

디지털 거리 추적기의 FPGA 구현

심성철, *김홍락, 김수홍, 이승룡, 김이한
엘지 정밀 (주) 연구소

FPGA Implementation of the Digital Range Tracker

Sungchul Shim, Hongrak Kim, Soohong Kim, Seungryong Lee, Leehan Kim
LG Precision R&D Lab.

Abstract - In this paper, we propose the design methodologies for the range tracker which is designed for minimizing the range tracking error. The range discriminator has been implemented digitally. Finally, experimental results of the Digital Range Tracker are provided.

1. 서 론

추적 레이더가 개발된 초기에는 레이더 운영자가 직접 스크로를 보면서 수동적으로 표적을 추적하였으나 최근에 이르러 이동 속도가 점점 빨라짐에 따라 자동적으로 추적하는 Automatic Tracking System (ATS)으로 나아가고 있다. 특히 제 2차 세계 대전이후 급속한 발전이 이루어 졌다. 표적 추적은 거리 추적 (Rnage Tracking) 과 각 추적 (Angle Tracking) 의 두 개의 부분으로 나눌 수 있는데 거리 추적은 표적 신호가 항상 Range Window 또는 Gate [1] 내에 위치하도록 해 주어서 각 추적이나 표적 탐지에 이 신호를 사용할 수 있도록 해주는 역할을 수행한다. 수신되는 표적 신호는 정확한 측정을 위해 반복해서 처리하며 추정된 거리와 Gate 사이의 오차는 Range Discriminator 에 의해 측정되고 거리 추적 루프에 의해 오차를 줄이는 방향으로 Gate 를 이동시킨다.

거리 추적기에 사용되는 Discriminator 는 두 가지가 있는데 그중 하나가 Early/Late Gate 또는 Split Gate 방식이고 다른 하나는 Leading-Edge 방식이다 [1], [2]. 두 방법중 Early/Late Gate 가 널리 사용되며 본 논문에서도 이 방식을 채택한다. 초기의 추적 레이더에는 아날로그 방식의 거리 추적기가 사용되었으나 현재는 거의 대부분의 추적 레이더에서 디지털 방식의 거리 추적기 [3] 가 사용되고 있다. 디지털 방식의 장점은 잡음에 강하고 구조의 변경이 용이하다는 것이다.

본 논문에서는 디지털 거리 추적기를 FPGA상에서 구현한 결과를 제시한다. 레이더와 표적과의 상대적인 운동에 의한 수신신호의 이동을 보상하기 위한 방안을 제시하고 이를 하드웨어로 구현한다. 또한 거리 오차를 추출하는 Range Discriminator 를 구현하고 이의 성능을 실험을 통해 확인한다.

2. 디지털 거리 추적기

2.1 거리 추적기의 원리

거리 추적은 레이더의 반사신호에 대한 시간적인 위치 이동을 시시각각으로 정확히 측정하기 위한 것이므로 추적 정도를 높이기 위해서는 레이더의 송신 펄스 폭에서 Gate 가 이동할 수 있어야 한다. 예를 들면 펄스 폭이 1 μ s 인 레이더 펄스를 아무 곳이나 Gate 를 위치시켜 추적한다면 추적 오차는 최대 150 m 가 된다. 만일 표적 신호의 중심과 Gate의 중심이 같

다면 거리 오차는 영이 된다.

실제로 여러 가지 환경적인 영향으로 거리 오차는 항상 발생한다. 특히 수신기의 열 잡음, 드리프트, 동적 지연 (lag) 등의 서보 오차, 지터 등의 시간적 불안정성, 참 거리와의 교정, 레이더내 시간 지연의 교정 등의 오차 등 여러 가지 요인이 있다 [1]. 발생하는 거리 오차를 계산하여 표적 신호의 중심에 Range Gate 를 유지시킬 수 있으면 최소의 거리 오차를 유지하면서 추적할 수 있다.

아날로그 거리 추적기의 한 예로서, [4] 의 논문에서는 Range Gate 를 Early 와 Late Gate 로 갈라서 각각의 커패시터에 충전된 전하량을 비교한다. 그림 1 에 그 구조가 나와있다. 여기서 Early Gate 와 Late Gate 는 역의 관계를 가지며 커패시터에 충전된 전압을 더하게 되면 거리 오차를 구할 수 있다.

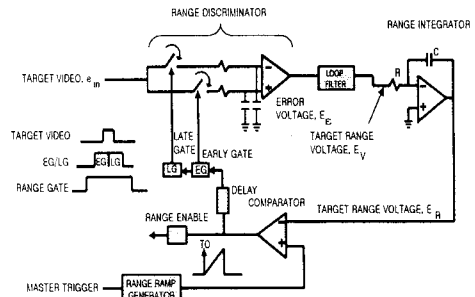


그림 1. 아날로그 방식의 거리 추적기 구조

그림 1 에서 수신 펄스 e_{in} 이 그림 2 (a) 와 같이 들어오면 Range Discriminator 는 그림 2 (b) 와 같이 Range Gate 를 Early Gate 와 Late Gate 로 나누어서 입력 e_{in} 을 Gating 을 한다. Gating 후 Capacitor에 충전된 전압은 그림 2 (c) 와 같고 두 신호가 합해지면 거리 오차 전압이 나온다. 이 전압을 줄이는 방향으로 Gate 를 이동시켜 거리 오차를 줄이게 된다.

이 방법은 구현하기 쉬운 장점이 있으나 거리 오차의 정확도가 떨어지고 최대 거리오차가 Gate의 펄스 폭에 비례하기 때문에 본 논문에서 제시한 방법에 비해 거리오차가 크게 나타난다. 또한 아날로그 방식으로 되어 있기 때문에 잡음에 매우 취약하다는 단점이 있어 특히 표적의 거리 오차 전압인 E_e 가 잡음에 의한 영향으로 특정 범위 미만으로 줄일 수 없는 경우가 발생한다. 여러 가지 아날로그 방식의 약점을 극복하기 위해 본 논문에서는 Range Discriminator를 디지털로 설계하는 방식을 제안하고 실험을 통해서 성능 향상을 확인한

다.

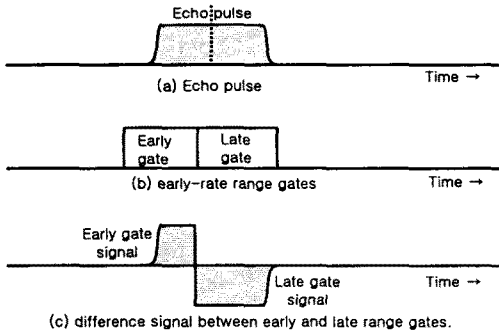


그림 2. Split-Gate 방식의 추적 절차

2.2 제안된 디지털 거리 추적기의 구조

본 논문에서 제시한 디지털 거리 추적기는 그림 3 과 같이 구성되어 있다.

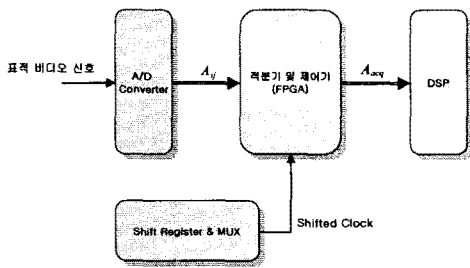


그림 3 제안된 디지털 거리 추적기의 구성도

여기서 A_{ij} 는 A/D 변환된 입력 비디오 신호의 i 번째 Range Bin 에 대한 Range Address와 j 번째 PRF 에서의 수신 펄스에 의한 것을 나타내고, A_{acc} 는

$$A_{acc} = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_R\} \quad (1)$$

이다. 식 (1) 에서 R 은 최대 Range Bin 의 값이고, A_R 은 Range Bin Address 의 R 번째의 A/D 변환된 값들의 합으로 다음과 같이 표시된다.

$$A_R = \sum_{j=1}^N A_{Rj} \quad (2)$$

여기서 N 은 펄스의 최대 적분회수를 나타내며 신호 대 잡음비를 높이고 거리오차를 최대로 할 수 있는 값으로 설정한다. 전체 획득된 비디오 신호의 전압 V 는 다음과 같다.

$$V = \frac{A_{acc}}{N \times 2^n}, \quad V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_R\} \quad (3)$$

여기서 n 은 A/D 변환의 변환 비트 수를 나타내고, V_1 은 A_1 에 대해 적분 후 전압으로 환산한 값이며 이 값이 문턱전압 이상이 되면 의미 있는 신호로 간주되어 적절히 처리된다.

그림 3 에서 만일 표적과 추적 레이더의 상대 속도가 영이라면 같은 위치에 표적 비디오 신호가 들어오고 적분을 하면 같은 신호가 같은 Range Address에서 적분이 된다. 하지만 일반적으로 상대 속도가 존재하기 때문에 그림 4 (a)처럼 적분을 할 때 비디오 신호가 이동하게 되며 이를 고려하지 않고 적분을 하면 (c) 에서 보이는 신호처럼 신호가 전체적으로 퍼지게 된다. 적분한 비디오 신호가 퍼지면 정확한 중심 값을 찾기가 어려워지기 때문에 거리오차가 부정확해지게 된다.

이 문제를 해결하기 위해서는 표적과 추적 레이더의 상대 속도에 비례하여 Range Address 를 이동시켜 표적 신호를

적분하는 동안 상대속도가 영인 것처럼 해주면 된다. Range Address 를 움직여 주기 위해서 Time Shift 된 여러 개의 5 MHz의 적분 클럭을 100 MHz의 클럭으로부터 발생시킨다. 여기서 비디오 신호의 움직임에 비례해서 Range Address 를 이동시켜 주기 위해서 적절히 이동된 5 MHz 클럭을 선택해 준다.

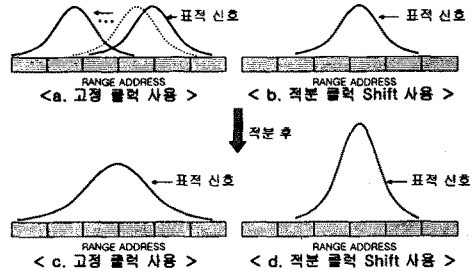


그림 4. 비디오 신호 적분시 비디오신호의 변화

2.3. 디지털 Range Discriminator

본 논문에서 제시하는 디지털 Range Discriminator 는 그림 5 와 같다. 그림 3 에서 표적 신호는 적분기에서 200 ns 단위 즉 30 m 단위로 Range Address에 적분되어 저장된다. 발생 가능한 최대 거리 오차는 30 m 이며 이 값은 디지털 Range Discriminator를 사용하지 않을 때 발생하는 최대 오차이다. 이 범위를 넘어 서게 되면 추적에 실패할 가능성이 있다. 그림 5 에서 적분된 표적 신호의 전압 V 에서 가장 큰 값과 세번째 큰 값 두 값의 위치를 이용하여 Range Gate 를 위치시킨다. 이 두 값이 같아지는 위치로 Range Address 를 이동시키면 Range Gate 에 들어오는 비디오 신호는 거리 오차를 영으로 가지게 된다. 즉 그림 5 (b) 에서처럼 시간 ΔT 만큼 Range Address 를 이동시키면 보상이 이루어진다. 이상적으로는 거리 오차가 영이 되겠지만 실제로는 계속적으로 이동한 표적의 비디오 신호가 들어오기 때문에 거리 오차가 영이 되도록 계속적으로 보상을 해주어야 한다.

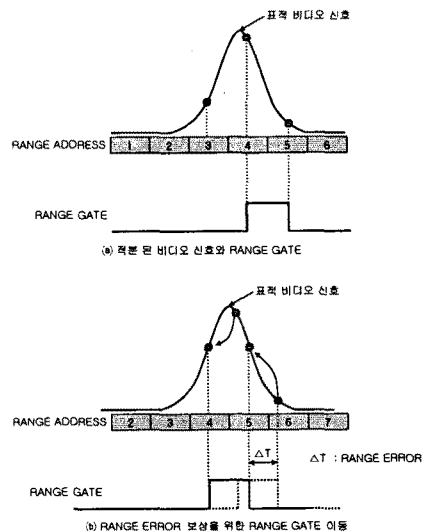


그림 5. 디지털 Range Discriminator

3. 하드웨어 구현 및 테스트

본 논문에서 제시한 디지털 거리 추적기는 XILINX FPGA를 사용하여 구현하였으며 FPGA 내부에 사용되는 클럭은 5MHz이다. 실제 Range Error를 최소화 하기 위해서 100MHz의 빠른 시스템 클럭을 사용하여 FPGA 내부에서 사용되는 5MHz 클럭을 Shift하여 사용하였다.

본 논문에서 제시한 디지털 거리 추적기의 테스트는 추적 레이더를 사용하여 모의 표적 획득 시험을 하였으며 사용된 모의 표적과 추적 레이더의 상대속도는 정속도이다.

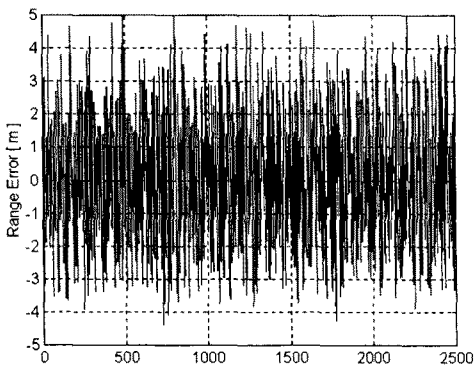
본 논문에서 테스트를 위해 사용한 모의 표적의 거리 오차가 1m이다.

4. 결론

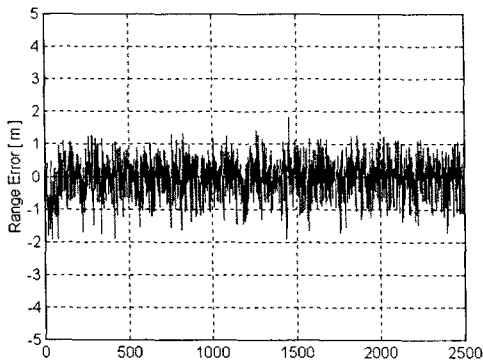
본 논문에서는 디지털 거리 추적기중 레이더와 표적과의 상대적인 이동에 의한 거리오차의 부정확성을 보상해주는 부분과 Gate 에 의해 거리오차를 추출해내는 부분에 대한 알고리즘을 제안하고 이를 FPGA 로 구현한 결과를 제시하였다. 또한 구현된 거리추적기의 성능을 실험을 통해 확인하였다. 구현된 디지털 거리추적기는 향후 추적 레이더뿐 아니라 탐색기나 자동차의 충돌 방지용 레이더등 다양한 형태의 추적 시스템에 적용이 가능하리라 본다.

(참고 문헌)

- [1] M.I. Skolnik, Introduction to Radar Systems. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [2] P.L. Bogler, Radar Principles with Applications to Tracking Systems, John Wiley & Sons, 1990.
- [3] E. Drogin, "Building a range tracker with digital circuits," Electronics, pp. 86-90, March, 1972.
- [4] Q. Li, P. Ilavarasan, John E. Ross, Dennis P. Nyquist, " Radar Target Identification Using a Combined Early-Time/Late-Time E-pulse Technique." IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. 46, pp. 1272-1278, Sep. 1998.



(a) 거리 추적기 사용 전



(b) 거리 추적기 사용 후

그림 6. 실험 결과

(6.a) 는 거리 추적기를 사용하지 않고 단지 디지털 적분만을 하고 DSP에서 획득한 data에 대한 거리 오차를 보상해 주었을 경우 발생하는 거리 오차이다. 발생하는 거리 오차는 -5m ~ +5m 사이에서 감소 증가함을 알 수 있다.

(6.b) 는 본 논문에서 제시한 거리 추적기를 사용하였을 경우 발생하는 거리오차이다. 발생하는 거리 오차는 -1m ~ +1m 사이에서 감소 증가를 함을 알 수 있다. 실제 본 논문에서 사용된 모의 표적 발생기의 거리 오차가 1m 였으므로 좀더 정밀한 모의 표적 발생기를 사용하게 된다면 거리 오차 폭을 좀더 줄일 수 있을 것이다.