

논문 2011-48TC-4-6

# 다중 수중 표적 환경에 강인한 OSR CFAR 알고리즘

## ( OSR CFAR Robust to Multiple Underwater Target Environments )

홍 성 원\*, 한 동 석\*\*

( Seong Won Hong and Dong Seog Han )

### 요 약

CFAR(constant false alarm rate)는 능동 소나 시스템에서 사용되는 자동 탐지 신호처리 알고리즘이다. CFAR 알고리즘 중에서도 OS(ordered statistics) CFAR는 CA(cell averaging), SO(smallest of), GO(greatest of)에 비해 비균일 환경에서 탐지 성능이 우수하다. 그러나 OS CFAR는 다중 표적 상황에서 일정 개수 이상의 표적이 나타나면 탐지 성능이 나빠지는 단점을 갖고 있다. 이에 본 논문에서는 다중 표적 환경에서 OS CFAR보다 좀 더 강인한 OSR(ordered statistics ratio) CFAR 알고리즘을 제안하고 컴퓨터 모의실험을 통하여 간섭 표적 개수에 따른 성능을 기존의 CFAR 기법과 비교 분석하였다.

### Abstract

Constant false alarm rate (CFAR) is an automatic detection algorithm for active sonar system. Among several CFAR algorithms, ordered statistics (OS) CFAR has the best performance over cell averaging (CA), smallest of (SO), greatest of (GO) algorithms at non-homogeneous environments. However, OS CFAR has the disadvantage of bad detection performance in multiple target conditions. We suggest an ordered statistics ratio (OSR) CFAR algorithm that is robust to multiple target environments. The proposed and conventional schemes are compared with computer simulations.

**Keywords :** CFAR, Multi-Target, Automatic, Detection

## I. 서 론

능동 소나 시스템 또는 레이더에서 수신된 신호에 표적신호 외에 잡음과 잔향(또는 클러스터)이 포함되어 있다. 이러한 잡음과 잔향의 영향을 줄이면서 표적신호를 자동탐지하는 알고리즘이 CFAR(Constant False Alarm Rate)알고리즘이다. CFAR는 주위 잡음과 잔향 준위에 따라 문턱 값을 조절하는 적응식 탐지 알고리즘이다. 그림 1에서 CFAR 알고리즘의 기본적인 블록도를 나타내었다. 프로세서는 CA(Cell Averaging), SO(Smallest

Of), OS(Ordered Statistics) 등으로 나뉜다<sup>[1]</sup>. CA는 균일 환경에서 우수한 성능을 보이는 알고리즘이지만 다중 표적 환경에서는 문턱값이 높게 설정되어 표적을 탐지하지 못한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 SO가 제안되었다. SO는 다중 표적 환경에서 CA보다 높은 탐지율을 보인다. 그러나 SO는 테스트 셀 양쪽 모두 간섭 표적이 있을 경우에는 탐지율이 저하되는 단점이 있

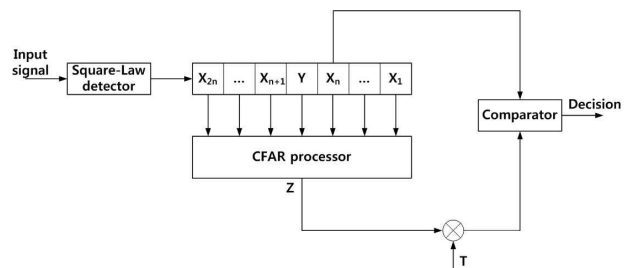


그림 1. CFAR 블록도  
Fig. 1. CFAR block diagram.

\* 학생회원, \*\* 평생회원-교신저자, 경북대학교 전자공학부

(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD100002KD)

접수일자: 2010년12월19일, 수정완료일: 2011년4월15일

다. 이러한 SO의 단점을 보완하기 위해 주변 셀들을 순차적으로 정렬하여 특정 순서의 셀의 값을 취하는 방식인 OS가 제안되었다. 그러나 일정 개수 이상의 다중 표적에 대해서는 성능이 떨어지게 된다는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 두 값의 비로 문턱값을 거의 일정하게 유지하여 다중 표적에 강인한 OSR(Ordered Statistics Ratio) 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서는 기존의 CA, SO, GO, OS CFAR에 대하여 설명하고 III장에서는 OSR 알고리즘을 제안하였다. IV장에서는 각 CFAR 알고리즘에 대하여 균질 환경과 다중 표적 환경에서의 실험한 결과를 비교 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. CFAR

### 1. Neyman-Pearson 탐지기<sup>[2]</sup>

CFAR는 Neyman-Pearson 탐지기를 기반으로 이론 분석을 한다. 능동 소나 시스템에서 수신된 신호는 다음과 같이 가정한다.

$$x(t) = \begin{cases} s(t) + n(t) \\ n(t) \end{cases} \quad (1)$$

하나는 잡음만 존재하는 신호이고, 다른 하나는 표적 신호와 잡음이 섞여있는 신호이다. 잡음은 평균이 0인 백색 가우시안 잡음이다. 수신된 신호가 자승 포락선 탐지기를 거치면 신호는 지수분포를 따르게 되며 확률 밀도함수는 다음과 같다.

$$f_X(x) = \frac{1}{2\lambda} \exp\left(-\frac{x}{2\lambda}\right) \quad (2)$$

이 때 파라미터  $\lambda$ 는 표적의 존재여부에 따라 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda = \begin{cases} \mu(1+S) \\ \mu \end{cases} \quad (3)$$

본 논문에서는  $\mu = 1/2$ 인 경우에 대해서 성능분석을 하였다. 그리고 다음과 같이 탐지 확률을 조건부 확률로 표현할 수 있다.

$$P_d = P[Y > TZ | H_1] \quad (4)$$

식(4)에서  $Z$ 를 결정하는 것이 CFAR 알고리즘의 역할이다.

### 2. CA CFAR

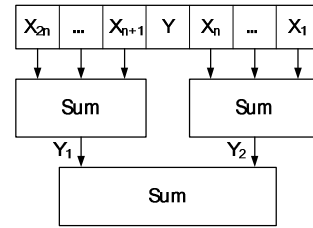


그림 2. CA CFAR 프로세서  
Fig. 2. CA CFAR processor.

CA는 테스트 셀 주변의 셀들을 평균 내는 것으로 그림 2와 같은 프로세서 구조를 가지며 다음과 같이 표현된다.

$$Z = \sum_{i=1}^{2n} X_i \quad (5)$$

프로세서는 단순한 덧셈기이지만 그림 1에서와 같이 가중치  $T$ 를 곱해줌으로써 평균을 취하는 효과를 얻는다. CA의 탐지율은 식(2)와 식(4)에 따라 다음과 같이 표현된다<sup>[3]</sup>.

$$P_d = \left(1 + \frac{T}{1+S}\right)^{-2N} \quad (6)$$

CA는 셀들의 값들이 일정한 분포를 따르는 균질 환경에서는 매우 좋은 성능을 보인다. 그러나 주변 셀에 하나의 표적이라도 존재하는 다중 표적 환경이 된다면 문턱값이 높아져 탐지율이 매우 떨어진다는 단점을 갖고 있다<sup>[4]</sup>.

### 3. SO CFAR

다중 표적 환경에서 탐지율이 떨어지는 CA의 단점을 보완하기 위해 SO가 제안되었다. SO는 테스트 셀의 왼쪽과 오른쪽 셀 집합의 평균을 비교하여 작은 쪽을 문턱값으로 선택하는 알고리즘이다. SO는 그림 3과 같은 프로세서 구조를 가지며 수식은 식(7)과 같다.

$$Z = \min\left(\sum_{i=n+1}^{2n} X_i, \sum_{i=1}^n X_i\right) \quad (7)$$

그리고 SO의 탐지율은 다음과 같이 표현된다<sup>[3]</sup>.

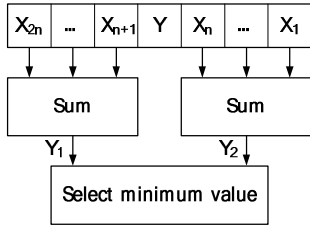


그림 3. SO CFAR 프로세서  
Fig. 3. SO CFAR processor.

$$\begin{aligned}
 P_d = & M_{Y_1} \left( \frac{T}{1+S} \right) + M_{Y_2} \left( \frac{T}{1+S} \right) \\
 & - 2 \left( 1 + \frac{T}{1+S} \right)^{-n} \\
 & + 2 \sum_{i=0}^{n-1} \binom{n+i-1}{i} \left( 2 + \frac{T}{1+S} \right)^{-(n+i)}
 \end{aligned} \tag{8}$$

SO는 셀 집합 중 작은 쪽을 선택하기 때문에 다중 표적 상황에서 문턱값을 일정하게 유지시킬 수 있다. 그러나 간섭표적이 왼쪽과 오른쪽 셀들 중 어느 한곳에만 있어야 문턱값을 일정하게 유지시킬 수 있다. 두 곳에 모두 간섭표적이 있게 되면 문턱값이 높아져 탐지율이 떨어진다는 단점을 갖고 있다.

4. OS CFAR

SO의 단점을 보완하기 위해 OS가 제안되었다<sup>[5]</sup>. OS는 테스트 셀 주변의 셀들을 순차적으로 정렬한 후 특정 순서의 셀을 선택하는 알고리즘이다. OS는 그림 4와 같은 프로세서 구조를 가지며 식(9)와 같이 표현된다.

$$Z = X_{(k)} \tag{9}$$

여기서  $X_{(k)}$ 는  $k$ 번째 크기를 선택하는 순서통계량이다. OS의 탐지율은 다음과 같이 표현된다.

$$P_d = \prod_{i=0}^{k-1} \frac{N-i}{N-i + \frac{T}{1+S}} \tag{10}$$

OS는  $k$ 값에 따라 탐지율이 변하게 된다. 일반적으로

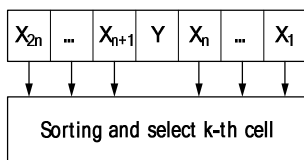


그림 4. OS CFAR 프로세서  
Fig. 4. OS CFAR processor.

셀의 개수가 24일 때,  $k$ 의 값이 21인 경우가 가장 성능이 좋다고 알려져 있다<sup>[5]</sup>.

OS는 CA와 SO의 단점을 보완하였지만 일정 개수 이상의 표적이 있는 환경에 대해서는 취약하다. OS는 하나의 값만을 취하기 때문에 표적이 많을 경우 문턱값이 급격히 올라가는 경우가 발생하기 때문이다. 이에 다음 절에서 OS의 단점을 해결한 OSR 알고리즘을 제안한다.

III. 제안하는 OSR CFAR

앞 절에서 말했듯이 OS는 특정 개수 이상의 표적에 대해서 취약하다. 이를 해결하기 위하여 기존 OS방식에서 하나의 값을 더 취하고 두 개의 값의 비로 문턱값을 설정한다. 이를 OSR이라고 명명하기로 한다. OSR은 그림 5와 같은 프로세서 구조를 가지며 수식은 식(11)과 같다.

$$Z = \frac{X_{(k)}}{X_{(k+1)}} \tag{11}$$

OSR의 탐지율은 다음과 같이 구할 수 있다<sup>[6]</sup>. 우선  $Z$ 의 확률분포함수를 유도한다. 식(11)에서  $X_{(k+1)}$ 을  $W$ 라는 하나의 확률 변수로 본다면

$$X_{(k)} = WZ \tag{12}$$

$$X_{(k+1)} = W \tag{13}$$

와 같이 나타낼 수 있고,  $Z$ 와  $W$ 의 결합확률분포함수는 다음과 같이 나타낸다.

$$f_{Z,W}(z,w) = f_{X_{(k)}, X_{(k+1)}}(wz, w) |J| \tag{14}$$

식(14)를  $w$ 에 대하여 적분을 하게 되면 최종적으로  $Z$ 의 확률분포함수를 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 확률

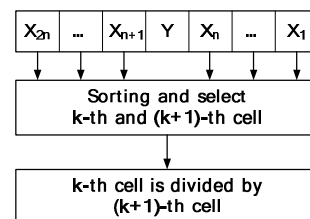


그림 5. OSR CFAR 프로세서  
Fig. 5. OSR CFAR processor.

분포함수를  $f_z(z)$ 라고 한다면 식(4)에 따라 탐지율은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_d = P\left[Y \geq \frac{TZ}{1+S}\right] = \int_0^\infty \left(1 - F_{Y_0}\left(\frac{Tz}{1+S}\right)\right) f_z(z) dz \quad (15)$$

또한 식(15)의 S에 0을 대입하면 오경보율을 구할 수 있다. 여기서 오경보율  $P_{fa}$ 를 일정한 값으로 설정하여 원하는 T를 얻을 수 있다. 표 1은 오경보율을  $10^{-6}$ 으로 설정하였을 때 셀 개수와 k값에 따른 가중치 T값을 나타낸다. OSR에서는  $k+1$ 번째 값도 선택하므로  $k=N$ 일 때는 값이 존재하지 않는다. k값이 언제일 때 탐지율이 가장 좋은지를 알 수 있는 방법이 ADT(Average Detection Threshold)를 구하는 것이다. ADT는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$ADT = E[TZ] \quad (16)$$

ADT가 작은 값이라는 것은 문턱값이 평균적으로 낮다는 의미이므로 ADT가 작으면 작을수록 탐지율이

표 1.  $P_{fa} = 10^{-6}$ 일 때 OSR알고리즘의 가중치 T  
Table 1. Scale factor T of OSR algorithm at  $P_{fa} = 10^{-6}$ .

k	N=8	N=16	N=24
1	2142000	2065000	2043000
2	3755	3583	3537
3	539.4	505.8	498
4	222.25	202.4	198.7
5	138.66	120	117.325
6	109.55	85.83	83.47
7	112.95	68.11	65.79
8		57.64	55.18
9		50.95	48.21
10		46.54	43.335
11		43.69	39.775
12		42.13	37.0865
13		42.03	35.015
14		44.485	33.405
15		56.08	32.155
16			31.206
17			30.535
18			30.135
19			30.058
20			30.42
21			31.54
22			34.435
23			44.465

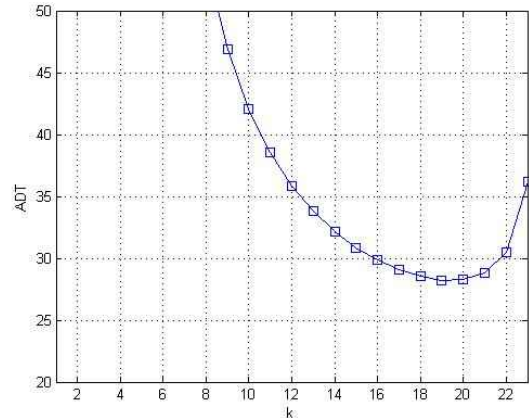


그림 6.  $P_{fa} = 10^{-6}$ ,  $N=24$ 일 때 k에 따른 ADT  
Fig. 6. ADT value at  $P_{fa} = 10^{-6}$ ,  $N=24$ .

좋아진다. 그림 6은  $N=24$ 일 때, OSR의 k에 따른 ADT를 그래프로 표현한 것이다. 그림 6에 따르면 OSR에서 가장 좋은 탐지율을 보일 때는 k가 18~20사이 일 때이다.

#### IV. 알고리즘 성능평가

기존의 CFAR알고리즘에 비해 OSR알고리즘이 다중 표적 환경에서 얼마나 더 좋은 성능을 보이는지를 확인하기 위하여 표 2와 같이 모의실험을 하였다. 비교할 알고리즘은 CA, SO, OS, OSR알고리즘이다. 앞 절에서 OSR의 탐지율이 가장 좋을 때는 k가 18~20사이 일 때지만 OS와의 비교를 위하여 k를 21로 설정하였다. 다중 표적 환경에서의 실험은 간섭 표적의 개수를 1~4개로 늘려가며 실험하였다.

균질 환경에서의 탐지율을 그림 7에 나타내었다. 균질 환경에서는 CA가 가장 성능이 좋으며 OSR알고리즘의 경우 성능저하가 발생한다. 이것은 성능이 최대가 되는 k의 값을 선택하지 않은 이유도 있지만 균질 환경의 경우에는 주변 셀들의 크기가 고르게 분포가 되

표 2. 성능 비교를 위한 실험환경  
Table 2. Simulation environment for performance comparison.

셀의 개수	24
오경보율	$P_{fa}$
셀 신호분포	지수분포
SIR(Signal-to-Interferer Ratio)	0dB
선택 순서(OS와 OSR)	21

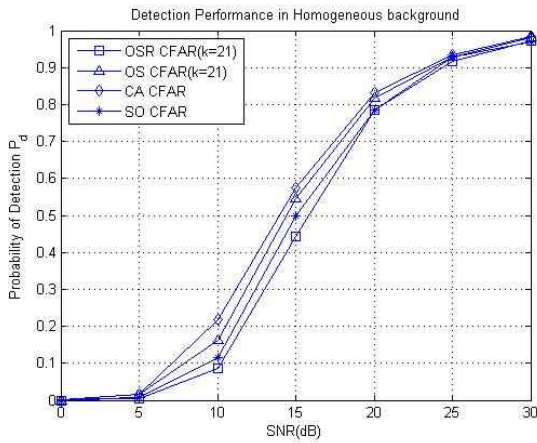
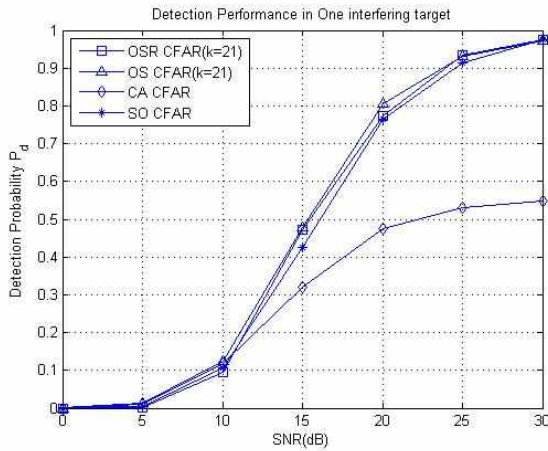


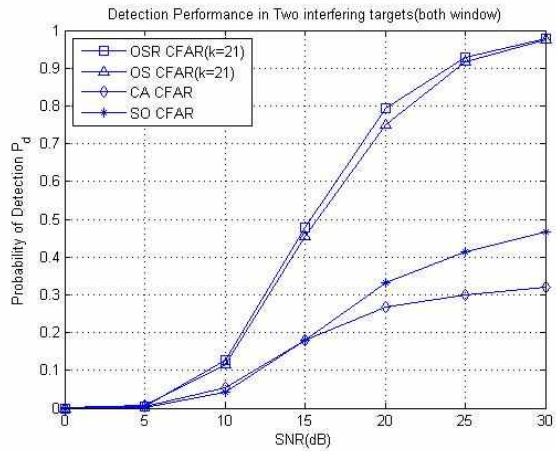
그림 7. 균질 환경에서 CFAR 프로세서들의 성능 비교  
 Fig. 7. Performance comparison of CFAR processors in homogeneous environment.

므로 CA,SO,OS보다 나눗셈 연산이 큰 효과를 보지 못하기 때문에 다른 알고리즘에 비해 낮은 탐지율을 보인다.

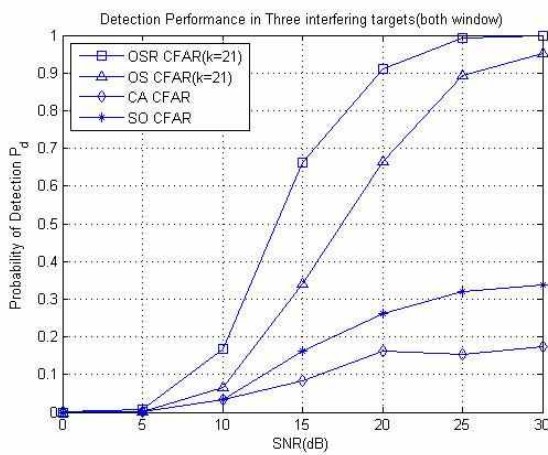
또한 다중 표적 환경에서의 탐지율을 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)~8(d)의 그래프는 각각 간섭 표적이 1~4개로 설정되었을 때의 탐지율을 나타내는 그래프이다. 위 실험 결과로 보아 OSR알고리즘이 다중 표적 환경에서 매우 뛰어난 탐지성능을 보인다는 것을 알 수 있다. 이는 나눗셈 연산으로 인해 값이 정규화되는 것처럼 보여서 문턱값을 일정하게 유지시킬 수 있기 때문이다.



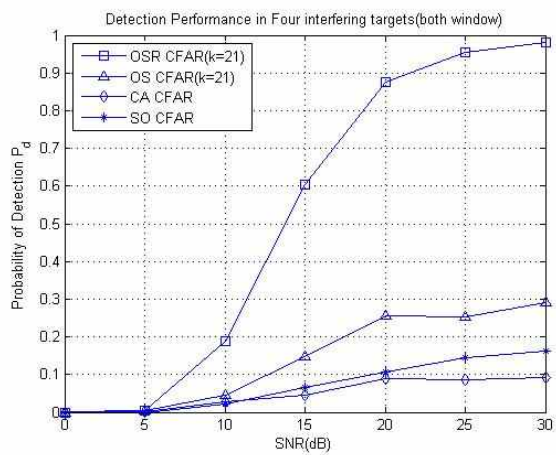
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 다중 표적 환경에서 CFAR 프로세서들의 성능 비교  
 (a) 간섭 표적 1개 (b) 간섭 표적 2개 (c) 간섭 표적 3개 (d) 간섭 표적 4개  
 Fig. 8. Performance comparison of CFAR processors in multi-target environment.  
 (a) 1 interfering target (b) 2 interfering targets (c) 3 interfering targets (d) 4 interfering targets

## V. 결 론

수중 탐지에서는 여러 가지 장애 요소들이 많이 존재한다. 이러한 장애 요소들은 우리가 탐지하고자 하는 물체에 대해 간섭 요인으로 작용한다. 따라서 본 논문에서는 다중 표적 환경에서 뛰어난 성능을 보이는 OSR 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 기존 OS방식에서 하나의 값을 더 취하고 두 개의 값의 비로 문턱값을 결정하는 알고리즘이다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 균질 환경에서 약간의 성능저하가 있지만 다중 표적 환경에서 매우 뛰어난 성능을 보이는 알고리즘이다. 더 나아가 균질 환경에서 뛰어난 CA와 본 논문에서 제안한 OSR을 섞어서 사용한다면 환경에 구애받지 않고 탐지를 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. Kalyan and A. Balasuriya, "Sonar based automatic target detection scheme for underwater environments using CFAR techniques: a comparative study" *2004 International Symposium on Underwater Technology*, pp. 33-37, Taipei, 2004.
- [2] R. O. Nielson, "Sonar Signal Processing", Artech House, pp. 100-103, 1991.
- [3] P. P. Gandhi and S. A. Kassam, "Analysis of CFAR Processors in Nonhomogeneous Background", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol.24, pp.427-445, July 1988.
- [4] M. Weiss, "Analysis of Some Modified Cell-Averaging CFAR Processors in Multiple-Target Situations", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-18, No. 1, pp. 102-114, Jan. 1982.
- [5] H. Rohling, "Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multiple Target Situations", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 19, pp. 608-621, July 1983.
- [6] G. Casella and R. L. Berger, "Statistical Inference", Thomson Learning, pp. 226-231, 2002.

## 저 자 소 개



홍 성 원(학생회원)  
2010년 경북대학교 전자전기  
컴퓨터학부 학사 졸업.  
2010년~현재 경북대학교 모바일  
통신공학과 석사과정.  
<주관심분야 : 통신, 신호처리, 수  
중탐지>



한 동 식(평생회원)-교신저자  
1987년 경북대학교  
전자공학과 공학사  
1989년 KAIST 전기 및  
전자공학과 공학석사  
1993년 KAIST 전기 및  
전자공학과 공학박사  
1987년 10월~1996년 8월 삼성전자 기술총괄  
신호처리 연구소 선임연구원  
1996년 8월~현재 경북대학교 IT대학 교수  
2006년 7월~2008년 7월 정보통신연구진흥원  
디지털 TV/방송사업단 단장  
<주관심분야 : 차세대 방송 시스템 및 이동통신,  
신호처리>