

---

# 센서 네트워크에서 이동 가능한 노드에 대한 위치 인식 방법

곽철성\* · 정창우\*\* · 김진현\*\* · 김기문\*\*\*

A localization method for mobile node in sensor network

Chil-seong Kwak\* · Chang-Woo Jung\*\* · Ki-Jin-Hyun\*\* · kimmoon Kim\*\*\*

## 요 약

무선 센서 노드의 거대한 네트워크를 통해서 환경을 감시하려는 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 무선 센서 노드들은 매우 작고, 가볍고, 비용이 저렴하여야 한다. 네트워크 안에서 주어진 노드가 어디에 물리적으로 놓여져 있는지를 알아내는 위치인식은 무선 센서 네트워크에서 아주 중요한 문제들 중의 하나이다. 그러나 노드의 크기 제한, 비용 등의 제약조건에 의해 GPS사용을 배제한 간단한 위치인식 방법이 요구된다. 본 논문에서는 RF 통신을 사용하는 건물 밖의 환경에서 위치인식을 위한 아주 단순한 접속성을 이용한 방법을 제안한다. 제안된 방법은 모의실험을 통해 그 효용성을 입증한다.

## ABSTRACT

The Study of environment monitoring through huge network of wireless sensor node is worked with activity. The sensor nodes must be very small, light and low cost. The localization which may determine where a given node is physically located in a network is one of the quite important problems for wireless sensor network. But simple localization method is required as excluding the usage of GPS(Global Positioning System) by the limit condition such as the node size, costs, and so on. In this paper, very simple method using connectivity for the outdoor RF communication environment is proposed. The proposed method is demonstrated through simulation.

## 키워드

sensor network, localization, connectivity, beacon, mobile sensor node

## I. 서 론

무선 센서 네트워크는 물리 세상을 감시하고 제어할 수 있는 능력을 크게 확장시켜 주었다 [1, 2]. 마이크로센서와 저전력 무선 통신의 유효성은, 해양에서 토양에 이르기까지 그리고 대기 환경 등 광범위에 걸친 생물학적 감시 및 환경 감시의 응용에 적합하다.

일반적으로 환경감시 센서 네트워크의 경우 광범위한 영역을 다루게 되어 소속된 센서 노드들은 다양한 환경 안에 자신의 위치를 인식할 수 있어야 한다. 이 문제는 센서 네트워크에서 중요한 문제들 중에 하나이다. 이를 위치인식이라 부르기로 한다.

GPS[3]는 PC급 노드에 대해 건물 밖의 환경에서 위치 인식의 문제를 해결한다. 하지만, 매우 작고, 값싸고, 그

---

\* 재능대학 디지털정보 전자과 교수

접수일자 : 2007. 12. 18

\*\* 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정

\*\*\* 한국해양대학교 공과대학 교수

리고 저전력의 소자들이 광범위한 네트워크를 구성하고 있는 경우, 노드의 폼팩터(form factor), 비용, 전력제한, 크기 등과 같은 현실적인 문제를 고려하면, 모든 노드에 GPS를 사용하는 것은 거의 불가능하다.

본 논문의 주된 목표는 위치인식을 위해 RF 송수신기만을 사용하여 GPS가 필요 없도록 하는 것이다. GPS가 없으면 그만큼 크기, 비용, 전력소모를 줄일 수 있다.

사용되는 소자는 단거리 무선 RF 송수신기로서 Ad hoc 네트워크를 형성할 수 있다고 가정한다. 따라서 설치가 간편하고 시설비용이 저렴하다는 장점이 있다. 더욱이 본 논문에 사용되는 소자는 제한된 에너지 자원을 갖는다고 가정한다. 단일 소자가 위치인식을 위해 모든 에너지를 사용한다면, 나머지 작업을 수행할 수 없게 될 것이므로 위치인식 방법에서 전력소모를 줄이기 위해 계산과 메시지 비용을 최소화할 필요가 있다. 본 논문에서는 이러한 요구를 만족하는 단순하고 간편한 위치인식 방법을 제시한다.

본 논문에서 제시하는 방법에서는 이상적인 라디오 모델을 사용하고 제한이 없는 건물 밖의 환경에서 그러한 소자(이상적인 라디오 모델)를 위한 단순한 연결성에 기초한 방법을 사용한다.

네트워크 안에서 고정된 개수의 노드가 서로 겹쳐진 통신 범위를 가지면서 주기적인 무선표지(beacon) 신호를 전송함으로써 기준점 신호를 제공해 준다. 노드들은 이들 기준점의 주어진 부분집합에 인접함을 추론하기 위해서 단순한 연결성을 사용한다. 그리고 선택된 인접한 기준점들의 중점에 자신이 위치한다고 추정한다.

## II. 위치인식의 배경 기법

위치인식 접근법은 전형적으로 위치인식이 필요한 수신 노드와 알려진 위치를 갖는 기준점 사이의 통신에 따라 이루어진다. 본 논문은 통신이 이루어지는 동안 추론되는 정보의 세분성을 기준으로 다양한 위치인식 접근법을 크게 2가지 유형으로 분류한다.

하나는 세밀한 정보를 이용한 위치인식이라 부르기 하고 다른 하나는 대략의 정보를 이용한 위치인식이라 부른다. 세밀한 정보를 이용한 위치인식은 시간 측정과 신호의 강도에 기초하여 기준점과의 거리를 계산하는 것과 같이 잘 정형된 정보를 활용하는 방법이며, 대략

정보를 이용한 위치인식은 주어진 기준점에 인접해 있다는 대략의 정보만으로 위치를 추정해 내는 방법이다.

세밀한 정보를 이용한 위치인식 방법은 기준점에 대한 상대적인 각도를 추론하는지 혹은 통신 범위를 추정하는 지에 따라 다시 통신범위에 기초한 방법과 방향성에 기초한 방법으로 분류된다.

통신범위에 기초한 방법에 있어서, 몇몇 기준점에 대한 수신기 노드의 영역은 시점에 기초한 방법이나 혹은 신호 강도에 기초한 방법들 중에 하나로 결정된다. 영역이 결정된 다음에는 multilateration[4]을 사용하여 노드의 위치를 계산할 수 있다. 먼저, 시점에 기초한 방법은 수신기 노드와 기준점 사이의 거리는 통신신호의 도달 시간으로부터 추론할 수 있다는 사실을 이용하는 방법이다. 이 기법의 대표적인 사례가 잘 알려진 GPS[3]와 LPS[5]이다.

통신범위에 기초한 방법 중 신호 강도에 기초한 방법도 있는데, 무선신호가 전파(propagation)됨에 따라 발신기와 수신기 사이의 거리가 증가 할수록 무선신호의 감쇄가 증가한다는 사실을 이용한 방법이다 [6,7]. 하지만 이들 접근법은 그 시스템의 다양한 장소에 상응하는 신호 강도들을 일일이 고려하지 않는 한 단순한 전파식 만으로는 정확도가 떨어지며, 과도한 기반시설의 노력이 요구되어 ad-hoc 배치에는 적합하지 않다는 단점을 갖는다.

또 다른 방법으로 기준점에 대한 상대적인 각도를 추론하는 방향성에 기초한 방법이 있다. 전기적으로 위상차를 갖는 전방향성 신호를 송신하여 상대적인 방향을 알 수 있는 방법이다. 3개 이상의 기준점과 통신이 이루어진다고 가정하고 3각법에 의해 자신의 위치를 계산할 수 있다. 이 방법은 다중 경로 효과로 인하여 건물 안에서는 활용하기가 어렵다는 단점이 있다.

이제 대략의 정보만으로 위치를 추정해 내는 위치인식방법에 관하여 논의하기로 한다. 위치인식에 관한 초기 기법으로는 건물 안의 환경에 대하여 적외선 기법을 사용한 Active Badge 시스템[8]이 대표적인 방법으로 본 논문에서 제시하는 방법과 유사하다. 각각의 사람 혹은 목적물은 매 10초 마다 유일한 적외선 신호를 보내는 Active Badge라는 꼬리표를 붙여준다. 건물 안의 고정된 지점에 설치된 센서에서 그 신호를 받아들이고, 수신된 신호는 위치 관리 소프트웨어로 전달되어 사람 혹은 목적물의 위치에 관한 정보를 제공해 주게 된다.

적외선 기법에 기초한 또 다른 시스템은 참고문헌 [9]로서, 이 시스템은 건물 천장의 고정된 위치에 발신기를 배치해 놓는다. 머리에 모자 모양의 광학 센서를 쓰고 천장에서 보내진 적외선 무선표지 신호를 수신하여 센서 모자를 쓴 사람의 위치를 인식할 수 있다.

이러한 2가지의 적외선 기법에 기초한 해법은 건물 안에서는 대체로 좋은 성능을 보였다. 왜냐하면, 적외선 통신범위가 비교적 짧고, 건물 내부는 벽에 의해 어떤 논리적인 경계가 뚜렷이 나타나기 때문이다. 적외선 통신범위가 비교적 짧다는 것은 위치인식의 성능이 좋게 되는 장점이 되기도 하지만, 통신범위가 짧기 때문에 건물의 여러 위치에 센서들을 일일이 배치해야 하며 유지관리 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다. 또한, 햇빛이 강한 경우 적외선 통신 성능이 매우 나빠지기 때문에 건물 밖의 환경에서는 사용할 수 없다.

이상으로 기존의 위치인식에 관련된 기법을 살펴보고 그 장단점을 분석하였다. 다음 장에서 이상적인 센서 노드 모델과 접속성을 이용한 위치인식 방법을 제안한다.

### III. 접속도를 이용한 위치인식 방법

RF 통신 기반의 위치 측정 시스템 설계는 크게 2가지 접근법을 고려할 수 있다. 하나는 수신 신호의 강도를 계산하여 위치를 인식하는 방법이며, 다른 하나는 접속성을 측정하는 방법이다. 신호 강도를 이용하는 경우 반사, 잡음 등의 영향을 많이 받아 정확한 위치인식이 어렵다. 더욱이 시스템이 신호 강도를 받아들이려면 그만큼의 시스템 비용을 감수해야 한다. 따라서 본 논문에서는 신호의 접속성을 이용한 방법을 사용하기로 한다.

접속성에 기반을 둔 위치인식을 위해 센서노드에 대한 이상적인모델을 가정한다. 즉, 센서노드에서 전송하는 신호는 완벽한 구형으로 전파되며, 모든 센서노드들은 동일한 통신범위를 갖는다. 이 모델은 매우 간단하고, 수학적으로 해석하기 쉽다. 다음으로 이 모델을 이용한 위치인식 방법을 설명한다.

기준점 노드  $R_1 \sim R_n$  이 있다고 하자. 이들의 위치는 그물(mesh) 형태로 위치하며  $(X_1, Y_1) \sim (X_n, Y_n)$ 으로 미리 알고 있고 고정되어 있다. 이들은 주기  $T$ 의 주기적인 무선표지 신호를 방사한다.

$CM_i$ 는  $i$ 번째 기준점으로부터의 연결성을 백분율로 나타낸 것으로, 다음 식(1)과 같이 정의한다.

$$CM_i = \frac{N_{recv}(i, t_p)}{N_{sent}(i, t_p)} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $N_{recv}(i, t_p)$ 는 수신기의 자료수집 구간  $t_p$ 에서  $i$ 번째 기준노드( $R_i$ )로부터 무선표지 신호를 받아들인 횟수이고,  $N_{sent}(i, t_p)$ 는 구간  $t_p$ 에서  $R_i$ 에 의해 보내진 무선표지 신호의 송신 횟수이다.

다시 말해서, 노드들의 접속도란 어떤 시간 구간 내에 서 송신된 횟수 중 몇 번을 수신 했는가 이다. 10번 송신한 것을 10번 다 받아 들였다다면 100%의 접속도를 갖는다.

이제 시간 구간  $t_p$ 에 몇 번의 횟수로 설정할 지에 대해서 알아본다. 무선 신호의 전파 시 다중 경로, 잡음, 페이딩 등 다양한 현상으로 인하여, 통신 범위 내에 있다고 하여도 2개의 노드 간에 접속도가 100%임을 보장하기는 어렵다. 결국 접속도의 신뢰도를 개선하기 위해서는 10회 이상의 횟수로 설정하는 것이 좋겠으나 통신비용과의 절충이 필요하므로 본 논문에서는 5회로 설정하였다.

결과적으로 구간  $t_p$ 와 무선표지 신호주기  $T$  사이의 관계는 다음 식 (2)와 같다.

$$t_p = (5 + 1 - \epsilon) T \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon$ 는  $(0 < \epsilon < 1)$ 의 범위를 갖는 임의의 값이다.

식(2)에서  $t_p = (6 - \epsilon)T$ 인 이유는  $t_p$  구간 안에  $T$ 가 5개 들어가야 하므로  $t_p$  구간은  $5T$ 보다 큰 간격을 가져야 한다. 다만  $t_p = 6T$ 로 단순화하면 어떤 경우에  $t$ 의 시작 시점과  $T$ 의 시작 시점이 우연히 정확하게 일치하는 경우 횟수가 6으로 되는 경우가 있을 수 있으므로 이를 방지하기 위해서 아주 작은 값  $\epsilon$ 를 빼 준다.

이 접속도를 이용하여, 수신기가 받아들이는 무선표지 신호로부터 기준점에 대한 인접함을 추론한다. 인접한 기준점의 선택은 어떤 접속성 임계점(예를 들어 접속성 80%)을 초과하는 각각의 연결성에 따른다. 통신으로 연결된 기준점을  $R_1, R_2, \dots, R_k$ 로 표기하기로 한다. 이들 기준점 집합의 연결성 영역의 교차점에 일치하는 영역의 중점에 수신기가 위치해 있다고 가정한다. 본 논문에서, 추정에 의한 위치인식 점( $X_{est}, Y_{est}$ )이 바로 인접해 있는 기준점들의 중점으로 잡는 것을 제안한다. 이때, 위치인식 추정 점( $X_{est}, Y_{est}$ )은 다음 식 (3)과 같다.

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left( \frac{X_1 + \dots + X_k}{k}, \frac{Y_1 + \dots + Y_k}{k} \right) \quad (3)$$

여기서, k는 인접해 있는 기준점의 개수,  $X_1, \dots, X_k$ 는 인접 기준점들의 X좌표,  $Y_1, \dots, Y_k$ 는 인접 기준점들의 Y좌표이다.

위치인식 오차를 LE(localization error)라고 하면 다음 식(4)와 같다.

$$LE = \sqrt{(X_{est} - X_a)^2 + (Y_{est} - Y_a)^2} \quad (4)$$

여기서,  $X_a$ 와  $Y_a$ 는 위치를 인식하고자 하는 수신기 센서노드의 실제 위치이다.

기준점의 영역 겹침을 증가시키면, 위치인식 영역의 정보 세분성(granularity)이 좀더 뚜렷해지므로 위치 추정 정확도가 개선된다.

#### IV. 모의실험

모의실험은 MATLAB[10]을 이용하여 수행하였다. 5개의 모듈을 가지고 실험한다. 4개는 기준점으로 사용되며, 1개는 수신기로 사용된다. 실제로 실험할 경우 RadioPulse社의 2.4GHz Zigbee RF module인 LM2400-C/R을 고려한다.

고정된 위치에서 자신의 위치를 알려주는 무선표지 4개가 그림 1과 같이 존재한다고 가정한다.

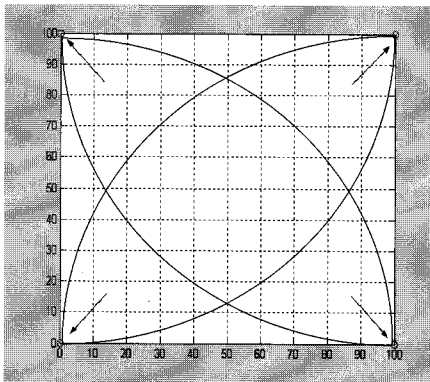


그림 1. 무선표지의 위치  
Fig. 1. The location of Beacon

모의실험에 사용된 센서의 통신거리는 100 m이다. 이때 통신거리 100m의 노드들을 그림 1과 같이 격자거리 100m로 설정한 경우 각 노드들 간의 통신접속은 충돌이나 고장 없이 완벽하게 접속된다고 가정한다. 다만, 무선 센서 노드들 간의 고장이나 신호충돌로 인한 수신불가의 경우는 위치인식을 어렵게 만들 수 있다. 만일 이러한 문제를 고려하여야 한다면, 센서노드에 대해 1개의 격자길이를 30 m 등으로 줄여서 접속성을 향상시킴으로써(최대 4개에서 16개로 분해능이 높아짐) 문제를 해결할 수 있다. 이때 밀도가 높아져서 신호충돌의 확률이 높아질 수 있는 문제는 노드 한 개의 신호주기 T가 2초라고 하면 큰 문제는 없다고 보며, 다양한 통신규약을 통해 극복하는 것으로 하고 본 논문의 범위를 벗어나므로 고려하지 않는다.

이러한 설정환경에서, 임의의 한 곳에 이동 가능한 센서가 위치할 경우, 자신과의 통신이 이루어진 무선표지에서 보내주는 좌표의 중점에 위치해 있다고 추정한다. 즉, 3절의 식(3)과 같다.

식(3)를 근거로 한 모의실험 결과는 다음 그림 2와 같다.

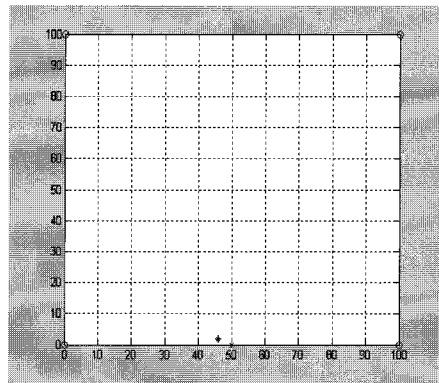


그림 2. 모의실험 결과 (2개와 접속)  
Fig. 2. The result of simulation (2 connection)

그림 2에서, [0,0], [100,0]에 위치한 2개의 무선 표지와 통신이 이루어지는 영역에 있다. 실제 위치는 [46, 2]이고, 추정 위치는 좌표[0,0]과 [100,0]의 중간 지점인 [50,0]으로 추정하였다. 결국 추정오차는  $4^2 + 2^2 = 16 + 4 = 20$  m이다.

또 다른 경우를 고려하면, 모의실험 결과는 그림 3과 같다.

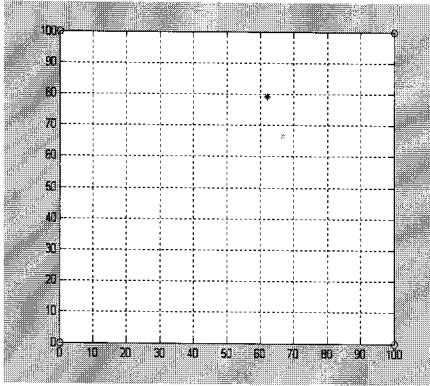


그림 3. 모의실험 결과 (3개와 접속)  
Fig. 3. The result of simulation (3 connection)

그림 3에서, [0,0]의 통신 범위에서 벗어난 지점에 이동 가능한 노드가 위치하고 있어서, [0,100], [100,0], [100,100]에 위치한 3개의 무선 표지와 통신이 이루어지는 영역에 있다. 이들 3좌표의 중간 지점은  $x_{est}=(0+100+100)/3 = 66.7$ ,  $y_{est} = (100+0+100)/3=66.7$ 이다. 실제 좌표는 [62,79]로서, 위치추정오차는 13.1867 m이다.

10회를 반복하여 실험한 결과는 그림 4와 같다.

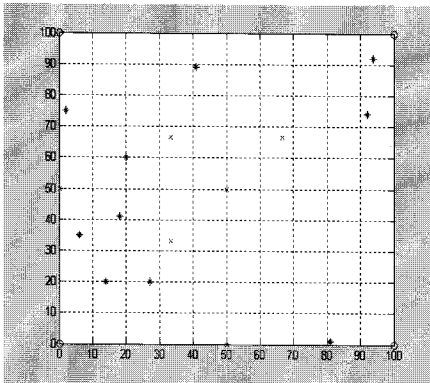


그림 4. 모의실험 결과 (10회 반복)  
Fig. 4. The result of simulation (10 iteration)

그림 4의 모의실험에서 계산된 위치인식 추정 오차를 표로 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 위치인식 오차  
Table 1. Localization Error

회차	1	2	3	4	5
추정오차 [m]	26.37	17.14	37.27	23.61	16.16
회차	6	7	8	9	10
추정오차 [m]	31.02	23.49	31.62	14.76	25.08

표 1에서 거리 추정 오차는 최대 37.27 [m]로 나타났으며, 위치인식 추정오차의 평균은 25.07 [m]이다. 계산상으로는 최악의 경우 50 [m]에 가까운 오차가 발생할 수도 있으나, 모의실험에서 살펴본 바와 같이 대부분의 경우 25 [m] 근방의 오차를 나타내고 있다. 좀더 정밀한 위치인식을 위해서는 자기위치를 정확하게 알고 있는 무선표지의 배치간격을 조밀하게 해 주어야 하나 시스템이 복잡해지고 비용소모가 증가하므로 각 노드가 가지고 있는 통신거리를 고려하여 모의실험과 같은 형태로 배치하는 것이 위치인식의 정확도와 소요비용간의 적절한 절충안이라고 볼 수 있다.

실제 실험에서는 무선표지 신호는 자신의 ID와 위치 정보를 매 2초에 1번씩 주기적으로 전송 하도록 설정할 수 있다. 즉  $T=2$ 이다. 이때, 5회의 접속성을 평가해야 하므로, 위치인식에 필요한 시간은 대략 12초이다. 또한, 실제실험에서는 모의실험과는 달리 구간  $tp$ 에 받아들여진 신호의 횟수를 계산한다. 이후의 수신기가 연결된 기준점 들을 기록하고 자신의 위치를 추정하는 방법은 모의 실험과 같다.

## V. 결 론

본 논문은 GPS를 갖지 않는 저가의 작은 센서 노드에 대해 건물 밖의 환경에서 자신의 위치를 인식하는 방법을 논의하였다. 무선센서 네트워크에서의 중요한 문제 중에 하나인 위치인식에 있어서 노드의 크기 및 비용 등을 최소화하기 위해 단순한 모델을 가정한 접속성을 이용한 간단한 방법을 제안한 것이다.

기존의 위치인식 기법들을 살펴보고 연결성에 의해 인접한 기준점이라고 판별된 기준점들의 중점을 자신의 위치로 인식하는 방법이 포함되었다. 모의실험을 통해 본 논문에서 제안한 방법이 아주 단순한 이상적인 모델

을 사용하였음에도 불구하고 비교적 현실적인 위치인식 결과를 얻을 수 있다는 타당성을 살펴보았다.

**참고문헌**

[ 1 ] Ian F.Akyildiz, W. Su, et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE communications magazine, pp. 102-114, 2002.

[ 2 ] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, Eds., *Special Issue on Embedding the internet*, communications of the ACM, Vol. 43, No. 5, 2000.

[ 3 ] B.Hofmann-Wellenhof, H. Lichtegger, and J.Collins, *Global Positioning System: theory and Practice, Forth Edition*, Springer-Verlag, 1997.

[ 4 ] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, "A new location technique for the active office," IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, pp. 42-47, 1997.

[ 5 ] J. Werb and C. Lanzl, "Designing a positioning system for finding things and people indoors," IEEE spectrum, Vol. 35, No. 9, pp.71-78, 1998.

[ 6 ] T. S. Rappaport, *Wireless Communications : Principles and Practice*, Pentice Hall, 1996.

[ 7 ] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," In Proc. of the IEEE Infocom 2000, Vol. 2, pp. 775-784, 2000.

[ 8 ] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and Gibbons, "The active badge location system," ACM Transactions on Information Systems, Vol. 10, No. 1, pp. 91-102, 1992.

[ 9 ] R. Azuma, "Tracking requirements for augmented reality," Communications of the ACM, Vol. 36, No. 7, pp.50-55, 1993.

[10] <http://www.mathworks.com>

**저자소개**



**곽 칠 성(Chil-seong Kwak)**

1981.2 광운대학교 응용전자공학과 공학사  
 1986.2 광운대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사  
 2007.현재 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정  
 2007.현재 재능대학 디지털정보전자과 교수 재직  
 ※관심분야: 위성통신, 마이크로파 회로해석 및 설계, 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템 설계



**정 창 우(Chang-woo Jung)**

2002 한국해양대학교 전자통신공학과 공학사  
 2004 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사  
 2007 현재 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정  
 ※관심분야: 해상무선통신, RFID/USN, 해외 플랜트 통신시스템 설계



**김 진 현(Jin-Hyun kim)**

1990 서울산업대학교 전자공학과 공학사  
 2003 한국해양대학교 해사산업대학원 전자통신·전파공학전공 공학석사  
 2007 현재 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정  
 ※관심분야: 해상무선통신, GMDSS 운용, 해양정보통신



**김 기 문(Ki-Moon kim)**

건국대학교 통신행정학 박사  
 한국해양정보통신학회 회장 역임  
 한국항만학회 이사 역임  
 한국항해학회 이사 역임  
 국가기술자격제도위원회 전문위원  
 한국해양대학교 공과대학 학장 역임  
 현재 한국해양대학교 공과대학 교수 재직  
 ※관심분야: 정보과학·통신행정·전파행정