

# 다중 선박에서 효율적인 충돌 회피를 위한 베이저안 충돌 위험도 추정 알고리즘

정회원 송병호\*, 이경효\*\*, 정민이\*\*\* 이성로\*\*\*\*°

## Bayesian Collision Risk Estimation Algorithm for Efficient Collision Avoidance against Multiple Traffic Vessels

Byoung-Ho Song\*, Keong-Hyo Lee\*\*, Min-A Jeong\*\*\*, Sung-ro Lee\*\*\*\*° *Regular Members*

### 요약

선박의 충돌회피 알고리즘은 인적 요인에 의한 해난사고를 방지하고, 보다 효과적이고 안전한 운항을 위해 개발되어 왔다. 본 논문에서는 충돌사고의 위험성을 줄이고, 안전운항을 지원하기 위하여, 베이저안 추정 이론을 이용하여 충돌 위험도를 추정하는 알고리즘을 고안한다. 기존의 선박 충돌회피 시스템보다 안전한 충돌 회피를 위해 베이저안 추정 이론을 이용하여 충돌 위험도를 계산하고 일정 시간 이후에 타선들의 위치 및 속도정보와 자신의 위치 및 속도정보를 이용하여 충돌 위험도를 예측함으로써 보다 안전하고 효율적인 충돌 위험도를 결정한다. 본 논문에서 타선박의 항해정보는 AIS 정보를 가정하였고, 기존의 DCPA와 TCPA를 이용한 퍼지 추론 방법보다 효율적으로 충돌 위험도를 추정할 수 있다.

**Key Words** : Collision avoidance, Bayesian, Collision Risk, DCPA, TCPA.

### ABSTRACT

Collision avoidance algorithm of vessels have been studied to avoid collision and grounding of a vessel due to human error. In this paper, We propose a collision avoidance algorithm using bayesian estimation theory for safety sailing and reduced risk of collision accident. We calculate collision risk for efficient collision avoidance using bayesian algorithm and determined the safest and most effective collision risk is predicted by using re-planned with re-evaluated collision risk in the future( $t=t'$ ). Others ship position is assumed to be informed from AIS. Experimental results show that we estimate the safest and most effective collision risk.

### 1. 서론

최근 전자 기술의 급속한 발달에 따라서 선박의 항해 전반에 대한 지능화 및 무인화 연구가 활발하게 진행됨에 따라서 선박 내 노동의 경감, 운항 안전성의 향상, 운항 경제성의 향상 등의 효과를 얻을 수 있다.

그러나, 급격한 자동화 기술 발전에 따라서 레이더

와 전자해도, AIS 등 첨단 항해 장비들이 개발되어, 선박의 안전한 운항을 지원하고 있으나, 선박의 운항은 더욱 복잡해짐으로써 운용자의 오류에 의한 사고율은 증가하는 추세이고 선박의 충돌 사고는 줄어들지 않고 있다.

이러한 선박간 충돌사고는 해양오염사고로 연결되는 경우가 많으므로, 선박 간의 충돌위험도를 자동으

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소지원사업으로 수행된 연구임(2009-0093828)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0007)

\* 조선대학교 컴퓨터통계학과(cssstar@empal.com), \*\* 목포대학교 정보산업연구소(mediakh@mokpo.ac.kr),

\*\*\* 목포대학교 컴퓨터공학과(majung@mokpo.ac.kr), \*\*\*\* 목포대학교 정보전자공학과(srlee@mokpo.ac.kr), (°: 교신저자)

논문번호 : KICS2010-10-483, 접수일자 : 2010년 10월 11일, 최종논문접수일자 : 2011년 3월 2일

로 자선에 인지하여 경보하거나, 충돌회피경로를 자동으로 추정하여 안내하거나 회피기능을 수행할 수 있는 항해지원시스템이 필요한 실정이다.

이러한 항해지원시스템에서는 선박의 안전성을 보장할 수 있는 충돌회피 시스템의 역할이 중요하게 인식된다.

충돌회피는 자선에서 이루어지는 해상 장애물에 대한 피항 행위로 충돌위험도를 기준으로 피항 여부를 결정한다.

따라서 지능형 선박에서는 보다 정확하고 신뢰성이 보장된 충돌 위험도가 제공되어야 한다.

그러나, 현재까지 충돌회피 시스템에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔으나 충돌회피의 판단 기준이 되는 충돌위험도 결정에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

기존의 선박 충돌회피에 대한 연구는 주로 퍼지 이론(Fuzzy theory)을 이용하여 발전하여 왔다. 퍼지 이론은 주로 충돌위험도 추정에 사용하거나, 회피기동시 제어알고리즘으로 사용하기 위해 도입되었다<sup>1)</sup>.

Hasegawa는 DCPA(Distance of the Closest Point of Approach), TCPA(Time of the Closest Point of Approach)를 입력 변수로 사용하고 퍼지 이론을 이용해 충돌위험도를 추론하였다<sup>2)</sup>.

Hara와 Hammer는 사람이 느낄 수 있는 타선의 상대 거리와 상대 각속도를 이용하여 충돌위험도를 추론하였는데, 자선이 어느 방향으로 항해하면 안전한지에 대한 정보를 제공하지 못하는 단점을 가진다<sup>3)4)</sup>.

Imazu는 Radar의 오차 특성을 이용하여 충돌위험도를 결정하였다<sup>5)6)</sup>. 그러나 Radar의 사양이 결정되면 선박의 특성과 무관하게 충돌위험도가 결정된다는 단점을 지닌다.

이한진은 Hasegawa의 기법을 기반으로 현시점의 충돌위험도를 추정하여 현시점의 위험도를 사용하는 것이 아니라 다음 시간까지의 위험도를 추론하고 그 중에서 가장 위험한 경우를 현재의 충돌위험도로 사용하였다<sup>7)</sup>. 하지만 일정한 범위 안에 존재하는 선박에 대해 동일한 충돌위험도를 산출하는 단점을 보였다.

이에 본 논문에서는 선박의 속도계, GPS, AIS로부터 얻어낸 입력 데이터를 이용하여 기존의 퍼지 이론이 아닌 베이지안 추정 방법을 이용하여 충돌위험도(Collision Risk)를 결정하는 과정으로 구성된다.

현재시간에 타선들의 위치 및 속도정보와 자신의 위치 및 속도정보를 이용하여 베이지안 추정 방법에 의한 충돌위험도를 계산하고 일정시간 이후의 타선 및 자신의 위치 및 속도를 추정하여, 다시 충돌위험도를 추정함으로써, 정확도를 높이고 예측확률을 높이고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 관련 연구 동향, 3장에서는 시스템 구성 및 설계, 4장에서는 실험 및 구현 결과를 보여주고 5장에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 충돌 위험도

충돌 위험도란 해상 장애물 및 타선에 대해서 자선이 느끼는 위험 정도를 의미하며, 충돌회피 시스템에서 충돌회피 여부를 결정하는데 입력으로 이용된다. 충돌위험도 추정 알고리즘의 목적은 그림 1에서 보는 바와 같이 항만 근처에서 통항하는 선박들간에 충돌 위험도를 추정하여, 자선의 충돌 회피 시스템에 사용하기 위한 것이다. 운항자가 충돌 위험 상황을 인지하기 어려운 상황이거나, 회피 기동이 불가능한 상황에서 정확한 충돌 위험도를 추정하여 충돌 회피 시스템에 반영함으로써 보다 안전하고 효율적인 회피 경로를 결정할 수 있다.

현재까지 충돌회피 시스템에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔으나 충돌회피의 판단 기준이 되는 충돌 위험도 결정에 대한 연구는 미흡한 실정이고, 충돌회피 시스템을 구현하는데 있어서 부가적인 과제로 연구가 되어왔다.

본 논문에서는 보다 효율적이고 정확한 충돌 위험도 추정을 위해 선박의 속도계, GPS, AIS로부터 얻어낸 입력 데이터를 이용하여 베이지안 추정 방법을 이용하였다.

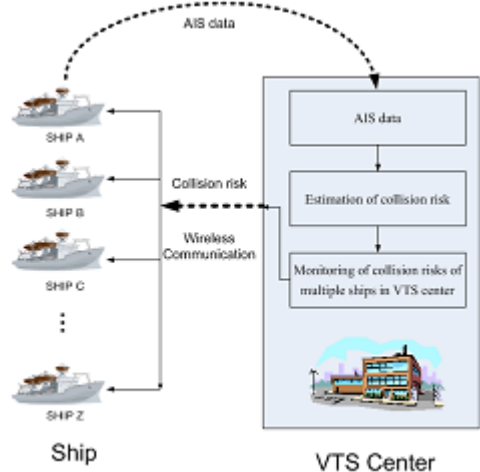


그림 1. 선박 충돌 위험도 추정  
Fig. 1. Collision Risk of Ship estimate

2.2 베이지안 추정

충돌 위험도를 추정하는 데 있어 기존의 추정 방법은 많은 불확실성과 결과의 편향성(bias)을 나타내는데 반해 베이지안 추정은 실험에 의해 얻어지는 데이터와 사전 분포를 결합하여 보다 합리적인 추정 결과를 도출한다. 베이지안 추정은 사전정보에 의한 모델과 실험, 계측에 의한 모델 등 크게 두 가지 요소로 구성되며, 식(1)과 같이 전확률법칙(law of total probability)에 기초한 베이즈의 정리(Bayes' theorem)를 일반화하여 확률모수의 사후정보를 추정할 수 있다<sup>8)</sup>.

$$f''(\theta) = \frac{P(\epsilon|x=\theta)f'(x=\theta)}{\int P(\epsilon|\theta)f'(\theta)d\theta} \quad (1)$$

여기서,  $P(\epsilon|x=\theta)$ ,  $f'(x=\theta)$ 은 각각 확률변수  $x=\theta$ 일 경우에 대한 우도함수와 사전분포함수이고,  $f''(\theta)$ 은  $x=\theta$ 일 경우 우도함수에 대한 사후분포함수이다.  $\int P(\epsilon|\theta)f'(\theta)d\theta$ 는 주변분포(marginal distribution)로서 정규화상수이다.

III. 충돌 위험도 추정

본 논문에서는 선박의 속도계, GPS, AIS로부터 얻어낸 입력 데이터를 이용하여 베이지안 추정 방법에 의해 충돌 위험도를 추정하였다. 그림 2는 충돌위험도 추정 시스템의 구성도를 보여주고 있다.

충돌위험도 추정 시스템은 자신의 속도를 측정하기 위하여 선박에 장착되어 있는 속도계와 GPS, AIS로

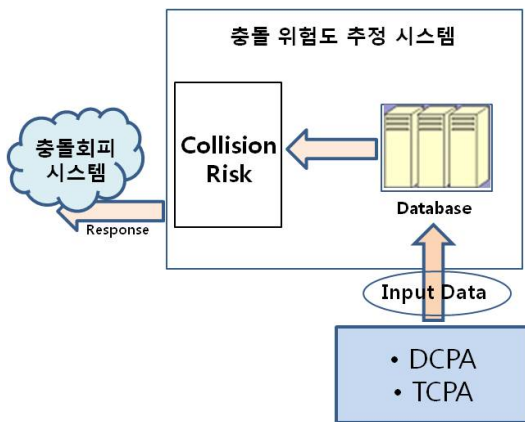


그림 2. 시스템 구성도  
Fig. 2. System block diagram

부터 자신과 타선 등의 주변 정보를 받아들여 장애물 모델링 과정을 통하여 가상세계에 저장한다.

가상세계는 여러 정보를 저장하는 일종의 공유 메모리로서 여기에 저장된 정보 중 일부는 충돌위험도 결정에 입력으로 사용되며, 산출된 충돌위험도는 다시 가상세계에 저장되고 이를 충돌회피 시스템에서 사용하게 된다.

본 논문에서 장애물은 해상에 항해하는 타선을 의미한다. 입력 정보 중 침로는 타선의 진행방향율, DCPA는 자신이 현 상황을 유지하면서 타선이 가장 가까이 지나갈 때까지 걸리는 시간, TCPA는 현시점에서 가장 가까운 지점을 지나갈 때까지 걸리는 시간을 의미한다.

3.1 사용 데이터

본 논문에서 충돌을 회피하기 위한 충돌 위험도를 추정하기 위해서는 입력 데이터로써 타선 및 자신의 정보가 필요하다. 타선의 정보는 AIS 정보를 이용하였다. AIS(Automatic Identification System)는 선박의 위치, 침로, 속력 등 항해 정보를 실시간으로 제공하는 첨단 장치. 해상에서 선박의 충돌을 방지하기 위한 장치로서, 국제 해사 기구(IMO)가 추진하는 의무 사항이며, 선박 자동 식별 장치(AIS)가 도입되면 주위의 선박을 인식할 수 없는 경우에도 타선의 존재와 진행 상황 판단이 가능하고, 시계가 좋지 않은 경우에도 선명·침로·속력 식별이 가능하여 선박 충돌 방지, 광역 관제, 조난 선박의 수색 및 구조 활동 등 안전 관리를 더욱 효과적으로 수행할 수 있는 시스템이다.

그림 3에서 보는 바와 같이, 자신 및 타선의 정보는 각기 GPS, AIS 정보를 이용하였다.

타선의 정보는 AIS를 통해서 타선의 위도, 경도,

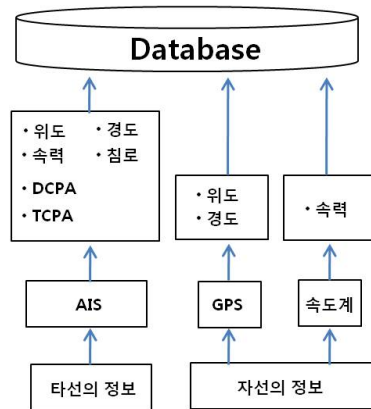


그림 3. 사용 데이터  
Fig. 3. Used data

속력, 침로 값을 입력 받았고, 자신의 정보는 GPS를 통해 위도와 경도, 선박의 속도계를 통해서 자신의 속력 값을 입력 받았다. 실시간 입력되는 자선 및 타선 정보를 바탕으로, 베이지안 추정을 이용한 충돌 위험도 추정 알고리즘은 정확도를 높이기 위하여 1분 간격으로 계산하고, 이를 토대로 최적의 충돌 위험도를 실시간 계산한다.

### 3.2 충돌 여유시간 및 충돌 여유거리 계산

타선 전체에 대한 충돌위험도를 추정하기 위해서는 입력 데이터로부터 TCPA와 DCPA 값을 계산하고, 정확도를 높이기 위해서 현재 시점부터 t 시간 이후의 충돌 시점을 예측한다. 즉, 자신이 출발할 경우 발생하게 될 타선과의 충돌 위험이 계산된다.

식 (2)는 t 시간 후의 자선 및 타선의 예상 위치이다.

$$\begin{aligned} X_{Sk1,j}(t') &= X_{k1-1,k2} + V_s \cdot \cos(\theta_{k1,j}) \cdot t' \\ Y_{Sk1,j}(t') &= Y_{k1-1,k2} + V_s \cdot \sin(\theta_{k1,j}) \cdot t' \\ X_{Tk1,j}(t') &= X_{Ti}(0) + V_{Ti}(0) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_{Ti}(0)\right) \\ &\quad \cdot (t' + \sum \Delta T_{k1-1,k2}) \quad (2) \\ Y_{Tk1,j}(t') &= Y_{Ti}(0) + V_{Ti}(0) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_{Ti}(0)\right) \\ &\quad \cdot (t' + \sum \Delta T_{k1-1,k2}) \end{aligned}$$

식(2)로 부터 식 (3)과 같이, 거리함수를 구성할 수 있으며, 자선과 타선의 거리가 최소가 되는 충돌여유시간(TCPA) 및 충돌여유거리(DCPA)를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} DF_{k1,j}(i,t') &= \sqrt{(X_{Tk1,j} - X_{Sk1,j})^2 + (Y_{Tk1,j} - Y_{Sk1,j})^2} \\ &= \sqrt{At'^2 + Bt' + C} \\ TCPA_{k1,j}(i) &= -\frac{B}{2A} \quad (3) \\ DCPA_{k1,j}(i) &= DF_{k1,j}(i, TCPA_{k1,j}(i)) \end{aligned}$$

이와같이, 계산된 충돌여유시간 및 충돌여유거리를 이용하여, 충돌위험도를 계산하는 베이지안 추정 알고리즘에 적용하면 t' 시점에서의 충돌 위험도를 계산할 수 있다.

### 3.3 제안한 베이지안 추정 알고리즘

계산된 TCPA, DCPA 값을 확률 변수로하여 충돌 위험도를 추정할 때 매 분 간격마다 현재 위치에서 현재 속도, 현재의 방위각을 유지할 때를 가정하고 베이지안 추정은 조건부 확률밀도함수를 이용한 Bayes'

rule을 기반으로 충돌 위험도를 추정한다.

식 (4)는 변수 w에 조건부로 일어나는 변수 z의 조건부 확률 분포를 나타낸다.

$$p(z|w) = \frac{p(z,w)}{p(w)} = \frac{p(w|z)p(z)}{p(w)} \quad (4)$$

현재 시간까지의 측정치 집합을  $Y_t = \{y_i\}_{i=0}^t$  라 하면, 식 (5)와 같이 충돌 위험도를 추정할 수 있다.

$$p(x_t|Y_t) = \frac{p(y_t|x_t, Y_{t-1})p(x_t|Y_{t-1})}{p(y_t|Y_{t-1})} \quad (5)$$

본 논문에서는 알고리즘의 성능 향상을 위해서 t' 시점까지 1분 간격으로 충돌위험도를 추정하여 정확도를 높이는 실험을 수행하였다.

그림 4는 제안한 알고리즘의 구성도이다.

#### Algorithm : Collision Risk Estimation

Input Data :

$X_s$  from GPS,

$X_\pi$  from AIS :  $i = 0, 1, \dots, N_T$

$P_{k1,j} = \{X_{k1,i}, Y_{k1,i}, \theta_{k1,i}, \Delta T_{k1,i}\}$

step1 : Calculate TCPA, DCPA at each i -th traffic ship  $TCPA_{k1,j}(i), DCPA_{k1,j}(i)$

step2 : Calculate Collision Risk due to i -th traffic ship

$$p(x_t|Y_t) = \frac{p(y_t|x_t, Y_{t-1})p(x_t|Y_{t-1})}{p(y_t|Y_{t-1})}$$

calculated by bayesian theory

Output: decision  $0 \leq y \leq 1$

그림 4. 알고리즘 구성

Fig. 4. Algorithm Configuration

## IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 기법의 성능 검증을 위해 기존의 퍼지 이론으로 충돌 위험도를 산출해 낸 결과와 베이지안 추정으로 충돌 위험도를 산출한 결과를 비교, 평가한다. 시뮬레이션을 위해 자선을 중심으로 항해하는 선박을 배치하고 각 타선의 DCPA, TCPA를 계산하여 충돌위험도를 결정하였다. 자선과 타선의 항

해 속력은 30knot로, 충돌위험도 결정 주기는 1min.으로 설정하였으며 자선과 타선의 course는 각각 다르게 설정하였다. 정확도를 높이기 위하여 현재시점(t)으로부터 1분 간격으로 10번으로 나누어 측정 하였고 이를 토대로 최적의 충돌 위험도를 계산하였다.

표 1은 본 논문에서 추정된 충돌위험도를 나타낸다.

본 실험에서는 제안 기법과 기존 퍼지 이론을 이용한 추정 기법의 정확도를 비교하기 위해서 t' 시점에서의 추정 오차율을 측정하였다. 추정 오차율(RMSE)은 식 (6)과 같이 유도된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2} \quad (6)$$

그림 5는 제안 기법과 기존 기법의 추정 오차와 누적 확률에 관한 측정 결과이다.

각 시점별로 추정 오차를 보면 시간이 지남에 따라 추정 오차가 점점 작아짐을 알 수 있고, 제안한 기법의 성능이 기존 기법보다 우수한 것을 알 수 있다. 또한, 시간이 지남에 따라 추정 오차가 작아짐으로써 현

표 1. 충돌 위험도 추정  
Table 1. Estimation of Collision Risk

시점	DCPA	TCPA	충돌 위험도
1	0.24	0.12	0.95
2	0.21	0.11	0.91
3	0.20	0.09	0.85
4	0.20	0.08	0.80
5	0.19	0.06	0.73
6	0.18	0.05	0.69
7	0.16	0.04	0.45
8	0.15	0.03	0.27
9	0.14	0.02	0.18
10	0.12	0.01	0.07

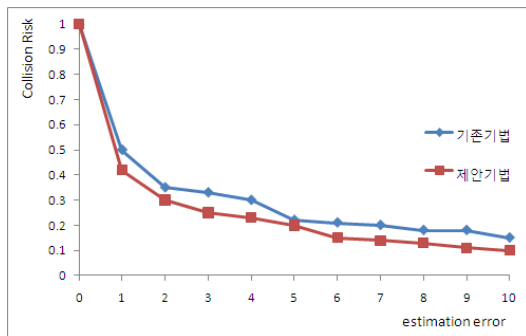


그림 5. 추정 오차 측정 결과  
Fig. 5. Estimation error result

재 시점에서의 충돌 위험도를 추정하는 것보다 일정 시간 이후에 충돌 위험도를 예측하는 것이 보다 효율적임을 알 수 있다.

### V. 결 론

운항자의 오류에 의한 선박의 충돌 사고율은 증가하는 추세이다. 이러한 선박간 충돌사고는 해양오염사고로 연결되는 경우가 많으므로, 선박 간의 충돌위험도를 자동으로 사전에 인지하여 경보하거나, 충돌회피 경로를 자동으로 추정하여 안내하거나 회피기동을 수행할 수 있는 항해지원시스템이 필요한 실정이다. 이에 본 논문에서는 선박의 속도계, GPS, AIS로부터 얻어낸 입력 데이터를 이용하여 베이지안 추정 방법을 이용하여 충돌위험도(Collision Risk)를 결정하였다. 현재시간에 타선들의 위치 및 속도정보와 자선의 위치 및 속도정보를 이용하여 베이지안 추정 방법에 의한 충돌위험도를 계산하고 일정시간 이후의 타선 및 자선의 위치 및 속도를 추정하여, 다시 충돌위험도를 추정함으로써, 정확도를 높였다. 실험한 결과 각 시점별로 추정 오차를 보면 시간이 지남에 따라 추정 오차가 점점 작아짐을 알 수 있고, 제안한 기법의 성능이 기존 기법보다 우수한 것을 알 수 있다. 또한, 시간이 지남에 따라 추정 오차가 작아짐으로써 현재 시점에서의 충돌 위험도를 추정하는 것보다 일정 시간 이후에 충돌 위험도를 예측하는 것이 보다 효율적임을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] Hasegawa, K. et al., "Ship auto-navigation fuzzy expert system (SAFES)", Journal of the Society of Naval Architecture of Japan, Vol.166, 1989.
- [2] Hasegawa, K. "Automatic Collision Avoidance System for Ship using Fuzzy Control", 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
- [3] Hammer, A. and Hara, K, "Knowledge Acquisition for Collision Avoidance Maneuver by Ship Handling Simulator", MARSIM & ICSA 90, tokyo, 1990.
- [4] Hara, K and Hammer, A. "A safe Way of Collision Avoidance Maneuver based on Maneuvering Standard using Fuzzy Reasoning Model", MARSIM 93, St.John's, 1993.
- [5] Imazu, H. and Koyama, T., "The Determination

Collision Avoidance Action” The Journal of Japan Institute of Navigation, Jan., 1984.

- [6] Imazu, H. and Koyama, T., “The Optimization of the Criterion for Collision Avoidance Action” The Journal of Japan Institute of Navigation, Sep.,1984.
- [7] 이한진, “FUZZY 이론을 이용한 충돌 회피 기법 연구”, 서울대학교, 1993.
- [8] Ang, A.H.-S. and Tang, W.H., “Probability Concepts in Engineering Planning and Design.”, Basic Principles, John Wiley & Sons, New York, Vol.1, 1975.

**정 민 아 (Min-A Jung)**

정회원



1992년 2월 전남대학교 전산 통계학과 졸업  
 1994년 2월 전남대학교 전산 통계학과 석사  
 2002년 2월 전남대학교 전산 통계학과 박사  
 2005년 3월~현재 목포대학교 컴퓨터공학과 조교수

<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야(RFID, USN, 텔레메틱스), 임베디드시스템

**송 병 호 (Byoung-Ho Song)**

정회원



1998년 2월 조선대학교 전산 통계학과  
 2000년 2월 조선대학교 전산 통계학과 석사  
 2008년 2월 조선대학교 전산 통계학과 이학박사  
 2009년 12월~현재 목포대학교 중점연구소 연구교수

2011년 1월~현재 조선대학교 컴퓨터통계학과 박사후연구원

<관심분야> 해양통신, 인공지능, 무선통신응용분야 (RFID, USN), 생체인식시스템

**이 성 로 (Seong-ro Lee)**

정회원



1987년 2월 고려대학교 전자공학과  
 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사  
 1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사  
 2005년 3월~현재 목포대학교

정보공학부 정보전공학전공 부교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템, 생체인식시스템

**이 경 효 (Kyeong-hyo Lee)**

정회원



1988년 2월 조선대학교 전자계산학과  
 2002년 2월 목포대학교 멀티미디어공학과 석사  
 2007년 8월 목포대학교 정보보호학과 박사  
 2003년 3월~현재 목포대학교 정보보호공학과 시간강사

2010년 12월~현재 목포대학교 정보산업연구소 전임연구원

<관심분야> USN/RFID 응용분야, Key management