

논문 2017-54-4-10

병렬프로세서를 활용한 레이더 신호의 식별

(An Identification Method of Radar Signals using Parallel Processor)

김 관 태**, 주 영 관**, 박 상 환**, 진 중 남***

(Gwan-Tae Kim, Young-Kwan Ju, Sang-Hwan Park, and Joongnam Jeon[©])

요 약

전자전지원 시스템(Electronic Warfare Support System)은 레이더 신호의 식별을 위해 수집한 신호의 주파수, 펄스폭, 펄스 반복주기(PRI, Pulse Repetition Interval)등의 정보를 분석한 후 기존의 알려진 레이더 정보와 비교한다. 기존의 연구는 두 가지 단점이 있다. 첫 번째 단점은 기존의 알려진 레이더 정보를 마지막 비교단계에서만 비교한다는 점이다. 두 번째 단점은 PRI를 계산하기 위해 많은 연산이 필요하다는 점이다. 본 논문에서는 사전에 알려진 레이더 정보를 초기단계에서 활용하여 PRI를 계산하지 않고 수집된 신호에 미리 알고 있는 레이더 신호의 존재 여부를 식별하는 방법을 제안한다.

Abstract

ES (Electronic Warfare Support System) collects radar signals, and analyzes the signals about frequency, pulse width, PRI (Pulse Repetition Interval), and etc. and then ES compares analyzed result with known radar signals to identify them. But there are two disadvantage. One is that use of known radar signals is in comparing step only. The other is that calculating PRI needs many operations. In this paper proposes a parallel reference correlation algorithm that uses GPGPU (General Purpose Graphics Processing Units) and can identify what signals are in received radar signals without calculating PRI.

Keywords : PRI(Pulse Repetition Interval), GPGPU(General Purpose Graphics Processing Units), Parallel Reference Correlation, Radar Signal

I. 서 론

전자전지원 시스템(Electronic Warfare Support System)은 레이더 신호를 수집, 분석하여 레이더의 종류를 식별해 적절한 대응을 가능하게 하는 중요한 시스템이다^[1-3].

기존의 연구는 수집된 레이더 신호를 주파수, 펄스폭, 방향 등으로 군집화한 후 각 군집들에 대해 PRI (Pulse Repetition Interval)를 계산한다^[4-5]. PRI계산을 위해 도착시각의 차분 활용기법, 자기 상관관계 기법 등 수학적 기법들을 활용한다^[6-8]. 이러한 기법들은 군집의수가 증가할수록 PRI 계산시간이 선형적으로 증가하는

문제를 가지고 있다.

최근 하드웨어의 지속적인 발전으로 적게는 수백에서 많게는 수천의 연산기를 가진 GPGPU(General Purpose Graphics Processing Units)가 출시되었다. GPGPU는 그래픽을 처리하기 위해 많은 연산기를 가진 그래픽 프로세서를 병렬처리에 활용할 수 있도록 지원하는 기술이다. 그래픽처리용 GPGPU의 병렬처리 기술이 실시간 처리가 필요한 신호처리 분야에 활용한 사례들이 늘어나고 있다^[9-10].

본 논문에서는 실시간으로 레이더 신호식별을 위해 사전에 알려진 레이더 정보인 기지신호와 GPGPU의 병렬처리 기술을 활용한 병렬 참조 상관관계 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존 연구와 다르게 PRI를 계산하지 않으며, GPGPU의 많은 연산기를 활용해 기존의 방법보다 빠른 처리를 가능하게 한다.

** 정회원, *** 평생회원 충북대학교 소프트웨어학과
(Dept. of Computer Science, Chungbuk National University)
[©] Corresponding Author(E-mail : joongnam@cbu.ac.kr)

Received : July 24, 2016

Revised : March 10, 2017

Accepted : March 21, 2017

II. 관련 연구

2.1. 펄스 반복주기(PRI)

펄스 반복주기는 레이더 신호들의 도착시각이 어떤 패턴을 갖는 것을 말한다. PRI는 주파수, 펄스폭과 더불어 레이더의 중요한 특성정보중 하나이다. PRI 패턴은 고정 PRI, 스테저 PRI, 지터 PRI가 있다.

고정 PRI는 레이더가 일정한 시간 간격 P로 펄스를 생성하는 패턴이다. n번째 펄스의 방사시각 T_n 은 식 (1)로 정의한다. 이때 일정한 시간간격 P가 펄스 반복주기가 되며 Φ 는 첫 번째 펄스의 방사시각이다.

$$T_n = nP + \Phi, \quad n \geq 0 \tag{1}$$

스테저 PRI는 임의의 k개의 펄스 반복주기 F_0, F_1, \dots, F_{k-1} 를 하나의 주기로 가지며 반복적으로 k개의 펄스 반복주기가 순차적으로 나타나는 패턴이다. 일반적으로 스테저는 3~8개의 펄스 반복주기를 가진다. k개의 펄스 반복주기를 합한 반복주기를 프레임 펄스 반복주기라고 하며 식 (2)로 정의한다.

$$\text{프레임 펄스 반복주기} = \sum_{m=0}^{k-1} F_m \tag{2}$$

스테저 PRI를 계산하기 위해 히스토그램을 사용해 계산하는 방법을 비롯한 다양한 연구가 있다^[11~12]. 스테저 PRI의 방사시각 T_n 은 식 (3)으로 정의한다.

$$T_n = \begin{cases} \Phi, & n = 0 \\ T_{n-1} + F_m, & n > 0, m = (n \bmod k) \end{cases} \tag{3}$$

지터 PRI는 도착시각에 시간 간격 P를 기준으로 랜덤한 오차가 더해져 방사시각 T_n 이 나타난다. 식 (4)처럼 이전 펄스의 오차가 다음펄스에 영향을 미치지 않는 비누적 방식과 식 (5)처럼 영향을 미치는 누적방식이 있다.

$$T_n = nP + \Phi + V_n, \quad n \geq 0 \tag{4}$$

$$T_n = \begin{cases} \Phi + V_0, & n = 0 \\ T_{n-1} + P + V_n, & n > 0 \end{cases} \tag{5}$$

지터는 펄스 반복주기의 탐지를 회피하기 위해 오차를 생성한 신호이며 이 오차를 지터율이라고 부른다. 본 논문에서는 두 가지 지터 표시방법 중 이전 펄스의 오차를 고려한 누적방식을 사용하기로 한다.

2.2 기존 레이더 신호 식별 과정

그림 1은 기존 레이더 신호 식별과정이다. 기존의 방법은 먼저 레이더 신호를 수집한다. 그 다음 레이더 신호를 주파수, 펄스폭, 방향 등 여러 정보를 통해 군집으로 나눈다. 그리고 각 군집에 대해 PRI를 계산한다. 그림 1의 신호분석표는 각 군집의 분석한 특정정보를 가진 테이블이다. 마지막으로 각 군집의 주파수, 펄스폭, PRI 등의 정보를 사전에 알려진 레이더 정보인 기지신호와 비교하여 해당 군집이 어떤 레이더신호인지 식별한다. 사전에 알려진 레이더 정보인 기지신호는 레이더 참조표에 저장되어 있다. 기존의 식별방법은 수집된 혼합펄스에 존재하는 신호의 수가 증가함에 따라 군집화 시간과 각 군집에 대한 PRI계산 시간이 선형적으로 증가하는 문제가 있다. 또한 사전에 알려진 레이더 신호 정보가 있는 레이더 참조표를 마지막 단계에서만 활용하고 있다.

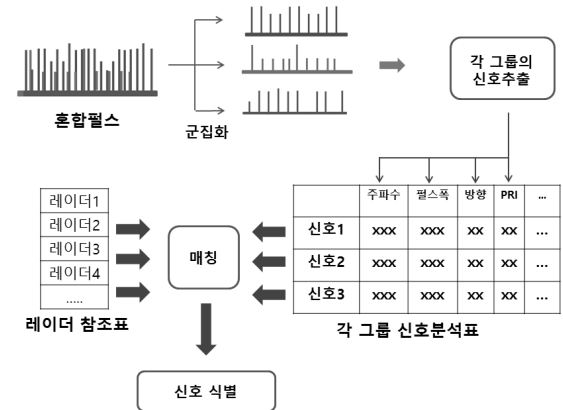


그림 1. 기존 레이더 신호 식별과정
Fig. 1. Previous radar signal identification.

III. 병렬 참조 상관관계 기법

3.1 병렬 참조 상관관계 기법의 처리과정

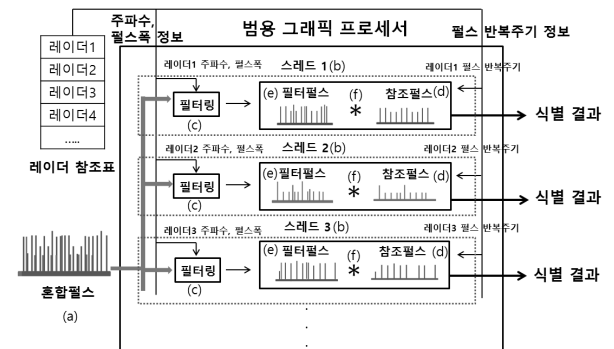


그림 2. 병렬 참조 상관관계 기법의 처리과정
Fig. 2. Parallel reference correlation.

본 논문에서 제안하는 병렬 참조 상관관계 기법은 사전에 알고 있는 레이더 정보인 기지신호와 GPGPU의 병렬처리를 활용하여 수집된 신호에 기지신호의 존재 여부를 식별하는 방법이다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 병렬 참조 상관관계 기법의 처리과정을 나타낸 것이다. 이 처리과정의 대한 자세한 처리순서는 아래와 같다.

- (a) 레이더 신호를 수집한다.
- (b) 신호식별 처리기는 GPGPU의 스레드를 사전에 알고 있는 레이더의 수만큼 생성한다. 즉 레이더 참조표에 존재하는 레이더의 수만큼 생성한다. 생성된 스레드는 레이더 참조표의 레이더신호 별로 각각 나누어 처리한다.
- (c) 각 스레드는 먼저 수집된 펄스열 중에 각 스레드가 처리할 범위에 포함되는 펄스열을 추출한다. 이 추출 과정은 각 스레드에 할당된 레이더 참조표의 주파수, 펄스폭 등을 활용해 이루어진다. 참조표의 주파수, 펄스폭 등의 신호 구분자를 통해 분리하는 과정을 필터링이라 하고, 이 과정을 통해 구분된 신호를 필터 펄스라고 한다.
- (d) 각 스레드는 필터펄스와 상관관계를 계산할 가상의 펄스를 생성한다. 이 펄스를 참조펄스라 하며 자신이 담당한 레이더 참조표의 PRI정보를 통해 생성한다. 예를 들어 어떤 레이더의 PRI가 고정이고 그 값이 100이라면, 참조펄스를 100, 200, 300,...으로 만든다. 스테저의 경우 3단이며 각 단의 PRI가 100, 200, 300이라면, 참조펄스를 100, 300, 600, 700, 900, 1200,...으로 만든다. 지터의 경우 고정PRI와 생성방법이 동일하며, 차이점은 지터울만큼 오차보정이 필요하다는 점이다.
- (e) 필터펄스와 참조펄스를 생성한 후 수집한 혼합신호에 해당 신호의 존재 여부를 식별해야 한다. 식별을 위해서는 판단 기준이 필요하다. 이 판단 기준을 상관관계 예상값이라 하며, 각 스레드가 필터링한 필터펄스로 계산한다. 마지막 펄스와 첫 번째 펄스의 도착시각 차이로 계산한다.
- (f) 상관관계 예상값을 계산한 후 필터펄스와 참조펄스의 상관관계를 계산한다. 상관관계 결과를 예상값과 비교하여 혼합펄스에 자신이 담당한 레이더 신호의 존재여부를 식별한다.

3.2 필터펄스와 참조펄스의 생성

필터펄스는 수집된 레이더 혼합펄스를 각 스레드가

필터링하여 생성한 펄스이다. 각 스레드는 자신이 담당한 레이더 참조표의 레이더 정보 중 주파수와 펄스폭을 활용해 필터링한다. 만약 주파수와 펄스폭이 자신이 담당한 레이더의 범위에 해당한다면 스레드는 자신 고유의 저장영역에 펄스를 추가한다. 그리고 GPGPU의 최대 생성 스레드의 수가 레이더 참조표의 레이더 수보다 적다면 작업을 분할하여 처리해야 한다. 만약 GPGPU의 최대 생성 스레드수가 300이고 레이더 참조표의 레이더 수가 500이라면, 300개와 200개로 2개의 작업 그룹을 생성하고 2번의 식별작업을 수행한다.

참조펄스는 각 스레드가 레이더 참조표의 PRI정보를 통해 생성한 펄스이다. 참조펄스의 시작점은 0으로 고정되고 PRI정보를 활용해 펄스들을 생성한다. 일반적으로 수집된 레이더 펄스는 500~600개의 혼합펄스열이 모여 있기 때문에 100개의 참조펄스를 생성하면 식별에 충분하다.

생성한 필터펄스와 참조펄스의 상관관계 계산을 통해 수집한 레이더 신호에 기지신호의 존재여부를 식별한다.

3.3 상관관계 예상값과 상관관계

수집된 혼합펄스에 기지신호의 존재여부를 식별하기 위해 판단 기준이 필요하다. 이 판단 기준이 상관관계 예상값이다. 상관관계 예상값은 필터펄스의 마지막 펄스와 첫 번째 펄스의 도착시각 차이와 PRI 정보를 통해 계산할 수 있다. 식 (6)이 예상값을 구하는 계산식이다.

$$\text{예상값} = \begin{cases} (T_{last} - T_0)/P & \text{고정, 지터} \\ (T_{last} - T_0)/FP * SL & \text{스테저} \end{cases} \quad (6)$$

P = 펄스 반복주기
 FP = 프레임 펄스 반복주기
 SL = 스테저 레벨

고정과 지터는 마지막 펄스의 도착시각과 첫 번째 펄스의 도착시각의 차를 펄스 반복주기로 나누어 계산한다. 스테저의 경우는 마지막 펄스의 도착시각과 첫 번째 펄스의 도착시각의 차를 프레임 펄스 반복주기로 나누고 나눈값에 스테저 레벨을 곱해 계산한다.

상관관계 예상값을 구한 후 필터펄스와 참조펄스의 상관관계를 계산한다. 두 펄스는 임펄스 함수이며, 두 임펄스 함수의 상관관계는 식 (7)과 같다. 즉 두 펄스중 하나의 펄스를 고정하고 다른 펄스를 시간 이동하면서 겹친 펄스의 수가 상관관계 결과이다.

$$y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} (\sum_n \delta(t - t_n)) (\sum_k \delta(t - t_k - \tau)) dt \quad (7)$$

상관관계의 시간이동은 1씩 이동해도 무방하지만, 의미 없는 작업이 대부분이다. 의미 없는 작업을 제거하기 위해 필터펄스의 도착시각 위치로 시간 이동한다. 만약 필터펄스의 도착시각이 100, 130, 250의 순서로 나타났다면 참조펄스를 100, 130, 250만큼 시간이동 한다.

시간이동은 마지막펄스까지 수행할 필요가 없다. 노이즈가 없다면 첫 번째 펄스의 위치로 시간이동을 수행한 결과로 신호식별을 수행할 수 있다. 그러나 노이즈를 고려하여 충분한 시간이동이 필요하다. 실험을 통해 10회의 시간이동으로 충분하다는 것을 확인했다. 상관관계의 최종결과는 모든 시간이동에 대한 상관관계 결과 중 최댓값이다.

3.4 오차보정

참조펄스는 레이더 참조표의 PRI 정보를 통해 생성하기 때문에 펄스간의 시각차이가 정확하다. 그러나 수집한 혼합펄스는 장비의 노후화 또는 샘플링 오차 등 여러 가지 이유로 시간적 오차가 발생할 수 있다. 때문에 이에 대한 보정이 필요하다. 그림 3은 오차 보정 방법에 대한 그림이다. 상관관계의 시간 이동은 참조 펄스가 수행한다. 그래서 참조 펄스를 기준으로 고정과 스테거의 경우 알려진 오차의 2배만큼을, 지터의 경우 지터율의 2배만큼 보정한다. 그림 3의 점선은 오차보정의 범위를 나타낸 그림이다. 참조펄스를 중심으로 점선까지가 시각적 오차보정 범위이다. 참조 펄스를 기준으로 좌우 오차범위내로 필터펄스가 존재한다면 해당 필터펄스는 참조펄스와 도착시각이 같은 신호라고 판단한다. 알려진 오차의 2배로 설정한 이유는 인접한 두 펄스의 최대 오차는 알려진 오차의 2배 이내이기 때문이다.

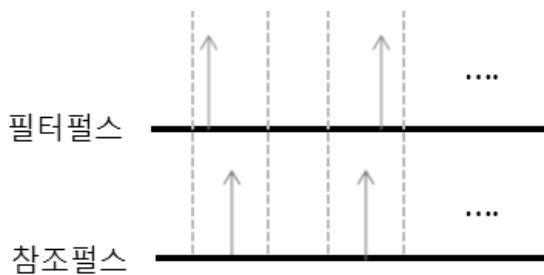


그림 3. 오차보정
Fig. 3. Error calibration.

IV. 실험

그림 4은 실험과정을 나타낸 그림이다. 제안하는 펄스 반복 주기 검출 알고리즘의 검증을 위해 레이더 참조표의 정보를 위한 기지신호 생성기와 기지신호에 해당하는 펄스를 만드는 펄스 생성기를 구현하였다. 기지신호 생성기와 펄스 생성기를 통해 생성한 정보를 신호 식별기가 처리하여 식별결과를 출력한다. 시뮬레이터의 개발환경은 CPU I7, RAM 16기가, 120G의 SSD, NVIDIA GEFORCE GTX960로 구성된 하드웨어와 운영체제 Win8.1, 개발도구 Visual Studio 2013과 CUDA7.5 버전의 소프트웨어를 사용하였다.

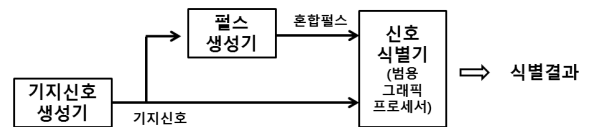


그림 4. 실험과정
Fig. 4. Experiment process.

시뮬레이터의 검증을 위해 모의 기지신호의 수를 100, 500, 2,500, 3,000개를 생성하고 모의 혼합 레이더 신호의 수를 30개 생성하였다. 그리고 모의 혼합 레이더 신호에 노이즈를 5%, 10%, 15%, 20%만큼 발생시켰다. 모의 기지신호의 수를 달리한 첫 번째 이유는 기지신호의 수에 따른 수행시간을 확인하기 위함이다. 두 번째 이유는 PRI는 다르지만 주파수와 펄스폭이 유사한 기지신호들의 상관관계 결과를 확인하기 위함이다. 실험 결과는 일치율과 수행시간으로 나타났다.

일치율 = 상관관계 결과 / 상관관계 예상값 * 100
수행시간단위는 Millisecond이다.
(일치율과 수행시간은 소수 첫째자리 반올림)

표 1은 10%의 노이즈가 섞인 혼합 레이더 신호 50개를 식별한 결과이다. 식별결과는 고정, 스테거, 지터를 그룹으로 만들어 평균으로 나타낸다. 생성신호는 실제로 생성한 신호의 숫자이며, 식별 신호는 필터링된 신호를 가진 스톱의 수이다.

표 1의 결과에서 노이즈 신호 3개가 식별되었는데 이것은 다른 어떤 신호와 우연히 주파수와 펄스폭의 범위가 겹친 다른 기지신호이다. 일치율을 보면 실제 존재하는 신호에 대해서 노이즈의 비율만큼 차감된 결과를

보인다. 노이즈 신호의 경우에는 일치율이 낮다.

표 2는 표 1의 실험과 같은 기지신호를 사용하였고 20%의 노이즈가 섞인 레이더 혼합신호를 사용하였다. 수행시간은 표 1의 실험과 유사하며, 일치율 역시 노이즈의 비율만큼 차감된 결과를 보인다.

모의 레이더 신호의 생성 수를 9개, 50개를 생성한 실험도 수행하였고 실험결과는 마찬가지로 유사한 수행시간이 필요하며 일치율은 노이즈의 비율만큼 감소한 결과를 보였다.

표 1. 실험결과 1(노이즈 10%)
Table1. Experiment result 1.(noise 10%)

기지신호 수				노이즈 10%			
				100	500	2500	3000
30	고정 10개	33	고정 10개	91%	91%	91%	91%
	스태거 10개		스태거 10개	90%	90%	90%	90%
	지터 10개		지터 10개	90%	90%	90%	90%
	노이즈 3개				8%	8%	11ms

표 2. 실험결과 2(노이즈 20%)
Table2. Experiment result 2.(noise 20%)

기지신호 수				노이즈 20%			
				100	500	2500	3000
30	고정 10개	33	고정 10개	80%	80%	80%	80%
	스태거 10개		스태거 10개	80%	80%	80%	80%
	지터 10개		지터 10개	81%	81%	81%	81%
	노이즈 3개				5%	5%	11ms

수행시간을 보면 기지신호의 수가 100개, 500개인 경우보다 2,500개, 3,000개인 경우가 수행시간이 길다. 그 이유는 실험에 사용한 GPGPU의 최대 생성 가능 스테드 수가 2400개이기 때문이다. 2400개 이하인 경우는 1번의 작업으로 식별이 가능하지만, 2,400개 이상일 경우는 분할해서 식별작업을 수행해야 한다. 즉 기지신호가 2,500개, 3,000개 인 경우 2번의 작업을 수행한다.

작업을 분할하여 처리할 경우 n배의 수행시간이 필요할 것으로 예상된다. 그러나 실제 수행시간을 보면 1번의 작업에 비해 약 50%가 증가하였다. 그 이유는 작업에 필요한 모든 데이터를 식별 작업 전에 호스트에서 GPGPU로 전송하기 때문이다. 만약 2번의 전송작업을 수행한다면 2배의 수행시간이 필요한 것을 실험으로 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 GPGPU의 병렬처리 능력과 사전에 알고 있는 레이더 정보인 기지신호를 활용하여 혼합신호에서 기지신호의 존재 여부를 식별하는 알고리즘을 제안하였다.

먼저 GPGPU의 스테드를 레이더 참조표에 존재하는 레이더의 수만큼 생성하였고 각 스테드는 레이더 신호의 식별하는 하나씩 담당하였다. 각 스테드는 혼합펄스에 자신이 담당하는 기지신호의 주파수와 펄스폭을 기준으로 필터링한 필터펄스를 만들었다. 그리고 레이더 참조표의 PRI정보를 통해 참조펄스를 생성하였다. 이렇게 생성한 필터펄스와 참조펄스의 상관관계를 통해 수집한 혼합펄스에 기지신호의 존재 여부를 식별하였다.

제안한 알고리즘의 장점은 기존의 레이더 신호 식별 방법에서 필수적인 펄스 반복주기를 계산할 필요가 없고 범용 그래픽 프로세서의 많은 연산기로 수행시간이 적다. 그러나 혼합신호에 없는 기지신호까지 식별작업을 수행하는 단점이 있다.

병렬 참조 상관관계 기법의 성능과 정확도를 분석하기 위해 모의 기지신호를 생성하는 기지신호 생성기와 모의 기지신호 정보를 통해 혼합펄스를 생성하는 펄스 생성기를 사용하였다. 100, 500, 2,500, 3,000개의 모의 기지신호와 30개의 모의 혼합신호를 사용하였다. 실험 결과를 통해 수용 가능한 시간 내에 식별이 가능한 것과 기지신호의 존재 여부의 판단 기준인 일치율이 노이즈의 비율만큼 차감된 결과가 나타나는 것을 확인하였다.

그러나 혼합펄스에 기지신호가 아닌 신호들이 존재할 경우 본 논문에서 제안하는 알고리즘으로 식별하지 못한다. 그 경우에는 혼합펄스에서 식별한 신호의 펄스를 제거한 후 기존의 레이더 신호식별 방법을 사용해야 하는 문제가 있어 이에 대한 연구가 추가로 필요하다.

REFERENCES

- [1] M. Frater, M. Ryan, "Electronic Warfare for the Digitized Battlefield," Artech House, 2001.
- [2] F. Neri, "Introduction to Electronic Defense System," Artech House, 2001.
- [3] C. R. Benson, M. Frater, and M. J. Ryan, "Tactical Electronic Warfare," Argos Press, 2007.
- [4] D. W. Lee, J. W. Han and W. D. Lee, "Adaptive radar pulses clustering based on density cluster window," International Technical Conference on Circuits/Systems Computers and Communications, pp. 1377-1380, 2008.
- [5] Dong-Woen Lee, Jin-Woo Han, Won Don Lee, "A Kernel Density Signal Grouping Based on Radar Frequency Distribution," The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 48, no. 6, pp. 872-880, 2011.
- [6] Joong-Soo Lim, Kyung-Ho Hong, Gab-Song Jun, Moon-Sung Chul, Chang-Jae Lee, Suhk-Hoon Suh, "Analysis of PRI Pattern with the Second Deviation of LASER Pulse Train," The Korea Contents Association, Vol. 8, No. 4, 2008.
- [7] Yong-Woo Kim, Hai-Won Yang, "The Identification of Pulse Repetition Intervals Modulation using Markov Models Approach," The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 52D, no. 6, pp. 372-377, 2003. 6.
- [8] Jong-Tae Lee, Young-Kwan Ju, Gwan-Tae Kim, Soong-Nam Jeon, "A Clustering Technique of Radar Signals using 4-Dimensional Features," The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 51, no. 10, pp. 137-144, 2014.10.
- [9] Sin-Hyeok Seo, Hak-Yeol Sohn, Tai-Kyong Song, "An Echo Processor for Medical Ultrasound Imaging Using a GPU with Massively Parallel Processing Architecture," The Institute of Electronics and Information Engineers, pp. 871-872, 2008. 6.
- [10] T. Kawakami, K. Okubi and N. Uchida, "High-Speed Digital Signal Processing Method for Detection of Repeating Earthquakes Using GPGPU-Acceleration," EGU General Assembly, 2013.
- [11] Yong-Woo Kim, Hai-won Yang, "An Algorithm for Estimating Pulse Repetition Intervals of Stagger PRI Pulse Train Using 2D-TDOA Histogram," Automation and Systems Engineering, vol. 8, no. 8, pp. 673-681, 2002.
- [12] Joong-Soo Lim, Kyung-Ho Hong, Dukyung Lee, Dong Hoon Shin, Yong Hwan Kim, "An Identify of Two Step Stagger Signals Using the Second Deviation of Pulse Train," Korea Academia -Industrial cooperation Society, vol. 10, no. 7, 2009.

— 저 자 소 개 —



김 관 태(정회원)
2011년 충북대학교 컴퓨터과학과 석사.
2014년~현재 충북대학교 컴퓨터과학과 박사 과정.
<주관심분야: 통신, 컴퓨터, 실시간 신호처리, 전자전 신호탐지>



주 영 관(정회원)
1999년 청주대학교 컴퓨터정보공학과 학사.
2004년 충북대학교 전자계산학과 석사.
2009년 충북대학교 전자계산학과 박사.

현재 컴퓨터정보통신 연구소 연구원, 충북대학교 전자정보대학 강사.
<주관심분야: 컴퓨터 구조, 임베디드시스템 등>



박 상 환(학생회원)
2014년 충북대학교 컴퓨터공학부 학사.
2016년 충북대학교 컴퓨터과학과 석사.
<주관심분야: 임베디드시스템, 사물인터넷>



전 중 남(평생회원)-교신저자
1990년 연세대학교 전자공학과 공학 박사.
1996년~1998년 미국 Texas A&M 연구 교수.

현재 충북대학교 전자정보대학 교수, 컴퓨터정보통신 연구소 연구원.
<주관심분야: 컴퓨터구조, 임베디드시스템>