

IFSAR, 방위방향 Aliasing 제거 및 인터페로그램 생성 알고리즘

정희원 홍인표*, 박한규**

IFSAR, Azimuth Aliasing Resolution, and Interferogram Generation Algorithms

In-Pyo Hong*, Han-Kyu Park** *Regular Members*

요약

SAR 데이터를 이용하는 IFSAR 기법은 응용분야가 다양하며, 레이더의 위상정보를 이용하여 고 정밀 고도정보를 추출할 수 있는 유일한 첨단기술이다. 본 논문에서는 IFSAR 기법을 구현하는 전체 알고리즘을 고찰하였다. 그리고 SAR 데이터의 방위방향 aliasing 제거 및 인터페로그램을 생성하는 알고리즘을 제안하였으며, 실험을 통하여 이를 검증하였다. 실험결과 방위방향 aliasing이 제거되고 적합한 인터페로그램이 생성되었다. 따라서 본 논문에서는 정밀한 고도정보를 추출하는데 필수적인 인터페로그램 생성방안 및 IFSAR 알고리즘 주요모듈에 대한 개발방안을 제시하였다.

ABSTRACT

The IFSAR technique using SAR data has various applications and is the only latest technology to produce high precision height information from the radar phase data. This paper describes the whole implementation algorithm of IFSAR technique. Also it suggests the algorithms for azimuth aliasing resolution and interferogram generation of SAR data. Those are proved through the experiment: azimuth aliasing is resolved and interferogram is generated properly. Therefore, it proposes the method for interferogram generation, an essential process in extracting high precision height data, and the development approach to principal modules of IFSAR algorithm.

I. 서론

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 다양한 플랫폼(platform)에 탑재되어 운용되고 있으며, 응용분야 또한 다양하다. 그 응용분야 가운데 하나가 SAR 데이터를 이용하여 고도정보를 획득하는 것이며, 그 방법으로 Stereo SAR와 IFSAR(Interferometry SAR)기법이 있다. IFSAR 기법은 Stereo SAR 기법에 비해 정밀도가 매우 우수하나 기법을 적용할 수 있는 SAR 데이터를 획득하기가 쉽지 않으며, 응용분야에 따라 데이터 획득기간이 제한되고 산림

지역과 같이 전자파 반사가 일정치 않은 영역에서는 제한적인 성능을 가지고 있다^[1].

IFSAR 기법은 공간상의 서로 다른 곳에 위치한 2개의 안테나 혹은 SAR에 수신된 레이더 신호의 위상을 분석하는 것에 기반을 두고있다^[2]. 즉, IFSAR 기법은 서로 다른 위치 혹은 서로 다른 시간에 안테나에 수신된 복소영상을 결합하는 것이다^[3]. 그리고 고도정보를 추출하기 위하여 2개의 복소영상을 이용하며, 경로 거리 차가 인터페로그램(interferogram)의 형태로 나타나고 이것을 활용하여 영상화되는 지역에 대한 고도정보를 획득할 수 있다^[4].

* 국방과학연구소(hip7777@hanmail.net), ** 연세대학교 전기전자공학과
논문번호 : 010400-1220, 접수일자 : 2001년 12월 20일

본 논문에서는 IFSAR 기법을 이용하여 SAR 데이터에서 정밀한 고도정보를 추출하는 전체 알고리즘을 제시하고 전체 알고리즘 중 방위방향 aliasing 제거 및 인터페로그램 생성을 구현하기 위한 세부 알고리즘을 제안한다.

II. Aliasing 제거 및 인터페로그램 생성

SAR 데이터의 방위방향 aliasing은 도플러 중심 주파수(Doppler center frequency)가 영(zero)이 되지 않으므로서 발생되며, 이러한 현상은 SAR 탑재체가 보어사이트(boresight)와 정확히 일치하지 않는 것과 지구의 자전에 의한 요인이 결합되어 야기된다^{5][6]}. 방위방향 aliasing을 제거하기 위해서는 위상변이(phase gradient)를 조정하여 랩어라운드(wrap around)를 제거한다. 그 결과 영상데이터의 푸리에(Fourier) 스펙트럼이 주파수 영역에서 중심에 위치하게 된다. 랩어라운드를 제거하는 방법은 주파수 영역에서 스펙트럼(f_0)을 이동시키는 것이며, 이것은 시간영역에서 $e^{j2\pi f_0 t}$ 를 곱하는 것과 동일한 효과를 나타낸다. IFSAR에 사용되는 SAR 데이터는 복소화소(complex pixel : $p_{n,m} + iq_{n,m}$)의 배열(array)로서 정의되며, 여기서 n 은 방위방향 좌표이고 m 은 거리방향 좌표이다. 따라서 위상변이 값을 적용해서 생성되는 복소화소 ($p'_{n,m} + iq'_{n,m}$)를 구하면 아래 식(1)과 같다.

$$p'_{n,m} + iq'_{n,m} = (p_{n,m} + iq_{n,m})e^{j2\pi f_0 t} \quad (1)$$

$$= (p_{n,m} + iq_{n,m})(\cos 2\pi f_0 t + i\sin 2\pi f_0 t) \quad (2)$$

$$p'_{n,m} = p_{n,m}\cos 2\pi f_0 t - q_{n,m}\sin 2\pi f_0 t \quad (3)$$

$$q'_{n,m} = q_{n,m}\cos 2\pi f_0 t - p_{n,m}\sin 2\pi f_0 t \quad (4)$$

적용되는 위상변이(x)의 양은 백분율(%)로 소프트웨어 내에서 아래 식(4)와 같이 정의된다.

$$f_0 t_n = \frac{nx}{100}, \quad n=0,1,2,3, \dots \quad (4)$$

여기서 t_n 은 각각의 방위방향 선(line)과 연계된 불연속적인 시간 샘플이다^{7]}.

방위방향 aliasing을 제거하고 두 영상에 대한 warping 작업과 거리방향 필터링을 수행한 후 인터

페로그램을 생성시킨다. 인터페로그램은 두개의 초기 복소영상에서 발생하는 변화에 대한 정보를 가지고 있는 복소 데이터 세트(set)이다. 이러한 변화는 인터페로그램의 위상에 의해 표현되며, 이것으로부터 고도정보를 추출할 수 있다. 복소영상 쌍(pair)을 수식으로 나타내면 식(5)와 같다.

$$I_1 = A_1 e^{j\theta_1}, \quad I_2 = A_2 e^{j\theta_2} \quad (5)$$

여기서 A_1, A_2 는 각 복소영상의 크기이고 θ_1, θ_2 는 각 복소영상의 위상을 나타낸다.

두 복소영상을 이용하여 인터페로그램을 구하면 식(6)과 같다. 즉, 한 영상의 복소수와 다른 영상의 공액 복소수를 곱하므로서 두 영상에 대한 인터페로그램을 구할 수 있다.

$$\text{인터페로그램} = I_1 I_2^* = A_1 A_2 e^{j(\theta_1 - \theta_2)} \quad (6)$$

식(6)에서 알 수 있는 바와 같이 인터페로그램의 크기는 각 복소영상 크기의 곱이고 위상은 각 복소영상의 위상차이다^{8]}.

III. IFSAR 알고리즘

3.1. 전체 알고리즘

IFSAR 기법을 이용하여 지형의 고도정보인 DEM(Digital Elevation Model)을 추출하는 알고리즘은 그림 1과 같다. 그림 1에서 점선으로 표시된 모듈은 IFSAR 기법을 구현하는데 필요한 과정이지만 실제 구현시 포함되지 않고 다른 도구(tool)나 장비를 활용하여 해결되는 부분이다. IFSAR 알고리즘의 각 모듈에 대한 주요 기능을 기술하면 아래와 같다.

- SAR영상 쌍 선택 : 고도정보를 구하기 위한 지역의 영상 쌍을 구하는 모듈이다. 인터페로그램을 생성하는데 필요한 영상 쌍은 두 영상간의 획득 시간차가 응용분야에 적합하여야 하며, 트랙(track)과 프레임(frame) 번호가 동일해야 한다.
- SLC(Single Look Complex) 데이터 생성 : 인터페로그램을 생성하기 위해서는 여러 종류의 SAR 데이터 중에서 SLC 데이터가 필요하며, SAR 프로세서를 이용하여 구한다.
- 두 영상간 tiepoint 도출 : 두 영상의 트랙과 프레임 번호가 동일하지만 이들이 정확히 동일할

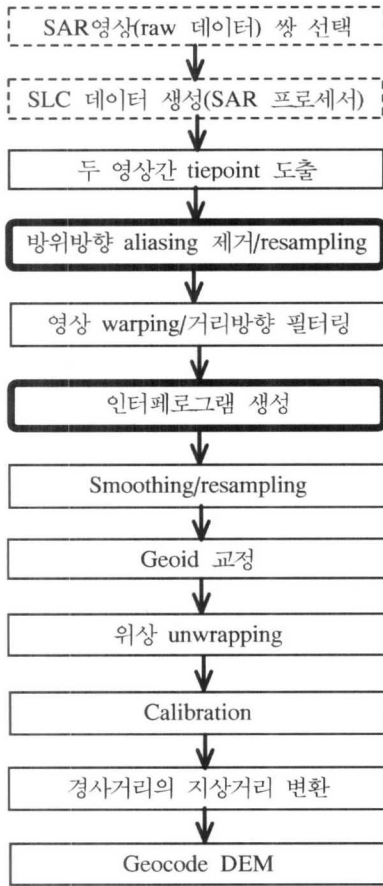


그림 1. IFSAR 알고리즘

지역을 cover하고 있지 않으므로 이를 보정하기 위하여 두 영상간 일치된 지점을 찾아 registration을 수행한다.

- 영상 warping/거리방향 필터링 : 두 영상 데이터의 위치를 일치시키기 위하여 수행하며, SAR 탑재체의 영상획득 지점의 차이에 의해 발생하는 거리방향 오차를 감소시킨다.
- Smoothing/resampling : 영상 데이터의 양(volume)과 잡음(noise)을 줄이기 위하여 수행되며, 공간과 고도 해상도 및 영상 데이터의 코히어런스(coherence)에 따라 방법과 양이 다르다.
- Geoid 교정 : 위상의 기준 축이 탑재체의 영상 기하학 상에 있으므로 지상의 수평면에 대한 위상 기울기가 영이 아닌 값을 갖는다. 이러한 경사거리의 위상 기울기를 기준 수평축으로 수정한다.
- 위상 unwrapping : 각 점의 고도정보를 추출하

기 위해서는 각 위상 측정치에 대한 정확한 위상 주기 수를 파악해야 하며, 이러한 2π 의 모호성을 해결하기 위하여 수행한다.

- Calibration : 위상 값에 따른 고도 데이터로의 변환 및 에러(error)를 보정한다.
- 경사거리의 지상거리 변환 : SAR는 대부분 측면관측을 수행하므로 이로 인하여 발생하는 경사거리를 실제 지상거리로 변환시킨다.
- Geocode DEM : 고도 데이터를 특정한 지도와 화소 크기에 투사되도록 교정한다.

그림 1에 제시된 전체 알고리즘 모듈 중 본 논문에서는 방위방향 aliasing 제거/resampling과 인터페로그램 생성 모듈에 대한 구현 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 이를 고찰한다.

3.2. Aliasing 제거 및 인터페로그램 생성 알고리즘

그림 1과 2장내용을 기반으로 하여 방위방향 aliasing 제거 및 인터페로그램을 생성하기 위한 구현 알고리즘을 도출하면 그림 2와 같다.

IV. 실험 및 결과분석

3.2절에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 실험을 수행하였으며, 본 논문에서 사용된 실험용 SAR 데이터는 ERS(European Remote Sensor)-1과 ERS-2 데이터이다. 이 영상데이터 쌍은 ERS의 탠덤(tandem) 데이터이며, 표 1에 주요내용이 설명되어 있다.

ESA(European Space Agency)에서 제공하는 ERS SAR 데이터는 C-밴드, VV 편파이며, 데이터의 크기는 $100\text{km} \times 100\text{km}$ 이다^[2]. 복소샘플은 각각 2바이트인 I(In-phase)와 Q(Quadrature)의 쌍으로 구성되어 있으며, 한 레코드의 형식은 그림 3과 같다.

SAR 영상 데이터는 제안된 알고리즘을 검증하기 위한 실험 데이터로 사용되므로 전체 영상($100\text{km} \times 100\text{km}$)이 모두 필요치 않다. 그러므로 각 레코드의 헤더정보(12바이트)를 제거하고 필요한 크기의 부영상(sub-image)을 추출하여 사용한다.

추출된 부영상의 방위방향 aliasing 정도를 주파수 영역에서 도시하기 위하여 FFT 알고리즘이 각 부영상의 복소 배열 데이터에 적용되었으며, 전체 스펙트럼을 도시한 결과가 첫 번째 부영상은 그림 4에 두 번째 부영상은 그림 5에 나타나 있다.

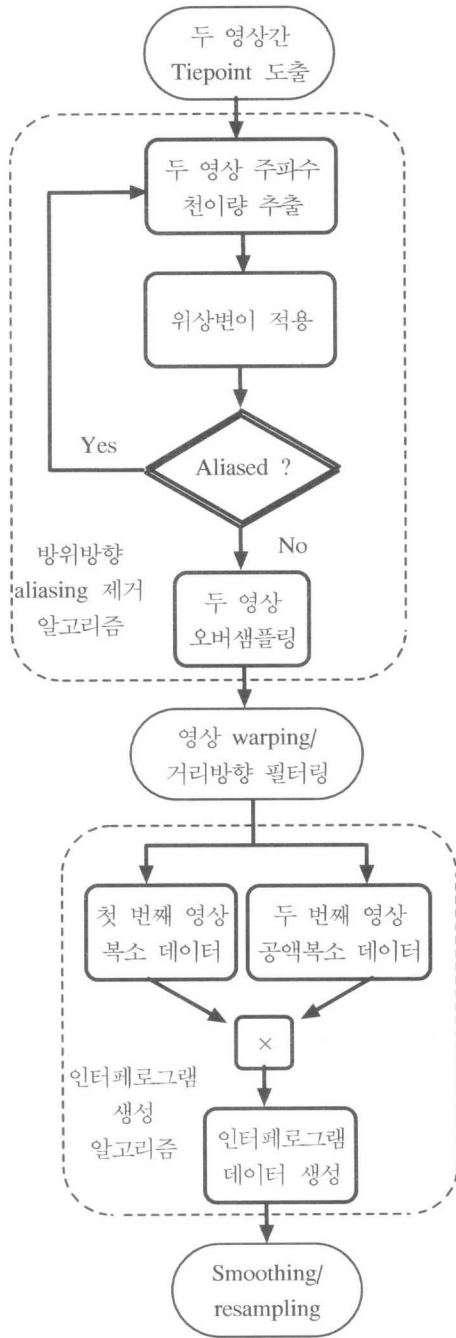


그림 2. 방위방향 aliasing 제거 및 인터페로그램 생성 알고리즘

1	2	3	4	5	6	..	11	12	13	14	15	16	17	18	..		
헤더 정보										p ₁₁	q ₁₁	p ₁₂	q _{1m}				

그림 3. ERS SAR 데이터의 레코드 형식

표 1. 실험용 SAR 영상데이터 쌍

순번	주요 내용	첫 번째 영상(ERS-1)	두 번째 영상(ERS-2)
1	케도 번호	23180	03507
2	프레임 번호	2853	2853
3	데이터 획득일	1995.12.21	1995.12.22
4	데이터 형태	SLC	SLC
5	화소 크기	7.9m(GR)x 4.0m(AZ)	7.9m(GR)x 4.0m(AZ)
6	레코드 수	26579	26471
7	최대 레코드 길이	19612(byte)	19612(byte)

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 첫 번째 부 영상에서 방위방향 aliasing이 발생되었으며, 이때의 위상변이 값은 약 20% 임을 알 수 있다. 방위방향 aliasing을 제거하는 방법은 주파수 영역에서 스펙트럼을 천이시키는 것이며, 각 영상의 방위방향에 적용할 스펙트럼 천이량을 계산하여 영상의 한 라인에 있는 모든 복소샘플에 적용한다. 실험결과 두 영상 모두가 aliasing 되지 않는 위상변이 값으로 13.6%가 구해졌다.

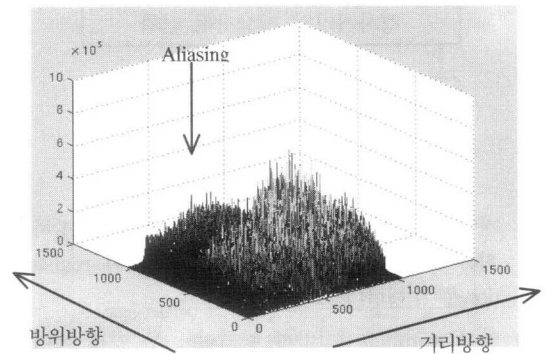


그림 4. 첫 번째 부 영상의 스펙트럼

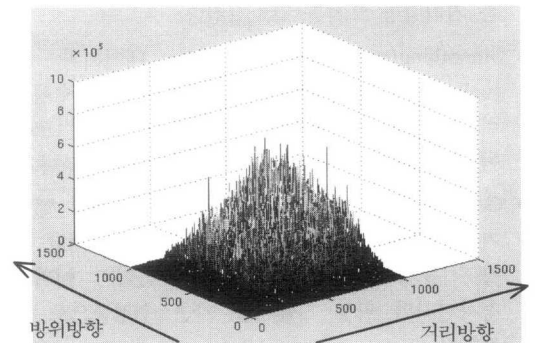


그림 5. 두 번째 부 영상의 스펙트럼

오버 샘플링으로 제로패딩 기법이 적용되었다. 오버 샘플링 후 주파수 영역 전체 스펙트럼을 도식하지 않고 거리가 일정한 한 라인(line)에 대한 것만 도식한 결과, 첫 번째 부 영상의 스펙트럼이 그림 6, 두 번째 부 영상의 스펙트럼이 그림 7에 나타나 있다. 두 영상 모두가 aliasing이 제거되어 랩어라운드 발생되지 않음을 알 수 있다^[7].

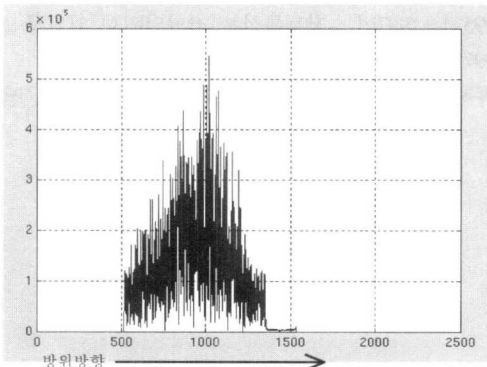


그림 6. 오버 샘플링 후 첫 번째 부 영상의 스펙트럼

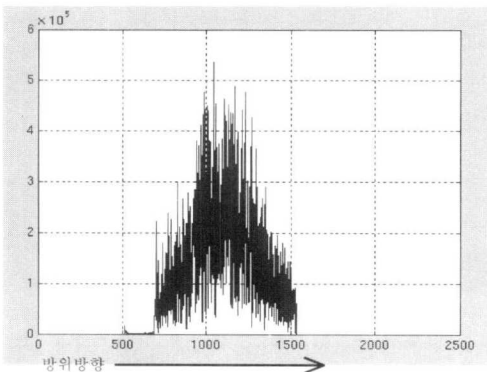


그림 7. 오버 샘플링 후 두 번째 부 영상의 스펙트럼

두 영상간의 warping과 거리방향 필터링은 MMS (Matra Maconi Space)사의 IFSAR S/W를 이용하여 수행하였다. 거리방향 필터링 후 3장에서 제시한 알고리즘을 적용하여 인터페로그램을 생성하면 아래 그림 8과 같다.

인터페로그램에 나타난 각각의 프린지(fringe)는 특정한 고도 범위에 해당한다. 즉, 지상 고도와 센서 위치의 차이(difference)를 나타낸다^[2]. 레이더 파는 송수신의 왕복거리를 고려해야 하므로 한 세트(set)의 프린지는 반 파장이 천이 되었음을 나타낸다. ERS의 경우 한 세트의 프린지가 지상에서 약 3cm의 변화에 해당한다^[4].

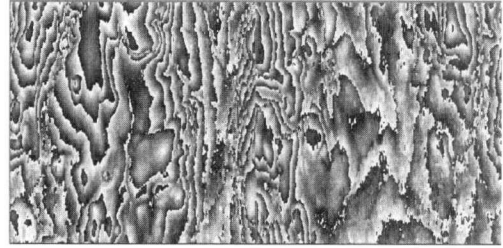


그림 8. 인터페로그램

IV. 결 론

IFSAR 기법은 고 정밀 고도정보뿐만 아니라 표적식별, 변화탐지 등 다양한 분야에 응용이 가능한 최첨단 기술로 미국, 캐나다, 일본, 유럽 등 선진국에서 활발히 연구되고 있다.

본 논문에서는 IFSAR 기법을 이용하여 고도정보를 산출하는 전체 알고리즘을 제시하고 이를 고찰하였다. 또한 전체 알고리즘 중 주요모듈인 방위방향 aliasing 제거/resampling 모듈과 인터페로그램 생성 모듈에 대한 구현 알고리즘을 제안하였다. SAR SLC 데이터는 복소영역에서 적당히 resampling 되어야 하며, 본 논문에서는 주파수 영역에서의 제로패딩(zero padding) 방법으로 오버샘플링을 수행하였다. 또한 데이터의 아티팩트(artifact)를 방지하기 위하여 오버샘플링 전에 방위방향의 랩어라운드를 제거하였다. 실험결과 두 영상에 13.6(%)의 위상변이를 적용하므로 aliasing을 제거하였으며, 적합한 인터페로그램이 생성되었음을 알 수 있었다. 따라서 본 논문을 통해 SAR 데이터를 이용하여 고도정보를 추출하는데 필수정보인 인터페로그램 생성방안과 IFSAR 알고리즘 주요모듈에 대한 개발 방안을 제시하였다.

인터페로그램은 SAR 데이터에서 고도정보를 추출하는데 필요한 위상값을 가지고 있다. 따라서 원하는 고도정보를 추출하기 위해서는 그림 1에 제시된 전체 IFSAR 알고리즘의 후단(smoothing에서 geocode DEM까지) 모듈들에 대한 구현이 필요하다. 따라서 차후 이들 모듈에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

References

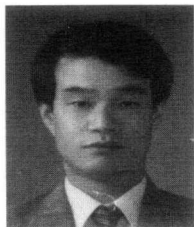
- [1] 홍인표, 박한규, "IFSAR 기법 활용을 위해 SAR 설계시 요구조건, 고려사항 및 최대 베이스라인

연구”, *한국통신학회*, 제 26권, 제 11A호, pp. 1858-1863, 2001년 11월

- [2] Thomas M. Lillesand and Ralph W. Kiefer, *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, Inc., New York, chapter 6, 8, p677-678, p688-689, fourth edition, 2000.
- [3] Floyd M. Henderson and Anthony J. Lewis, *Principles & Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing*, John Wiley & Sons, Inc., New York, chapter 6, p359, third edition, volume 2, 1998.
- [4] Didier Massonnet, “Satellite radar interferometry”, *Scientific american*, p 32-39, February 1997.
- [5] Fabio Gatelli, Andrea Monte etc., “The wavenumber shift in SAR Interferometry”, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 32, No. 4, July 1994.
- [6] Fabio Rocca and Claudio Prati, “Innovative applications of repeated satellite SAR surveys”, *Proceedings of satellite symposia 1 & 2 from the international space year conference*, 30 March - 4 April 1992.
- [7] 홍인표, 조동래, 박한규, “랩어라운드 교정기법을 이용한 SAR 데이터의 주파수 aliasing 제거 구현 방안 연구”, *한국전자과학회*, 제 12권, 제 2호, pp. 234-244, 2001년 2월.
- [8] Fuk K. LI and R. M. Goldstein, “Studies of multibaseline spaceborne interferometric synthetic aperture radars”, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 28. No. 1, January 1990.

홍인표(In-Pyo Hong)

정회원



1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
 1997년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 공학석사
 1984년 3월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<주관심 분야> Data/Image Fusion, SAR

박한규(Han-Kyu Park)

정회원

1964년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업



1968년 2월 : 同 공학석사

1975년 : 불란서 파리 6대 대학 공학박사

1976년 ~ 현재 : 연세대학교 전 기전자공학과 교수

1979년 ~ 1980년 : 스탠포드대학교 교환교수

1989년~1994년 : 대통령 21세기 위원회 위원

1995년~1997년 : 정보통신부 전파위원회 위원장

1997년~현재 : 한국과학재단 이사

<주관심 분야> 마이크로파 소자, 스마트 안테나, 전파 전파, SAR