

레이저 펄스열의 2차 차분을 이용한 PRI 패턴 분석

Analysis of PRI Pattern with the Second Deviation of LASER Pulse Train

임중수*, 홍경호*, 전갑송*, 문성철*, 이창재**, 서석훈***
백석대학교 정보통신학부*, 삼성탈레스*, 국방과학 연구소**

Joong-Soo Lim(jslim@bu.ac.kr)*, Kyung-Ho Hong(khhong@bu.ac.kr)*,
Gab-Song Jun(gsjun007@paran.com)**, Moon-Sung Chul(gabsong.jun@samsung.com)**,
Chang-Jae Lee(gabsong.jun@samsung.com) , Suhk-Hoon Suh(gabsong.jun@samsung.com)***

요약

본 논문은 임의의 펄스 레이저 송신기에서 방사되는 레이저 펄스 신호를 실시간으로 수신하여 수신된 레이저 펄스열(pulse train)의 펄스 반복주기(pulse repeat interval: PRI)의 형태와 반복 시간을 계산하는 방법에 대하여 기술하였다. 레이저 송신기에서 방사되는 펄스열의 형태와 주기는 고정(fixed), 지터(jitter), 삼각파 등 매우 다양하며, 이러한 레이저 신호의 PRI 패턴을 구하기 위해서 펄스도래시간(time of pulse arrival)의 1차 차분과 2차 차분을 이용하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 TOA의 1차 차분의 표준편차가 평균값의 5%이하이면 수신된 펄스열은 고정 PRI 패턴 또는 지터 PRI 패턴이며, 5% 이상이면 삼각파 또는 톱니파 등의 PRI 패턴으로 분리한다. 본 알고리즘을 이용하여 펄스열을 분리한 결과 신호 분석능력이 우수하여 레이저 감시 시스템 등에 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 중심어 : | 레이저 | 펄스반복간격 | 삼각파 | 도착시간 | 표준편차 | 전자보호 |

Abstract

This paper presents a method of PRI de-interleaving for LASER pulse signals. When the PRI of LASER pulse is periodically changed, the first deviation and the second deviation of TOA is used to calculate the PRI pattern of input LASER signals of receiver. If the standard deviation of the first difference of TOA is less than 5% of the average of the first difference of TOA, the PRI pattern of LASER signal is fixed or jittered type. If the standard deviation is larger than 5% of the average, those are triangular PRI patterns or sawtooth PRI patterns.

■ keyword : | Laser | PRI | Triangle | Sawtooth | TOA | Standard Deviation | EP |

1. 서론

레이저(LASER) 기술이 발달되어 최근에서 레이저 펄스를 이용한 거리측정기, 레이저 표적 지시기, 레이저 빔 라이더가 많이 사용되고 있다. 또한 신형 레이저 장

비들은 전자전(Electronic Warfare)에 대응하기 위하여 고속 전자스캔에 의한 빔 운용 및 펄스반복주파수(Pulse Repeat Interval: PRI) 변경과 같은 고도의 EP(Electronic Protection)능력을 갖추고 있어서 레이저 등 전자파 운용 신호 환경이 더욱 복잡해지고 있다

* 본 연구는 KHP 사업과 RDRC 연구과제로 수행되었습니다.

접수번호 : #080116-001

접수일자 : 2008년 01월 16일

심사완료일 : 2008년 04월 01일

교신저자 : 임중수, e-mail : jslim@bu.ac.kr

[1][2].

이와 같이 레이저의 에미터(emitter)신호형태가 복잡해지고 신호환경이 고밀도화 됨에 따라, 레이저 감시 시스템 등에 사용하는 레이저 수신기(Laser receiver)는 높은 신호 포착 확률을 가지고 있어야 하며, 또한 수신된 레이저 신호를 레이저의 파장, 펄스폭, 펄스 PRI 등을 조사하여 레이저 송신기의 위치와 종류를 정확하게 분석할 수 있어야 한다. 이러한 요구 성능을 만족시키기 위해서는 여러 개의 펄스 신호가 혼재된 경우에 각 에미터 신호를 파라메타를 이용하여 종류별로 분리하는 알고리즘 개발이 필요하며 특히, 펄스열(pulse train)의 반복 패턴을 분석하는 기술이 매우 중요하다 [3].

일반적으로, 현대의 레이저 수신기에서는 신호 환경에 존재하는 에미터 신호를 분석하고 식별하기 위하여, 수신되는 펄스신호들에 대해 신호분석에 필요한 변수들, 즉 레이저 파장, 펄스폭(pulse width), 펄스세기(pulse amplitude), 펄스도착시간(time of arrival), 펄스도착방향(angle of arrival)을 측정한다[4]. 그리고 측정된 변수로 펄스 상호간의 상관성과 펄스열의 연속성을 분석하여, 혼재된 에미터 신호들에서 각각의 에미터 신호를 분리한다. 그런데, 에미터 신호형태가 복잡해지고 신호밀도가 증가함에 따라 신호분석 시 다음과 같은 오류를 범할 수 있다. 하나의 에미터 신호를 여러 개의 에미터로 분리하거나 또는 신호 환경에 존재하는 에미터를 분석하지 못할 수 있고, 신호 환경에 존재하는 에미터가 아닌 다른 에미터로 분석할 수도 있다. 따라서 다양한 에미터 신호들이 혼재된 높은 신호 밀도에서도 높은 분석율로 에미터 신호들을 분석할 수 있는 신호분석 기법이 요구된다.

레이저 수신기에 수신되는 레이저 펄스신호를 분리하기 위해서는 각 레이저 에미터에서 사용하는 레이저의 파장과 각 에미터에서 나오는 펄스들의 PRI 패턴을 인지하여 레이저 신호를 분리하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다수의 레이저 펄스의 PRI가 고정 및 주기적인 특성을 가지고 변경되는 경우에 대해서, 레이저 펄스의 TOA의 1차 차분과 2차 차분의 평균과 표준 편차를 이용하여 레이저의 PRI 패턴을 분석하는 기

법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 TOA의 1차 차분의 표준편차와 평균값을 이용하여 고정 PRI 패턴 또는 지터 PRI 패턴의 레이저 펄스열을 분석하며, TOA의 2차 차분의 절대값의 표준편차와 평균값을 이용하여 삼각파, 톱니파 PRI 패턴의 레이저 펄스열을 분석한다.

II. 레이저 PRI 신호 형태 분석

레이저 장비들이 EP 기능을 사용하여 레이저 펄스의 PRI를 변경하는데, 대표적인 PRI형태에는 고정(Stable) PRI, 지터(Jitter) PRI, 톱니파 패턴 PRI 및 삼각파 패턴 PRI가 있다. 고정 PRI 패턴 신호는 [그림 1]에서 보는 바와 같이 인접펄스간의 간격이 일정한 것으로서 모든 i 에 대해서 $t_i - t_{i-1}$ 가 일정한 주기(T)인 가장 간단한 기본 형태이다.

레이저 장비 또는 에미터에서 발생하는 PRI가 고정 주기 T 인 신호의 발생시각을 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$t_k = t_{k-1} + T, \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

이러한 에미터 신호를 수신기에서 측정하여 펄스간의 시간차를 Y_k 라 하였을 때, 측정오차(e_k)는 식 (2)와 같이 표현되고, 측정오차 e_k 는 확률변수로서 평균이 0, 표준편차가 σ 인 정규분포를 가진다.

$$e_k = Y_k - T, \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

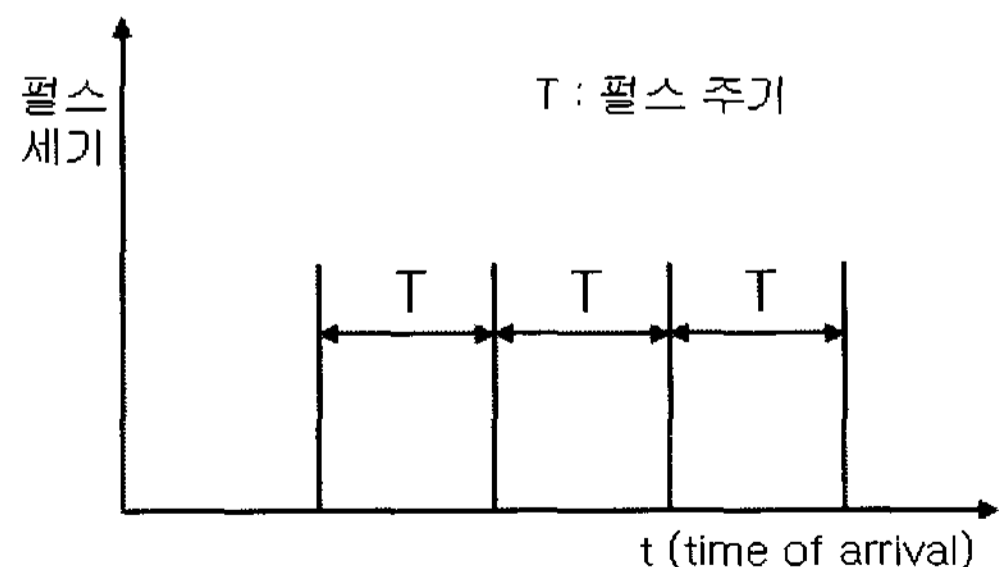


그림 1. 고정 PRI 패턴의 레이저 펄스 신호

지터 PRI 패턴신호는 평균 펄스주기(T) 값을 중심으로 펄스 반복 주기가 지터 폭의 범위를 가지고 변화하는 신호로서 신호식별을 어렵게 하기 위해서 고의적으로 펄스 신호를 변화시킬 수도 있고, 또는 발진기 시간회로의 불안정에 의하여 변화될 수도 있다. 에미터에서 발생시키는 기본 PRI가 T 이고 지터비율이 a 인 지터 PRI 신호의 발생시각을 수식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$t_k = t_{k-1} + T(1 \pm a), \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

여기서 지터의 변화분포는 에미터 신호의 종류에 따라 가우스 분포(Gaussian Distribution) 등을 갖는다. 이와 같은 지터 PRI 신호가 수신기에 수신되어 측정되었을 때, TOA의 1차 차분의 평균은 T 가 될 것이다. 분산은 에미터에 따라 차이가 있지만 고정 PRI를 변화시키지 않고 발진기 시간회로의 불안정으로 인해 PRI가 변화되는 경우에는, PRI 변화의 평균이 0이고 표준편차가 비교적 작을 것이다. 레이저펄스 신호분석 시 이러한 특성을 이용하면 고정 PRI 신호와 지터 PRI 신호의 구분이 가능해진다.

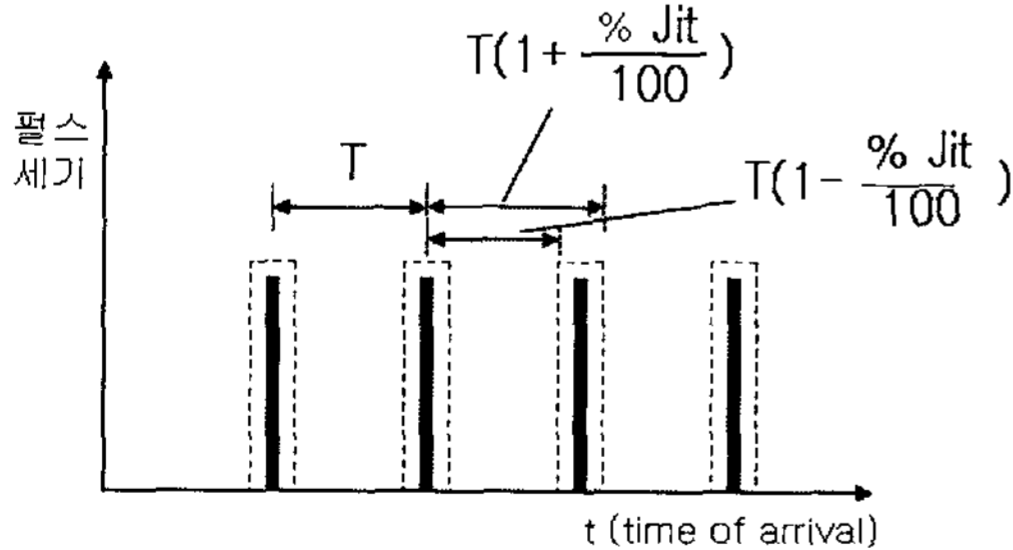


그림 2. 지터 PRI 패턴의 레이저 펄스 신호

고정 PRI 패턴 신호와 지터 PRI 패턴 신호 외에 일반적인 패턴 PRI 신호의 형태는 신호의 PRI 변화가 주기를 가지고 증가 또는 감소하는 모양을 갖는다. 레이저 펄스 신호에서 사용될 가능성이 높은 삼각파 PRI 패턴 신호와 톱니파 PRI 패턴 신호의 모양은 [그림 3][그림 4]와 같다. 삼각파 PRI는 기준 PRI 값을 전후해서 PRI

값이 일정시간 증가했다가 일정시간 감소하는 특성을 갖고 있다. 톱니파 PRI 패턴은 기준 PRI 값에서 출발하여 일정시간 PRI가 증가하다가 갑자기 감소하여 기준 PRI 값이 된 후에 다시 일정시간 PRI가 증가하다가 갑자기 감소하는 형태를 반복된다[5][6].

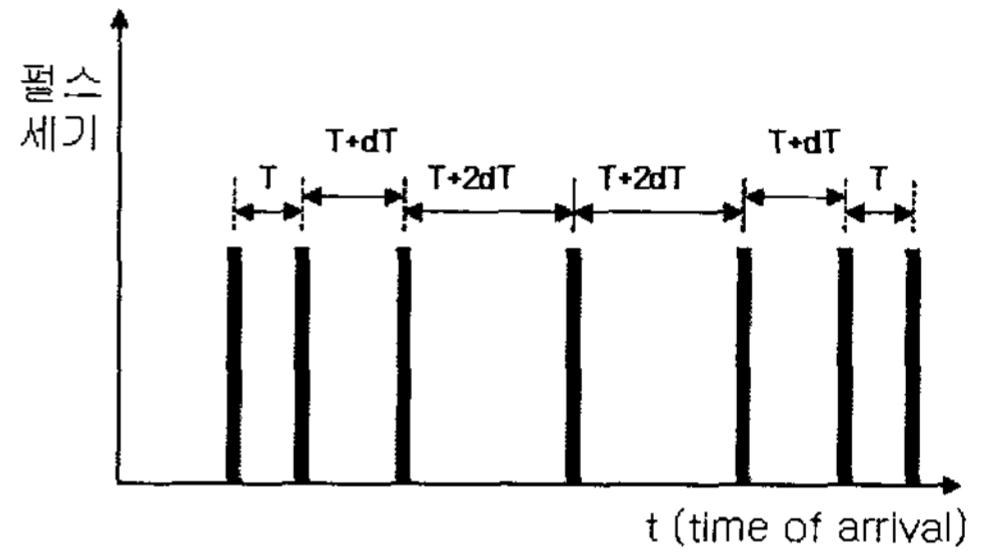


그림 3. 삼각파 PRI 패턴의 레이저 펄스 신호

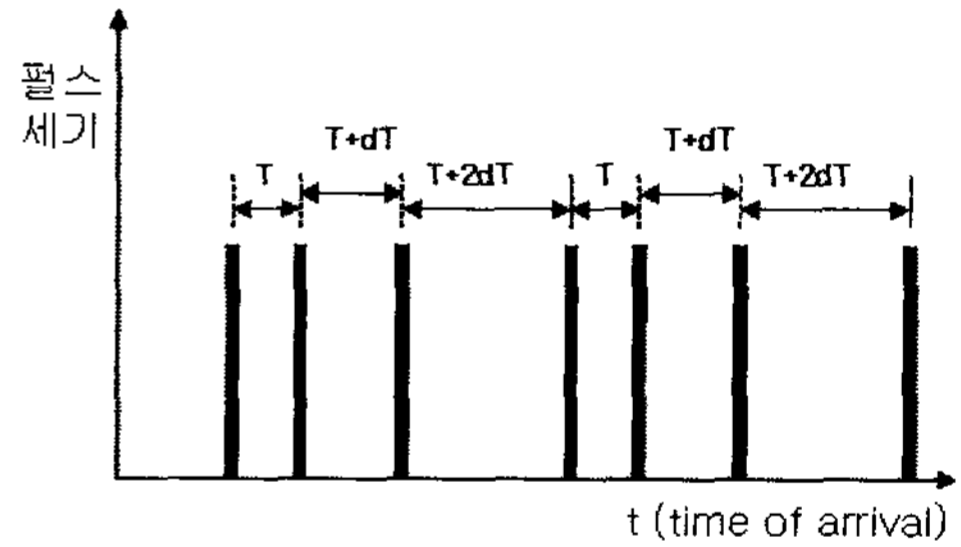


그림 4. 톱니파 PRI 패턴의 레이저 펄스

III. 방위와 파장에 의한 레이저 펄스 그룹화

레이저 수신기는 상대방에서 발사하는 레이저 신호를 수신하여 레이저의 종류를 분석하는 장치로서 크게 수신센서와 신호처리기로 나누며, 레이저 수신기에는 여러 방향에서 파장이 다른 다수의 레이저 신호원에서 보낸 신호가 수신된다. 수신센서에서는 레이저 펄스가 수신될 때마다 펄스에 포함된 정보를 64 bit 또는 128 bit의 펄스 설명 정보(Pulse Description Word: PDW) 형태로 펄스가 입력된 시간을 기준으로 생성하며, 여기에는 신호의 입력 방향에 대한 도래 방위각(Angle of Arrival: AOA), 레이저 파장, 펄스 도착시간(TOA), 펄스폭 등에 대한 레이저 펄스의 변수(parameter)가 포함

되어 있다. 따라서 1번 레이저 에미터가 0.1초 간격으로 레이저 신호를 송신하면 레이저 수신기는 0.1초 마다 1번 에미터에 대한 PDW를 생성해서 신호처리기로 보낸다[7].

신호처리기는 수신센서에서 보내주는 PDW 신호들을 분석하여 상대방이 송신한 레이저 에미터가 1번 에미터인지 아니면 2번 에미터인지 등을 구별하기 위해서 사용된다. 그러나 신호처리에 입력되는 PDW가 한 종류의 에미터에 대해서 일정하게 수신되는 것이 아니라, 동시에 여러 개의 에미터의 PDW가 입력되기 때문에 각각의 송신 에미터를 분리하기가 어렵다. 신호처리기는 각각의 송신 에미터를 분리하기 위하여 각 펄스의 PDW에 포함된 레이저의 파장과 신호가 입력된 방향, 펄스폭, 레이저 펄스의 PRI 형태에 관련된 변수를 이용하여 동일 에미터의 펄스들을 단계적으로 그룹화하여 송신된 레이저 신호의 특성과 종류를 식별한다. [그림 5]는 AOA와 파장을 세로 변수로 하고 TOA를 가로변수로 한 linked-list 구조를 이용하는 PDW그룹화 개념도이다.

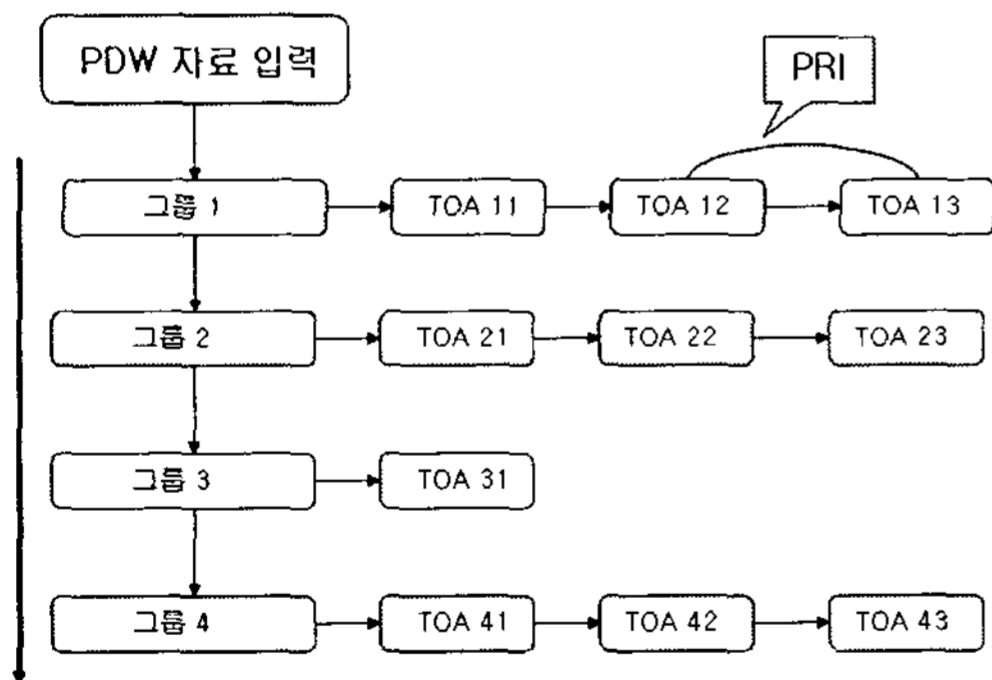


그림 5. 방위와 파장을 기준으로 분류한 그룹화

IV. TOA 차분값을 이용한 PRI 패턴 분리

수신된 레이저 펄스들은 [그림 5]에서 설명한 것과 같이 AOA와 레이저 파장에 의해서 PDW를 그룹화하였다. [그림 5]에서 각 그룹에는 한 개 에미터에서 송신된 펄스의 PDW가 모여 있을 확률이 매우 높으며, 경우에 따라서는 동일 방위-동일 파장의 레이저를 사용하는

다수의 송신 에미터에서 발생하는 펄스의 PDW가 모여 있을 수 있다. 다수 에미터인 경우는 먼저 인지된 에미터 펄스의 PDW를 제거한 뒤 남은 펄스의 PDW를 분석하는 방법을 사용하면 대부분 식별할 수 있다.

각 그룹의 펄스들에 대한 PRI 패턴을 추정하는 기법에는 펄스도착시간의 차에 대한 히스토그램을 이용하는 방법, CWT(Continuous Wavelet Transform)을 사용하는 기법, DFT(Discrete Fourier Transform)을 이용하는 기법 등이 있으며 시간이 충분할 경우에는 히스토그램을 사용하는 기법을 많이 사용한다. 그러나 현재까지 제안된 방법으로는 고정 PRI 패턴이나 지터 PRI 패턴의 신호에 대해서는 잘 분석할 수 있으나 삼각형 PRI 패턴신호나 톱니파 PRI 패턴 신호에 대해서는 패턴 추정이 어려웠다[8].

본 논문에서는 그룹 내의 각 펄스의 펄스열(TOA)의 1차 차분과 2차 차분을 이용하여 펄스의 PRI 패턴을 판단하고자 한다. 3절에서 기술한 고정 PRI 패턴 신호, 지터 PRI 패턴 신호, 삼각파 PRI 패턴 신호, 톱니파 PRI 패턴 신호의 1차 차분을 구하면 [그림 6-9]와 같다.

고정 PRI 패턴 신호의 1차 차분은 식 (1) 신호에서 식 (4)를 유도 할 수 있다. 또한 1차 차분의 평균(E)와 표준 편차(σ)를 구하면, 평균은 T , 표준편차는 0이 된다. 이러한 1차 차분의 특성을 이용하면 고정 PRI 패턴 신호를 식별할 수 있다.

$$T_i = t_k - t_{k-1} \quad k=1,2,3 \quad (4)$$

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n T_i \quad i=1,2,3, \dots \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (T_i - E)^2} \quad i=1,2, \dots \quad (6)$$

지터 PRI 패턴 신호의 1차 차분은 식 (3) 신호에서 식(7)을 유도 할 수 있다. 또한 1차 차분의 평균(E)과 표준 편차(σ)를 구하면 평균은 T , 표준편차는 평균과 비교하여 매우 적은 값 (평균값의 5% 미만)이다. 이러한 1차 차분의 특성을 이용하면 지터 PRI 패턴 신호를 식별할 수 있다.

$$t_k - t_{k-1} = T(1 \pm \alpha), \quad k=1, 2, \dots \quad (7)$$

삼각파 PRI 패턴 펄스열의 1차 차분은 [그림 8]에서 보는 바와 같이 최소 PRI 값에서 선형적으로 증가하여 최대 PRI 값이 되었다가 선형적으로 감소하여 최소 PRI 값이 되는 것을 반복하는 것을 알 수 있다. 이 경우에 PRI 평균을 구하면 최대 PRI와 최소 PRI 합的一半이 되며, 표준 편차 값은 상대적으로 커지는 것(평균값의 5% 이상)을 알 수 있다. 따라서 이 경우에는 평균값과 표준 편차의 비교로는 PRI 패턴을 판단할 수 없다.

톱니파 PRI 패턴 펄스열의 1차 차분은 [그림 9]에서 보는 바와 같이 최소 PRI 값에서 선형적으로 증가하여 최대 PRI 값이 되었다가 최대값에서 수직적으로 감소하여 최소 PRI 값이 되는 것을 반복하는 것을 알 수 있다. 이 경우에도 PRI 평균을 구하면 최대 PRI와 최소 PRI 합的一半이 되며, 표준 편차 값도 상대적으로 커지는 것(평균값의 5% 이상)을 알 수 있다. 따라서 이 경우에도 평균값과 표준 편차의 비교로는 PRI 패턴을 판단할 수 없다. 왜냐하면 삼각파와 펄스파 PRI 패턴 신호의 평균과 표준편차가 유사하게 나타나기 때문이다.

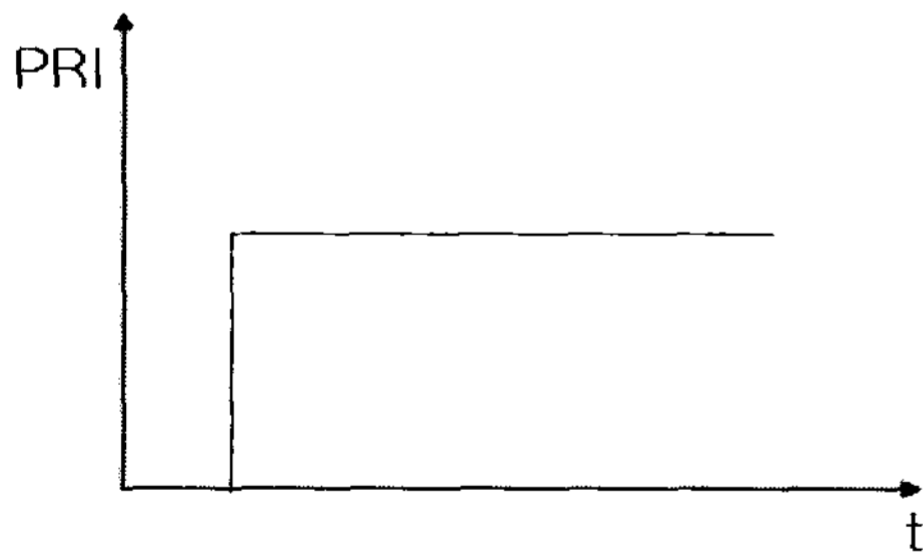


그림 6. 고정 펄스 PRI 펄스열의 1차차분

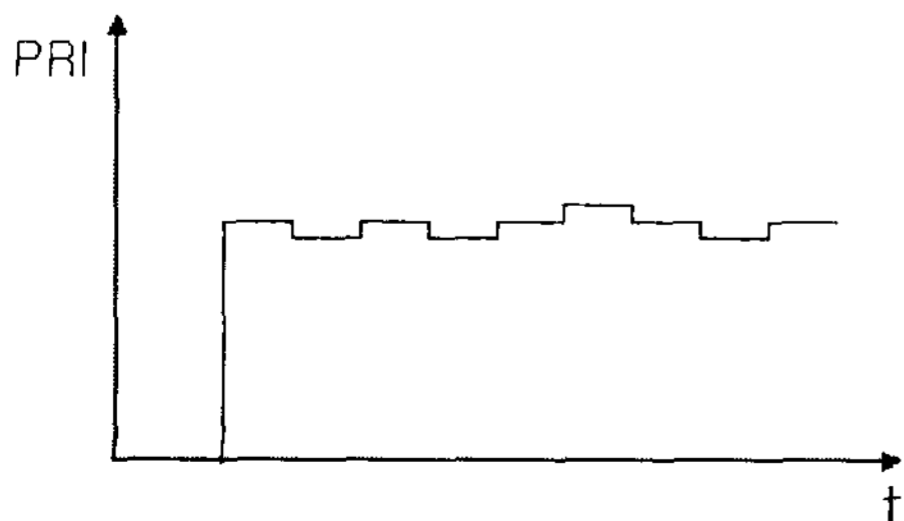


그림 7. 지터 펄스 PRI 펄스열의 1차 차분

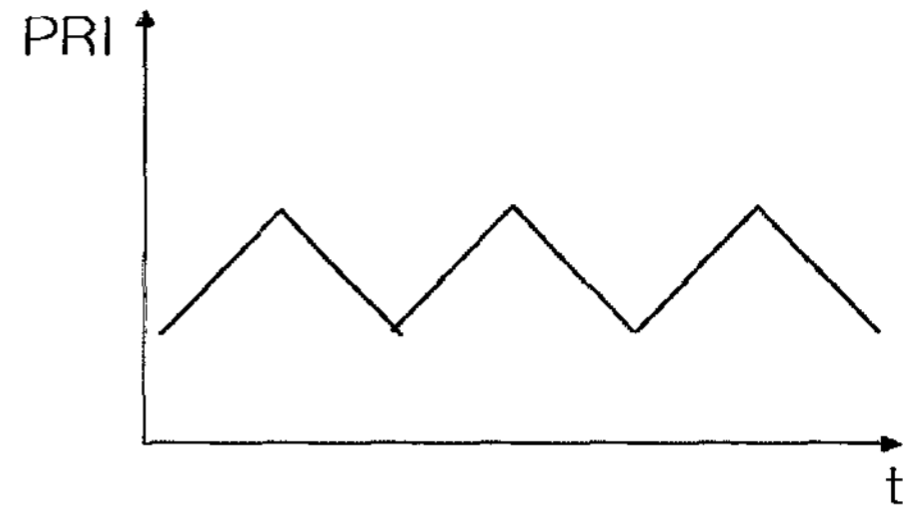


그림 8. 삼각파 PRI 펄스열의 1차 차분

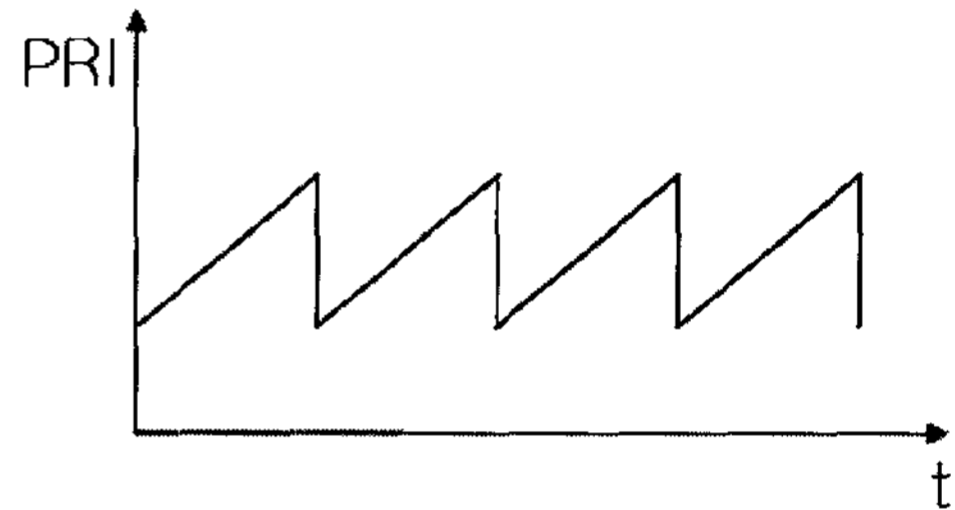


그림 9. 톱니파 PRI 펄스열의 1차 차분

삼각파와 톱니파 PRI 패턴 신호를 구분하기 위해서 펄스열의 2차 차분 즉, PRI의 1차 차분을 식 (8)과 같이 구할 수 있다. 삼각파는 대부분의 경우에 등변 삼각형을 사용하므로 PRI가 증가하는 시간과 감소하는 시간이 대칭이며, 펄스열의 2차 차분을 그림으로 그리면 [그림 10]과 같이 일정크기의 양수값이 2회 이상 반복되다가, 일정크기의 음수값이 2회 이상 반복되는 것을 주기적으로 반복하는 것을 알 수 있다. 이 경우에 2차 차분의 절대값의 평균과 표준 편차를 구하면, 평균은 ΔT_j 와 같은 일정한 값이 되고, 표준편차는 0 이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우에는 펄스열의 2차 차분의 절대값의 평균값과 표준 값의 비교로는 펄스열의 패턴을 판단할 수 있다.

$$\Delta T_j = T_j - T_{j-1} \quad j=1, 2, 3 \quad (8)$$

톱니파 PRI 패턴 신호는 증가형 톱니파 패턴과 감소형 톱니파 패턴으로 구분된다. 증가형 톱니파 패턴 신호의 펄스열의 2차 차분을 그림으로 그리면 [그림 11]과 같이 일정크기의 양수값이 3회 이상 반복되다가 절

대값이 큰 음수값이 1회 나타나고, 다시 일정크기의 양수값이 3회 이상 반복되다가 절대값이 큰 음수값이 1회 나타나는 것을 주기적으로 반복하는 것을 알 수 있다. 이 경우에 음수값을 제외한 2차 차분의 평균과 표준편차를 구하면, 평균은 ΔT_j 와 같은 일정한 값이 되고, 표준편차는 0이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우에는 펄스열(TOA) 2차 차분의 평균값과 표준값의 비교로는 PRI 패턴을 판단할 수 있다.

감소형 톱니파 패턴 신호의 TOA의 2차 차분을 그림으로 그리면 [그림 12]와 같이 일정크기의 음수값이 3회 이상 반복되다가 절대값이 큰 양수값이 1회 나타나고, 다시 일정크기의 음수값이 3회 이상 반복되다가 절대값이 큰 양수값이 1회 나타나는 것을 주기적으로 반복하는 것을 알 수 있다. 이 경우에 양수값을 제외한 2차 차분의 평균과 표준 편차를 구하면, 평균은 ΔT_j 와 같은 일정한 값이 되고, 표준편차는 0이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우에는 TOA 2차 차분의 평균값과 표준편차의 비교로는 PRI 패턴을 판단할 수 있다.

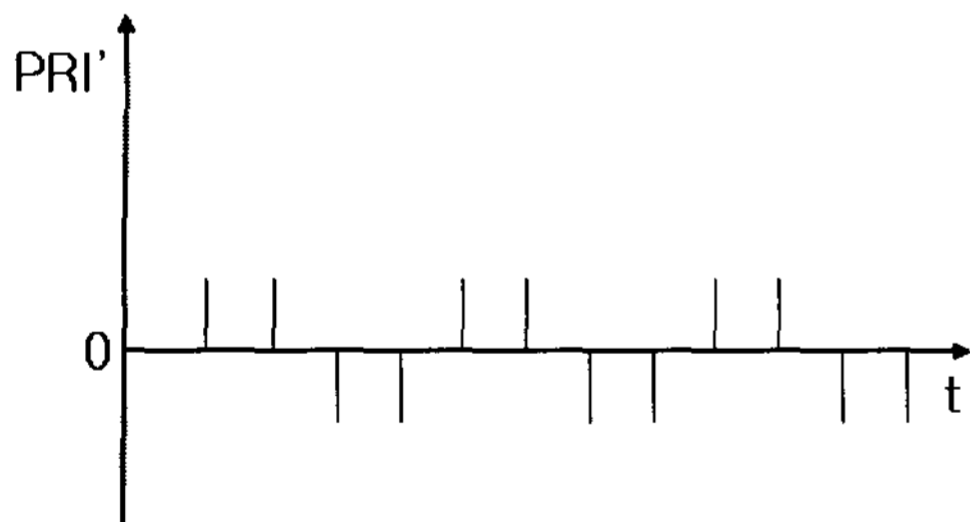


그림 10. 삼각파 PRI 펄스열의 2차 차분

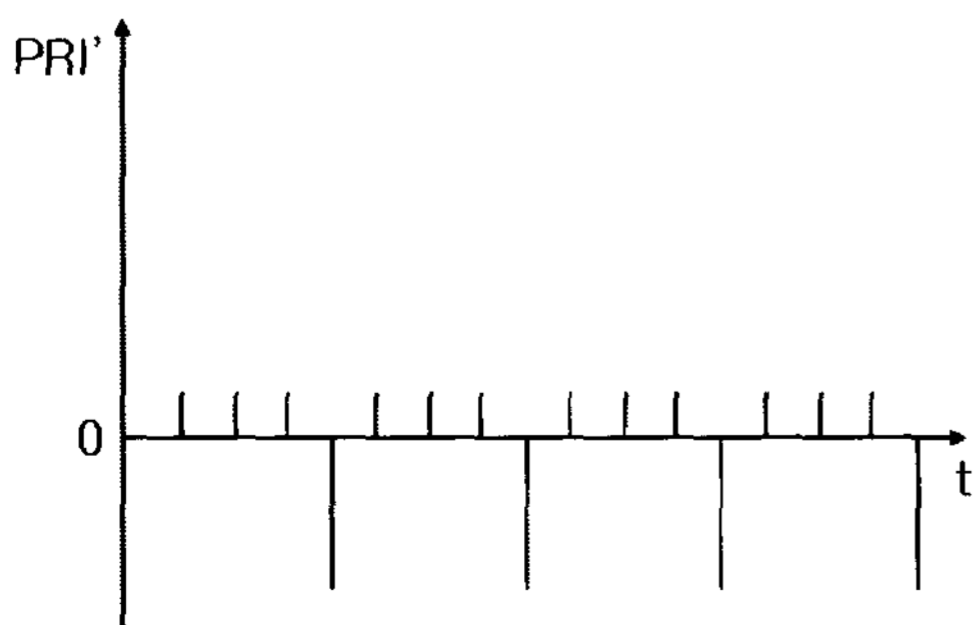


그림 11. 증가톱니파 PRI 펄스열의 2차 차분

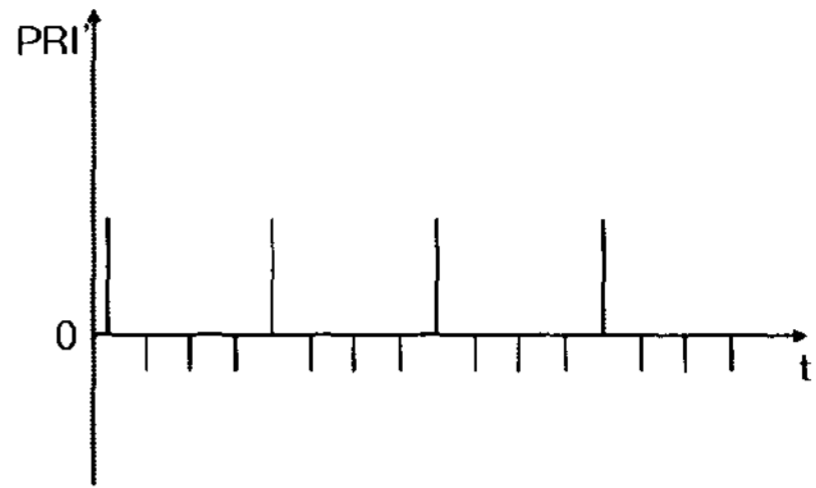


그림 12. 감소톱니파 PRI 펄스열의 2차 차분

V. TOA 차분값을 이용한 PRI 패턴추정 알고리즘

4 절에서 분석한 TOA의 1차 차분과 2차 차분의 평균과 표준편차의 특성을 이용하여 LWR 신호처리에 입력된 레이저 신호의 PRI 패턴을 판단하는 알고리즘을 작성할 수 있다. [그림 5]의 각 그룹에 저장된 PDW 신호의 PRI 패턴을 판단하는 전체 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 레이저의 펄스도착시간(Time of arrival: TOA)에 관련된 자료 입력.
- 2) 펄스도착 시간차, 즉 PRI를 구함.
- 3) 식 (8)을 이용하여 TOA의 1차 차분, 즉 PRI의 평균(E)과 표준편차(C)를 구함.
- 4) PRI의 표준편차가 평균의 1% 미만의 범위를 가지는 경우는 고정 펄스열(Fixed PRI)로 판단.
- 5) PRI의 표준편차가 평균의 1%이상 5%미만의 범위를 가지는 경우는 지터 펄스열(Jittered PRI)로 판단.
- 6) 그 외의 경우는 TOA의 2차 차분, 즉 PRI의 1차 차분을 구함.
- 7) PRI 1차 차분 절대값의 평균과 표준편차를 구함.
- 8) PRI의 1차 차분 값이 일정한 주기를 가지고 음수 값 2회 이상과 양수 값 2회 이상을 유지하면서 반복하면 삼각파 형태의 펄스열로 판단.
- 9) 7)에서 계산한 PRI의 1차 차분값의 표준편차가 평균의 1%미만이면 PRI가 삼각파인 펄스열로 판단.
- 10) 표준편차가 평균의 1%이상 5%이하이면 PRI가 지터 삼각파인 펄스열로 판단.
- 11) 그 외의 경우는 PRI가 톱니파 또는 복합파 형태의 펄스열로 분류.

VI. 전자모사 결과분석 및 결론

본 논문에서 제시한 레이저 펄스 PRI 패턴 분석 알고리즘을 시뮬레이터로 구성해서 64비트로 작성된 각종 PRI 패턴의 PDW를 입력한 뒤 그 결과를 분석하였다. 작성된 프로그램은 고정 PRI 패턴 신호, 지터 PRI 패턴 신호, 삼각파 PRI 패턴 신호, 톱니파 PRI 패턴 신호를 짧은 시간에 정확하게 분리 하였으며 그 결과는 [그림 13]과 같다.

본 논문에서 제시한 TOA의 1차 차분과 2차 차분의 평균값과 표준 편차를 이용하여 PRI 패턴을 식별하는 방법은 현재까지 레이저 수신기에서 식별하기가 매우 어려웠던 삼각파 PRI 패턴 신호와 증가형 톱니파 PRI 신호, 감소형 톱니파 PRI 신호를 구분할 수 있게 되었다. 특히 이러한 방법은 기존에 사용하던 각 그룹에서 펄스들 간의 TOA 차를 히스토그램으로 작성하여 PRI와 PRI 변화폭을 판단하던 히스토그램을 이용하던 방법보다 분석 시간이 짧아졌으며 삼각파, 톱니파, 혼합파 등 다양한 종류의 PRI 패턴을 구할 수 있게 되었다.

```
Incomed PDW :
3000 3100 3200 3301 3400 3499 3600
3701 3799 3899 4000 4100 4202 4300 4398 4500
4602 4702 4799 4901
First Differences :
100 100 101 99 99 101 101 98 100 101
100 102 98 98 102 102 100 97 102
Average = 95.050000, Standard deviation = 1.544657
Zittered PRI
```

(a) Jittered PRI 패턴 분석

```
Incomed PDW :
3000 3100 3300 3600 4000 4500 5100
5600 6000 6300 6500 6600 6800 7100 7500
8000 8600 9100 9500 9800
First Differences :
100 200 300 400 500 600 500 400 300
200 100 200 300 400 500 600 500 400 300
Second Differences :
100 100 100 100 100 -100 -100 -100 -100
-100 100 100 100 100 100 -100 -100 -100
plus=5, minus=5
Average = 100.000000, Standard deviation = 0.000000
Triangular Wave PRI
```

(b) 삼각파 PRI 패턴 분석

Incomed PDW :	3000	3100	3300
	3600	4000	4500
	4800	5100	5500
	6100	6300	6600
	7500	7600	7800
	8500		8100
First Differences :	100	200	300
	400	500	100
	300	400	500
	200	300	400
	100	200	300
Second Differences :	100	100	100
	100	-400	100
	100	100	-400
	100	100	100
	100	100	100

plus=4, minus=1
Average = 100.000000, Standard deviation = 0.000000
Saw Tooth Wave PRI

(c) 톱니파 PRI 패턴 분석

그림 13. 펄스열의 PRI 패턴 분석 결과

참고 문헌

- [1] H. E. Hassan, "A new algorithm for radar emitter recognition," Proceeding of 3rd International Symposium on Image and Signal Processing 2003, Vol.2, pp.1097-1101, 2003(9).
- [2] G. D. Curtis Schleher, *A Electronic Warfare in the Information Age*, Artech House, Boston, 1999.
- [3] N. Filippo, *Introduction to Electronic Defense Systems, 2nd edition*, Artech House, Boston, 2001.
- [4] T. Joseph, Verdeyen, *LASER ELECTRONICS*, Prentice Hall International, Inc. 2nd edition, 1989.
- [5] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*, Chapman and Hall/CRC, NY, 2000.
- [6] C. Richard, *Radar System Performance Modeling*, Artech House, Boston, 2001.
- [7] B. Leroy, B. Van, *Applied ECM, Volume 3*, EW Engineering, Inc. VA, 1982.

[8] 유영진, 자기상관관계를 이용한 레이저 신호의 펄스간 변조특성분석 기법, 충남대학교 박사논문, 2007(2).

저자소개

임중수(Joong-Soo Lim)

정회원



- 1978년 2월 : 경북대학교 전자공학(공학사)
- 1987년 8월 : 충남대학교 전자공학(공학석사)
- 1994년 3월 : Auburn University Dept. of EE(공학박사)

- 1994년 1월 ~ 2003년 2월 : 국방과학연구소 책임연구원/ 전자탐지 팀장
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수
- 2007년 1월 ~ 현재 : 정보전자연구회 위원장

<관심분야> : 전자파 수치 해석, 초고주파 시스템

홍경호(Kyung-Ho Hong)

정회원



- 1993년 2월 : 영남대학교 전자공학(공학 석사)
- 2000년 2월 : 영남대학교 전자공학(공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야> : 패턴인식, 신경망, 임베디드 시스템

전갑송(Gab-Song Jun)

정회원



- 1998년 8월 : 연세대학교 전자공학(공학사)
- 2003년 2월 : 아주대학교 시스템공학(공학석사)
- 1998년 7월 ~ 2006년 5월 : 대우 고등기술연구원 선임연구원

• 2006년 5월 ~ 현재 : 삼성탈레스 책임연구원
<관심분야> : 관성항법 시스템 분야, 레이저 시스템 분야

문성철(Moon-Sung Chul)

정회원



- 1989년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 삼성탈레스 수석연구원

<관심분야> : 레이저시스템분야

이창재(Chang-Jae Lee)

정회원



- 1982년 2월 : 영남대학교 물리학과(공학사)
- 1985년 5월 : 미국 햄프턴 대학교 물리학과(공학석사)
- 1991년 5월 : 미국 올드도미니온 대학교 물리학과(공학박사)

- 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> : 광학 및 레이저 응용 분야

서석훈(Suhk-Hoon Suh)

정회원



- 2003년 8월 : 단국대학교 전자공학과(공학박사)
- 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> : 동적 시스템의 고장 진단