산통계학과 이학박사
- 1985년 1월 ~ 1993년 2월 : 한국전자통신연구원 재직

- 1995년 1월 ~ 1996년 3월 : 한국전자통신연구원 초빙 연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

임베디드 시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서 네트워크

### 윤 남 식(Nam-Sik Yun)

[정회원]



- 1999년 3월 ~ 2006년 2월 : 선문대학교 컴퓨터정보학부 이학사
- 2006년 3월 ~ 2008년 2월 : 선문대학교 전자계산학과 이학석사
- 2008년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 컴퓨터정보학과 박사과정

<관심분야>

임베디드 시스템, 리눅스 커널, 센서 네트워크

### 배 지 혜(Ji-Hye Bae)

[정회원]



- 1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 선문대학교 컴퓨터정보학부 이학사
- 2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 선문대학교 전자계산학과 이학석사
- 2005년 3월 ~ 2008년 2월 : 선문대학교 컴퓨터정보학과 이학박사

- 2008년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 IT교육학부 조교수

<관심분야>

임베디드 시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서 네트워크

### 공 헌 택(Heon-Tag Kong)

[정회원]



- 1984년 5월 : Northeast Missouri State University 전산학과 (학사)
- 1987년 12월 : Utah State University 전산학과 졸업 (석사)
- 1998년 2월 : 단국대학교 대학원 전산통계학과 졸업 (박사)
- 1988년 1월 ~ 1990년 3월 : 한국국방연구원 전산체계연구부

- 1990년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

병렬처리 알고리즘, 객체지향 데이터베이스