

# 감시정찰 센서 네트워크를 위한 자기 센서용 디지털 신호처리 알고리즘 설계

박홍재\*, 봉성우\*, 윤석우\*\*, 김영만\*  
\*국민대학교 컴퓨터공학부, \*\*국방과학연구소  
e-mail : ymkim@kookmin.ac.kr\*, swyun001@naver.com\*\*

## Design of Magnetic Sensor Signal Processing Algorithm for Surveillance and Reconnaissance Sensor Network

Hong Jae Park\*, Sung Woo Bong\*, Suk Woo Yun\*\*, Young Man Kim\*  
\*Dept. of Computer Engineering, Kookmin University, \*\*Agency for Defense Development

### 요 약

최근 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크를 활용하여 새로운 서비스들을 개발하려는 노력이 진행 중이며, 이에 관련된 기술의 중요성도 급증하고 있다. 특히 감시정찰 센서네트워크의 핵심 구성요소인 저가의 경량 센서노드에서 측정된 미가공 데이터(raw data)를 사용하여 침입 물체의 실시간 탐지, 식별, 추적 및 예측하기 위한 디지털 신호처리 기술은 주요 기술 중 하나이다.

본 논문에서는 감시정찰 센서네트워크의 핵심 구성요소인 자기 센서노드에서 측정된 자기 미가공 데이터를 사용하여 사람과 차량을 탐지할 수 있는 자기 센서 디지털 신호처리 알고리즘을 설계한다. 알고리즘의 주 목표는 감시정찰용 센서노드의 탐지 신뢰성을 높이기 위한 높은 침입물체 탐지 성공률(success rate)과 낮은 허위신고(false alarm) 횟수를 가지는 것이다.

### 1. 서론

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 인간과 환경 사이의 상호작용 방식에 있어서 대변혁을 초래할 수 있다는 점에서 사회·경제·문화 전반에 걸쳐 다시 한번 인류의 삶을 근본적으로 변화시킬 수 있는 혁신적인 기술로 주목 받고 있다[1]. 이러한 USN 을 이용한 응용 시스템 중에 하나인 감시정찰 센서네트워크는 복합 센싱 능력을 갖는 소형 센서 노드들 간의 자율적 무선 네트워크 구축을 통해 근접 감시정찰 정보를 실시간으로 획득, 처리하는 시스템으로 정의된다[2].

휴전선 GP 경계 등 전장 환경에 대한 감시정찰 업무에 활용할 수 있는 감시정찰 센서네트워크의 핵심 기능인 실시간 침입 탐지, 식별, 추적 및 예측 기술을 개발하기 위해서는 기존 대형 센서 체계와 다른 무선 센서네트워크 기반 저전력 센서 신호처리에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 초소형 센서노드들로 이루어진 감시정찰 센서네트워크 환경하에서 높은 탐지 신뢰성을 가지는 디지털 신호처리 알고리즘 Adaptive MAG Detection Algorithm (AMADA)을 고안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 감시정찰용 센서노드를 위한 디지털 신호처리 알고리즘의 관련연구에 대하여 설명한 후 3 장에서는 디지털 신호처리 알고리즘을 설계한다. 마지막으로 4 장에서 결론 및 향후 과제를 다룬다.

### 2. 관련연구

일반적으로 센서노드는 무선 센서네트워크의 최단 말로 기능하며, 자기, 소리, 진동 그리고 적외선 등과 같은 여러 종류의 물리량을 감지 및 수집하며 장기간 통신과 제어 지원을 목표로 한다. 본 논문에서는 적외선 센서(KUBE 의 C170), 소리 센서(IEA 의 F6027AP) 그리고 자기 센서(Honeywell 의 HMC1052)가 장착되어 있으며, 미국 DARPA 의 ExScal[3]프로젝트에서 사용한 8 비트 센서노드인 XSM(Crossbow MSP410CA)[4]을 사용한다(그림 1 참조). 그리고 센서노드 운영체제는 버클리 대학에서 개발한 TinyOS 를 사용한다.



(그림 1) XSM 센서노드(MSP410CA)

센서에서 수집한 미가공 데이터로부터 원하는 정보를 신뢰성 있게 획득하기 위해서는 높은 수준의 디지털 신호처리가 필요하다. 이러한 센서 디지털 신호처리에 대한 최신 연구는 미국 DARPA 에서 수행한 ExScal, VigilNet 과 같은 프로젝트가 있으며, 기타 대표적인 연구사례는 표 1 과 같다.

※ 민. 군겸용기술사업(Dual Use Technology Program) 지원 및 국방과학연구소 위탁 연구임

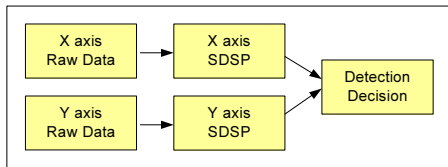
<표 1> 디지털 신호처리 알고리즘 기존 연구

구 분	센서의 특징 추출 방법		임계값 설정 방법
자기 센서	Lin Gu[5]	이동 평균 Mag point, BaseLine 및 분산 사용	고정
	Anish Arora[6]	이동 평균 필터와 분산 및 편차 사용	고정

3. 자기 센서 디지털 신호처리 알고리즘

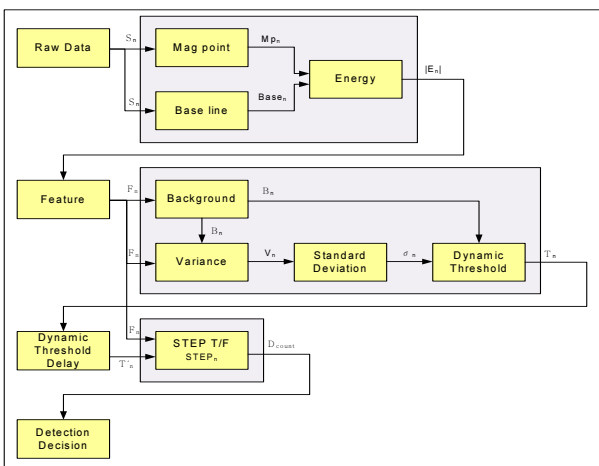
감시정찰용 자기 센서노드의 탐지 신뢰성을 유지하기 위해서는 디지털 신호처리 알고리즘이 높은 탐지 성공률과 낮은 허위신고 횟수를 가져야 한다. 생명과 직결되는 감시정찰 시스템의 특성상 센서노드 배치를 고려하였을 때 약 2 미터 이내의 거리(차량의 경우)에서 90% 이상의 탐지 성공률을 유지해야만 한다. 또한 침입물체를 탐지한 성공률이 높더라도 침입물체가 접근하지 않았을 때 발생하는 허위신고 횟수가 많다면 탐지 신뢰성은 현저히 낮아지게 되므로 낮은 허위신고 횟수를 가져야 한다.

자기 센서는 자성을 띄는 물체를 감지하는 센서로서 무기류(총)를 소지한 병사 및 차량 감지를 위해서 사용할 수 있다. 자기 센서의 경우 적외선 센서나 소리 센서와는 달리, 그림 2 와 같이 X 축과 Y 축에 대하여 미가공 데이터를 측정하며, 각 축에 대해 센서 디지털 신호처리를 수행한 침입물체 탐지 결과가 생성된다.



(그림 2) 자기 센서의 침입물체 탐지 원리

또한 자기 센서의 미가공 데이터 자체의 변화폭이 크고 주변 환경에 민감하기 때문에 침입물체의 접근 여부를 판단해야 한다. 제안하는 알고리즘은 각 축별 탐지결과 중 하나의 축이라도 침입물체 탐지를 판단하면 침입물체를 최종 탐지한 것으로 판단한다.



(그림 3) AMADA 알고리즘 수행절차

3.1. 미가공 데이터 측정

샘플링 주파수를 14Hz 로 하여 자기 센서의 미가공 데이터를 수집하며 이를  $S_n$ 이라 한다.  $S_n$ 의 데이터 범위는 자기 아날로그 신호의 디지털 변환 결과인 10 비트(0~1023)이다. 그림 4(a)는 2m 거리에서 SUV 차량이 이동할 때 측정된 적외선 센서의 미가공 데이터이다. 측정 시작 후 40 초가 지난 뒤 SUV 차량이 출발하였으며, 해당 시점에서 적외선 센서의 미가공 데이터가 변화됨을 확인할 수 있다.

3.2. 특징 추출

자기 센서 미가공 데이터의 특징 추출은 Lin Gu 등이 제안한 Mag point 와 Base Line 을 이용한다.

수집한 미가공 데이터의 이동평균 Mag point  $Mp_n$ 를 계산한다 ( $\alpha_{mp}=1/4$ )  $\alpha_{mp} = 1/4$ .

$$Mp_0 = s_0$$

$$Mp_n = \alpha_{mp} \cdot s_n + (1 - \alpha_{mp})Mp_{n-1}$$

미가공 데이터의 이동평균 Base Line  $Base_n$  을 계산한다 ( $\alpha_{Base}=1/64$ ).

$$Base_0 = s_0$$

$$Base_n = \alpha_{Base} \cdot s_n + (1 - \alpha_{Base})Base_{n-1}$$

Mag point 와 Base Line 의 차이를 자기 센서의 에너지  $E_n$ 이라 하며,  $E_n$ 의 절대값을 자기 센서의 특징  $F_n$ 으로 설정한다.

$$E_n = Mp_n - Base_n$$

$$F_n = |E_n|$$

3.3. 동적 임계값 지연 설정

동적 임계값 지연을 계산하기 위해서는 배경값, 분산 그리고 표준편차가 필요하며 자세한 계산절차는 다음과 같다.

자기 센서의 특징  $F_n$ 을 배경 윈도우  $B_{ws}$ 의 버퍼에 저장한다. 이때 배경 윈도우  $B_{ws}$ 의 크기가 8 이라면 현재 단계에서부터 7 개 전까지의 값인  $F_n$ 에서  $F_{n-7}$ 이 배경 윈도우  $B_{ws}$  내에 저장된다. 저장된 배경 윈도우  $B_{ws}$  내의 값인  $F_n$ 에서  $F_{n-7}$ 의 중간값(Median Value)을 구하여 이를 배경값  $B_n$ 이라 한다.

$$B_n = Median(B_{ws})$$

미가공 데이터에서 추출한 특징인  $F_n$ 과 배경값  $B_n$ 의 차이를 구한 후 절대값을 계산하여 이를 분산 (Variance)  $V_n$ 이라 한다.

$$V_n = |F_n - B_n|$$

분산  $V_n$ 을 표준편차 윈도우  $\sigma_{ws}$ 의 버퍼에 저장한다. 이때 표준편차 윈도우  $\sigma_{ws}$ 의 크기가 8 이라면 현재 단계에서부터 7 개 전까지의 값인  $V_n$ 에서  $V_{n-7}$ 가 표준

편차 윈도우  $\sigma_{ws}$  내에 저장된다. 표준편차 윈도우  $\sigma_{ws}$  내의 값들( $V_{n-7}, V_{n-6}, \dots, V_n$ )의 평균을 구하여 이를 표준편차  $\sigma_n$ 이라 한다.

$$\sigma_n = Average(\sigma_{ws})$$

표준편차  $\sigma_n$ 와 표준편차 계수  $\alpha$ 를 곱한 후 배경 값  $B_n$ 과의 합을 계산하여 동적 임계값(Dynamic Threshold)  $T_n$ 으로 설정한다.

$$T_n = B_n + \alpha \cdot \sigma_n$$

동적 임계값  $T_n$ 을  $d$ 만큼 지연시키며 이를  $T'_n$ 이라 한다. 그림 4(b)는 적외선 센서의 미가공 데이터에서 추출한 특징과 동적 임계값 지연을 나타낸 그래프이다.

### 3.4. 탐지 결정

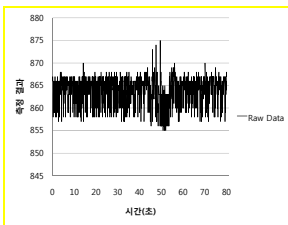
침입물체의 유무를 판단하기 위하여 각 디지털 신호처리 단계별 참/거짓(TRUE/FALSE)을 계산한 뒤, 그 결과를 침입탐지 결정 정책에 따라 탐지 유무를 판단한다. 자세한 탐지 결정 절차는 다음과 같다.

현 단계의 참(TRUE) 또는 거짓(FALSE) 여부를 판단하며 이를  $STEP_n$ 라 한다. 만약  $F_n$ 이 동적 임계값 지연인  $T'_n$ 보다 크면  $STEP_n$ 을 참으로 설정하고, 작으면 거짓으로 설정한다.

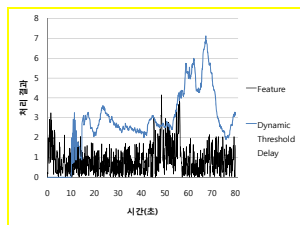
$$STEP_n = \begin{cases} TRUE : F_n > T'_n \\ FALSE : F_n \leq T'_n \end{cases}$$

$STEP_n$ 을 탐지 결정 윈도우  $D_{ws}$ 의 버퍼에 저장한다. 이때 결정 윈도우의  $D_{ws}$ 의 크기가 8이라 하고 탐지 결정 윈도우  $D_{ws}$ 내의 값인  $STEP_n$ 에서  $STEP_{n-7}$ 까지의 값들 중 참인 개수의 합을  $D_{count}$ 라 하였을 때,  $D_{count}$ 가 탐지 결정 윈도우 내의 기준 결정 갯수  $D_{basis}$ 보다 크거나 같으면 침입 물체를 탐지한 것이다.

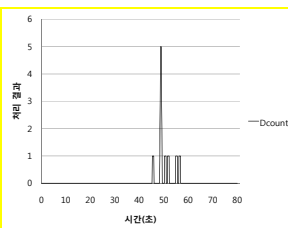
$$Detection_n = \begin{cases} TRUE : D_{count} \geq D_{basis} \\ FALSE : D_{count} < D_{basis} \end{cases}$$



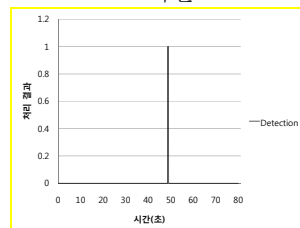
(a) 미가공데이터



(b) 특징 및 동적 임계값 지연



(c)  $D_{count}$  변화



(d) 탐지 결정

(그림 4) 디지털 신호처리 수행 결과

<표 2> 알고리즘 파라미터

구분	값	비고
배경 윈도우 크기 $B_{ws}$	8	
표준편차 윈도우 크기 $\sigma_{ws}$	16	
탐지결정 윈도우 크기 $D_{ws}$	10	
표준편차 계수 $\alpha$	2.5	
동적 임계값 지연 변수 $d$	5(초)×14	
탐지결정 기준 $D_{basis}$	7	

그림 4(c)는 시간에 따른  $D_{count}$ 의 변화를 나타내며, 그림 4(d)는 침입탐지 결과(탐지 성공일 경우 1)를 표현하고, 알고리즘에 사용된 파라미터는 표 3과 같다. SUV 차량이 이동하기 시작한 40 초 근방에서 적외선 센서에 의한 침입탐지가 판단된 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

최근 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크를 활용하여 새로운 서비스들을 개발하려는 노력이 진행 중이며, 이에 관련된 기술의 중요성도 급증하고 있다.

본 논문에서는 USN의 대표적인 응용 분야 중 감시정찰 센서네트워크를 구성하는 핵심 요소인 초소형 센서노드에서, 침입물체가 접근하였을 때 침입탐지 메시지를 신뢰성 있게 생성하기 위하여 높은 탐지 성공률과 낮은 허위신고 횟수를 가지는 디지털 신호처리 알고리즘인 Adaptive MAG Detection Algorithm(AMADA)를 설계하였다.

향후 알고리즘의 효과적인 구현을 통해 날씨(맑음, 눈, 비, 안개 등) 또는 지형(평지, 수풀, 산악 등)에 따른 다양한 환경하에서 측정된 미가공 데이터를 사용하여 성능평가를 실시해야 한다.

### 참고문헌

- [1] Mark Weiser, "The computer for the 21st century", IEEE Pervasive computing, mobile and ubiquitous systems, Vol. 1, No. 1, pp. 18-25, (reprinted with permission Copyright 1991 by Scientific American Inc), IEEE Computer Society, 2002. 2.
- [2] 이노복, "u-Defense 를 위한 유비쿼터스 기술 동향", 한국정보산업연합회 정보산업지, 2006 권, 5 호, 30-33 페이지, 2006. 9.
- [3] Exscal web site, <http://cast.cse.ohio-state.edu/exscal>.
- [4] MSP410CA, [http://www.xbow.com/Products/Product\\_pdf\\_files/Wireless\\_pdf/MSP410CA\\_Datasheet.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MSP410CA_Datasheet.pdf).
- [5] Lin Gu, Dong Jia, Pascal Vicaire, Ting Yan, Liqian Luo, Ajay Tirumala, Qing Cao, Tian He, John A. Stankovic, Tarek F. Abdelzaher, and Bruce H. Krogh, "Lightweight Detection and Classification for Wireless Sensor Networks in Realistic Environments", SenSys05, pp. 205-217, 2005.
- [6] Anish Arora, Rajiv Ramnath, Emre Ertin, Prasun Sinha, Sandip Bapat, Vinayak Naik, Vinod Kulathumani, Hongwei Zhang, Hui Cao, Mukundan Sridharan, Santosh Kumar, Nick Seddon, Chris Anderson, et al, "ExScal: Elements of an Extreme Scale Wireless Sensor Network", IEEE RTCSA 05, pp. 102-108, 2005. 8.