

랩어라운드 교정기법을 이용한 SAR 데이터의 주파수 Aliasing 제거 구현방안 연구

Development of Frequency Aliasing Resolution of SAR Data by Using Wrap Around Removal Technique

홍인표* · 조동래* · 박한규**

In-Pyo Hong* · Dong-Lae Cho* · Han-Kyu Park**

요 약

다양한 지형정보를 제공하는 SAR 인터페로메트리 기법은 레이더의 위상정보를 이용하여 정밀 고도정보를 추출하는 첨단기술이다. SAR 데이터의 주파수 aliasing 현상은 도플러 중심 주파수가 중심에 위치하지 않으므로 발생하는 것으로 주요 잡음요인으로 작용한다.

따라서 본 논문에서는 SAR 인터페로메트리 전체 프로세싱 과정의 주요 모듈중 하나인 주파수 aliasing 제거 모듈의 구현 방안을 연구하였다.

본 논문에서 사용된 aliasing 제거 기법은 랩어라운드 교정기법으로서 실험 결과 매우 효과적으로 작용하였음을 알 수 있었으며, 제안된 구현방안은 차후 실제 적용이 가능함을 제시하였다.

Abstract

SAR interferometry technique providing various geographic information is the latest technology generating the precision height information by using phase data of radar. The frequency aliasing phenomenon of SAR data results from unfocusing the Doppler center frequency to the center and is one of the main noise sources.

Therefore, this paper describes the development of frequency aliasing resolution module which is one of the main processing modules among the whole interferometry processing.

The wrap around removal technique used by this paper for aliasing resolution is proved very effective by experiment and it's implementation method can be used for real applications.

I. 서 론

항공기 및 위성탑재 SAR(Synthetic Aperture Radar)를 이용하여 고 해상도로 넓은 지역을 맵핑(mapping)하는 기술이 지난 수 십년 동안 활용되어 왔다^[1].

SAR 인터페로메트리(interferometry)는 2개의 SAR

탑재체 위치와 지상에 있는 동일한 점간의 거리 차를 계산하기 위하여 2개의 복소 영상을 이용하는 기법이다. 일단 이러한 경로 거리 차가 인터페로그램(interferogram)의 형태로 구해지면, 영상화되는 지역에 대한 지형정보를 획득할 수 있다^[2].

인터페로그램은 두개의 초기 복소영상에서 발생하는 변화에 대한 정보를 가지고 있는 복소 데이터

* 국방과학연구소(Agency for Defence Development)

** 연세대학교(Yonsei University)

· 논문 번호 : 20001021-120

· 수정완료일자 : 2000년 12월 29일

세트(set)이다. 이것은 인터페로그램의 위상에 의하여 표현되며, 이것으로부터 고도정보를 추출할 수 있다. 또한 코히어런스(coherence) 정보는 인터페로그램의 크기를 이용하여 구할 수 있다. SAR 영상에서 주파수 aliasing은 도플러 중심 주파수(Doppler center frequency)가 영(zero)이 되지 않음으로써 발생되며, 이러한 현상은 SAR 탑재체가 보어사이트(boresight)와 정확히 일치하지 않는 것과 지구의 자전에 의한 요인이 결합되어 야기된다^{[3][4]}.

인터페로그램 데이터를 적당히 샘플링 하기 위하여 인터페로그램을 형성하는 2개의 복소영상이 오버샘플링(oversampling)된다. 오버샘플링을 하기 전에 두 영상데이터 간의 상대적인 aliasing을 제거하기 위하여 랩어라운드(wrap around)가 제거되어야 한다.

본 논문에서는 SAR 인터페로메트리의 전체 프로세싱 과정 중에서 중요 모듈의 하나인 주파수 aliasing 문제를 해소하기 위한 알고리즘을 구현한다. 주파수 aliasing 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 알고리즘이 사용되고 있으나 본 논문에서는 랩어라운드 교정(removal) 기법을 이용하였다.

II. 주파수 aliasing

SAR 인터페로메트리 데이터에서 주파수 aliasing을 제거하기 위한 프로세싱은 위상변이(phase gradient)를 조정하는 것이며, 이렇게 함으로써 영상데이터의 푸리에(Fourier) 스펙트럼이 주파수 영역에서 중심에 위치하게 된다. 즉, FFT(Fast Fourier Transform)의 결과가 디스플레이(display)되면 신호가 방위방향에서 중심에 있거나 적어도 신호가 샘플영역의 한 끝에서 다른 곳까지 랩핑(wrapping)이 되지 않을 때까지 위상을 조정하고 두 영상에 동일한 위상변이 값을 적용한다. 그와 같이 하지 않을 경우 추가 위상변이 값이 인터페로그램에 나타나게 된다. 랩어라운드를 제거하는 방법은 주파수 영역에서 스펙트럼을 이동시키는 것이다. 이것은 시간영역에서 $e^{j2\pi f_0 t}$ 를 곱하는 것과 동일한 효과를 나타낸다. 인터페로메트리에 사용되는 영상 데이터는 복소화소(complex pixel : $p_{n,m} + iq_{n,m}$)의 배열(array)로서 정의되며, 여기서 n 은 방위방향 좌표이고 m 은 거리

방향 좌표이다. 따라서 위상변이 값을 적용함으로써 생성되는 수정된 화소 샘플 ($p'_{n,m} + iq'_{n,m}$)은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} p'_{n,m} + iq'_{n,m} &= (p_{n,m} + iq_{n,m})e^{j2\pi f_0 t} \\ &= (p_{n,m} + iq_{n,m})(\cos 2\pi f_0 t + j\sin 2\pi f_0 t) \end{aligned} \quad (1)$$

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

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

적용되는 위상변이의 양은 퍼센트(percentage : %)로 소프트웨어 내에서 아래와 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.

SAR SLC(Single Look Complex) 데이터는 복소영역에서 적당히 샘플링 된다. 그러나 인터페로그램을 생성하기 위해서는 데이터를 인지할 수 있어야 하며, 출력 데이터의 대역폭(bandwidth)은 2배가 된다. 부적합한 샘플링에 의해서 데이터가 aliasing 되지 않도록 하기 위하여 거리와 방위방향으로 2배의 오버샘플링(over sampling)이 필요하며, 이렇게 하므로써 Nyquist의 샘플링 요구조건을 만족시키게 된다.

본 논문에서는 주파수 영역에서의 제로패딩(zero padding) 방법으로 오버샘플링을 수행하여 출력 데이터의 크기가 2배가 되고 역 푸리에 변환을 수행하므로써 데이터의 화소크기가 1/2로 줄어들게 된다. 또한 데이터의 아티팩트(artifact)를 방지하기 위하여 오버샘플링 전에 방위방향 스펙트럼이 중앙에 있어야 하며, 랩어라운드를 제거함으로써 이와 같은 문제를 해결하였다.

III. 주파수 aliasing 제거기법 구현

주파수 aliasing 제거 알고리즘이 그림 1에 설명되어 있으며, 데이터 추출, 스펙트럼 크기 도시, 위상변이 적용, 오버 샘플링 및 데이터 포매팅 모듈 등으로 구성되어 있다.

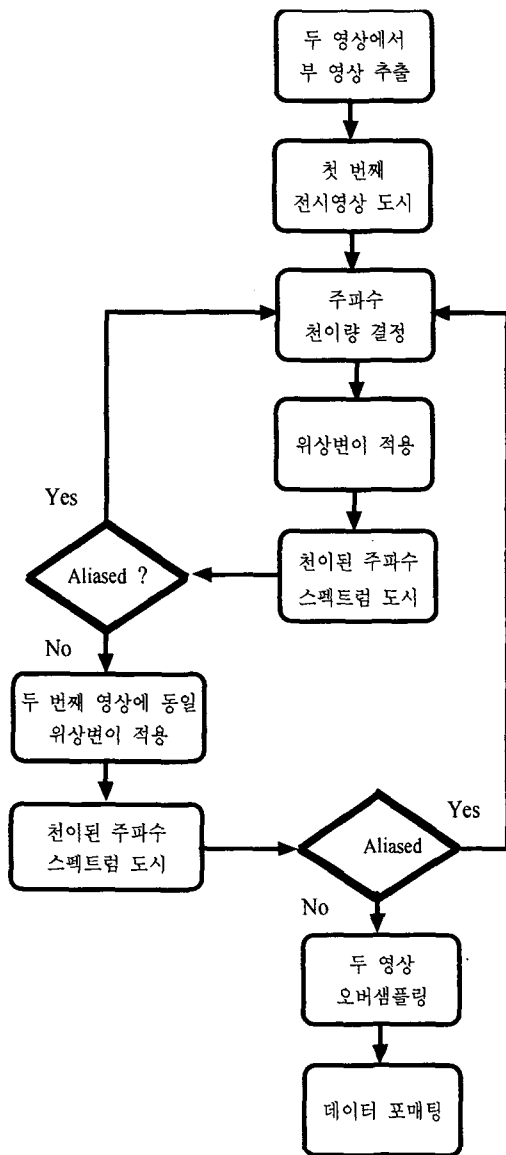


그림 1. 주파수 aliasing 제거 알고리즘
Fig. 1. Frequency aliasing removal algorithm.

3-1 데이터 추출

본 논문에 사용된 입력 SAR 데이터는 ERS-1과 ERS-2 데이터이다. 이 영상데이터 쌍(pair)은 ERS의 탠덤(tandem) 데이터이며, 이 데이터와 관련된 내용이 표 1에 설명되어 있다.

ESA(European Space Agency)에서 제공하는 ERS의 SLC 데이터는 100 km × 100 km의 영상이다. 복

소샘플은 각각이 2바이트인 I와 Q의 쌍으로 구성되어 있으며, 한 레코드의 형식은 그림 2에 제시되어 있다.

영상처리를 위하여 각 레코드로의 첫 번째 12바이트를 제거하는 작업이 필요하다. 영상 데이터는 소프트웨어 검증을 위한 시험 데이터로 사용되므로 전체 영상(100 km × 100 km)이 모두 필요치 않다. 따라서 데이터 추출 모듈 프로그램에서는 각 레코드의 처음 12바이트를 제거하는 기능뿐만 아니라 필요한 크기의 부 영상(sub-image)을 추출할 수 있는 기능을 가지고 있어야 한다. 데이터 추출 모듈의 주요 기능은 ESA에서 제공하는 SLC 영상 데이터에서 필요 없는 부분을 제거하고 전체 영상에서 부 영상을 추출하는 것이다.

그림 3에 데이터 추출 모듈의 입력 파라미터가 설명되어 있으며, 출력파라미터는 복소 부 영상의 in-phase 부분의 어레이(sub_image_I)와 복소 부 영상의 quadrature-phase 부분의 어레이(sub_image_Q)로 구성된다.

데이터 추출 알고리즘을 슈도코드(pseudo-code) 형식으로 기술하면 아래와 같다.

```

line_no = 0
start_pos = (tl_col*nb) + 12
end_pos = (br_col*nb) + 12
IF (end_pos > no_bytes) THEN
FOR n = 1 TO no_rec
  read nth record
  IF (tl_row n br_row) THEN
    line_no = line_no + 1
    ns = 0
    FOR m = start_pos TO end_pos STEP nb
      ns = ns + 1
      sub_image_I(line_no,ns) =
        byte(n,m) to byte(n,m+nb/2-1)
      sub_image_Q(line_no,ns) =
        byte(n,m+nb/2) to byte(n,m+nb-1)
    END FOR
  END IF
END FOR
  
```

표 1. 입력 영상데이터 관련사항

Table 1. Contents for input image data.

번호	내용	ERS-1	ERS-2
1	데이터 획득일/시간	1995. 12. 21/02:16	1995. 12. 22/02:16
2	프로세싱 날짜/시간	1998. 1. 15/15:57	1998. 1. 14/17:12
3	프로세싱 기관	D-PAF	I-PAF
4	궤도 번호	23180	03507
5	프레임 번호	2853	2853
6	데이터 형태	SLC	SLC
7	화소 크기	7.9m(GR)×4.0m(AZ)	7.9m(GR)×4.0m(AZ)
8	레코드 수	26579	26471
9	첫 번째 레코드 길이	19612(byte)	19612(byte)
10	최대 레코드 길이	19612(byte)	19612(byte)

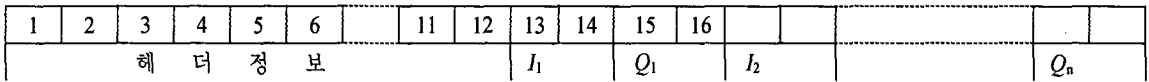


그림 2. 한 레코드의 데이터 형식(ERS)

Fig. 2. Data format of one record(ERS).

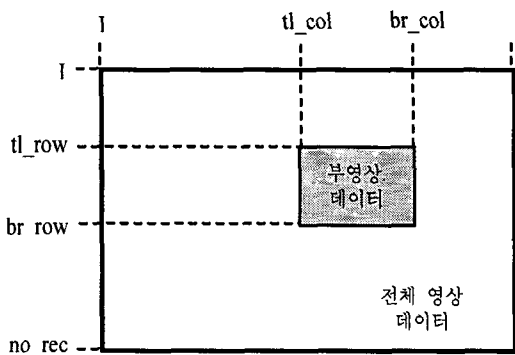


그림 3. 전체 영상중 부 영상의 영역

Fig. 3. Sub-image area among the whole image.

데이터 추출 알고리즘을 이용하여 구한 부 영상의 첫 번째 전시(amplitude) 영상이 그림 4에, 두 번째 전시 영상이 그림 5에 나타나 있다.

부 영상의 스펙트럼을 도시하기 위하여 FFT 알고리즘이 각 부 영상의 복소 배열 데이터에 적용되

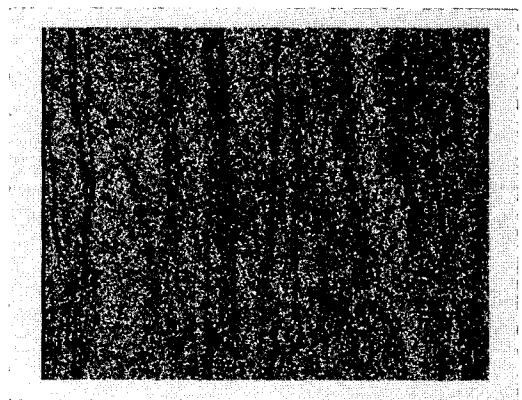


그림 4. 첫 번째(ERS-1) 부 영상의 전시 영상

Fig. 4. Detected image of the first sub-image (ERS-1).

었고 전체 스펙트럼이 도시되지 않고 거리가 일정한 한 선에 대한 것만 도시되었으며, 그 결과가 첫 번째 부 영상은 그림 6에 두 번째 부 영상은 그림

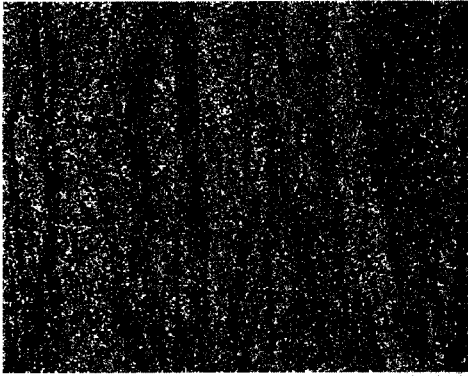


그림 5. 두 번째(ERS-2) 부 영상의 전시 영상
Fig. 5. Detected image of the second sub-image (ERS-2).

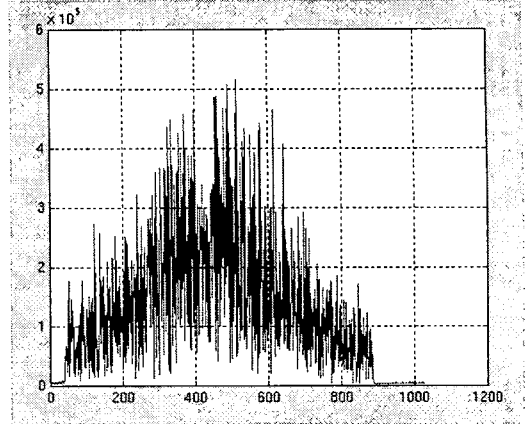


그림 7. 두 번째 부 영상의 스펙트럼
Fig. 7. Spectrum of the second sub-image.

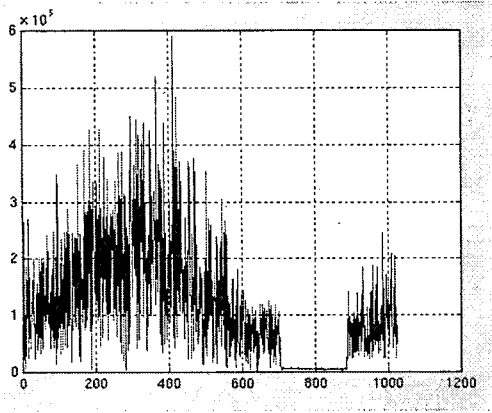


그림 6. 첫 번째 부 영상의 스펙트럼
Fig. 6. Spectrum of the first sub-image.

7에 나타나 있다.

그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 첫 번째 부 영상에서 주파수 aliasing이 발생되었고 이때의 위상변이 값은 약 20(%) (=200×100/1024) 임을 계산할 수 있다. 따라서 두 영상 모두에 이 값을 적용하며, 이 기능은 위상변이 모듈에서 수행된다.

3-2 위상변이 적용 모듈

주파수 aliasing을 제거하는 방법은 주파수 영역에서 스펙트럼을 천이시키는 것이며, 이렇게 함으로

써 주파수 aliasing을 제거할 수 있다. 주요 기능은 각 방위방향에 적용할 천이량을 계산하는 것이며, 영상의 한 선에 있는 모든 복소샘플에 3-1장에서 구한 지수 값을 적용한다.

위상변이 적용 모듈의 입력 파라미터는 거리방향의 샘플수(n_r), 방위방향의 샘플수(n_a), 천이되는 양(%)(x), 복소영상의 in-phase 부분 어레이(I_{old}), 및 복소영상의 quadrature-phase 부분 어레이(Q_{old})이며, 출력 파라미터는 주파수가 변이된 복소영상의 in-phase 부분 어레이(I_{new}), 및 주파수가 변이된 복소영상의 quadrature-phase 부분 어레이(Q_{new})로 구성된다. 위상변이 적용 모듈의 알고리즘을 슈도코드 형식으로 기술하면 아래와 같다.

```

pi = 4*atan(1)
FOR na = 1 TO Na
  theta = 2*pi*(na-1)x/100
  FOR nr = 1 TO Nr
    I_new(nr, na) = (I_old(nr, na)*cos(theta)) -
      (Q_old(nr, na)*sin(theta))
    Q_new(nr, na) = (I_old(nr, na)*sin(theta)) +
      (Q_old(nr, na)*cos(theta))
  END FORS
END FOR
    
```

먼저 20%의 위상변이 값을 두 영상에 적용하였

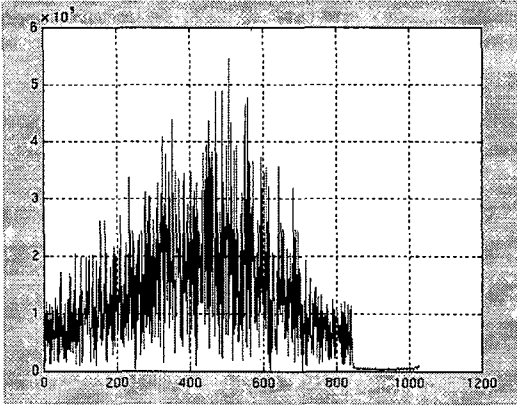


그림 8. 위상변이가 적용된 첫 번째 부 영상의 스펙트럼

Fig. 8. Spectrum of the first sub-image applied phase gradient.

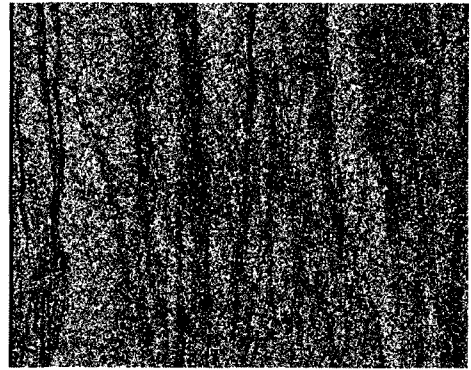


그림 10. 위상변이가 적용된 첫 번째 부 영상의 전시 영상

Fig. 10. Detected image of the first sub-image applied phase gradient.

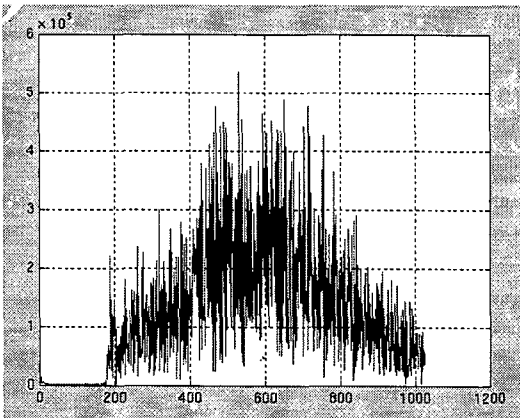


그림 9. 위상변이가 적용된 두 번째 부 영상의 스펙트럼

Fig. 9. Spectrum of the second sub-image applied phase gradient.

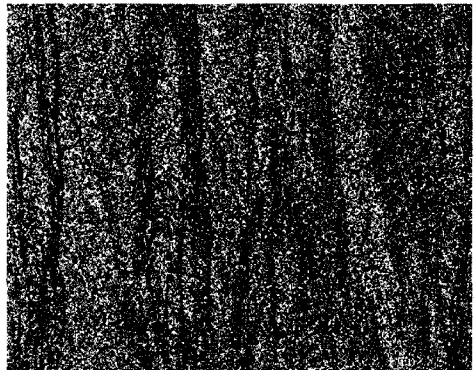


그림 11. 위상변이가 적용된 두 번째 부 영상의 전시 영상

Fig. 11. Detected image of the second sub-image applied phase gradient.

다. 그러나 두 영상중의 하나가 여전히 랩어라운드 되어 있었다. 그래서 위상변이 값이 수 차례 변화시키면서 두 영상 모두가 랩어라운드 되지 않는 값을 찾은 결과 13.6%의 위상변이 값을 구하였다. 따라서 13.6%가 2개의 부 영상에 적용될 위상변이 값으로 결정되었다. 결정된 위상변이 값을 적용한 후의 스펙트럼이 첫 번째 영상은 그림 8에 두 번째 영상은 그림 9에 나타나 있다. 두 그림에서 볼 수 있는

바와 같이 두 영상 모두가 랩어라운드 되어 있지 않음을 알 수 있다. 결정된 위상변이 값이 적용된 후의 전시 영상이 첫 번째 부 영상은 그림 10에 두 번째 부 영상은 그림 11에 나타나 있다.

3-3 오버 샘플링

오버 샘플링은 제로패딩 기법을 적용하기 위하여

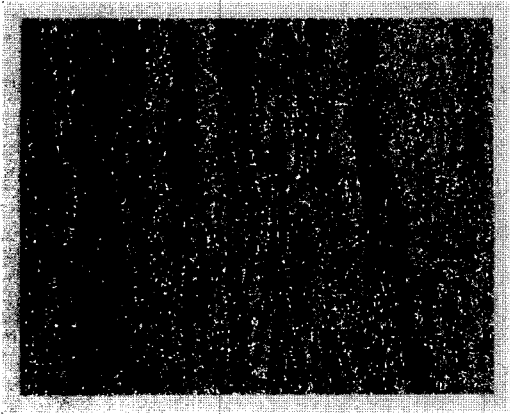


그림 12. 오버 샘플된 첫 번째 부 영상의 전시 영상
Fig. 12. Detected image of the first sub-image oversampled.



그림 14. 오버 샘플된 두 번째 부 영상의 전시 영상
Fig. 14. Detected image of the second sub-image oversampled.

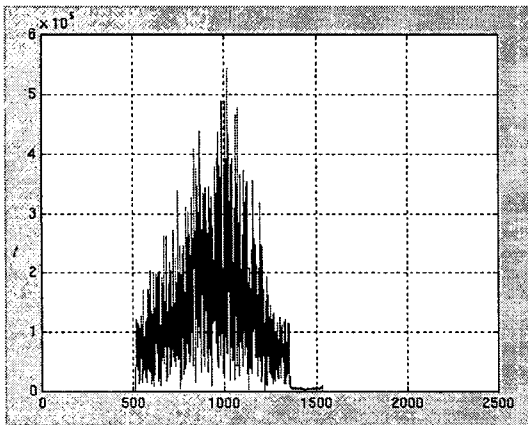


그림 13. 오버 샘플된 첫 번째 부 영상의 스펙트럼
Fig. 13. Spectrum of the first sub-image oversampled.

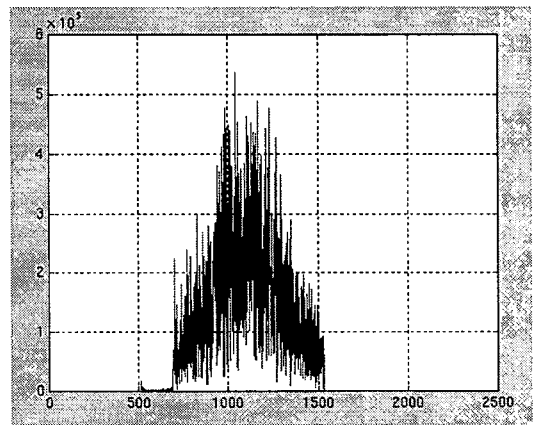


그림 15. 오버 샘플된 두 번째 부 영상의 스펙트럼
Fig. 15. Spectrum of the second sub-image oversampled.

기존 데이터 행렬의 2배가 되는 제로 행렬을 생성하고 기존 행렬을 2차원 푸리에 변환하여 새 행렬의 중앙에 위치시킨 후 역 푸리에 변환을 수행하여 시간영역으로 복귀한다. 오버 샘플링 모듈의 입력 파라미터는 복소영상의 in-phase 부분의 어레이 (I_{old}), 복소영상의 quadrature-phase 부분의 어레이 (Q_{old}), 거리방향의 샘플수 (N_r), 및 방위방향의 샘플수 (N_a)이며, 출력 파라미터는 오버 샘플된 복소영상의 in-phase 부분 어레이 (I_{new}), 및 오버 샘플된 복소영

상의 quadrature-phase 부분 어레이 (Q_{new})로 구성되어 있다. 오버 샘플링 모듈의 알고리즘을 슈도코드 형식으로 기술하면 아래와 같다.

```
[ $F_{I_{old}}$ ,  $F_{Q_{old}}$ ] = fft( $I_{old}$ ,  $Q_{old}$ )
FOR  $n_r$  = 1 to  $2*N_r$ 
  FOR  $n_a$  = 1 to  $2*N_a$ 
     $F_{I_{new}}(n_r, n_a) = 0$ 
     $F_{Q_{new}}(n_r, n_a) = 0$ 
  END FOR
```

		헤더									
영상선 1		$I_{1,1}$	$Q_{1,1}$	$I_{1,2}$	$Q_{1,2}$					$I_{1,M}$	$Q_{1,M}$
영상선 2		$I_{2,1}$	$Q_{2,1}$	$I_{2,2}$	$Q_{2,2}$					$I_{2,M}$	$Q_{2,M}$
.....											
.....											
.....											
.....											
.....											
영상선 N		$I_{N,1}$	$Q_{N,1}$	$I_{N,2}$	$Q_{N,2}$					$I_{N,M}$	$Q_{N,M}$
		화소 1		화소 2			화소 M

그림 16. 출력 데이터 파일 형식
Fig. 16. Output data file format.

```

END FOR
FOR  $n_r = 1$  to  $N_r$ 
  FOR  $n_a = 1$  to  $N_a$ 
     $mr = \text{int}\{N_r/2\} + n_r - 1$ 
     $ma = \text{int}\{N_a/2\} + n_a - 1$ 
     $FI_{new}(mr, ma) = FI_{old}(n_r, n_a)$ 
     $FQ_{new}(mr, ma) = FQ_{old}(n_r, n_a)$ 
  END FOR
END FOR
 $[I_{new}, Q_{new}] = \text{fft-1}\{FI_{new}, FQ_{new}\}$ 

```

오버 샘플링 후의 첫 번째 부 영상의 전시 영상이 그림 12에 스펙트럼이 그림 13에 나타나 있다.

오버 샘플링 후의 두 번째 부 영상의 전시 영상이 그림 14에 스펙트럼이 그림 15에 나타나 있다.

3.4 데이터 포매팅

데이터 포매팅은 입력되는 INSAR S/W(Interferometry software) 모듈에 적합한 형태로 데이터를 변환시키는 모듈로서 필요한 레코드 길이의 어레이가 표 1에 정의된 헤더 정보 및 적합한 I 와 Q 값으로 구성된다. 여기서는 MMS(Matira Maconi Space)사의 INSAR S/W에 적합한 형태로 변환하기 위하여 영상 데이터는 16비트 정수로 변환되어 그림 16에 제시된 것과 같이 저장되며, 헤더파일의 형식은 표 2

에, 각각의 영상 선의 형식은 표 3에 정의되어 있으며, 헤더 및 영상 데이터는 2진 파일로 기록된다.

데이터 포매팅 모듈의 입력 파라미터는 영상의 선 수(N), 영상 선 당 화소 수(M), 복소 영상의 in-phase 부분 어레이($I_{n,m}$; $n=1,2,\dots,N$ & $m=1,2,\dots,M$), 및 복소 영상의 quadrature-phase 부분 어레이($Q_{n,m}$; $n=1,2,\dots,N$ & $m=1,2,\dots,M$)이며, 출력 파라미터는 MMS 인터페로메트리 소프트웨어에서 사용할 수 있는 형식으로된 복소 영상으로 그림 16에 제시되어 있는 2진 파일로 구성된다.

데이터 포매팅 모듈의 알고리즘을 슈도코드 형식으로 정의하면 아래와 같다.

```

FOR  $m = 1$  to  $2*M$ 
   $header(m) = 0$ 
END FOR
 $header(1) = 2*M$ 
 $header(2) = N$ 
 $header(3) = 16$ 
 $header(6) = 1$ 
 $header(7) = 4*M$ 
FOR  $n=1$  to  $N$ 
   $K = 0$ 
  FOR  $m=1$  to  $2*M$ 
     $K = K + 1$ 
     $Imagen,k = INT(100*I_{n,m})$ 

```


표 2. 출력 데이터 파일의 헤더 형식

Table 2. Header format of output data file.

바이트	형식	설명	값
1~2	Integer 16	선 당 요소 수	2M
3~4	Integer 16	영상의 선 수	N
5~6	Integer 16	영상 데이터의 요소 당 비트 수	16
7~8	Integer 16	영상 선이 아닌 선 수	0
9~10	Integer 16	ScanSAR 영상 flag[1=True, 0=False]	0
11~12	Integer 16	복소영상 flag[1=True, 0=False]	1
13~14	Integer 16	헤더 길이(바이트)	4M
15~4M	-	Blank	

표 3. 출력 데이터 파일의 영상선 형식

Table 3. Image line format of output data file.

바이트	형식	설명
1~2	Integer 16	영상 선 첫 번째 샘플의 실수 부분
3~4	Integer 16	영상 선 첫 번째 샘플의 허수 부분
5~6	Integer 16	영상 선 두 번째 샘플의 실수 부분
7~8	Integer 16	영상 선 두 번째 샘플의 허수 부분
.....
(4M-3)~(4M-2)	Integer 16	영상 선 마지막 샘플의 실수 부분
(4M-1)~4M	Integer 16	영상 선 마지막 샘플의 허수 부분



그림 17. 데이터 포매팅 후 첫 번째 부 영상의 전시 영상

Fig. 17. Detected image of the first sub-image after data formatting.



그림 18. 데이터 포매팅 후 두 번째 부 영상의 전시 영상

Fig. 18. Detected image of the second sub-image after data formatting.

```

K = K + 1
  Imagen,k = INT(100*Qn,m)
END FOR
END FOR
    
```

데이터 포매팅 후의 전시영상이 첫 번째 부 영상은 그림 17에 두 번째 부 영상은 그림 18에 나타나 있다.

IV. 결 론

SAR 인터페로메트리 기법은 가장 정밀한 고도정보를 제공하는 것뿐만 아니라 변화탐지 등 다양한 분야에 응용이 가능한 첨단 기술로서 이 기법을 구현하기 위해서는 여러 단계의 프로세싱 과정이 필요하다.

본 논문에서는 그 가운데 하나의 프로세싱 단계인 주파수 aliasing을 제거하기 위하여 랩어라운드 교정기법을 구현하는 방안을 연구하였으며, 이 기법의 전체적인 프로그램 구조, 입출력 파라미터, 주요 모듈의 알고리즘 및 구현결과를 분석하였다. 그 결과 적용된 랩어라운드 기법이 SAR 데이터의 주파수 aliasing 현상을 효과적으로 제거한다는 것을 알 수 있었다.

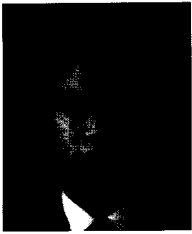
현재 국내에서는 SAR 인터페로메트리 기법에 대한 이론 및 구현 연구가 미약한 상태이나 선진국에

서는 매우 활발히 진행되고 있으므로 향후 국내에서도 전체 프로세싱 절차, 각 단계별 알고리즘 및 구현방법에 대한 체계적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Didier Massonnet, "Satellite radar interferometry", *Scientific American*, p 32-39, February, 1997.
- [3] Fabio Gatelli, Andrea Monte etc., "The wave-number shift in SAR Interferometry", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 32, no. 4, July, 1994.
- [4] 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.

홍 인 표



1982년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)

1997년 2월: 충북대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사)

1984년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] Data/Image Fusion,

표적식별/인식, 시공간 추론, SAR 프로세싱/응용

조 동 래



1973년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)

1979년 9월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1991년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1978년 1월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원(팀장)

구소 책임연구원(팀장)

[주 관심분야] Data/Image Fusion, 표적식별/인식, 시공간 추론, SAR

박 한 규



1964년 2월: 연세대학교 전기공학과(공학사)

1968년 2월: 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1975년: 불란서 파리 6대 대학(공학박사)

1976년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

자공학과 교수

1979년~1980년: 스탠포드대학교 전자공학과 교환교수

1989년~1994년: 대통령 자문 21세기 위원회 위원

1995년~1997년: 정보통신부 전파위원회 위원장

1997년~현재: 한국과학재단 이사

[주 관심분야] 마이크로파 소자, 스마트 안테나, 전파전파