

감시정찰용 소리 센서를 위한 AMIDA 알고리즘 설계 및 성능평가

박홍재*, 이승재*, 하공용*, 김이형**, 김영만*
*국민대학교 컴퓨터공학부
**국방과학연구소
e-mail : ymkim@kookmin.ac.kr*

Design and Evaluation of AMIDA Algorithm for MIC Sensor Signal Processing in USN

Hong Jae Park*, Seung Je Lee*, Gong Yong Ha*, Li Hyung Kim**, 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, 이와 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 소리센서 노드에서 측정된 소리 미가공 데이터를 사용하여 차량을 탐지할 수 있는 소리센서 디지털 신호처리 알고리즘을 설계 및 구현한다. 알고리즘의 주 목표는 감시정찰용 센서노드의 탐지 신뢰성을 높이기 위한 높은 침입물체 탐지 성공률(success rate)과 낮은 허위신고(false alarm) 횟수를 가지는 것이다. 성능평가 결과에 의하면 제안한 AMIDA 알고리즘은 90% 이상의 탐지 성공률과 2 회 이하의 허위신고 횟수를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

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 MIC Detection Algorithm (AMIDA)을 고안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 감시정찰용 센서노드를 위한 디지털 신호처리 알고리즘의 관련연구에 대하여 설명한 후 3 장에서는 디지털 신호처리 알고리즘을 설계한다. 다음으로 4 장에서 성능평가한 뒤 5 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 장치간 통신과 제어 지원을 목표로 한다. 본 논문에서는 적외선(KUBE 의 C170) , 소리(IEA 의 F6027AP) 및 자기(Honeywell 의 HMC1052) 센서가 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)

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

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.

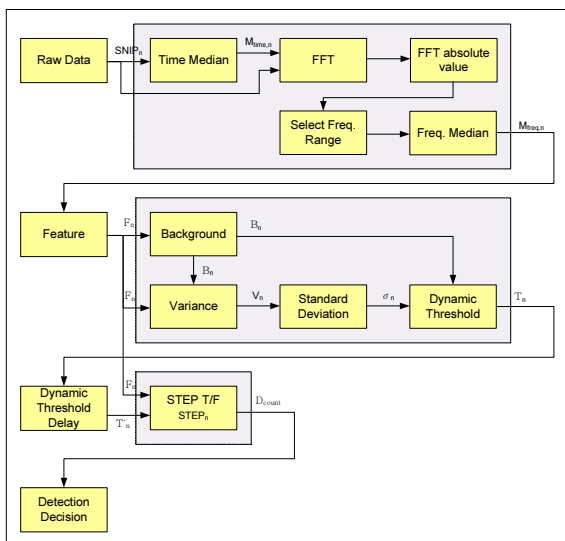
<표 1> 디지털 신호처리 알고리즘 기준 연구

구 분	센서의 특징 추출 방법	임계값 설정 방법
Lin Gu[5]	이동평균을 사용한 에너지	동적 (분산 및 표준편차)
Jiagen Ding[6]	대역 통과 필터와 지역 통과 필터를 사용한 에너지	동적 (이동평균)
Eric Dahai[7]	FFT와 표준화 (normalization)	고정

3. 소리센서 디지털 신호처리 알고리즘

감시정찰용 소리센서노드의 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 20 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.

소리 센서는 차량의 엔진 및 타이어 소리를 감지할 때 사용할 수 있다. 그러나 이러한 소리 센서는 바람 등의 날씨 변화에 민감하기 때문에 침입물체의 탐지 성공률이 저하될 수 있다. 그러므로 높은 수준의 디지털 신호처리 알고리즘을 사용하여 침입물체의 접근 여부를 판단해야 한다. 본 절에서는 제안하는 소리 센서 디지털 신호처리 알고리즘인 Adaptive MIC Detection Algorithm (AMIDA)을 설명한다. AMIDA 알고리즘의 수행절차는 그림 2 와 같으며, 상세한 수행 절차는 다음 각 항에서 설명한다.



(그림 2) AMIDA 알고리즘 수행절차

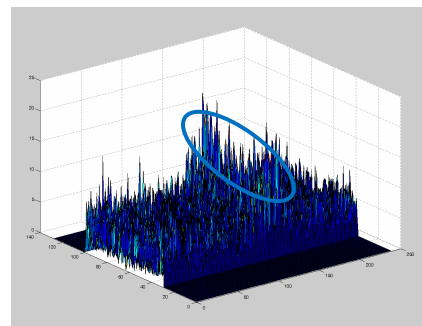
3.1. 미가공 데이터 측정

샘플링 주파수를 4166Hz 로 하여 소리 센서의 미가공 데이터를 수집한다. 미가공 데이터의 범위는 센서 노드의 부족한 메모리 자원을 절약하기 위하여 소리 아날로그 신호의 디지털 변환 결과인 10 비트(0~1023) 영역의 하위 2 비트를 제거한 8 비트(0~255)이다. 이러한 데이터 범위를 가지는 128 개의 미가공 데이터를 하나의 집합으로 묶고 이를 SNIP_n 라 한다(1 초당 3 개의 미가공 데이터 집합을 수집).

그림 4(a)는 10m 거리에서 SUV 차량이 이동할 때 측정된 소리 센서의 미가공 데이터이다. 측정 시작 후 40 초가 지난 뒤 SUV 차량이 출발하였으며, 해당 시점에 소리 센서의 미가공 데이터의 변화가 있으나 변화량이 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 따라서 소리 센서의 특징은 FFT 를 수행한 결과값을 사용하여 추출한다.

3.2. 특징 추출

측정한 미가공 데이터 집합인 SNIP_n에 대하여 시간 영역에서의 중간값 M_{time,n} 을 계산한다. SNIP_n 내의 각 값들인 미가공 데이터와 M_{time,n} 과의 차이를 구하여 이를 FFT 의 입력 값으로 한다. FFT 를 수행한 결과인 주파수 영역에서의 절대값을 계산한다. 다음으로 FFT 수행결과와 절대값 영역 중에 488 ~ 1594Hz 영역에 해당하는 주파수 영역을 선택한다(69 개 데이터). 그림 3 은 선택한 소리 센서의 주파수 영역에서 에너지를 나타내는 그래프이다(X 축 : 1/3 초, Y 축 : 주파수). 그래프에 표시한 영역이 침입물체가 이동하는 40 초 부근이며 다른 영역과 뚜렷이 구분되는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 선택한 유효 주파수 영역에서의 중간값을 구하여 이를 M_{freq,n} 라 하고 소리 센서의 특징 F_n으로 설정한다.



(그림 3) 소리 센서의 주파수 스펙트럼

3.3. 동적 임계값 지연 설정

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

소리 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_n에서 F_{n-7}이

배경 윈도우 B_{ws} 내에 저장된다. 저장된 배경 윈도우 B_{ws} 내의 값인 F_n 에서 F_{n-7} 의 평균을 구하여 이를 배경값 B_n 이라 한다.

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

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 σ_{ws} 의 버퍼에 저장한다. 이때 표준편차 윈도우 σ_{ws} 의 크기가 8 이라면 현 단계에서부터 7 개 전까지의 값인 V_n 에서 V_{n-7} 가 표준편차 윈도우 σ_{ws} 내에 저장된다. 표준편차 윈도우 σ_{ws} 내의 값들 ($V_{n-7}, V_{n-6}, \dots, V_n$) 의 평균을 구하여 이를 표준편차 σ_n 이라 한다.

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

표준편차 σ_n 와 표준편차 계수 α 를 곱한 후 배경값 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 소리 센서의 미가공 데이터에서 추출한 특징과 동적 임계값 지연을 나타낸 그래프이다.

3.4. 탐지 결정

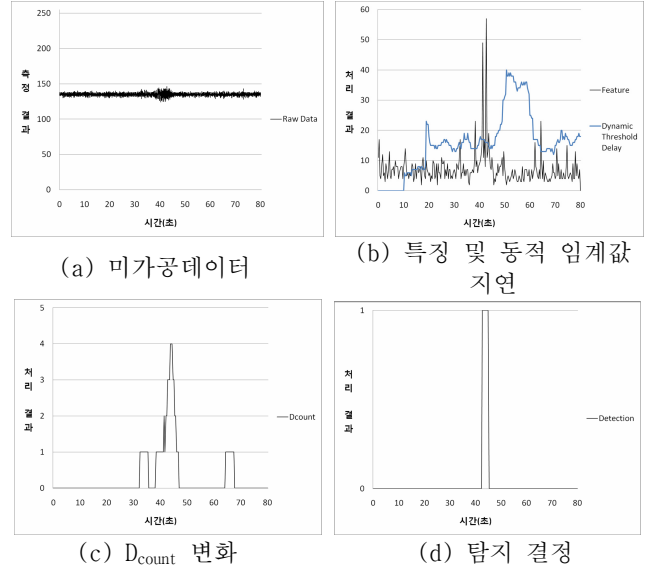
침입물체의 유무를 판단하기 위하여 각 디지털 신호처리 단계별 참/ 거짓(TRUE/FALSE)을 계산한 뒤, 그 결과를 침입탐지 결정 정책에 따라 탐지 유무를 판단한다. 자세한 탐지 결정 절차는 다음과 같다.

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 TRUE 로 설정하고, 작으면 FALSE 로 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 8 이라 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.

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



(그림 4) 디지털 신호처리 수행 결과

그림 4(c)는 시간에 따른 D_{count} 의 변화를 나타내며, 그림 4(d)는 침입탐지 결과(탐지 성공일 경우 1)를 표현한다. SUV 차량이 이동하기 시작한 40 초 근방에서 소리 센서에 의한 침입탐지가 판단된 것을 확인할 수 있다.

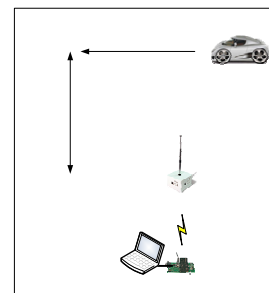
4. 성능평가

제안한 알고리즘의 성능평가를 하기 위하여 서울대 공원 주차장(그림 5)에서 SUV 차량(그림 5)에 대하여 미가공 데이터를 측정하는 실험을 실시하였다. 측정 당시 날씨는 맑았으며 온도는 20~25°C, 바람은 3~5m/s 이었다. 그리고 미가공 데이터를 측정할 때 사람의 이동 속도는 정상적으로 걷는 수준인 3km/h 로, 차량의 이동 속도는 20~30km/h 로 유지하였다



(그림 5) 측정 장소 및 대상

미가공 데이터를 측정하는 시간은 측정 시작 후 40 초까지의 구간과 60 초 ~ 80 초 구간을 유희 기간으로 설정하고 40 초 ~ 60 초 구간을 측정 대상이 이동하는 구간으로 설정하였으며, 미가공 데이터를 측정할 때는 센서 및 거리별 40 회로 유지하였다.



(그림 6) 미가공 데이터 측정 방법

그림 6 과 같이 센서노드 및 싱크노드를 배치시키고 차량이 측정 거리만큼 떨어진 곳으로부터 횡으로 이동하도록 하였다.

무선 센서네트워크를 위한 디지털 신호처리 알고리즘의 성능평가 지표는 표 2 와 같으며, 파라미터는 표 3 과 같이 설정하였다.

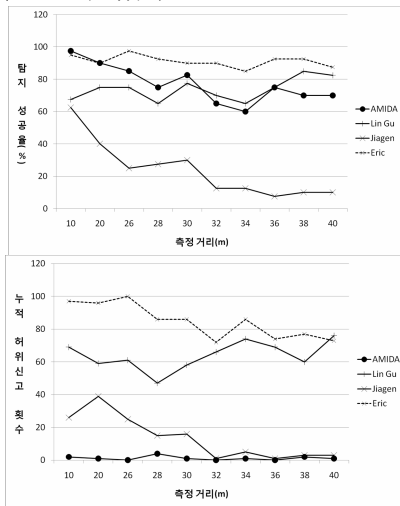
<표 2> 성능평가 지표

장소	측정 대상	목표 거리	탐지 성공률	허위신고 횟수
평지	차량(SUV)	20m	90% 이상	2 회 이하

<표 3> 알고리즘 파라미터

구 분	값
배경 윈도우 크기 B_{ws}	8
표준편차 윈도우 크기 σ_{ws}	32
탐지결정 윈도우 크기 D_{ws}	10
표준편차 계수 α	5.5
동적 임계값 지연 변수 d	$8(\text{초}) \times 3$
탐지결정 기준 D_{basis}	3

평지에서 측정 대상이 차량일 경우 소리 센서에 대한 성능평가 결과 그래프는 그림 7 과 같다. 먼저 탐지 성공률에 있어서 제안한 AMIDA 알고리즘과 Eric 의 알고리즘이 20m 이내에서 90% 이상을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그러나 누적 허위신고 횟수에 있어서는 제안한 AMIDA 알고리즘만이 2 회 이하를 가지고 Lin Gu, Jiagen 그리고 Eric 의 알고리즘은 2 회 이상을 나타낸다. 특히 Eric 의 알고리즘의 경우 높은 누적 허위신고 횟수로 인하여 탐지 성공률이 높게 나온 것으로 판단된다. 결과적으로 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비하여 탐지 성공률과 누적 허위신고에 있어서 높은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.



(그림 7) 탐지 성공률/허위신고 횟수(차량)

성능평가 결과 측정 대상이 차량인 경우 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비하여 탐지 성공률과 누적 허위신고에 있어서 높은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

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

본 논문에서는 USN 의 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 MIC Detection Algorithm (AMIDA)를 설계하였다. 성능평가 결과에 의하면 제안한 알고리즘은 90% 이상의 탐지 성공률(success rate)과 2 회 이하의 허위신고(false alarm) 횟수를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

향후 날씨(비, 안개 등) 또는 지형(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.
- [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] Jiagen Ding, Sing Yiu Cheung, Chin-Woo Tan and Pravin Varaiya, "Signal Processing of Sensor Node Data for Vehicle Detection". IEEE ITSC 04, pp. 70-75, 2004. 10.
- [7] Eric Dahai Cheng, M. Piccardi, and T. Jan, "Boat-Generated Acoustic Target Signal Detection by Use of an Adaptive Median CFAR and Multi-frame Integration Algorithm", 13th European Signal Processing Conference, 2005. 9.