한국군사과학기술학회지 제13권 제3호, pp. 453~460, 2010년 6월

학술논문 센서 · 신호처리 부문

항공기 요동보상을 위한 SAR시스템의 타이밍 제어 기법

A Novel Timing Control Method for Airborne SAR Motion Compensation

이 현 익*
Hyon-Ik Lee

Abstract

For high quality image acquisition, compensating air-vehicle motion is essential for airborne SAR system. This paper describes a timing control based motion compensation method for airborne SAR system. Efficient timing control is critical for SAR system since it maintains many timing signals and timing setting for the signals should be updated frequently. This paper proposes Timing Cluster method as an efficient means for timing control of SAR system. Moreover, this paper suggests a simple and efficient method to compensate air-vehicle motion based on the Timing Cluster method. Timing Cluster method enables SAR system to control the timing in a timing non-critical way just maintaining little amount of information.

Keywords : SAR(Synthetic Aperture, Radar), Motion Compensation(요동보상), Timing Control(타이밍 제어), PRF(Pulse Repetition Frequency), PRI(Pulse Repetition Interval), Range Gate(거리 게이트), Phase Error(위상오차)

1. 서 론

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 여러 위치에서 수신된 레이더 신호를 위상이 일치하도록 코히어런트(coherent)하게 합성함으로써, 안테나의 개구면(aperture)의 크기를 작게 유지하면서도 방위 분해능을 향상시키는 영상 시스템이다[1]. 주야간 전천후로 고해상의 영상정보를 수집할 수 있다는 장점으로 인하여 유/무인 항공기 또는 인공위성 등에 탑재되어 육지, 해양, 극지 탐사나 특히, 군사적 활용 등에 있어 중요한 자료를 제공하고 있다[4~6]. 아직은 비용 및 기술적인 어려움으로 인하여 선진국을 중심으로 확보, 운용 되고 있지만 그 효용성으로 인하여 앞으로 더 많은 수요가 예상된다.

SAR시스템이 높은 품질의 영상을 형성하기 위해서는 SAR를 탑재한 플랫폼이 직선의 비행경로를 따라 흔들림 없이 일정한 속도로 이동해주어야만 한다. 하지만 항공기의 경우 대기의 난류로 인해, 항공기가 비행경로를 이탈하고, 비행속도도 변화하며, 자세 또한 일정하게 유지할 수 없게 된다. 따라서 항공기 SAR시스템에서는 이와 같은 운용 환경의 악조건을 극복해야만 높은 품질의 영상을 얻을 수 있다.

대기 난류로 인한 요동의 보상을 위하여 SAR시스템은 PRF(Pulse Repetition Frequency) 조정, 거리 게이트 조정, 위상오차 보정, 안테나 자세 조정의 네 기능을 수행한다[2,3]. 타이밍제어는 이를 위한 핵심으로 이

† 2010년 3월 26일 접수~2010년 5월 20일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
책임저자 : 이현익(leehyonik@paran.com)

들 네 기능 중 앞의 세 기능을 수행하는 데 밀접하게 관련되어 있다. 특히, SAR시스템은 일반적인 레이더 시스템에 비하여 타이밍 신호가 복잡하고 영상 모드 수행 중에도 타이밍 설정이 자주 변경되는 특징을 갖고 있어 효율적인 타이밍 제어가 아주 중요하다.

본 논문에서는 SAR시스템의 효율적인 타이밍 제어를 수행하기 위하여 Timing Cluster 기법을 제안한다. 또한 제안한 타이밍제어 기법을 활용하여 항공기 요동을 보상하는 간단하고 효과적인 방안을 제시한다. 본 논문은 Timing Cluster 기법을 통해, 타이밍 신호가 복잡하고 타이밍 설정이 자주 변경되는 SAR 시스템에서, 적은 양의 정보만으로도 효율적으로 타이밍을 제어할 수 있는 기법을 설명한다.

2. SAR의 항공기 요동보상 필요성

SAR시스템이 높은 품질의 영상을 형성하기 위해서는 SAR를 탑재한 플랫폼의 안정적인 움직임이 아주 중요하다. SAR시스템이 촬영을 하는 동안 SAR를 탑재한 플랫폼이 직선의 비행경로를 따라 흔들림 없이 일정한 속도로 이동해 줄 수 있어야 한다. 하지만 항공기의 경우 비행경로가 정해져 있다 하더라도, 대기의 난류로 인해 항공기가 정해진 경로로 비행하지 못할 뿐 아니라 일정한 자세를 유지하는 것이 사실상 불가능 하다. 또한, 항공기에 장착된 엔진 및 동체의 진동으로 인하여 항공기 자체의 요동이 발생하게 된다. 이러한 원인으로 인한 오차를 보정하지 않는다면 SAR의 영상은 흔들림으로 인하여 품질이 극도로 저하된다.

위에 설명한 원인 중 항공기가 경로를 이탈하고 자세가 틀어짐에 의해 발생하는 오차는 저주파 영역의 오차가 되며, 항공기의 진동으로 인하여 발생하는 오차는 고주파 영역의 오차가 된다. 일반적으로 저주파 영역의 오차를 보상하는 기법을 요동보상(motion compensation) 기법이라고 하고, 고주파 영역의 오차를 보상하는 기법을 자동초점(autofocus) 기법이라고 한다. 자동초점은 신호처리 SW에 의하여 처리가 되기 때문에 본 논문의 범위에서는 제외하기로 한다.

요동보상 기법은 크게 타이밍제어를 통한 요동보상과 신호처리 SW를 통한 요동보상으로 분류된다. 실시간으로 영상을 형성하는 SAR시스템의 경우 임베디드 SW인 신호처리 SW는 실시간으로 영상을 형성하고 자동초점을 수행하는 데에 큰 부담을 갖게 된다. 이러한 환경에서 타이밍제어를 통한 요동보상은 아주 효과적인 해결책이 된다. 따라서 본 논문에서는 타이밍 제어를 통한 요동보상 기법을 다루기로 한다.

3. SAR의 요동보상 방안

SAR시스템의 요동보상은 PRF 조정, 거리 게이트 조정, 위상오차 보정, 안테나 자세 조정의 네 가지로 구성된다. PRF 조정은 항공기 속도가 바람에 의하여 일정하게 유지되지 못하는 것을 보정하는 것으로, Fig. 1과 같이 각 펄스의 송신이 항공기의 계획된 비행경로 방향으로 공간적인 등간격을 이루도록 조정한다. 이를 위해 SAR시스템은 항공기의 현재 진행방향 속도를 고려하여 향후 펄스의 송신 시점을 예측하고, 송신 타이밍을 제어하게 된다.

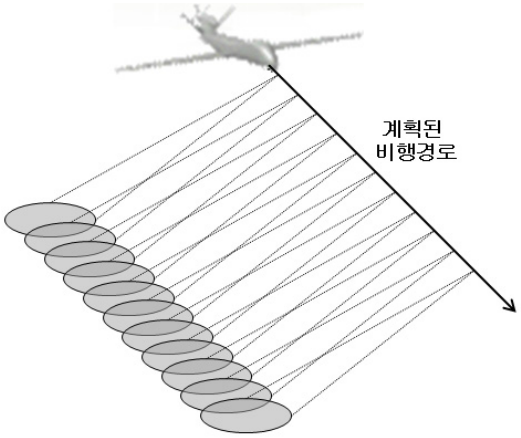

Fig. 1. 펄스 송신 구간을 등간격으로 조정

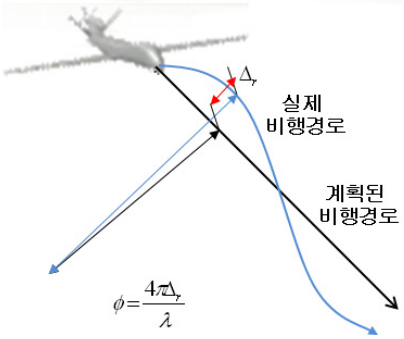

Fig. 2. 비행경로 이탈에 따른 거리 및 위상오차

거리 게이트 조정은 Fig. 2와 같이 비행경로 이탈에 따른 수신 시점을 보정하는 것이다. 거리 게이트 조정은 세 단계로 나누어 이루어진다. 우선 수신 기준 타이밍 신호를 수신기에 전달한다. 다음으로 샘플링 시작 시점 정보를 수신기에 전달한다. 보통 샘플링 클락이 타이밍 클락보다 주파수가 높기 때문에, 샘플링 시작 시점은 수신기가 수신 기준 타이밍 신호를 받은 후로부터의 샘플링 클락 개수로 주어진다. 하지만 사용하는 샘플링 클락 주파수에 따라 최대 $\triangle_s$만큼의 오차가 발생 된다. 따라서 마지막으로, 계산된 거리 게이트 조정 시점 정보를 수신기에 전달한다. 수신기는 샘플링된 신호를 거리 게이트 조정 시점에 맞게 인터폴레이션(interpolation)함으로써 거리 게이트 조정을 정확하게 수행할 수 있다.

$$\triangle_S = \frac{c}{2f_S}$$

Fig. 3은 위상오차 보정을 설명하기 위한 간단한 SAR시스템의 I/Q 복호기 블록도이다. SAR시스템에서 수신된 에코신호는 기저대역으로 변환되어 I/Q 신호로 생성된다. 요동이 없는 경우 점표적에 대한 수신 신호의 I/Q 신호는 아래의 수식과 같다.

$$S_t(n,t) = A_0 rect\left(\frac{\hat{t}}{T_p}\right)\cos\left\{2\pi f_c t + \pi\gamma \hat{t}^2\right\},\quad \hat{t} = t - nT \qquad (1)$$

$$S_r(n,t) = a_r rect\left(\frac{\hat{t}-2R_t/c}{T_p}\right)\cos\left\{2\pi f_c\left(t-2R_t/c\right)+\pi\gamma\left(\hat{t}-2R_t/c\right)^2\right\} \qquad (2)$$

$$S_I(n,t) = a_I rect\left(\frac{\hat{t}-2R_t/c}{T_p}\right)\cos\left\{-4\pi f_c R_t/c+\pi\gamma\left(\hat{t}-2R_t/c\right)^2\right\} \qquad (3)$$

$$S_Q(n,t) = a_Q rect\left(\frac{\hat{t}-2R_t/c}{T_p}\right)\sin\left\{-4\pi f_c R_t/c+\pi\gamma\left(\hat{t}-2R_t/c\right)^2\right\} \qquad (4)$$

요동에 의해 Fig. 2와 같이 Δr만큼 이동이 발생한 경우 I/Q 신호는 아래의 수식과 같이 $-4\pi f_C \Delta_r / c$ 만큼 위상오차가 발생한다.

$$S_r(n,t) = a_r rect\left(\frac{\hat{t}-2R_t/c-2\Delta_r/c}{T_p}\right)\cos\left\{2\pi f_c\left(t-2R_t/c-2\Delta_r/c\right)+\pi\gamma\left(\hat{t}-2R_t/c-2\Delta_r/c\right)^2\right\} \qquad (5)$$

$$S_I(n,t) = a_I rect\left(\frac{\hat{t}-2R_t/c-2\Delta_r/c}{T_p}\right)\cos\left\{-4\pi f_c\left(R_t/c+\Delta_r/c\right)+\pi\gamma\left(\hat{t}-2R_t/c-2\Delta_r/c\right)^2\right\} \qquad (6)$$

$$S_Q(n,t) = a_Q rect\left(\frac{\hat{t}-2R_t/c-2\Delta_r/c}{T_p}\right)\sin\left\{-4\pi f_c\left(R_t/c+\Delta_r/c\right)+\pi\gamma\left(\hat{t}-2R_t/c-2\Delta_r/c\right)^2\right\} \qquad (7)$$

영상의 중심을 맞추기 위해 거리 게이트 조정 ($t' = t - 2\Delta_r / c$, $\hat{t}' = t' - nT$)을 한 후 $-4\pi f_C \Delta_r / c$ 만큼의 위상을 보상해 주면 요동이 없는 경우와 동일한 I/Q 신호를 얻을 수 있음을 수식적으로 확인할 수 있다.

마지막으로 안테나 자세 조정을 위해, 현재 항공기의 위치 및 자세 정보를 이용하여 안테나의 지향방향을 주기적으로 조정한다.

4. 요동보상을 위한 SAR 구성품 연동구조

Fig. 4는 항공기 SAR시스템의 전체 구조를 나타낸다. 통제장치는 SAR시스템의 통제 및 기저대역신호처리 기능, 송수신장치는 RF신호의 송수신을 담당하며, 서보제어장치 및 김발장치는 안테나 지향을 수행하고, 신호처리장치는 고속 신호처리 및 영상데이터의 저장

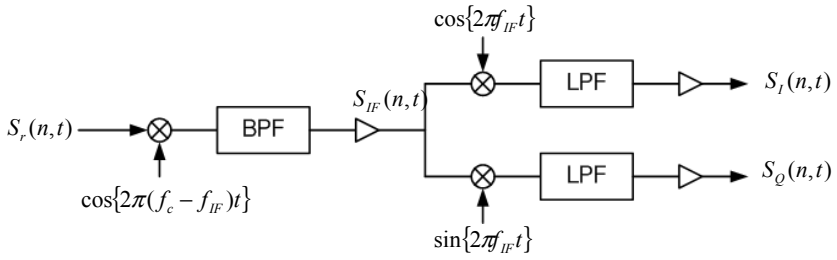

Fig. 3. SAR시스템 I/Q 복호기 블록도

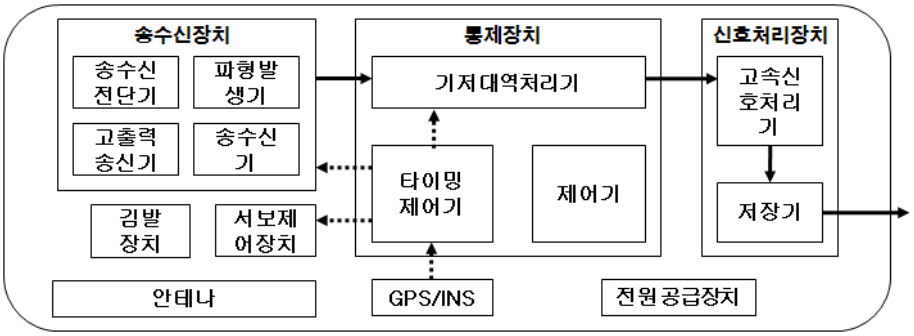

Fig. 4. 요동보상을 위한 SAR 구성품 연동 구조

및 전송을 수행한다. 그림에서 점선은 GPS/INS 데이터를 활용한 타이밍제어의 흐름을 나타내며, 실선은 수신된 RF 신호로부터 신호처리된 영상데이터의 흐름을 나타낸다. 요동보상을 위한 관련 구성품들의 기능은 아래와 같다.

제어기: 제어기는 촬영계획을 해석하여 각 구성품이 영상모드 수행을 위해 필요로 하는 각종 모드수행변수를 생성하고 이들 변수를 영상모드 시작 전에 각 구성품에 전달하는 기능을 담당한다. 모드수행변수에는 해당 모드의 타이밍 생성을 위한 변수들, 촬영해야 하는 지역의 좌표, 신호처리를 위해 필요로 하는 변수들을 포함한다.

GPS/INS: GPS/INS는 항공기의 위치, 속도, 자세 등의 정보를 수집하여 타이밍제어기에 전달한다.

타이밍제어기: 타이밍제어기는 제어기로부터 수신한 타이밍 변수 및 안테나 제어 변수와 GPS/INS로부터 수신한 정보를 이용하여 송수신장치 및 기저대역처리기로의 타이밍 제어 및 서보제어장치로의 안테나 지향 제어를 수행한다. 이를 위하여, 내재된 요동보상 SW는 항공기의 현재 위치와 속도 정보로부터 앞으로 발생될 타이밍 신호의 PRF를 예측하고, 수신 시작 시점 및 위상오차를 계산한다. 또한 요동보상SW는 항공기의 위치 및 자세 정보를 활용하여 안테나가 지향해야 할 각도 정보를 계산한다. 타이밍제어기는 계산된 PRF 및 수신 시작 시점, 위상오차를 타이밍 신호에 반영하고 안테나 지향각을 서보제어장치에 전달한다.

서보제어장치: 서보제어장치는 타이밍제어기로부터 수신한 안테나 지향각으로 안테나가 지향될 수 있도록 김발을 구동한다.

송수신장치: 송수신장치는 주파수 발생 및 송신/수신 주파수 변환 등을 담당하는 송수신기, 펄스를 발생시키는 파형발생기, 펄스의 출력을 높이는 고출력송신기, 안테나 전단에서 RF신호의 송수신을 수행하는 송수신전단기로 구성된다. 타이밍 신호에 의해 송수신 구간에서 해당 모듈의 설정이 제어된다.

기저대역처리기: 기저대역처리기는 타이밍 신호를 이용하여 수신 신호의 샘플링 시점을 결정하고, 더욱 정밀한 수신 시점 조절을 위하여 샘플링된 신호의 인터폴레이션을 수행한다. 또한 인터폴레이션 된 데이터의 위상오차 보상을 수행한다.

고속신호처리기: 고속신호처리기는 자동초점을 수행하여 요동보상을 통해 제거되지 않은 잔여 위상오차를 추가적으로 보상한다.

5. 요동보상을 고려한 타이밍 신호 구조

Fig. 5는 항공기 SAR시스템을 위한 타이밍 신호 구조의 예를 보여준다. 타이밍 신호는 모드 수행 중 SAR 구성품의 설정을 변경하는 제어 신호들로 구성된다. 특히 PRI(Pulse Repetition Interval) 단위의 설정 변경이나 타이밍이 중요한 설정 변경을 수행하는 신호들은 타이밍 신호로 식별된다. 일반적인 SAR시스템의 경우 PRI 기준 타이밍(PRI_Trg), 펄스 송신 타이밍(Pulse_En),펄스 송신 게이팅(TWT_En, TWT_Pre_En), 수신 타이밍(Sampling_Trg), 수신 게이팅(LNA_En), SAR의 HR(High Resolution) 모드를 위한 Deramping 제어(Deramping_En), PRI 단위의 내부 경로/설정 변경(Path_Sel, Sampling_Sel) 등을 위한 타이밍 신호들이 포함된다. 단, 해당 시스템 구성에 따라 필요로 하는 타이밍 신호의 종류 및 활성화 시점은 크게 달라진다.

Fig. 5의 타이밍 신호에는 기저대역처리기가 거리 게

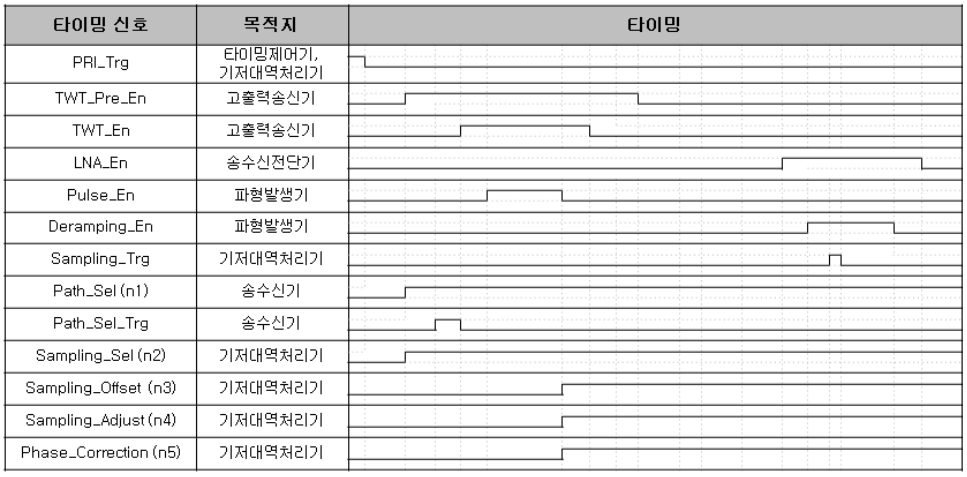

Fig. 5. 타이밍 신호 구조 예

이트 조정 및 위상오차 보정을 위해 사용할 Sampling_Offset, Sampling_Adjust, Phase_Correction 신호를 포함한다. Sampling_Offset은 Sampling_Trg를 기준으로 하여 몇 샘플링 클락 이후에 샘플링을 시작할 지를 나타내며, Sampling_Adjust는 샘플링된 데이터의 인터폴레이션을 위한 정확한 수신 시점을 나타낸다. Phase_Correction은 위상오차 값을 의미한다. 이 정보들은 GPS/INS 데이터가 갱신될 때 요동보상 SW에 의해 계산되고, 보다 정밀한 요동보상을 위해 매 PRI 마다 타이밍 신호에 반영된다. 이러한 정보들은 타이밍 제어 시점을 나타내지는 않지만 이 정보가 변경되는 주기가 짧고 사용되는 타이밍이 중요하기 때문에 타이밍 신호로 식별된다.

6. SAR의 타이밍 제어 기법 제안-Timing Cluster

효율적인 SAR 타이밍 제어 기법을 제안하기 위해서는 우선, 일반 레이더시스템에 비하여 SAR시스템의 타이밍이 어떤 특성을 갖고 있는지를 확인할 필요가 있다. 일반적인 탐색 레이더시스템은 타이밍 신호의 종류가 적고, 한 모드가 아주 길며, 모드수행 중 타이밍 설정이 동일하게 유지된다는 특징을 갖고 있다. 이와 같은 특징은 타이밍 제어 구조 및 타이밍제어기 설계를 단순화하는 큰 장점이 된다. 따라서 모드 수행 중 사용할 몇 개의 타이밍 신호에 대한 활성화 구간 정보만 모드 수행 전 제어기로부터 받아 두면 타이밍 제어기는 긴 모드 수행 시간 동안 반복적으로 동일한 신호들을 동일한 타이밍에 발생시키면 된다.

반면에 SAR시스템은 타이밍 신호의 종류가 많고, 모드 수행 시간이 상대적으로 짧으며, 모드 수행 중에도 PRI 단위로 타이밍 설정이 바뀌는 경우가 많다. 따라서 레이더시스템과 같이 제어기로부터 몇 개의 타이밍 신호 정보만을 받아 반복적으로 사용하는 타이밍 제어 방식은 사용할 수 없다. 그렇다고 타이밍제어기가 매 PRI마다 제어기로부터 타이밍 정보를 받아 타이밍 제어를 수행하는 구조는 타이밍 관점에서 적합하지 않으며, 타이밍제어기가 한 모드의 매 PRI에 대한 타이밍 정보를 제어기로부터 받아 모두 저장하고 있는 구조는 극히 비효율적이다.

본 논문에서 제안하는 방식은 한 모드에서 사용될 타이밍 설정들을 분석하여 한정된 수의 테이블으로 정의하고 이들 테이블의 주기적인 반복구조를 타이밍 제어기에 알려줌으로써 타이밍 측면 뿐 아니라 관리되는 정보의 양 측면에서 아주 효율적인 타이밍 제어를 가능하게 한다. 본 논문에서는 이 테이블을 Timing Cluster라 정의한다.

가. Timing Cluster의 정의

Timing Cluster의 정의는 아래와 같다.

◆ *Timing Cluster는 한 PRI동안의 모든 타이밍 신호들의 활성화 구간을 정의하고, 한정된 수의 Timing Cluster만으로 해당 SAR시스템 전체 모드의 모든 PRI*

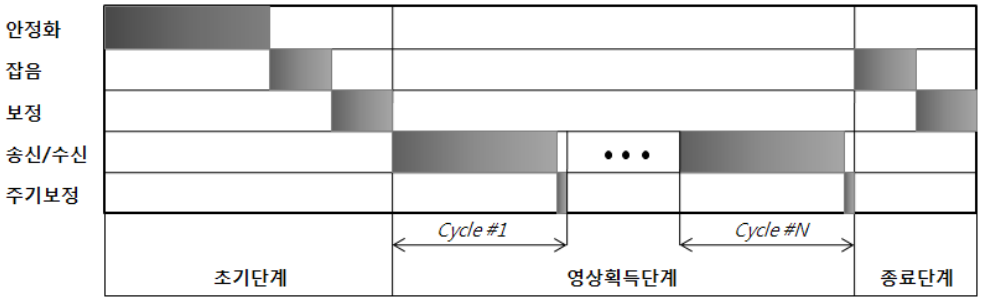

Fig. 6. SAR의 영상모드 구조

의 타이밍 설정을 표현할 수 있어야 하며, 이들 Timing Cluster들은 서로 동일하지 않아야 한다.

개개의 SAR시스템은 서로 다른 모드 종류 및 모드 구조, 서로 다른 타이밍 신호들과 활성화 구간 등을 갖기 때문에 Timing Cluster는 SAR시스템에 따라 달라진다. 하지만, 일반적으로 다음의 방법을 이용하여 각각의 SAR 시스템은 Timing Cluster를 생성할 수 있다.

일반적인 SAR의 영상모드는 Fig. 6과 같은 구조를 갖는다. 초기 단계에서는 시스템 안정화를 위하여 수회 방사를 수행하고, 시스템 잡음측정 및 보정을 수회 수행한다. 영상획득 단계에서는 영상촬영을 위한 송수신을 수행하고 주기적으로 보정을 수행한다. 종료 단계에서는 잡음 측정 및 보정을 다시 수회 수행한다. 일반적으로 서로 다른 기능을 갖는 PRI는 서로 다른 Timing Cluster로 규정된다. SAR의 영상모드는 HR(High Resolution), ST(Strip), WS(Wide Swath) 등 여러 종류가 있을 수 있고 이들 모드마다 안정화, 잡음측정, 보정, 송/수신을 위한 타이밍 설정이 다를 수 있다. 따라서 서로 다른 기능을 하는 PRI를 우선 식별하여 이들 PRI를 위한 Timing Cluster들을 정의한 후 동일한 Timing Cluster가 없는지 확인함으로써 해당 SAR시스템의 Timing Cluster들을 정의할 수 있다.

나. Timing Cluster의 구조

Table 1은 본 논문에서 제안하는 Timing Cluster 테이블의 구조를 나타낸다. 한 PRI 내에서 개개의 타이밍 신호는 Table 1과 같이 네 개의 필드로 표현된다. 첫 번째는 해당 타이밍 신호가 PRI 내에서 활성화 되는지를 나타내는 것으로 0과 1로 표현된다. 두 번째부터 네 번째는 해당 타이밍 신호가 PRI내에서 언제 활성화 되는 지를 표현한다. 타이밍 신호는 일반적으로 PRI 내에서 한번만 활성화 되므로 Table 1과 같이 '초기시간-활성화시간-종료시간'의 세 필드만으로 표현이 가능하다.

설계에 따라 타이밍 신호가 한 PRI 내에서 여러 번 활성화 되도록 설계할 수 있다. 하지만 이러한 설계는 Timing Cluster 구조를 복잡하게 하고 또한 타이밍 제어 자체를 복잡하게 만든다. 부득이하게 PRI 내에서 여러 번 활성화되어야 하는 타이밍 신호가 있다면 이를 여러 개의 타이밍 신호들로 분리하여 각 타이밍 신호가 PRI내에서 한번만 활성화되도록 설계하는 것도 고려할 만하다.

타이밍 신호들은 각각 High-Enable 또는 Low Enable로 구현된다. 이는 타이밍 신호를 수신하는 장치가 어떤 형태의 제어 신호를 받도록 설계되었는지에 따라 다르다. 하지만 High-Enable/Low-Enable은 최초 설정 후 변경되지 않기 때문에 Timing Cluster 테이블에서는 표현하지 않는다.

다. Timeline 정의

Timeline이란 한 모드에서 사용되는 전체 PRI들을 시간축 위에서 배열한 것이다. 본 절에서는 위에서 정의한 Timing Cluster를 활용하여 Timeline을 효율적으로 정의하는 방법을 설명한다.

Table 1. Timing Cluster

타이밍 신호	값 (0/1)	초기시간 (타이밍클락 수)	활성화시간 (타이밍클락 수)	종료시간 (타이밍클락 수)
PRI_Trg	v_11	v_12	v_13	v_14
TWT_Pre_En	v_21	v_22	v_23	v_24
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Table 2. Cluster Group

Cluster Group	Cluster Group 구조	
	Timing Cluster	반복회수
CG1	TC1	c1
	TC2	c2
	⋮	⋮
CG2	TC*k*	c*k*
	TC*k+1*	c*k+1*
	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

Table 3. Timeline

Cluster Group	반복회수
CG1	g1
CG2	g2
⋮	⋮

Table 4. Timing Cluster 기법의 효율성 분석

분석 기준	TC 기법	A 기법	B 기법
제어기 Access 수준	모드 전 1회	모드 전 1회	매 PRI
데이터 전송량/메모리 사용량	$S_T + S_G \times N_G + S_C \times N_C$	$S_C \times N_{PRI}$	S_C
	최대 5.84 KB	최대 288 MB	최대 240 Bytes
연산량	O(1)	O(1)	O(1)

S_ : Size, N_ : Number
_T : Timeline, _G : Cluster Group, _C : Timing Cluster

Fig. 6을 보면 SAR의 영상모드는 두 개 이상의 Timing Cluster들로 구성된 PRI들이 반복되는 구조를 갖는 것을 알 수 있다. 이를 일반화 하면 Table 2와 같이 반복되는 두 개 이상의 Timing Cluster들을 Cluster Group으로 정의하고, Table 3과 같이 이를 반복하는 구조로써 Timeline을 정의할 수 있다. 따라서 제어기가 이들 테이블 정보만을 모드수행 전 타이밍제어기에 전달하면 타이밍제어기는 모드수행 중 제어기로부터의 추가적인 정보 수신 없이 자체적으로 한 모드의 타이밍 제어를 수행할 수 있다.

라. Timing Cluster의 효율성 분석

Table 4는 Timing Cluster 기법(TC기법)의 효율성분석 결과를 보여준다. 타이밍, 대역폭, 메모리, 프로세싱 측면의 지표로서 각각 제어기 Access 수준, 데이터 전송량, 메모리 사용량, 연산량을 분석하였다. 비교 대상은 앞에 언급된 방식으로써, 제어기가 해당 모드의 모든 PRI에 대한 타이밍 설정 정보를 모드 전에 타이밍제어기에 전달하는 기법(A기법)과 제어기가 모드 수행 중 매 PRI마다 다음 PRI에 사용할 타이밍 설정 정보를 타이밍제어기에 전달하는 기법(B기법)이다.

우선, 제어기 Access 수준에서 TC기법과 A기법은 모드 수행 전에만, B기법은 매 PRI마다 제어기를 access 해야 한다. PRF를 500~2000이라고 할 때 B기법은 최대 500usec 마다 제어기의 인터럽트 처리가 요구되어 타이밍 측면에서 적합하지 않은 방식으로 판단된다. 데이터 전송량과 메모리 사용량 측면에서는, PRF를 500~2000, 촬영시간을 10초~10분, 타이밍신호, Cluster Group, Timing Cluster 수를 각각 10~30, 5~20, 5~20 개라고 할 때 Table 4와 같은 결과를 보인다. 따라서 최대 288 MBytes가 필요한 A기법은 대역폭, 메모리 측면에서 적합하지 않은 방식으로 판단된다. 연산량 측면에서는 각 기법 모두 무시할 만한 수준의 연산을 수행한다.

7. 항공기 SAR의 타이밍 제어를 위한 Timing Cluster의 활용

Timing Cluster 기법은 항공기 SAR시스템의 타이밍 제어에 쉽게 적용된다. 요동이 없다면 타이밍제어기는 다음 PRI에 사용될 Timing Cluster를 미리 준비하여 정해진 시간에 타이밍신호를 발생시키면 된다. 하지만 항공기 SAR시스템의 경우는 타이밍 발생전에 요동보상SW가 생성한 요동보상 파라미터를 타이밍에 반영하여야 한다. 따라서 요동보상SW가 생성한 요동보상 파라미터를 Timing Cluster에 반영하는 연산이 추가되면 된다. 이 연산은 타이밍제어기의 FPGA가 수행해도 되고 요동보상SW가 수행하여 그 결과를 FPGA에 전달하는 방안도 가능하다.

요동보상을 위해 수정되어야 하는 부분은 위에 설명한 것과 같이 PRF, 거리 게이트, 위상오차 이렇게 세 가지로 구분된다. 이중 거리게이트 수정은 위에 설명한 것과 같이 Sampling_Trg 시점을 조정하는 타이밍 제어 부분과 Sampling_Offset, Sampling_Adjust 값을 통해 기저대역처리기에 샘플링 시점 정보를 전하는 부분으로 구분된다. 위상오차 보정도 Phase_Correction 값 정보를 기저대역처리기에 전달하는 부분으로 이 장에서는 PRF 보정 방법과 Sampling_Trg를 통한 거리 게이트 보정 방법을 설명한다. 보정 방법은 Fig. 7 및 다음의 수식을 통해 설명한다. 우선 PRF 보정은 Fig. 7과 같이 기존의 활성화시간은 변화 없이 종료시간

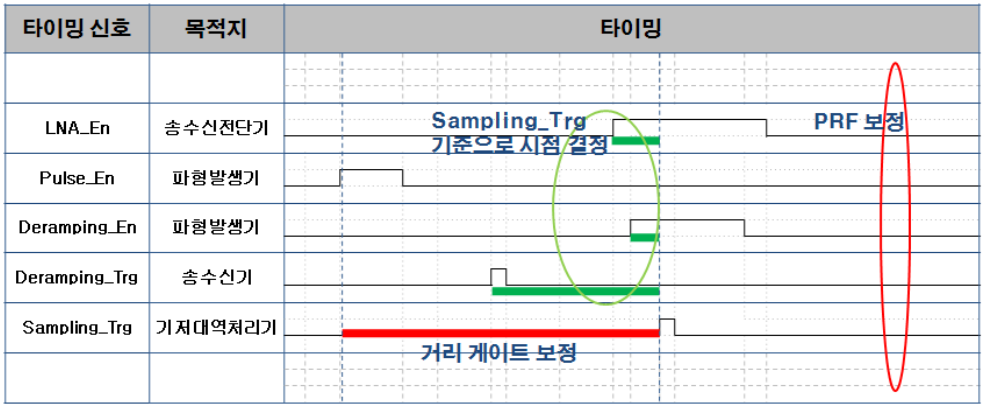

Fig. 7. PRF 및 거리 게이트 보정 개념도

만을 변경함으로써 보정이 가능하다. 이는 다음 수식과 같이 각 타이밍 신호의 종료시간에 변경된 PRF에 따른 추가 시간을 더하여 계산된다.

$$D_{M_(signal)F}^{PRF} = D_{_(signal)F} + D_{PRF} \tag{8}$$

거리 게이트 조정은 Fig. 7과 같이 수신 시점의 기준이 되는 타이밍 신호인 Sampling_Trg와 이를 기준으로 활성화 시점이 결정되는 신호들의 초기시간을 보정함으로 가능하다. 다만, PRI 간격은 일정하므로 초기시간을 보정한 만큼 종료시간을 연계하여 조정하여야 한다. 이는 아래 수식을 통해 간단히 계산할 수 있다. 단, 이 수식은 거리 기준을 경사거리로 할 경우에 사용되어야 하며, 기준을 지상거리로 할 경우 활성화 시간 또한 수정이 되어야 한다.

$$D_{M_(signal)S}^{range} = D_{_(signal)S} + D_{range} \tag{9}$$

$$D_{M_(signal)F}^{range} = D_{_(signal)F} - D_{range} \tag{10}$$

8. 결 론

SAR시스템은 유/무인 항공기 등에 탑재되어 주야간 전천후로 고해상 영상정보 획득을 위하여 활용되며, 선진국을 중심으로 보유/운용되고 있다. 특히 항공기 SAR는 항공기의 비행 능력에 제한을 받고 요동을 극복하여야 하지만, 항공기 임무 경로를 자율적으로 조정하여 원하는 지역을 촬영할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 항공기 SAR시스템에서 요동보상의 필요성 및 요동보상 방안에 대하여 설명하였다. 요동보상을 위한 SAR시스템의 연동 구조를 확인하였고 타이밍 신호 구조 및 그 설계 방법을 제시하였다. SAR시스템의 효율적인 타이밍 제어 기법을 제안하였고, 이 기법을 통해 항공기 SAR시스템에서 타이밍 제어를 통한 요동보상 기법을 제시하였으며 그 효율성을 분석하였다.

Reference

[1] John C Curlander, Robert N. McDonough, “Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing”, John Wiley & Sons, Inc., pp. 15～16, 1991.

[2] G. E. Haslam, A. Damini, “Specifying the Allowable Latencies in the Application of SAR Motion Corrections”, Proc. EUSAR'96, European Conf. on Synthetic Aperture Radar, Königswinter, Gernany, 1996.

[3] J. HUANG, W. LEI, W. YU, “The Real-time Coarse Compensation of Motion Error Based on UAV SAR”, Proc. of 2006 CIE International Conf. on Radar, Shanghai, China, pp. 1～4, October 2006.

[4] http://www.sandia.gov/radar/minisar.html

[5] http://www.ga-asi.com/products/lynxSAR.php

[6] www.gim-international.com/issues/articles/id1228-TerraSARX_m_Spaceborne_Radar.html