
USN를 이용한 컨테이너 트레일러 위치추적 시스템

박종현* · 추영열**

Location Tracking System for Container Trailer Using Ubiquitous Sensor Networks

Jong-hyun Park* · Young-yeol Choo**

요 약

이 논문은 선적 및 하역 작업을 위해 갠트리 크레인으로 들어오는 컨테이너 트레일러의 위치 추적 시스템에 대하여 기술한다. 위치 추적 시스템은 트레일러가 갠트리 크레인에 접근하였을 때 트레일러의 정지 지점을 운전자에게 알려준다. 위치 측정 센서는 RF 신호와 초음파 방식을 채택한 크리켓 mote 모듈을 사용하였다. 실시간 전송을 위해 위치 측정 주기를 단축하였으며 삼각측량 방법에 따른 3 차원 위치 계산식과 환경적 요인에 의한 거리 측정 오류 감소 방법을 제시하였다. 측정된 위치는 블루투스 통신을 통해 주기적으로 운전자 앞의 PDA (Personal Digital Assistant)에 전송된다. 실내외의 테스트 결과 위치 오류는 3 cm 이내로 개선되었으며 위치 측정 표시 주기는 평균 0.5 초였다.

ABSTRACT

This paper describes position tracking system of a container trailer approaching to a gantry crane for loading or unloading a container into or from a ship, respectively. Proposed position tracking system informs the trailer driver of right position to stop the car under a gantry crane. To measure the location of a trailer, we used Cricket Mote modules which adopted RF and ultrasound technology. We present an elaborate method to improve position errors occurring at sensing and calculate three dimensional position by triangulation along with how to reduce location tracking interval for real-time monitoring. The location information was transmitted to a Personal Digital Assistant (PDA) periodically through Bluetooth communication for guidance of the trailer driver. In indoor and outdoor tests, position errors were less than 3 cm and location tracking interval was 0.5 second on average.

키워드

무선 센서 네트워크(wireless sensor network), 위치추적(Location Tracking), 블루투스(Bluetooth), Automatic Container Terminal

I. 서 론

우리나라 수출입화물의 90% 이상이 항만을 통해 처리되고 있으며 매년 약 10% 이상씩 물동량이 증가되고 있다. 그러나 통합적인 컨테이너 물류시스템에서 육상과 해상운송을 연결하는 하역작업인 컨테이너 크레인

에서 병목현상이 자주 발생하고 있으며, 이 장비의 효율성이 컨테이너 터미널의 생산성을 좌우하고 있다. 경쟁 관계에 있는 중국은 양산항 터미널 개장으로 규모면에서 한국을 앞서고 있다. 따라서 이에 대응하기 위한 컨테이너 터미널의 경쟁력 제고에는 인력위주의 하역작업을 탈피하고, 저비용, 고효율의 첨단기능을 보유한 자동화

* (주)원신스카이텍
* 동명대학교 컴퓨터공학과

가 주요 과제라 할 수 있다. 이를 위해서는 IT기술과 자동화 기술을 활용한 운영 기법의 선진화와 처리능력의 향상을 위한 시스템의 개발이 요구된다. 선진항만에서는 자동화 컨테이너터미널 (ACT: Automated Container Terminal) 개발을 미래 항만산업으로 적극 추진하여 이미 실용화되어 발전단계에 들어서고 있다. 네덜란드 ECT (Europe Combined Terminals)에서는 97년부터 자동화 터미널을 운영하였으며, 현재는 보다 발전된 자동화를 추진하고 있다[1]. 본 연구는 이러한 요구에 부응하여 초음파 및 센서통신을 결합하여 컨테이너 크레인과 트레일러의 위치를 정확히 추적, 운전자에게 제공함으로써 단위시간당 컨테이너 처리능력을 향상시키는 것을 목적으로 수행되었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위치추적과 관련된 연구과 기술에 대해서 설명하고, 3장에서는 본 과제에서 사용된 초음파 센서 알고리즘에 대해서 설명할 것이다. 4장은 실험 과정과 결과에 대해 기술하고 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

II. 시스템의 구성 및 설계

2.1 시스템의 구성

위치추적 시스템은 RF와 초음파를 송수신하는 4개의 송신기와 한 개의 수신기 노드, 수신기 노드에서 측정된 각각의 거리 값에 따라 삼각 측량법에 의해 위치를 계산하는 위치추적 서버, 계산된 위치 값을 블루투스 통신으로 전송 받아 운전자에게 알려주는 위치 표시기로 구성되었다. 이 연구에서는 PC 또는 PDA를 위치 표시기로 사용하였다. 위치추적 테스트를 위해 그림 1과 같이 젠츄리 크레인 시뮬레이터를 제작하여 컨테이너의 선적과 하역 과정을 모사하였다. 시스템은 4개의 RF 및 비콘 송신기에서 RF 신호와 초음파 신호를 동시에 송신하게 된다. 트레일러에 부착된 수신기는 각 노드로부터 이 신호를 받아 RF 신호와 초음파의 도달 시간의 차이를 이용하여 송신기와 수신기의 거리를 측정하게 된다. 각 송신 노드의 송신 메시지는 시스템 시간을 가지고 있으며 차량에 부착된 센서노드는 수신된 신호를 받아서 계산하는 역할을 수행한다. 수신된 신호는 Bluetooth 통신 채널을 통해 PC로 전송하게 된다. 전송받은 데이터는 필터링 과정을 거치며 3개의 송신 노드로부터 정확한 거리 신호가 수신되면 삼각 측량법에 따라 트레일러의 위치

를 계산한다. 계산된 트레일러의 위치는 화면상에 표시되고 컨테이너 트레일러의 운전자는 이를 근거로 차량을 조작해서 원하는 위치에 이동하게 된다.

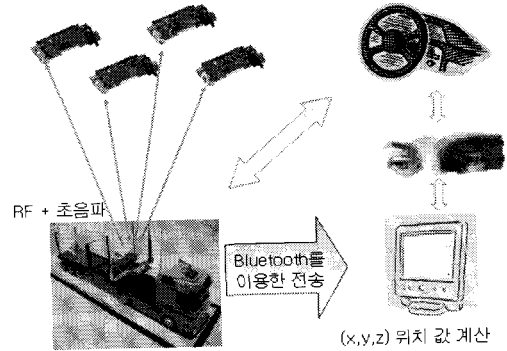


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1 System Architecture

거리 측정을 위한 초음파 센서는 MIT의 Cricket 모듈을 이용하였으며 RF 신호와 초음파는 각각 433MHz 와 40Khz의 주파수 대역을 사용한다[2]. 운영체제로는 TinyOS가 사용되었으며 위치추적 관련 알고리즘과 계산은 NesC로 구현 하였다.

2.2 거리 측정 알고리즘

송신노드(비콘노드)는 크레인에 고정 좌표로 부착되어서 컨테이너 트레일러위에 부착된 수신 노드로 초음파와 RF 신호를 전송하는 역할을 한다. 송수신 노드 사이에 거리 측정을 위해서 사용된 알고리즘은 그림 2와 같은 TDoA(Time Difference of Arrival) 방식이다[3]. 비콘과 수신기 사이의 거리는 식(1)을 이용하여 구하게 된다.

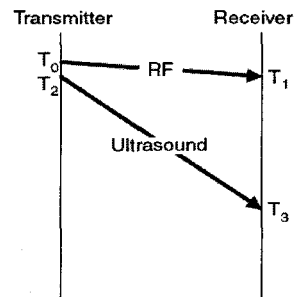


그림 2. TDoA measurement
Fig. 2 TDoA measurement

$$((T_3 - T_1) - (T_2 - T_0)) * \left(\frac{V_{RF} * V_{US}}{V_{RF} - V_{US}} \right) \quad (1)$$

(1) 식에서 T0와 T1은 RF 신호의 송신기 출발시각과 도착시각, T2, T3는 각각 초음파 신호의 송신기 출발시각, 도착시각이다.

TDoA 알고리즘을 이용해서 수신기의 좌표를 구하기 위해서는 3개의 비컨만 가지고도 충분히 구할 수 있지만 보다 정확한 계산 값을 위해서 본 연구에서는 4개의 비컨을 사용하였으며 4개중 임의의 3개의 값이 들어오면 좌표를 계산하는 방식을 취하였다.

2.3 신호 간섭

2개 이상의 송신노드를 사용할 경우 그림 3과 같은 문제가 발생하게 된다[3].

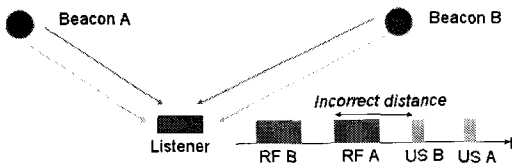


그림 3. 신호의 간섭 문제
Fig. 3 Signal Interference Problem

비컨 A와 비컨 B에서 발신된 RF와 초음파는 수신기에서 들어온 순서대로 받아서 계산을 하게 된다. 이때 비컨 A에서 발신된 RF와 비컨 B에서 송신된 초음파가 같은 노드에서 송신된 (RF, 초음파) 신호의 쌍으로 인식되어 거리 측정의 오류를 초래할 수 있다. 이러한 문제점은 비컨 신호만으로는 송신 비컨을 구분할 수 없는 초음파의 특성에 기인한다. 이 경우, 신호의 간섭을 회피하기 위해서 각각의 비컨들의 발신 주기를 늦추게 되면 위치추적 결과 데이터를 출력하는 시간 간격이 길어짐으로써 성능이 떨어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 그림 4와 같이 RF의 전송시간을 늘리는 방법을 이용해서 초음파가 항상 RF Block 안에 들어가도록 하는 방법을 사용하였다. 수신기는 RF의 Block 을 벗어나는 초음파는 에러 체크 후에 버리게 된다.

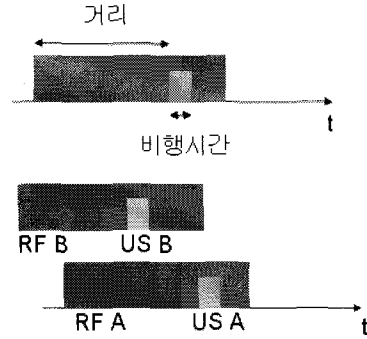


그림 4. 신호의 간섭 문제 해결
Fig. 4 Solution of Signal Interference

이 방법과 함께 표 1과 같이 각 비컨별로 interval time 값에 대해 minimum 과 maximum을 두어 이 범위사이에 Random 하게 전송하게 하여 간섭을 회피할 수 있었다.

표 1. 비컨 interval time
Table 1 Beacon interval time

	minimum	maximum	average
비컨 A	500	700	600
비컨 B	600	800	700
비컨 C	700	900	800
비컨 D	800	1000	900

2.4 데이터 전송 시스템

4개의 송신노드로부터 수신된 RF와 초음파 신호에 따라 각 송신노드와 수신노드 사이의 거리 값을 수신 노드에서 계산되어 Bluetooth 통신에 의해 PC로 전송 된다. 이때 PC는 Master가 되고 데이터 전송 시스템은 Slave가 되어 통신이 이루어진다. Bluetooth 통신 사양에 따라 PC를 Base Station으로 하였을 때 7개의 slave까지 연결하여 통신이 가능하게 된다. Bluetooth 통신을 구현함으로써 데이터 수집과 처리를 위한 Basestation의 속도와 거리의 한계를 극복할 수 있었다. 확장 안테나를 장착해서 실내 환경에서는 100M 이상 실외 환경에서는 200M 이상 떨어진 거리에서도 자체전력으로 데이터를 처리 할 수 있었다. 이를 통해 수신노드와 위치 표시장치 사이에 무선으로 연결됨으로써 시스템의 구성을 단순화하고 유연한 설치가 가능하였다.

2.5 모니터링 시스템

그림 5는 비컨과 수신기를 3차원 좌표로 표현한 그림이다. B1, B2, B3, B4는 고정된 좌표로서 미리 알고 있는 값이다. 초음파의 비행거리를 통해서 거리 값을 구하게 되고 이 값은 buffer에 저장되어서 수신기의 (x, y, z) 좌표를 구할 수 있다. 화면 디스플레이는 2초에 한 번씩 저장된 값을 계산해서 보여준다.

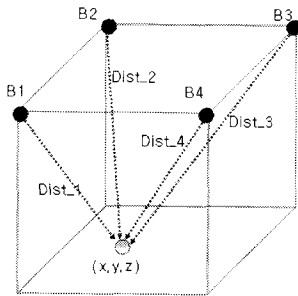


그림 5. 3차원 좌표
Fig. 5 3D coordinate

$$(x-A_1)^2+(y-B_1)^2+(z-C_1)^2 = (Distance_1)^2 \tag{2}$$

$$(x-A_2)^2+(y-B_2)^2+(z-C_2)^2 = (Distance_2)^2 \tag{3}$$

$$(x-A_3)^2+(y-B_3)^2+(z-C_3)^2 = (Distance_3)^2 \tag{4}$$

4개의 비컨은 같은 높이에 설치했기 때문에 좌표를 구하기 위한 3개의 비컨의 z좌표 값 C1 = C2 = C3 이다. 식 (2), (3), (4)에서 z가 포함된 항을 소거하여 연립방정식을 풀어 (x, y, z)를 구한다.

$$x = [(y_1 - y_2)((d_3^2 - d_2^2) - (x_3^2 - x_2^2) - (y_3^2 - y_2^2)) + (y_2 - y_3)((d_1^2 - d_3^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2))] / 2[(x_2 - x_1)(y_2 - y_3) + (x_2 - x_3)(y_1 - y_2)] \tag{5}$$

$$y = [(x_1 - x_2)((x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2) - (d_3^2 - d_2^2)) + (x_2 - x_3)((x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) - (d_1^2 - d_3^2))] / 2[(x_2 - x_1)(y_2 - y_3) + (x_2 - x_3)(y_1 - y_2)] \tag{6}$$

$$z = c_1 + \sqrt{d_1^2 - (x - x_1)^2 - (y - y_1)^2} \tag{7}$$

여기서 (x_i, y_i, z_i)는 각각 비컨 B_i의 좌표이고 d_i는 B_i로부터 (x, y, z)까지의 거리이다. 공식 (5), (6), (7)을 통해서 얻어진 좌표는 그림 8과 같이 오차가 큰 거리 값을 제외하고 각각의 아이디와 거리 값을 랜덤으로 3개의 값만 버퍼에 저장하고 계산을 해서 큐에 넣게 된다. 초음파의 특성상 거리와 각도에 따라서 오차가 차이가 나지만 환경적인 요인을 고려해 볼 때 랜덤 값으로 3개의 값을 먼저 받는 것이 효율적이기 때문에 그림 6과 같은 방식으로 구현 했다.

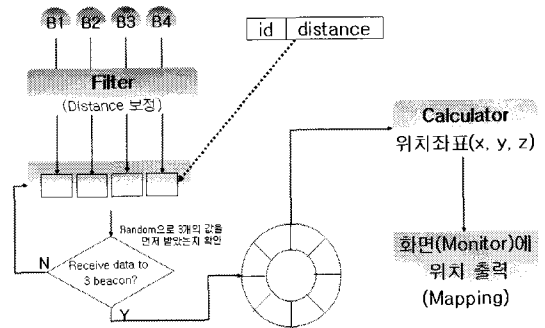


그림 6. 소프트웨어 다이어그램
Fig. 6 Software flow diagram

그림 7는 JAVA로 구현된 위치측정 시스템의 화면이다. 운영체제에 구현을 받지 않기 위해서 JAVA언어를 선택하게 되었다.

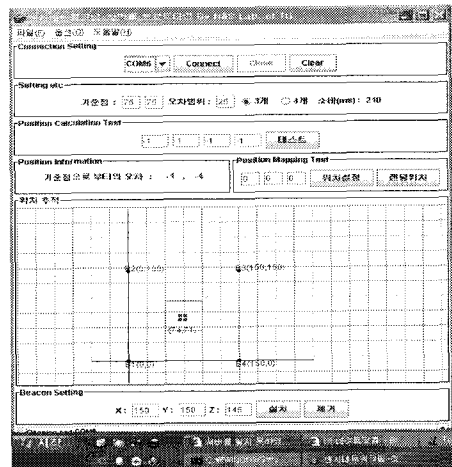


그림 7. GUI 구성
Fig. 7 GUI design

“Connection Setting”부분은 활성화된 포트를 자동으로 감지해서 선택 할 수 있으며 자유롭게 Connect와 Close가 가능하다. “Setting etc” 부분은 트레일러가 놓여 있어야 할 위치를 소프트웨어 적으로 기준을 잡을 수 있도록 설정하는 부분으로 계산해서 Display 되는 시간까지 표시된다. “Position Calculation Test” 부분은 하드웨어를 설치하기 전에 Basestation과 소프트웨어를 임의의 좌표를 통해서 테스트하는 부분이다. “Positioning Information” 부분은 “Setting etc” 부분에서 설정한 기준점과 오차범위의 설정 값을 참고로 해서 기준점과의 오차를 나타내는 부분이다. 이를 통해서 차량의 오차를 인식하고 기준점으로 이동하게 된다. “Position Mapping Test” 부분은 실제 설치 전에 (x, y, z) 좌표를 설정해서 기준점으로 부터의 오차를 측정하는데 사용한다. “위치추적” 화면은 실시간으로 트럭의 위치를 계산해서 뿌려주는 역할을 담당하며 “Beacon Setting”은 고정된 좌표인 비컨의 첫 번째 좌표인 (x, y, z)를 세팅하는 메뉴이다.

IV. 실험 및 결과

4.1 초음파의 특성과 장애요인

그림 8은 초음파의 발신 각도를 나타내고 있다.

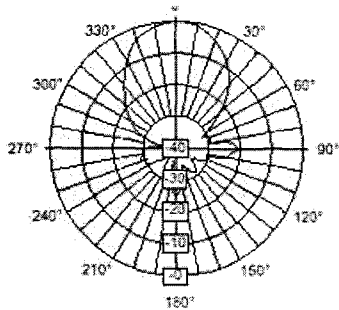


그림 8. 초음파 전파 영역
Fig. 8 Ultrasound Propagation Range

또한, 초음파의 특성상 반사파의 영향을 크게 받으므로 벽이나 장애물 심지어 사람의 위치 등에 따른 송신기의 각도 조정과 초음파의 생명주기, 비컨별 발신 시간 등의 세부적인 설정이 송수신 거리에 영향을 미침을 확인하였으며 실험 결과 실내의 형광등의 안정기에서 발생하는 파장도 영향을 미치는 것을 확인하였다.

4.2 수신기의 위치에 따른 오차 범위 측정

4.1장에서 말한 것과 같이 초음파의 특성상 환경적인 영향을 많이 받게 되므로 구현된 알고리즘과 필터의 정확한 성능평가를 위해서는 환경에 따른 보정이 필요하다. 즉, 실제 거리와 Cricket 센서를 통해 수신된 거리값은 초음파 신호가 전달되는 각도, 주변 환경적 요인, 온도 등의 요인에 의해 차이가 발생할 수 있다. 따라서 이에 대한 실험을 통해 실제 센서 데이터 값을 보정한다. 실험실 내에서 비컨과 listener의 위치를 고정하고 거리를 측정한다. 다음 실제 자를 통해 측정된 거리값과 비교하였다. 가로, 세로, 높이가 각각 150 cm 인 육면체를 구성하고 윗면의 네 모서리에 비컨을 설치한 다음, 지면의 각 위치에서 10 cm 단위로 거리값을 3회 측정하여 평균을 구한다. 다음 실제 거리와 비교하여 보았다. 테스트 결과는 표 2와 같다. 테스트 결과 거리 오차는 위치별로 최소 0cm에서 최대 6.5cm였다. 실험 결과 반사파를 포함한 기타 장애요인으로 10번 중에 1번꼴로 범위 밖의 값이 들어오는 경우가 발생하였다. 이러한 문제는 0~7cm 사이의 오차를 발생시킬 수 있는 값은 받지 않게 필터를 구성함으로써 해결했다.

표 2. 측정된 오차값
Table 2 measured error data

0	10	20	30	40	50	60	70
10	5.5	4.0	5.5	4.8	4.6	3.2	4.5
20	5.3	4.6	4.3	4.6	4.2	3.5	4.6
30	4.0	4.2	5.2	3.2	3.5	3.2	3.6
40	4.3	5.3	4.0	3.0	2.6	2.3	1.57
50	4.5	3.5	3.4	3.3	2.3	2.2	1
60	3.8	3.6	3.1	2.9	2.1	1.3	0.2
70	3.7	3.4	3.2	4.1	2.6	2	0.25
80	3.9	4.2	4.1	3.4	2.2	1.4	0
90	4.2	3.2	3.5	3.0	2.5	2.1	1.3
100	4.4	3.4	3.2	3.3	2.9	2.2	1.4
110	4.3	3.3	4.4	3.4	3.0	2.5	1.8
120	4.8	4.5	3.5	3.1	3.2	3.2	2.5
130	5.2	4.6	4.5	4.2	3.5	3.2	3.1
140	4.3	5.1	4.6	4.7	4.0	3.6	3.5
150	4.5	5.2	4.4	4.2	3.6	3.7	3.2

0	80	90	100	110	120	130	140	150
10	4.1	3.6	4.2	4.5	4.2	5.5	5.2	4.1
20	3.6	3.1	4.2	5.1	3.9	5.2	4.0	4.5
30	3.2	2.5	3.3	4.1	4.6	3.1	5.1	6.5
40	1.77	1.8	2.1	3.5	3.4	4.5	4.2	4.6
50	0.5	1.9	2.7	2.8	3.5	3.5	4.6	4.2
60	0.15	2	2.5	2.6	3.2	3.4	4.1	4.5
70	0	1.9	2.1	3.0	3.6	4.5	3.2	4.5
80	0.4	1.7	1.7	2.8	3.5	3.2	4.6	3.1
90	1.25	2.3	2.6	2.3	3.0	4.7	4.2	4.6
100	2.6	2.3	3	2.7	4.0	4.6	3.6	4.2
110	2.7	2.5	2.9	3.0	3.6	4.9	4.9	5.1
120	3.1	3.2	3.0	3.2	3.5	4.2	5.2	4.9
130	4.5	3.0	3.1	3.2	3.5	4.6	4.2	4.8
140	4.6	4.3	4.5	4.7	4.8	4.6	5.1	4.6
150	3.2	3.6	4.0	5.1	5.3	5.4	4.7	6.1

양쪽 비컨의 모서리로 갈수록 오차값이 커지는 것을 확인 할 수가 있었다. 이러한 현상은 한쪽 모서리로 갈수록 대각선 반대쪽에서 보내는 초음파 신호의 강도가 약해짐으로 해서 발생하는 것으로 파악된다. 이러한 문제는 다수의 비컨을 수신 위치가 중첩되도록 설치함으로써 해결될 수 있을 것이다. 그림 9에 지면의 위치에 따른 오차를 표시하였다. 특징적인 것은 위치에 따라 오차가 선형적으로 증가하여 보정 식을 도출할 수 있었다.

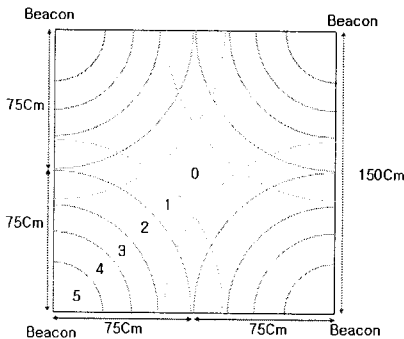


그림 9. 측정된 오차값
Fig. 9 Error measurement

V. 결 론

본 논문은 컨테이너 선적 및 하역과정에서 트래일러의 정지 위치를 추적하기 위하여 수동형 센서 네트워크를 기반으로 위치추적 시스템의 개발 결과를 기술하였다. 개발된 시스템은 Cricket 모듈을 사용하였으며 거리 측정 오차를 줄이기 위해 에러 신호 제거 기술과 비콘 신호 처리 알고리즘을 개발하였으며 개발된 알고리즘을 적용한 결과 오차는 평균 7cm에서 3cm로, 위치추적 결과 표시주기는 평균 0.5초로 개선되었다. 초음파를 통한 위치인식의 문제점인 정확도를 새로운 알고리즘과 필터를 통해서 개선하였으며 데이터 전송 시스템에 Bluetooth 장비의 융합을 통해서 기존의 항만 관제 시스템을 1:7 까지 관리 할 수 있는 모델을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2006-C1090-0602-0013)

참고문헌

- [1] 최형립 외4인, “자동화 컨테이너터미널에서 운송 장비의 운영방안에 관한 연구”, 대한산업공학회 논문지 제17권 제2호, pp.233-241, 2004. 6
- [2] Nissanka B, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan, “The Cricket Location-Support System”, ACM MOBICOM, August 2000.
- [3] Yu-Chee Tseng, Chi-Fu Huang, Sheng-Po Kuo, “Positioning and Location Tracking in Wireless Sensor Networks”, CRC Press, Handbook of Sensor Networks, chapter 21.

저자소개



추 영 열(Young-yeol Choo)

1986년 2월 서울대학교 제어계측공학과
(학사)

1988년 2월 서울대학교 제어계측공학과
(석사)

2002년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과(박사)

1988년 6월~1994년 6월 포항산업과학기술연구원 선임
연구원

1994년 7월~2002년 8월 포스코 기술연구소 책임연구원

2002년 9월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 조교수

2005.1-2005.6 독일 Fraunhofer 연구소 Visiting Scientist

※ 관심분야 : USN, Ambient Intelligence, 실시간 통신, 공
장자동화 시스템, 네트워크 보안



박 종 현(Jong-hyun Park)

2002년 3월 ~ 2004년 7월 (주)위너비
개발실장

2005년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과
(학사)

2007년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 석사

2006년 12월 ~ 현재 (주)원신스카이텍 선임연구원

※ 관심분야 : USN, 위치추적, 시스템분석설계