

LoRa WAN 통신 기반의 선박 내/외부 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템

박석현[†], 박문수^{**}

Measuring Inner or Outer Position of Ship Passenger and Detection of Dangerous Situations based LoRa WAN Communication

Seok Hyun Park[†], Moon Su Park^{**}

ABSTRACT

In order to minimize casualties from marine vessel accidents that occur frequently at home and abroad, it is important to ensure the safety of the passengers aboard the vessel in the event of an accident. There is an EPIRB system as a system for disaster preparedness in the marine situation currently on the market, but there is a problem that the price is very expensive. In order to overcome the cost problem, which is a disadvantage of previous system, LoRaWAN-based communication is used. LoRaWAN communication-based vessel positioning and risk detection system based on LoRaWAN communication transmits measurement data of each module using two Beacon and GPS modules to stably perform position measurement for both indoor and outdoor situations. The rider danger situation detection system can detect the safety status of the rider using the 3-axis acceleration sensor, collect data from the rider positioning system and the rider safety status detection system, and send to server using LoRa communication. When conducting communication experiments in the long-distance maritime situation and actual communication experiments using the implemented system, it was found that the two experiments showed over 90% communication success rate on average.

Key words: LoRa WAN, Beacon, GPS, Measuring Inner or Outer Position of Ships, Detection of Dangerous Situation, Fall Detection Algorithm

1. 서 론

최근, 국내와 국외를 막론하지 않고 해상 환경에서 선박 사고들이 많이 발생하고 있다. 국내에서는 세월호 참사와 같은 대형 사고가 발생했었고, 침몰이 아닌 단순 충돌, 화재 등의 사고도 많이 발생하고 있고, 그로 인한 인명 피해도 많이 발생한다. 이와 같이

해상에서 크고 작은 선박사고들이 끊임없이 이어지고 있기 때문에, 이런 사고들로부터 인명 피해를 최소화할 수 있는 기술이 반드시 필요하게 되었다.

승선자의 안전 관리를 위해서는 승선자의 위치를 실시간으로 정확하게 알아내는 것이 중요하다.

승선자의 현재 위치를 파악하는 것은 GPS 데이터 측정으로 확인할 수 있을 것이다. 하지만 이런 GPS

* Corresponding Author : Moon Su Park, Address: (46288) 52, Jangjeon-ro, Geumjeong-gu, Busan, Republic of Korea, TEL : +82-51-512-7565, E-mail : mspark@fsrnt.com

Receipt date : Nov. 26, 2019, Revision date : Jan. 17, 2020
Approval date : Jan. 22, 2020

[†] Dept. of Software Convergence, Graduate School, Dong-eui University
(E-mail : refresh1104@gmail.com)

^{**} FSR&T Inc.

* This work was supported by the ICT Convergence Industry 4.0 (R & D) Technology Development Project of NIPA in 2017. (R-20170420-001559)

데이터 측정은 실내에서의 위치 측정이 불가능하다는 단점이 존재한다. 현재 여러 위치 측정 방법에서 실내 위치 측정은 Wi-Fi 기반의 실내 측위 기술을 많이 사용하지만, 이는 초기 비용이 크고 오차가 많다는 문제점이 존재하기 때문에, 이번 논문에서 제안하는 위치 측정 시스템은 비용이 많이 발생하지 않는 위치 측정 방식인 Beacon을 통한 실내 위치 측정 방법을 이용하고자 하고, GPS를 통한 위치 측정도 같이 수행할 수 있도록 해 일반 상황, 선박 사고가 발생하는 두 가지 상황에도 승선자의 위치를 파악할 수 있도록 한다.

그리고 선박 내부의 밀폐된 상황과 선박 외부, 바다에 빠진 조난 상황 등에 대해서 측정 모듈이 측정된 데이터를 서버로 일정하게 문제없이 전송할 수 있는 통신 기법도 필요로 한다. 선박 위에서 발생하는 상황이기 때문에, 전반적으로 전력 소모가 적으며, 범위가 넓은 통신 기법이 필요하다.

LoRa WAN 통신 기법은 저 전력 통신이며, 범위가 11km 이내이고, 알루미늄/철판으로 격벽을 이루는 선박 내부에서도 일정한 신호 세기를 가지며 통신이 가능하기 때문에[1] 이번 논문에서는 LoRa WAN 통신 기법을 이용해 데이터를 전송하고자 한다.

또, 승선자의 안전을 위해서 데이터 측정뿐만이 아니라, 데이터를 통해 얻을 수 있는 정보를 선원이나 구조자 등 여러 사람들이 확인해 대처할 수 있도록 하는 시스템도 필요로 한다.

이에, 본 논문에서는 LoRa WAN 통신 기반의 선박 내/외부 측위 및 위험상황 감지 시스템을 제안하고자 한다.

LoRa WAN 통신 기반의 선박 내/외부 측위 및 위험상황 감지 시스템은 LoRa 노드를 이용한 데이터 측위를 수행한다. LoRa 노드 내부에 Beacon, GPS 모듈을 탑재해 각각의 모듈을 이용해서 측위를 수행하고 결과 데이터를 LoRa 통신을 이용해 서버로 전송, 실시간으로 선박 내/외부에서 승선자의 위치를 측정한다. 또, 승선자에 대한 위험 상황을 감지하기 위해서 LoRa 노드에 3축 가속도 센서를 부착해 낙상 또는 익수 상황에 대한 감지를 수행하고 측정 데이터를 서버로 전송해 위험상황에 대한 감지도 이루어질 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 관련 연구에서 LoRaWAN 통신 기법, Beacon을 이용한 측위 기

법이 가지는 장점과 위험 상황 감지 기법 등에 대해 조사하고, 설명한다. 3장에서는 전체 시스템에 대한 설계를 진행하며, 4장에서는 설계된 시스템에 따른 구현을 다룬다. 마지막으로, 5장에서는 결론으로 끝을 맺는다.

2. 관련 연구

이번 장에서는 이번 논문에서 제안하는 시스템인 LoRa WAN 통신 기반의 선박 내/외부 측위 및 위험 상황 감지 시스템에서 사용되는 기술들에 대해 조사하고 분석한다.

2.1 LoRa WAN 통신

LoRa는 Long Range의 약자로 LoRa 통신의 가장 두드러지는 특성인 긴 통신거리를 표현한다. 통신 구조는 스타 토폴로지 기반의 Aloha 프로토콜 방식을 채택하고 전파 도달 거리는 최대 20km이며, 통신 속도는 0.3kbps에서 50kbps 사이이다. 속도와 전송시간 등을 고려하여 주로 2km의 범위를 사용한다. 또 다른 특징으로는 Low Energy, 다중 센서 기능, 암호화를 들 수 있으며 안전한 양방향 통신과 이동성을 제공한다[2].

Fig. 1은 LoRa와 Short-Range Network, Cellular Network와의 차이점을 보여준다. LoRa 통신은 Short-Range Network보다 데이터 전송률은 낮으나 통신 거리가 길고, Cellular Network보다도 데이터 전송률은 낮지만, 통신 거리가 비슷하며 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 이런 점을 통해서 LoRa 통신 기법이 저전력 장거리 전송에 유리하다고 볼 수 있다[3].

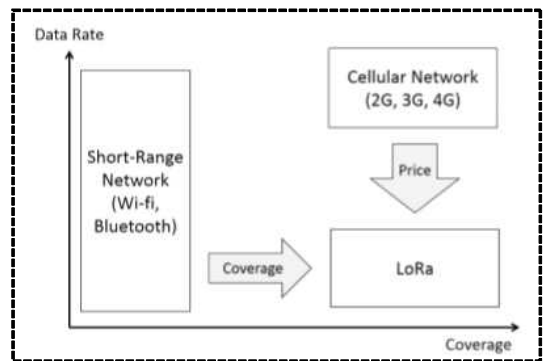


Fig. 1. Difference between LoRa and other networks.

2.2 Beacon을 통한 실내 측위 기법 분석

Beacon을 이용한 실내 측위 기법은 Beacon의 RSSI를 사용한 측정법[4], 삼각측량 알고리즘[5], 핑거프린팅 기법[6] 등이 많이 사용된다.

Beacon RSSI를 이용한 측정 방법은 Beacon이 송신하는 신호를 Beacon 수신 모듈이 수신할 때 모듈에서 취득하는 여러 데이터(Tx power, RSSI, UUID) 중 하나인 RSSI값을 사용해 위치를 측정하는 방법이다. RSSI값은 Beacon으로부터 수신 모듈의 거리는 수신되는 신호 세기에 반비례해서 값이 정해지는데, 이를 이용한 측정 방법이다. 여기서 측정되는 값에는 방향 정보는 없고, Beacon 송신 모듈로부터 떨어진 거리 값만을 나타낸다. RSSI를 이용한 측정 방법은 RSSI값이 여러 환경요소에 영향을 받기 때문에, 다양한 외부 환경이 발생할 수 있는 실외에서는 거리 측정의 정확도에 많은 편차가 발생하지만 비교적 환경이 안정적인 실내에서는 큰 편차가 발생하지 않는 기법이라고 할 수 있다[4].

삼각측량 알고리즘은 고정된 3개 이상의 지점에서 측정된 거리를 이용하여 위치를 측정하는 방식이다.

Fig. 2에서 점O는 측정하고자 하는 사용자의 실제 위치이고, 각 지점 P1,2,3에서 사용자까지의 거리를 r1,2,3이라고 할 때, 각 지점을 원점으로 하여 사용자까지의 거리를 반지름으로 하는 원을 그리면 세 개의 원이 교차하는 하나의 교점이 생기는데, 이 교점의 위치를 측정된 사용자의 위치라고 할 수 있다. 즉,

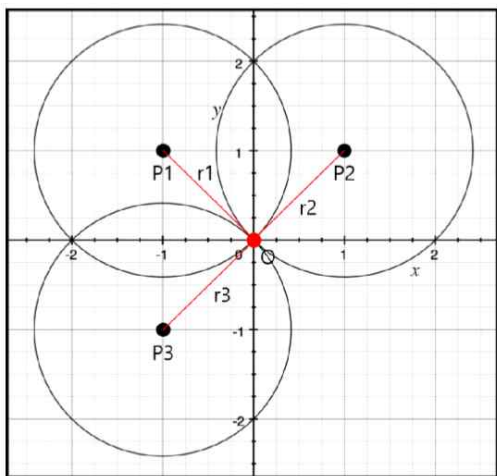


Fig. 2. Positioning using Triangulation.

삼각측량법은 세 개 원의 교점을 구해 위치를 측정하는 것이다. 하지만, 현실 좌표계는 3차원이고 삼각측량법을 통해 얻을 수 있는 좌표계는 2차원이기 때문에 거리를 실측하게 되면 r1,2,3의 값이 오차가 발생하게 되는 문제점이 존재한다[7].

핑거프린팅 기법은 데이터베이스를 이용한 위치 인식 방법이다. 여러 Beacon에서 수신되는 신호세기 값을 데이터베이스에 저장하고, 이 때 저장되는 신호세기 값을 이용해 미리 정의되어 있는 핑거프린팅 맵에 따라 특정 장소의 위치를 나타내도록 한다. 일반적으로 모든 실내 환경에서는 기둥, 반사체 등 장애물에 의해 신호세기 값이 장소마다 달라지는 특성이 있기 때문에 핑거프린팅 기법을 이용할 수 있는데, 사용자의 단말은 이러한 신호세기 값을 받아서 서버의 데이터베이스에 저장된 데이터 중 가장 유사한 데이터를 참조해 단말의 위치를 추정한다. 하지만 Beacon의 개수가 많아지거나, 수신 주기가 짧아지는 등의 문제로 Beacon Loss가 발생하는 경우, 특정 상황에 따라 Beacon 신호 데이터가 수신되지 않는 경우 정확한 위치를 구분할 수 없는 문제가 발생할 수 있다[8].

이번 논문에서 제안하고자 하는 LoRaWAN 통신 기반의 선박 내/외부 승선자 측위 시스템에서는 다수의 Beacon을 통해 승선자의 개략적인 위치를 측정하고자 한다. 이에, 삼각측량, 핑거프린팅 방식 등 컴퓨팅 연산이 많이 소모되는 기법보다는 간단하게 수행할 수 있으며 다수의 Beacon을 설치해도 많은 문제점이 발생하지 않는 기법인 Beacon RSSI를 사용한 위치 측정법을 이용하기로 한다.

2.3 낙상 판단 기법 분석

본 논문에서 제안하는 시스템인 LoRa WAN 통신 기반의 선박 내/외부 측위 및 위험상황 감지 시스템에서, 승선자에 대한 현재 위험 상태를 판단할 수 있도록 위험 감지를 진행하고자 한다. 선박에서의 위험 상태 중 자주 일어나거나 치명적인 문제로 발달할 수 있는 사고는 승선자가 넘어지거나, 바다로 입수하는 상태를 들 수 있고, 이 상태들은 낙상 데이터를 검출하면 확인할 수 있다고 생각해, 낙상 감지 기법을 이용해 낙상 데이터를 검출하고자 한다.

낙상 감지 시스템은 크게 두 가지로 분류할 수 있다[9]. 대상에게 센서를 부착해 낙상 움직임을 감지

하는 방법과 관찰을 통해 수집한 이미지 데이터를 기반으로 낙상 여부를 분석하는 방법으로 나뉜다.

센서를 통한 데이터 수집 방식은 가속도 센서와 Gyroscope 같은 센서를 설치해 대상의 움직임 데이터를 수집해 낙상을 감지하고 관찰을 통한 방식은 카메라를 활용해 이미지 데이터를 수집해 낙상을 감지한다.

이번 논문에서 제안하는 시스템에 카메라를 포함해 낙상 데이터를 검출하기 위해서는 선박 내부 거의 모든 곳에 카메라를 설치해야하는데, 이것은 비용적인 문제가 크게 발생한다고 판단하여 센서를 이용한 낙상 감지 기법을 진행하기로 하고, 이 기법들에 대해서 좀 더 깊게 알아보도록 한다.

센서를 이용한 낙상 감지 기법으로는 3축 가속도 센서를 이용한 낙상 감지 기법과 관성 센서 기반의 낙상 예측 기법이 있다.

관성 센서 기반의 낙상 예측 기법은 관성 센서를 이용해서 보행 신호를 시간 영역과 주파수 영역으로 나누어 분석하고, 주파수 영역 분석은 푸리에 변환, 이산코사인 변환, 웨이블릿 변환 등을 이용해서 분석을 진행한다[10]. 보행 신호 분석 데이터를 이용해서 랜덤 포레스트 알고리즘을 적용해 결과 데이터를 도출한다.

하지만 관성 센서를 활용, 보행 신호 데이터를 이용해 낙상 위험을 예측하는 기법은 정확도가 매우 낮은 방법[10]으로, 실생활에 적용하기에는 무리가 있는 시스템이라는 연구결과가 있다.

3축 가속도 센서를 이용한 낙상 감지 기법은 보통 장착하는 가속도 센서의 3축 기준값을 설정, 자세 변화를 구별하고 낙상을 가정한 상황에서는 일반적인

활동에서 볼 수 없는, 넘어지는 방향으로 급격한 속도의 변화가 측정된다. 3축 가속도 센서를 이용해 가상된 낙상 현상에 대한 낙상 현상 측정 실험 결과자료[11]에서, 일상적인 움직임에서는 가속도와 기울기의 변화가 완만하게 나타나지만, 낙상 상황이 발생했을 시에는 가속도와 기울기의 변화가 급격하게 이뤄지며, 변화도 크게 나타난다. 뒤로 넘어지는 경우와 앞으로 넘어지는 경우에도 x,y축 센서 데이터의 가속도 변화량이 크게 나타남을 확인할 수 있었다 [11].

Fig. 3에서 확인할 수 있듯 3축 가속도 센서를 이용한 낙상 검출 실험에서 여러 실험 상황에 대해 80% 이상의 높은 검출률을 보임을 확인할 수 있다.

센서 측정 기법 두 가지 중, 3축 가속도 센서를 이용한 실험에서 높은 낙상 상태 검출률을 보이므로 이번 시스템에 3축 가속도 센서를 사용한 낙상 감지 기법을 사용하기로 결정했다.

3. 시스템 설계

이번 장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템인 LoRa 통신 기반의 선박 내/외부 승선자 측위 및 위험 상황 감지 시스템에 대해, 전체 시스템의 설계를 진행한다.

선박 내/외부 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템에는 서버와의 데이터 통신을 위한 LoRa 통신 모듈과 실내 측위를 위한 Beacon 신호 수신기, 실외 측위를 위한 GPS 신호 수신기가 포함되어야 한다. 또, 낙상 위험을 감지하기 위해서 3축 가속도 센서가 필요하며, 각각의 모듈에서 데이터를 읽어와 처리할

		Situation		Number of Experiments	Detect	Not Detect	Detection Rate
Fall Spot Detection	Fall	A Fall in any Situation	Experimenter 1	30	25	5	83.3%
			Experimenter 2	30	28	2	93.3%
			Experimenter 3	30	27	3	90%
			Fall from Chairs	40	39	1	97.5%
			Run Falling	40	39	1	97.5%
	Routine Movement		To Stand after Sit	40	40	0	100%
			To Sit to Stand	40	40	0	100%
		Sum	250	238	12	95.2%	
Fall Classification		Fall Forward	40	35	5	87.5%	
		Fall Back	40	36	4	90%	
		Sum	80	71	9	88.75%	

Fig. 3. Falling phenomenon measurement result [11].

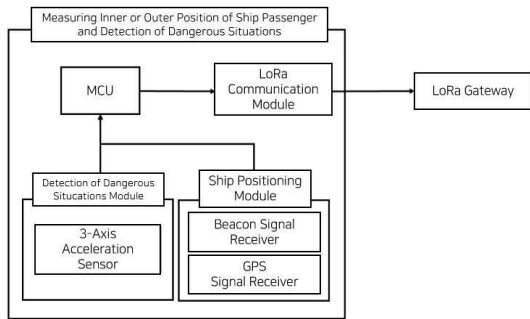


Fig. 4. System Architecture.

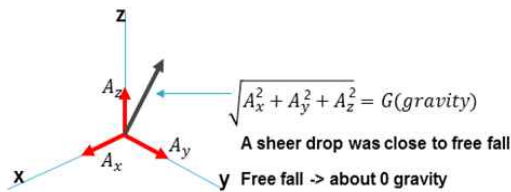


Fig. 5. 3-Axis Acceleration Signal Inference Schematic.

MCU까지가 시스템의 필수 구성요소이다.

Fig. 4는 선박 내/외부 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템의 칩 전체적인 구조를 나타낸 것이다. 시스템 내부에 위험 감지 모듈, 위치 측정 모듈이 포함되어있고 이 데이터를 MCU에서 취합한 뒤 LoRa Uplink 메시지를 생성해서 LoRa 통신 모듈을 통해 메시지를 전송하는 구조로 이루어져 있다.

시스템은 배터리를 이용해 동작하는 LoRa 단말기

로 표현될 수 있다. 전원이 들어오면 MCU가 동작하며 위험 감지와 위치 측정을 동시에 수행할 수 있도록 구성한다. MCU가 동작하면서 위치 측정 모듈로부터 데이터를 수신하는데, 위치 측정 모듈은 처음 동작 시 GPS 신호를 수신받기 시작하고, 일정 시간 동안 수신되는 데이터가 없는 경우 실내 상황이라 판단하여 Beacon 신호를 수신받기 시작한다. 또, 일정 시간마다 GPS 신호를 수신 시도하고, 수신 결과 데이터가 없다면 상태 변화를 하지 않는다. GPS 신호가 수신되는 경우에는 실외 상황으로 판단하여 GPS 신호를 계속 수신한다.

위험 감지 모듈에서는 패턴 분석을 이용한 낙상 추론을 진행한다.

각 축의 신호 데이터를 모두 더해 나온 결과를 제공 해 나온 값을 중력 값이라고 판단하고, 자유낙하 하는 신호를 검출했을 때 이를 낙상 신호라고 판단하는 식을 세워 진행하였고, 이와 더불어 낙상 데이터를 이용해 익수 상황을 검출하고자 하였다.

익수 상황 판단은 두 가지 임계값을 토대로 판단 하는데, Lower -> Upper 순으로 데이터가 검출되면 익수 상황임을 인지하는 것으로 하였다.

Fig. 7은 MCU에서 처리하는 낙상 감지 알고리즘 순서도이다. MCU가 실행되면서 BLE 모듈을 실행한 뒤 가속도 센서에서 데이터를 수신할 수 있도록 설정한 뒤, 0.08초 동안 측정을 멈춘 다음 가속도 센서의 데이터를 수신한다. x, y, z축 세 가지 데이터를

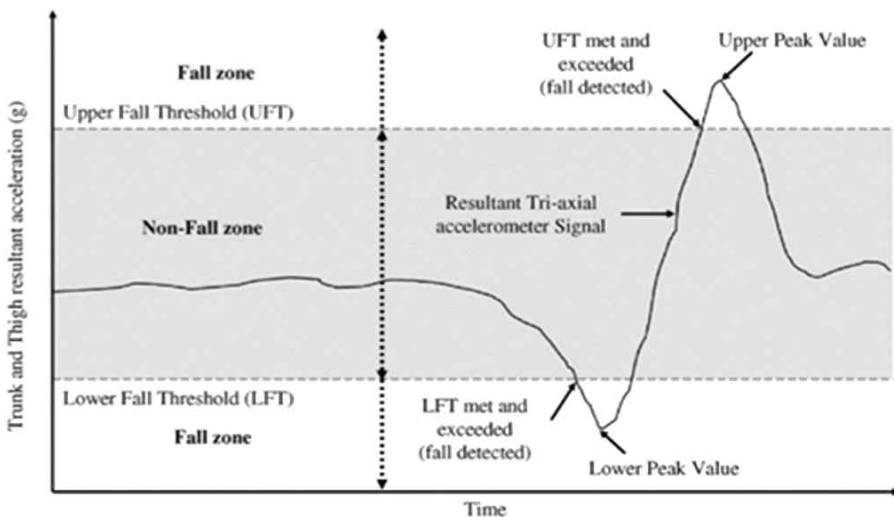


Fig. 6. Underwater Situation Awareness Algorithm.

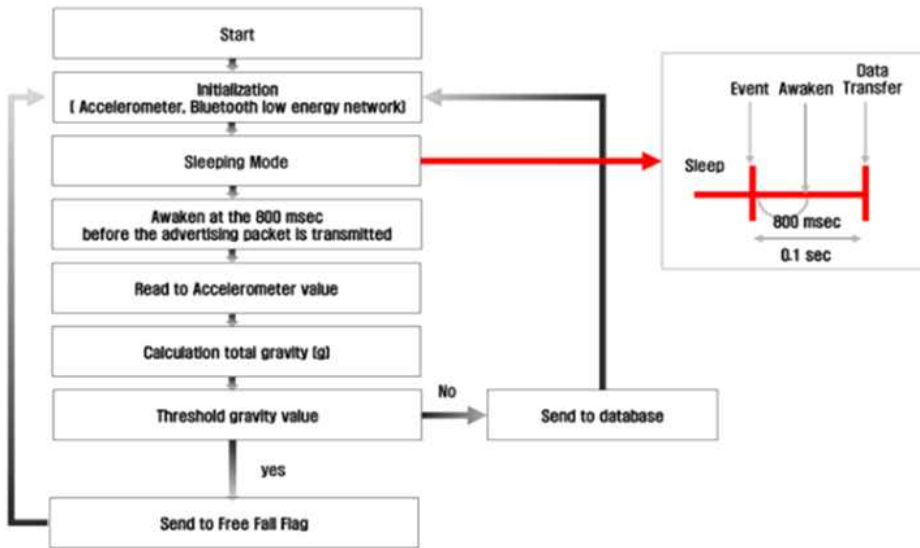


Fig. 7. Fall Detection Algorithm.

이용해서 Gravity 값이 얼마나 발생했는지 판단하고, 임계 값 미만의 Gravity 값, 또는 임계 값 이상의 Gravity 값이 발생한 경우, 낙상 상황으로 판단해 LoRa 통신을 이용해 전송할 다음 메시지에 낙상 상황임을 알릴 수 있는 데이터를 삽입해 전송하도록 설계했다.

MCU는 위험 감지 모듈과 위치 측정 모듈 모두에서 데이터를 받아와서 LoRa Uplink 메시지를 생성하는데, 상태에 따라 다른 메시지를 생성하도록 한다.

MCU에서 데이터를 전송할 때는 LoRa 904.3~905MHz 대역을 이용해서 데이터를 전송하며, 채널의 경우는 8~15까지의 8개 채널을 이용하도록 한다. LoRa 메시지의 규격은 v.1.0.2에 따라 데이터 통신을 진행하고, 메시지 페이로드는 Semtech 기본 규격에 맞추어 진행한다. MCU에서 전송하는 데이터는 두 가지 상태에 따라서 구성되는데, 실외 상태의 경우

GPS 신호를 이용해 좌표 데이터를 담아 데이터를 전송하고, 실내 상태의 경우 Beacon 신호를 이용해 Beacon ID, RSSI 등 Beacon 관련 데이터를 전송할 수 있게 한다.

위의 Fig. 8과 9는 각각 Beacon 신호 수신시의 메시지 전송 규격과 GPS 신호 수신시의 메시지 전송 규격이다. Beacon 신호에 대한 메시지 전송 바이트 수와 GPS 신호 메시지 전송 규격은 각각 11바이트로 구성되어있고, STX 패킷 바로 다음에 생략된 두 번째 패킷이 메시지 구조 패킷이며, 두 번째 패킷을 이용해 서버에서 데이터를 분류해 처리할 수 있도록 구성하였다.

Beacon 신호에 대한 메시지 전송 규격에서, 가장 인접한 Beacon에 대한 정보를 취득해 전송할 수 있도록 한다. 응급상황 패킷은 낙상 데이터 검출 시, 데이터를 포함해서 전송할 수 있도록 하고, 현재 단

STX	Length	Major	Major	Minor	Minor	RSSI	Emergency	Battery	ETX	
[0]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	
0xEF	0x0B	0x0	0x1				0xDD 0x00	0x53	0xFF	
	11	Beacon Data Information					Emergency Normal	83%		

Fig. 8. LoRa Message for Beacon Signal.

STX	Lat. (deg.)	Lat. (arcmin.)	Lat. (arcsec.)	Lat. (arcsec./100)	Lng. (deg.)	Lng. (arcmin.)	Lng. (arcsec.)	Lng. (arcsec./100)	ETX
[0]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
0xEF	35	29	32	73	127	1	51	63	0xFF

Fig. 9. LoRa Message for GPS Signal.

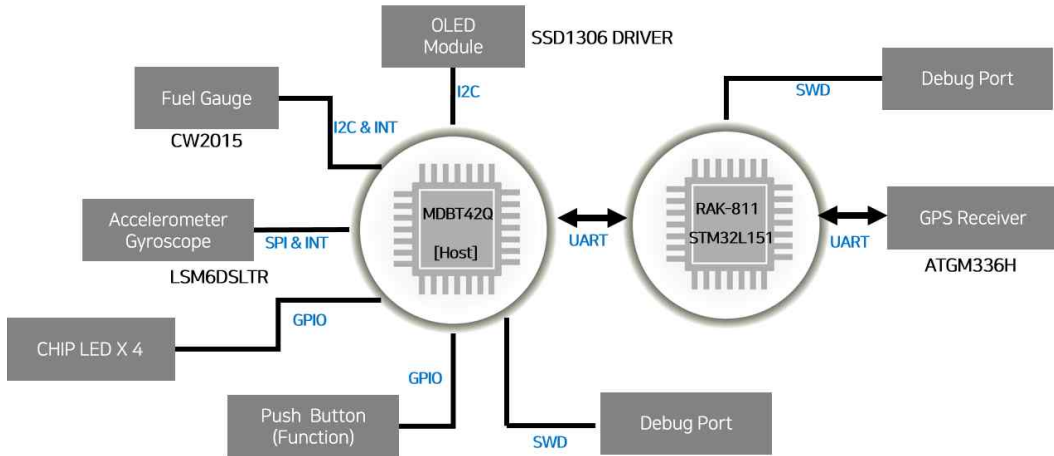


Fig. 10. System Hardware Architecture.

말기의 배터리 데이터를 포함해 전송한다.

GPS 신호에 대한 메시지 전송 규격은 GPS 신호 수신기를 이용해 얻어낸 현재 위치 좌표를 이용해 전송한다. 도, 분, 초, 초/100의 데이터까지 전송해서 현재 좌표를 상세하게 표시할 수 있도록 한다.

4. 시스템 구현

이번 장에서는 시스템 설계 장에서 설계했던 시스템 구조를 이용해 LoRa 통신 기반의 선박 내/외부 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템을 구현한다.

4.1 선박 내/외부 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템 구현

선박 내/외부 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템의 하드웨어는 Fig. 10과 같이 구성하였고, 구성요소들을 이용하여 Fig. 11처럼 제작하였다.

여러 모듈을 관리할 MCU에 BLE를 같이 내장하여 SoC(System on a Chip) 형식으로 구성하였고, 다른 칩들을 UART, GPIO, I2C 등 여러 방식으로 연결해서 동작하도록 구성하였다. MCU에는 RAK-

811 LoRa 모듈과 OLED 모듈, 배터리 측정 모듈, 3축 가속도 센서와 자이로스코프, LED 4개, 버튼을 부착하였고, 배터리 충전을 위한 Micro USB 등을 추가로 부착해 구성하였다. MCU와 연결된 RAK-811 LoRa 모듈에는 GPS 신호 수신기를 부착해 구성하였다.

MCU에 배터리가 연결된 상태일 때 연결되어있는 버튼을 누르거나, MCU에 Micro USB를 이용해 전원이 공급되면, 자동으로 MCU의 전원이 켜지도록 구성했다. MCU 실행 시 BLE 데이터를 자동으로 수신할 수 있도록 설정하고, RAK-811 LoRa 모듈의

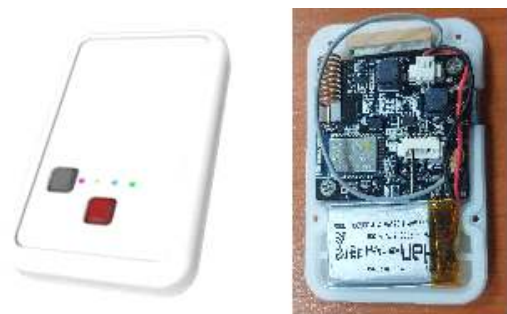


Fig. 11. Hardware Prototype.

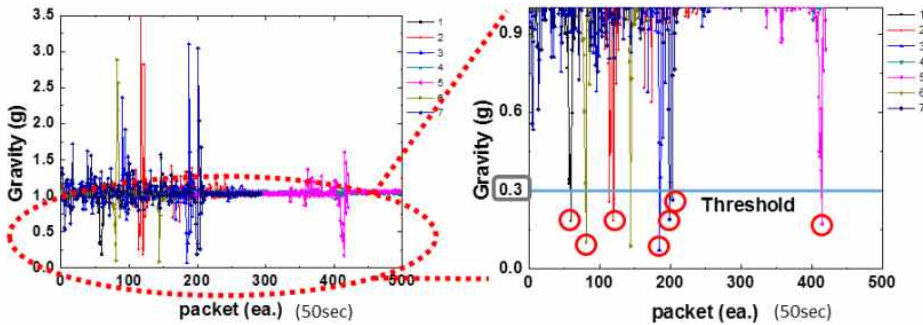


Fig. 12. Deriving Fall Data Thresholds.

Reset Pin을 이용해서 LoRa 모듈의 전원이 켜지도록 했고, RAK-811 LoRa 모듈이 정상적으로 동작 될 때부터 GPS 신호를 수신하도록 구성하였다. 그리고 배터리 측정 모듈을 이용해 현재 배터리 잔량에 맞추어 LED 4개를 이용해 배터리 잔량을 눈으로 확인할 수 있도록 구성하였고, OLED의 경우 서버로부터 수신된 데이터가 있는 경우 수신 데이터를 분석, 결과를 화면에 표시할 수 있도록 하였다.

RAK-811 LoRa 모듈에 연결되는 안테나는 Helical Monopole 안테나를 사용하였고, 최대 915MHz까지 전송이 가능한 안테나를 사용하여 앞서 설정했던 주파수 대역에 맞출 수 있도록 하였다.

측위 시스템은 최초 실행 시, MCU에 내장되어 있는 BLE 모듈과 RAK-811 LoRa 모듈에 연결되어 있는 GPS 신호 수신기를 이용해 동시에 두 가지 데이터를 수신한다. 신호를 수신하는 최초 3회 동안은 GPS 신호가 수신되지 않더라도 GPS 신호 수신 메시지 형식에 맞추어 LoRa 데이터를 전송한다. 이후에도 GPS 신호가 수신되지 않는다면, 선 내 상황으로 판단하고 BLE 모듈을 이용해 측정된 데이터를 이용해서 LoRa 메시지를 생성하고, 그 데이터를 전송한다. BLE 모듈을 이용해 데이터를 수신하는 와중에 GPS 모듈이 데이터를 3회 이상 수신하는 경우, BLE 모듈을 이용한 데이터가 수신되더라도 선 외 상황이라고 판단하고 GPS 모듈을 이용해 측정된 데이터를 이용해 LoRa 메시지를 생성하고, 전송할 수 있도록 한다.

안전 감지 시스템 중 낙상 신호와 익수 신호는 각각 실험을 통해 얻은 낙상 신호와 익수 신호의 실제 값을 이용해서 임계값을 지정해 낙상 상태를 검출할 수 있도록 구현하였다.

기존의 낙상 감지 문헌에서는 Lower, Upper Pick 두 가지를 비교하였으나 Upper Pick의 경우 낙상이 일어나는 곳의 매질 또는 사용자 상태에 따라 다르게 나타나기 때문에 이번 논문의 낙상 감지 시스템에서는 Upper Pick을 배제하고 임계값을 지정하였다. 실험을 통해 실제 낙상의 경우와 일반적인 경우 두 가지 모두를 따져 임계값을 변경하였고, 임계값이 0.3인 경우에 가장 이상적으로 데이터가 도출되는 것을 확인하고, 임계값을 지정하였다.

지정한 임계값을 이용해 하드웨어를 구현한 뒤, 낙상 검출 실험을 진행하였을 때 센서의 민감도는 90%, 선택성은 100%가 되는 것을 확인하였다.

익수 상황은 Savitzky-Golay 필터링을 기반으로 해, 과도에 의한 변동을 최대한 낮춘 상태에서, Lower 0.8, Upper 2.0의 임계값이 연속적으로 인지되면 익수 상황으로 판단하였다.

익수 상황의 경우 총 230회 테스트를 통해서 계산해 나온 결과 신호를 201회 확인해 정확도가 약 87%가 되는 것을 확인하였다.

Motion	Times	True Positive (TP) <i>Fall+, alarm+</i>	False Positive (FP) <i>Fall-, alarm+</i>
Fall down	261	235 times	0 time
Sitting down	5		
Standing up	5		
Walking	5		
Upstairs	5		
Downstairs	10		
Total	291	26 times	30 times

False Negative(FN) <i>Fall+, alarm-</i>		True Negative (TN) <i>Fall-, alarm-</i>	

Positive : Detection
Negative : Non detection

Fig. 13. Sensitivity Calculation & Number of Experiments.

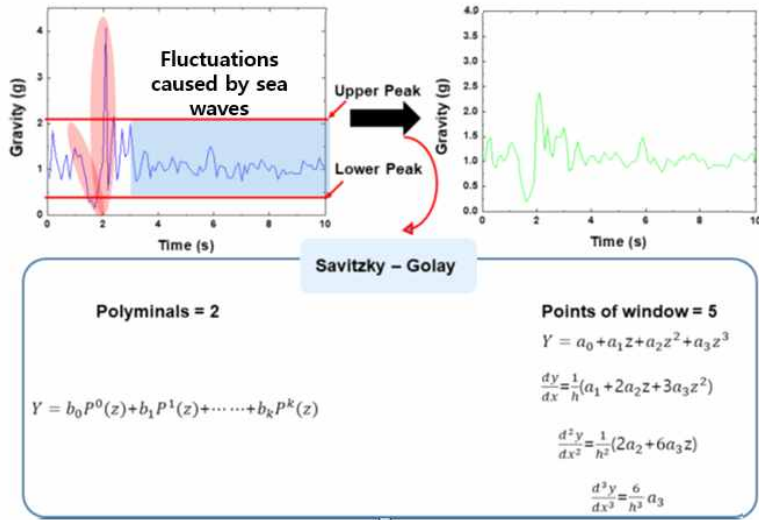


Fig. 14. Method of Drop Test in Maritime Situations.

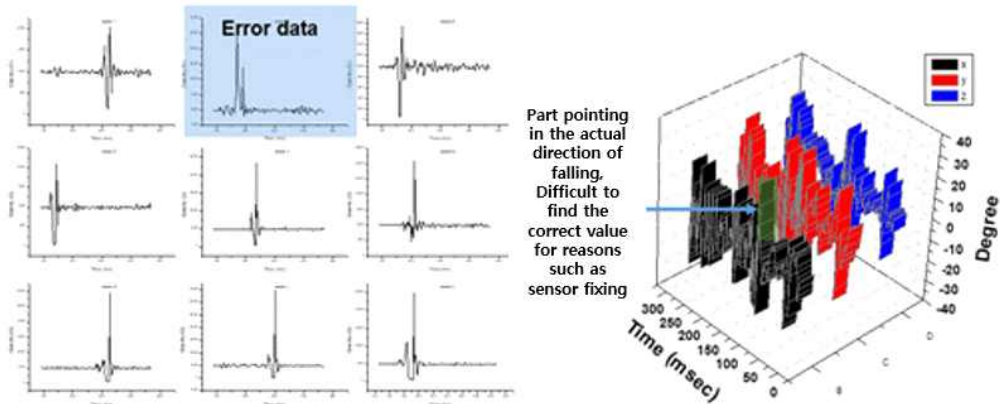


Fig. 15. Experiment Result Analysis Graph.

4.2 유람선 내부 통신 테스트

본 논문에서 제안하는 시스템인 LoRa WAN 통신 기반의 선박 내/외부 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템에 대해, 실제 선박에서도 운용이 가능한지를 확인하기 위해서 실제 운항하는 유람선에 탑승, 통신을 위한 간략한 서버와 개발된 하드웨어를 유람선 내부에 직접 설치해 통신하는 실험을 진행하였다.

선내 실험을 위해 태그(하드웨어)와 Beacon은 각각 15대, 10대를 운용하였고 LoRa 데이터를 수신할 Gateway는 3대를 운용하였다. 실험 결과는 Gateway에 수신되며 남은 데이터 로그를 이용해 판단하기로 하였다.

실험 결과는 Table 1에서 확인할 수 있다. 실험 결과에 대한 특이사항으로 데이터 수신율이 100%를 넘는 태그들은 위험 상황 데이터를 감지해 전송한 것으로, 오류상황으로 인한 문제점이 아니다. 하지만 위험 상황이 자주 발생하지 않음에도 많은 위험 상황 감지를 수행하는 것에는 문제점이 있다고 판단된다. 또, 비정상적으로 데이터 수신율이 낮은 몇 개의 태그가 있어 확인을 진행했는데, 이는 시스템 상에서 충돌이 발생한 문제이다.

결과 데이터를 통해서 확인할 수 있는 점으로는 시스템 상에서 대체적으로 높은 수신율을 보이는 점과, 수신 감도가 평균적으로 높은 점을 확인할 수 있

Table 1. Communication Experiment Result

Tag ID	Receiving Rate	Average Sensitivity
013157F1	98.03%	-66dBm
013157F2	100.49%	-57dBm
013157F3	34.07%	-60dBm
013157F4	100%	-59dBm
013157F5	32.83%	-74dBm
013157F6	100%	-76dBm
013157F7	31.86%	-69dBm
013157F8	97.05%	-72dBm
013157F9	100.53%	-72dBm
013157FA	100.45%	-68dBm
013157FB	96.55%	-53dBm
013157FC	94.60%	-64dBm
013157FD	101.21%	-74dBm
013157FE	86.76%	-80dBm
013157FF	32.83%	-75dBm

다. 수신 감도가 높은 점을 감안하면, 파고에 대한 데이터 손실이 있는 것으로 판단되고, 이에 대해서 재전송 기법을 적용해서 데이터 수신율을 높일 수 있을 것이라고 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 선박 내부와 외부에 있는 승선자의 안전을 위해서 측위 시스템과 위험상황 감지 시스템을 설계하고 구현하였다. 구현된 승선자 측위 및 위험상황 감지 시스템은 실내 측위를 위해서 Beacon, 실외 측위를 위해서 GPS 모듈을 이용하며, 각 모듈을 이용해 측정된 데이터를 LoRa 통신을 이용해서 전송하는 역할까지 담당한다. 또, 위험 감지를 위해서 3축 가속도 센서를 통해 데이터를 측정하고, 측정 데이터를 이용해서 상황을 감지할 수 있도록 개발하였다.

구현된 시스템을 이용해서 실제 운항하는 유람선에서 테스트를 진행하였을 때, 통신상 충돌이 발생하지 않는다면 거의 모든 데이터가 Gateway로 전송되는 것을 알 수 있었으며, 통신 충돌 상황에 대한 대처로 재전송 기법을 이용해 해결할 수 있을 것이라 생각한다. 또 다른 문제로는 위험 상황을 감지할 때가 생각보다 많다는 점에 있었는데, 이는 알고리즘적인 문제로 민감도나 임계값 재지정을 통해 해결할 수

있을 것이라 판단된다.

향후에는 이 측위 시스템과 위험상황 감지 시스템을 이용해 측정된 데이터를 실제 승선자 또는 관리자에게 표시해 안전하게 관리할 수 있는 시스템을 연구하고자 한다.

REFERENCE

- [1] M.S. Park and S.C. Yang, "Characterization of Pass-Through Signals inside a Ship Using LoRaWAN," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 825-826, 2018.
- [2] T.J. Park, "LPWA IoT Network Technology Trends," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 32, No. 1, pp. 46-53, 2017.
- [3] What is LoRa WAN?, <https://divenire.tistory.com/128> (accessed May 14, 2019).
- [4] S.A. Park and D.Y. Um. "Outdoor Localization Accuracy Analysis Using Indoor Location-Based Service Beacon," *Proceeding of Korean Society of Civil Engineers 2016 Convention Program*, pp. 36-37, 2016.
- [5] J.H. Yoon, I.A. Chung, and Y.H. Lee. "On the Improvement of Location Accuracy in Bluetooth Beacon Based Indoor Positioning Systems," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 564-565, 2017.
- [6] D.H. Lee and J.H. Lee, "Precise Indoor Positioning Algorithm for Energy Efficiency Based on BLE Fingerprinting," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 1197-1209, 2016.
- [7] Y.B. Kim and H.S. Kim, "Implement Indoor Positioning Technology Using Bluetooth," *Proceeding of Information and Control Symposium*, pp. 68-69, 2017.
- [8] J.H. Huh, C.S. Lee, and J.D. Kimk, "A Study of Beacon Delivery Characteristics in BLE Based Fingerprinting Indoor Positioning System," *Proceeding of Korea Computer*

Congress, pp. 1612-1614, 2015.

- [9] S.Y. Um and Y.G. Ji, "A Study on the Reduction of Injuries through Comparative Analysis of Fall Detection Systems," *Proceedings of Human Computer Interaction Korea 2019*, pp. 877-880, 2019.
- [10] J.K. Kim, M.N. Bae, K.B. Lee, and S.G. Hong, "IMU Sensor-based Fall Risk Prediction Method," *Proceeding of Korea Computer Congress 2019*, pp. 334-336, 2019.
- [11] J.T. Ryu, "The Development of Fall Detection System Using 3-axis Acceleration Sensor and Tilt Sensor," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 19-24, 2013.



박 석 현

2018년 2월 동의대학교 소프트웨어공학과 학사
2018년 3월~현재 동의대학교 소프트웨어융합학과 석사과정 재학
관심분야 : IoT 시스템, 웹, 어플리케이션, 서버 프로그램



박 문 수

2013년 2월 신라대학교 컴퓨터교육과 학사
2016년 2월 부산대학교 정보컴퓨터공학부 공학석사
2017년 8월~현재 (주)에프에스알 엔티 팀장

관심분야 : LBS, IoT 시스템, 생체신호, 패턴분석