

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 46(3), 244-250(2018)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2018.46.3.244

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

다변측정감시시스템 신호 입력 시각 정밀 측정을 위한 DRS(Delayed Reference Sample)를 이용한 Cross Correlation 방안 연구

장재원*, 이상정**

Study of Cross Correlation Using DRS(Delayed Reference Sample) for Precision Time Measurement of Input Signal on Multilateration

Jae-Won Chang* and Sang Jeong Lee**

Korea Aerospace Research Institute*

Chungnam National University**

ABSTRACT

Multilateration acquires the transponder signal of target from receivers installed on the ground and calculates the position of the target using the difference of the signal acquisition time of each receiver. One of the factors that influence the positioning accuracy of Multilateration using the TDOA calculation method is the error due to the precision measurement of signal input time. When measuring the signal input time at the receiver, the input signal is sampled using the reference clock of the receiver and a reference sample having the same sampling rate is applied to the cross correlation technique. Therefore, the accuracy of the signal input time is proportional to the reference clock. In this paper, the algorithm for precisely measuring the signal input time by performing cross correlation between the input signal of the receiver and DRS(Delayed Reference Sample) is proposed. In order to verify this, we implemented the pulse signal of the transponder that is transmitted from the target using Matlab. Through the simulation, cross correlation between the proposed DRS and the input signal was performed. From this result, the performance of the precise measurement of signal input time was analyzed.

초 록

다변측정감시시스템은 탑재 트랜스폰더에서 전송되는 신호를 지상에 설치된 여러 수신기에서 획득하고 각각의 수신기의 신호 획득시간의 차를 이용하여 표적의 위치를 계산한다. TDOA(Time Difference Of Arrival) 계산 방법을 이용하는 다변측정감시시스템의 위치 정확도에 가장 큰 영향을 주는 요소 중 하나는 신호 입력 시각 측정 시 발생하는 오차이다. 수신기에서 신호 입력 시각을 측정할 경우 수신기의 기준 클럭을 이용하여 입력 신호를 샘플링하고 동일한 샘플링 레이트를 가지는 기준 샘플(Reference Sample)을 Cross Correlation 기법에 적용한다. 따라서 신호 입력 시각의 정밀도는 기준 클럭에 비례한다. 본

† Received : January 31, 2017 Revised : January 23, 2018 Accepted : January 27, 2018

* Corresponding author, E-mail : zdream@kari.re.kr

논문에서는 기준 샘플과 이를 샘플링 레이트보다 작은 시간으로 기준 샘플을 지연시킨 다수의 샘플(DRS, Delayed Reference Sample)을 수신기의 입력신호와 Cross Correlation을 수행하여 신호 입력 시각을 보다 정밀하게 측정하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이를 검증하기 위해 Matlab을 이용하여 타겟에서 송출하는 트랜스폰더의 펄스 신호를 구현하였으며 시뮬레이션을 통해 제안한 DRS와 입력신호와의 Cross Correlation을 수행하였다. 이 결과로부터 신호 입력 시각 정밀 측정의 성능을 분석하였다.

Key Words : Multilateration(다변측정감시시스템), TDOA(Time Difference Of Arrival, 도래시각차), TOA(Time Of Arrival, 도래시각)

1. 서 론

1.1 다변측정감시시스템

민간항공부분에서는 1980년대 초에 급속하게 증가하는 항공교통량을 기존의 항행안전시설로는 대처하기 어렵다는 우려가 제기되었다. 이를 보완하기 위해 국제민항기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서는 1983년에 미래항공항법시스템(FANS, Future Air Navigation System)에 대한 연구를 위한 특별위원회를 설치하였다. 이를 통해 21세기 지속적으로 증가하는 항공교통량에 대비하기 위한 새로운 개념의 항행 안전시스템 연구를 시작하였다. 이러한 연구의 결과 1991년도에 CNS/ATM(Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management)의 개념을 정립하였으며, 1992년 열린 국제 민항기구 제 29차 총회에서는 CNS/ATM을 국제 표준항행시설로 승인하였다[1-3].

항공감시시스템은 감시 장비의 설치 위치에 따라 기상감시(Airborne Surveillance) 장비와 지상감시(Ground Surveillance) 장비로 크게 나눌 수 있다. 현재 지상감시 장비로는 주로 활용하고 있는 시스템은 일차감시레이더(PSR, Primary Surveillance Radar), 이차감시레이더(SSR, Secondary Surveillance Radar), 그리고 지면이동감시 레이더(SMR, Surface Movement Radar)이다[4]. 이러한 지상 감시 시스템은 지상국과 항공기간의 상호 협동 여부와 위치 정보 획득에 대한 타 장비와의 종속성에 따라 구분할 수 있다. 이러한 상호 협동여부와 위치 정보에 따른 종속성을 토대로 감시 시스템을 Fig. 1과 같이 분류할 수 있다.

Figure 1의 이차감시레이더는 지상에 설치된 질문기로부터 송신된 질문에 대하여 항공기 또는 지상이동차량을 포함하는 타겟에 탑재된 트랜스폰더의 응답 신호를 수신하여 표적의 위치를 계산하는 감지 센서로 협동 독립형 감지센서

| | Independent | Dependent |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Non-Cooperative | PSR(Primary Surveillance Radar) SMR(Surface Movement Radar) | |
| Cooperative | SSR(Secondary Surveillance Radar) MLAT (Multilateration) | ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) |

Fig. 1. The Configuration and Classification of Ground Surveillance System

로 분류할 수 있다. 다변측정감시시스템(MLAT, Multilateration)도 협동 독립형 감지센서로 사용이 확대되고 있다. 국내에서는 2013년부터 공항 활주로 감시용으로 김포공항과 인천공항에 다변측정감시시스템을 설치하여 현재 활용 중에 있다. GPS(Global Positioning System)의 경우 위성에서 송출된 신호가 수신기에 도달하는 시간인 수신 시각(TOA, Time Of Arrival)을 이용하여 위치 계산을 하는 반면에 다변측정감시시스템은 타겟에서 송출된 신호가 두 수신기에 도달하는 수신 시각 차(TDOA, Time Difference of Arrival)를 이용하여 위치계산을 한다. 다변측정감시시스템은 지상에 위치한 송신기에서 송신된 질문에 대하여 비행체에 탑재된 트랜스폰더에서 전송되는 응답 신호를 지상에 정밀 측위된 위치에 설치된 여러 수신기에서 획득하고 각각의 수신기의 신호 획득 시각의 차를 이용하여 표적의 위치를 계산하는 것이다. 이러한 수신기의 신호 획득 시각의 차를 이용하는 위치 계산 방법을 TDOA 알고리즘이라 한다[4]. 이러한 다변측정감시시스템은 기존의 이차감시레이더와 비교할 때 향상된 표적 위치 정확도를 가지고 있으며 타겟 정보에 대한 갱신률이 짧아 이차감시레이더를 보완할 중요한 지상감시 장비로써 평가되고 있다.

TDOA 알고리즘을 이용하는 다변측정감시시스템의 위치 정확도에 가장 큰 영향을 주는 요소 중 하나는 시각 정밀 측정에 따른 오차이다. 즉, 타겟에서 전송된 신호가 각각의 수신기에 도착할 때까지의 TOA를 얼마나 정밀하게 측정할 수 있는지에 따라 다변측정감시시스템의 위치 측위 정확도를 향상시킬 수 있다.

1.2 신호입력시각 정밀 측정 필요성

신호가 입력된 정밀 시간을 필요로 하는 분야는 주로 측위 분야이다. 측위 방법 중 하나인 TDOA 알고리즘은 타겟에서 전송된 신호가 지상에 위치한 각 수신기에 입력된 시각의 차를 이용하여 타겟의 위치를 계산한다[5]. 이러한 측위 시스템의 타겟에 대한 측위 정밀도는 타겟에서 전송되는 신호가 각 수신기에 전달되는 시각 측정 정밀도에 비례한다. 일반적으로, 시각 측정에 대한 정밀도는 수신기시스템에서 사용하는 기준 클럭에 의존하고 있다. 즉, 기준 클럭 주파수가 높을수록 타겟 신호의 입력 시각을 더 정밀하게 측정할 수 있다. 하지만, 기준 클럭 주파수가 증가할수록 처리해야 하는 입력 신호에 대한 샘플 데이터들의 양이 증가하여 하드웨어 관점에서 데이터의 저장 공간을 더 필요하게 되며 데이터 증가에 따르는 계산량 증가로 연산 속도를 고려하여야 한다.

본 논문에서는 다변측정감시시스템의 수신기에 입력되는 신호 입력 시각인 TOA를 측정하기 위해 수신기의 ADC(Analog Digital Converter)의 샘플링 주파수가 100 MHz, 즉 10 ns 주기라고 가정하였다. 이 경우에 측정 시각의 정밀도는 10 ns 이내이다. 측정 시간의 정밀도를 거리 정밀도로 환산하기 위하여 시간 정밀도의 값에 전파의 속도(3×10^8 m/s)를 곱하면 샘플링 주파수로 인한 거리 정밀도는 대략 3 m 이내가 된다.

다변측정감시시스템의 위치 정확도는 수신신호 시각정밀도와 샘플링 정밀도에 의해 결정된다. 수신신호 시각정밀도는 수신신호의 신호 대 잡음비, 수신기의 양자화 및 시각동기에 의한 오차에 의해서 정해지며 SNR이 18 dB, 샘플링 주파수가 100 MHz, 시각동기 오차를 5 ns로 할 경우 수신신호 시각정밀도는 8 ns 이하이다. 수신신호 시각정밀도에 의한 위치정확도는 2.4 m 이다. 다변측정감시시스템의 위치정확도에 대한 요구조건이 5 m인 점을 감안할 경우 샘플링 주파수로 인해 발생하는 정밀도 오차를 감소시키는 방안이 적용되어야 한다.

1.3 DRS을 이용한 시각 정밀 측정 방안

신호 입력 시각을 측정하기 위해 실제 입력 신호의 샘플링 데이터와 기준 샘플과의 Cross Correlation의 결과를 이용한다. 즉, 두 데이터의 상관관계를 분석하여 Cross Correlation 결과가 가장 큰 경우에 대한 지연(Lag)값을 이용하여 신호 입력 시각을 측정할 수 있다.

본 논문에서는 기준 클럭의 한계를 극복하기 위해 Cross Correlation의 각각의 입력변수인 입력 신호에 대한 샘플링 데이터와 사전에 알고 있는 신호에 대한 기준 샘플링 데이터의 상관결과를 보다 더 세밀하게 분석하기 위하여 기준 샘플링 데이터를 1 ns 단위로 지연시켜 하나의 입력 신호와 DRS와의 상관 결과로부터 신호 입력 시각을 정밀하게 구하는 방안을 제시하였다. 이를 위해 먼저 다변측정감시시스템의 수신기 ADC 출력 신호를 Matlab을 이용하여 구현하였으며 이 신호를 이용하여 시뮬레이션을 통해 DRS를 이용한 방안이 정밀 시각 측정에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 본 론

2.1 MLAT 수신기 ADC 출력 신호 구현

비행체에 탑재된 트랜스폰더의 송신 신호는 1090 MHz의 캐리어 주파수를 이용하며 Mode A/C, S, 그리고 Mode S Squitter의 신호로 구분된다. 다변측정감시시스템의 수신기는 타겟에 탑재된 트랜스폰더로부터 전송되는 각각의 신호를 수신하여 IF주파수로 다운컨버팅한 후 ADC를 이용하여 송신된 펄스 신호를 복원하는 기능을 수행한 후 TOA를 계산하고 이를 이용한 TDOA 알고리즘을 통해 타겟의 위치를 구한다.

트랜스폰더의 신호 중 Mode A/C 신호는 양쪽의 20.3 us 간격의 Framing Pulses 사이에 1.45 us 간격으로 위치한 Information Pulse의 유무에 따라서 Information을 전달하는 방식이다. Fig. 2는 Mode A/C 신호 구조를 나타내고 있다[6].

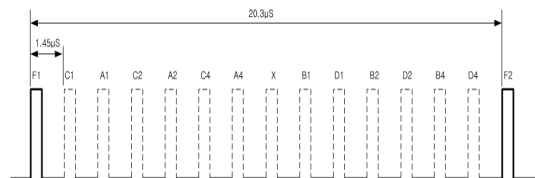


Fig. 2. The Configuration of Mode A/C Signal

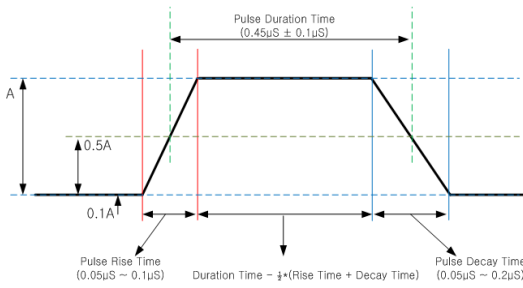


Fig. 3. The Detail Configuration of Mode A/C Pulse

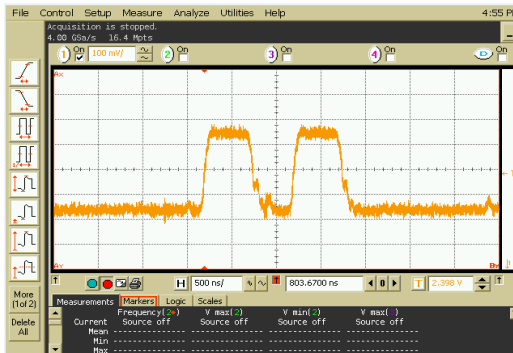


Fig. 4. The Real Signal Pulse Waveform of Mode A/C Signal

Mode A/C 신호 중 하나의 펄스에 대한 상세한 구조는 Fig. 3에 나타내었다.

Figure 4는 실제 트랜스폰더에서 전송되는 RF 신호를 수신기에서 IF 주파수 대역 출력 파형을 오실로스코프를 이용하여 측정된 것이다.

본 논문에서 제안한 DRS를 이용한 입력 신호 시각 정밀 측정 방안에 대한 시뮬레이션을 위해 트랜스폰더에서 송출되는 신호의 펄스 파형을 Matlab을 이용하여 구현하였다. 실제 신호에 포함된 잡음을 구현하기 위하여 Matlab의 AWG (Additive White Gaussian) 함수를 이용하여 백색잡음을 추가하였으며 잡음의 크기를 변경할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 구현한 신호는 DRS의 지연시간을 1 ns 단위로 설정하기 위해 1 GHz로 샘플링 하였다. 일반적으로 다변측정감시 시스템의 수신기는 100 MHz로 ADC를 통해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 때문에 입력 신호를 10ns 간격으로 샘플링한다. Fig. 5는 SNR(Signal to Noise Ratio)가 20 dB인 신호를 Matlab으로 구현한 신호와 실제 트랜스폰더 신호를 오실로스코프를 이용하여 측정된 파형과 비교한 것이다.

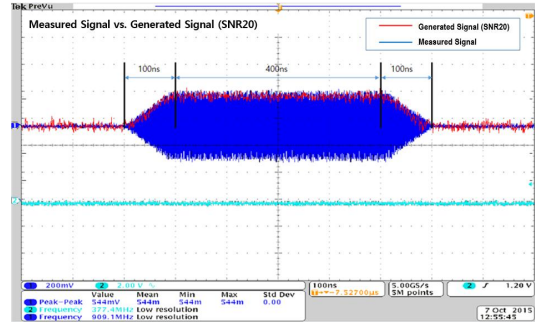


Fig. 5. The Pulse Waveform by Matlab(Red) and Measured Pulse Waveform (Blue)

2.2 DRS를 이용한 Cross Correlation

통신 시스템과 레이더 시스템 등에서는 데이터 획득과 타겟의 위치를 측위하기 위해 두 신호에 대한 정량적 유사성 측정을 필요로 한다. 이러한 유사성 측정에는 대표적으로 Cross Correlation 기법을 사용한다. 두 신호에 대한 Cross Correlation 기법은 하나의 신호가 다른 신호에 어느 정도 유사한지, 관계가 있는지, 또는 의존적인지를 측정하거나 표현하기 위해 사용되고 있다[7,8]. 일반적인 Cross Correlation의 공식은 아래 식 (1)과 같다.

$$\Phi_{xy}[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m+n]y[m] \quad (1)$$

식 (1)의 x[m]은 입력신호에 대한 이산신호이고 y[m]은 Cross correlation을 위한 기준 샘플이며 m은 각각의 이산 신호에 대한 순서열이다. n은 입력신호 샘플에 대한 지연을 나타낸다. 본 논문에서는 식 (1)의 x[m]을 입력신호를 1 ns 단위로 ADC를 통해서 생성된 디스크리트 신호로 간주하였다. 다변측정감시시스템의 수신기에서는 100 MHz 즉, 10 ns 단위로 입력 신호를 샘플링하기 때문에 위의 Cross Correlation 공식은 아래와 같이 식 (2)로 수정하였다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+10n]y[10m] \quad (2)$$

즉, 식 (2)는 입력신호를 10 ns 단위로 샘플링하여 입력 이산 신호를 생성하고 이를 10 ns의 기준 샘플과 Cross Correlation 취하는 것을 의미한다. 즉, y[10m]는 입력신호와의 Cross Correlation을 위한 참조 신호이다. 만일 기준 신호인 y[10m]를 1 ns 지연시킨 DRS를 이용하여 입력신호의 이산 신호와 Cross Correlation을 수행하는 식은 식

(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+10n]y[10m+1] \quad (3)$$

2 ns 지연시킨 신호와의 Cross Correlation은 식 (4)와 같다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+10n]y[10m+2] \quad (4)$$

위의 식 (3)과 식 (4)를 일반화하면 아래 식과 같다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+10n]y[10m+k] \quad (5)$$

여기서, k는 기준 신호에 대한 ns 단위의 지연시간을 나타낸다. 만일 입력신호에 대한 샘플링 시간을 1 ns 지연시킬 경우에는 위의 식 (5)는 아래와 같이 변경된다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+1+10n]y[10m] \quad (6)$$

이를 일반화하면 다음과 같다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+d+10n]y[10m] \quad (7)$$

여기서, d는 입력신호의 ns 단위의 지연시간을 의미한다. 또한, 입력신호와 참조 신호에 대한 지연을 모두 감안하여 아래 식과 같이 표현될 수 있다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+d+10n]y[10m+k] \quad (8)$$

여기서 d는 입력 샘플링 시간의 지연이고 k는 참조 신호에 대한 지연 값을 의미한다.

2.3 Cross Correlation 시뮬레이션

본 논문의 목적인 입력신호와 다수의 레퍼런스 지연신호를 이용하여 정밀하게 신호 입력 시간을 측정하기 위한 방법에 대한 검증을 위하여 Fig. 6과 같은 시뮬레이션 구조를 설계하였다. 시뮬레이션 환경은 Matlab을 이용하여 구현하였다. 시뮬레이션의 간략화를 위해 DRS는 2 ns씩 지연시켜 5개를 생성하였다.

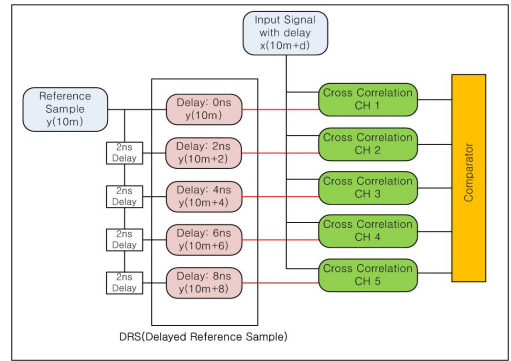


Fig. 6. Simulation Structure for Cross Correlation

Table 1. The time structure of Mode A/C Pulse in Annex 10

| Mode A/C | Rise Time/2 | Duration Time | Decay Time/2 | Length |
|-----------|-------------|---------------|--------------|--------|
| Range(ns) | 0.025~0.05 | 0.45±0.1 | 0.025~0.1 | |
| Mean(us) | 0.0375 | 0.45 | 0.0625 | 0.55 |
| Max(us) | 0.05 | 0.55 | 0.1 | 0.7 |
| Min(us) | 0.025 | 0.35 | 0.025 | 0.4 |

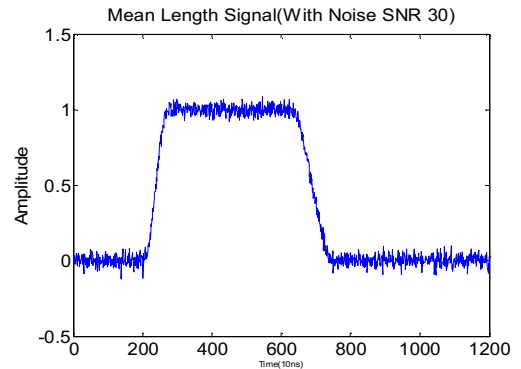


Fig. 7. Pulse waveform for mean length value of Mode A/C (SNR 30 dB)

구현한 신호의 특성은 ICAO(International Civil Aviation Organization)의 Annex 10 Aeronautical Telecommunications의 Volume IV(Surveillance and Collision Avoidance Systems)에서 정한 트랜스폰더의 Rise Time, Duration Time, 그리고 Decay Time을 고려하였다. Table 1은 Annex 10에서 정한 파형의 길이에 대한 정보이다.

Figure 7은 Table 1의 중간값(Mean Value)을 이용하여 생성한 1 ns 단위의 펄스파형이다. Fig. 8은 Fig. 7의 파형을 100 MHz 샘플링한 이산 신호이다.

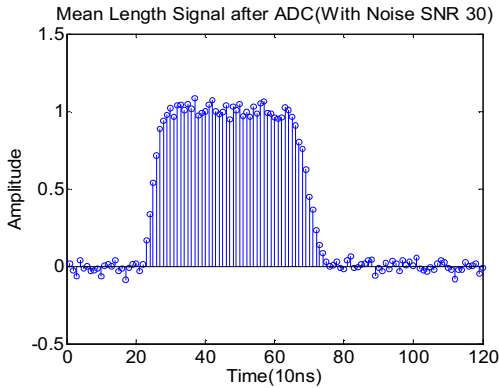


Fig. 8. Pulse waveform for mean length value of Mode A/C (Sampling with 100 MHz, SNR 30 dB)

Figure 8의 입력 신호를 이용하여 다수의 레퍼런스 신호와 Cross Correlation을 수행한다. 시뮬레이션을 위해서 입력 신호를 샘플링할 때 2 ns 단위로 지연시킬 수 있도록 하였다.

Figure 6의 시뮬레이션 환경과 같이 펄스폭은 입력신호와 동일한 길이를 갖도록 Table 1의 중간값을 이용하여 노이즈가 없는 기준 신호를 생성하고 이를 2 ns 단위로 지연시켜 100 MHz로 샘플링하여 입력 신호와 Cross Correlation을 수행 할 DRS를 생성하였다. Fig. 9는 기준신호와 이를 2 ns씩 지연시켜 생성한 DRS이다.

Figure 10은 위의 결과를 좀 더 자세히 살펴 보기 위해서 각각의 지연신호를 하나의 그래프에 Rise Time 구간을 확대하여 표현한 것이다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 지연 시간이 클수록 기준 신호와 크게 차이가 남을 알 수 있다.

Matlab 시뮬레이션을 통해 입력신호와 각각의 DRS를 이용하여 Cross Correlation을 수행하였

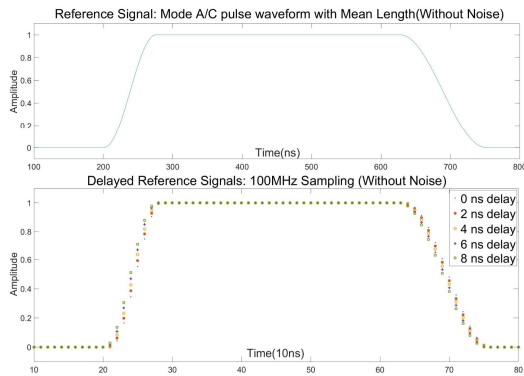


Fig. 9. Pulse waveform of Reference Signal and DRS

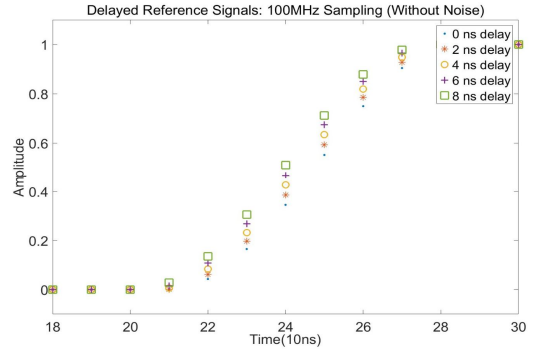


Fig. 10. Detail figure for rise time area of pulse

다. 시뮬레이션을 통해 신호의 입력 시각을 정밀하게 측정함을 확인하기 위해 임의로 입력 신호가 6 ns정도 지연되었다고 가정하였다. 즉, 입력 신호를 $x[10m+6]$ 으로 모델링하였다. 식 (8)의 d 값을 6으로 하여 식 (9)와 같이 구형하였다.

$$\Phi_{xy}[10n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+6+10n]y[10m+k] \quad (9)$$

입력신호와 Cross Correlation을 수행할 신호로는 0 ns, 2 ns, 4 ns, 6 ns, 8 ns 지연이 포함된 샘플링 신호로 $y[10m]$, $y[10m+2]$, $y[10m+4]$, $y[10m+6]$, $y[10m+8]$ 의 5가지 DRS를 활용하였다. 식 (10)과 같이 5가지 Cross Correlation을 수행하도록 하였다.

$$\begin{aligned} \Phi_{xy0}[10n] &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+6+10n]y[10m+0] \\ \Phi_{xy2}[10n] &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+6+10n]y[10m+2] \\ \Phi_{xy4}[10n] &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+6+10n]y[10m+4] \\ \Phi_{xy6}[10n] &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+6+10n]y[10m+6] \\ \Phi_{xy8}[10n] &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[10m+6+10n]y[10m+8] \end{aligned} \quad (10)$$

Figure 11은 식 (10)의 각각의 경우에 대한 Cross Correlation 결과이다.

Figure 11의 Cross Correlation 결과로부터 입력신호를 6 ns 지연된 샘플링 신호와 6ns를 지연시킨 레퍼런스 샘플링 신호를 이용한 Cross Correlation의 결과 값이 가장 크게 나타남을 확인할 수 있다. 또한 6 ns 지연시킨 DRS의 Cross Correlation의 결과에서 그래프가 가장 대치성을

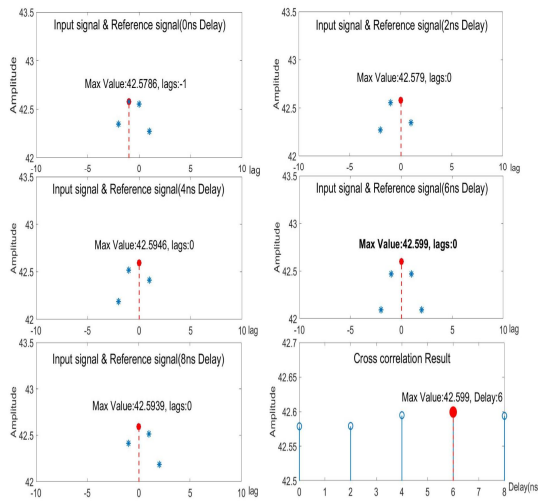


Fig. 11. The results of Cross Correlation

나타냄을 확인하였다.

이러한 결과를 이용하여 신호의 입력 시각을 10 ns 단위로 측정된 결과에 6 ns 지연을 추가하여 보다 정밀하게 측정할 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 신호 입력 시각을 정밀하게 측정하기 위해 하나의 방법으로 DRS에 대한 각각의 Cross Correlation 결과를 비교하는 방법에 대하여 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이를 위해 먼저 트랜스폰더에서 송출되는 신호파형을 구현하였으며 레퍼런스 신호에 대한 2 ns 간격으로 지연시킨 샘플링신호를 구현하였다. 이렇게 구현된 신호와의 Cross Correlation을 통하여 입력 신호를 100 MHz로 샘플링할 때 발생하는 ns 단위의 지연 값을 찾을 수 있음을 확인하였다. 차후에는 다변측정감시시스템의 수신기 개발 후에 본 논문의 방안을 적용하여 시험을 통해 실제 성능을 검증할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 “다변측정감시시스템 개발” 과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- 1) “The Many Faces of Air-Ground Data Link”, Canso, CNS/ATM Work Group, May 2003.
- 2) Gligorevic, S., “A-SMGCS Data Link Situation”, DLR, 2006
- 3) Kerczewski, R. J., “Aeronautical Communications Reserach and Development needs for future air traffic management application”, *Aerospace Conference Proceedings*, 2002. IEEE, Mar. 2002, pp. 1169-1176.
- 4) Kong, H., Sung, T. K., Kwon, Y. M., “Comparison of TDOA Location Algorithms for Indoor UWP Positioning”, *Journal of IEIE* Vol. 42 TC No. 1, 2005, pp. 10-13.
- 5) Kim, T. S., Chang, J. W., “Technology Trends on the Multilateralation of Aeronautical Surveillance”, *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol. 11, No. 2, Dec. 2013, pp. 24-32.
- 6) ICAO, “Surveillance and Collision Avoidance System”, *Aeronautical Telecommunications*, Volume IV, Jul. 2007.
- 7) Yang, W. Y., “MATLAB/Simulink for Digital Signal Processing”, Hongrunc Publishing Company, 2012, p. 73.
- 8) Kim, J. H., Kim, H. S., Cho, S. H., “A Ranging Algorithm for IR-UWB in Multi-path Environment Using Gamma Distribution”, *The journal of Korea Inrformation and Communication Society*, Vol. 38B, Mar. 2012, pp. 146-153.