



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

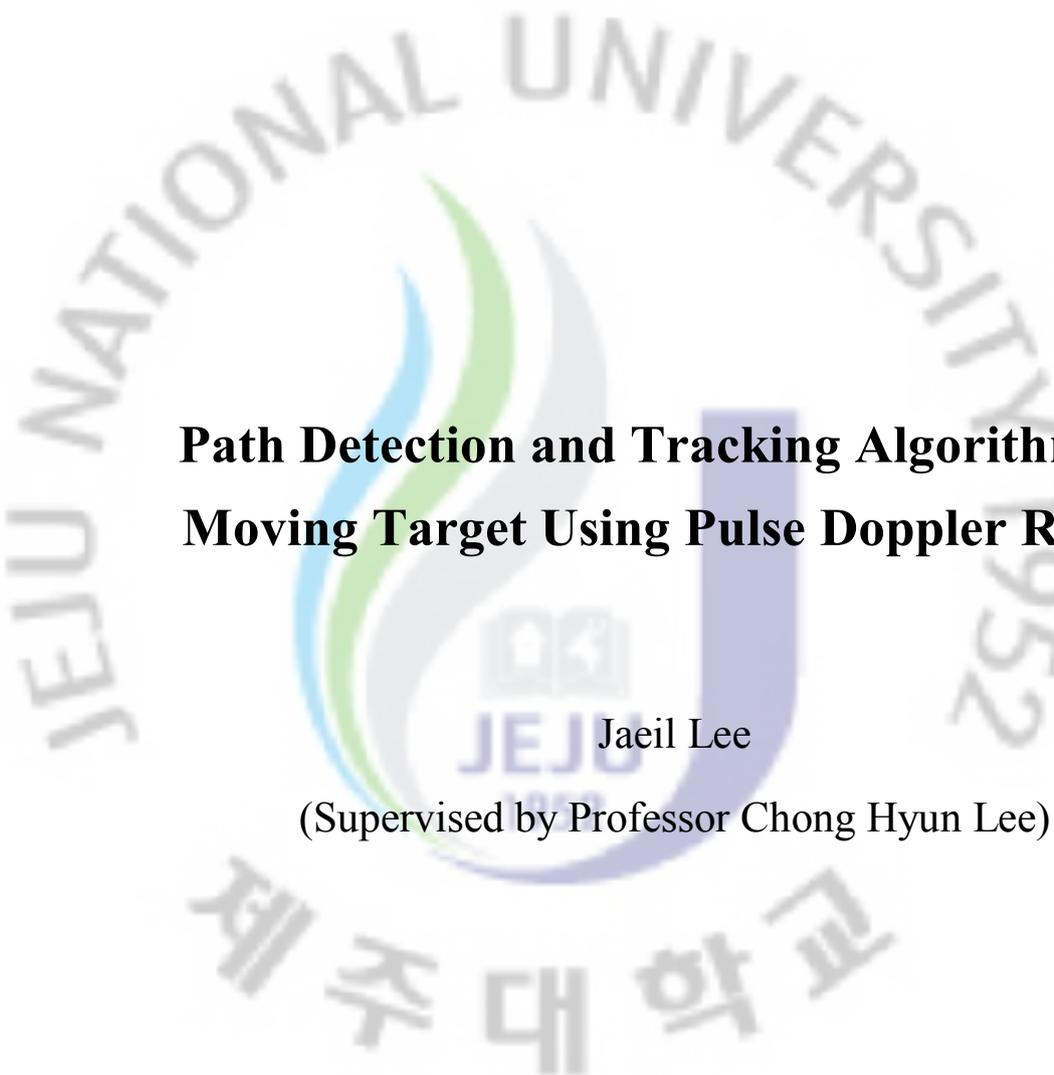
펄스 도플러 레이더를 이용한 이동
표적 경로 검출 및 추적 알고리즘

제주대학교 대학원

해양정보시스템공학과

이 재 일

2011년 8월



Path Detection and Tracking Algorithms of Moving Target Using Pulse Doppler Radar

Jaeil Lee

(Supervised by Professor Chong Hyun Lee)

A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of Engineering

2011. 8

Department of Oceanic Information and System Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

펄스 도플러 레이더를 이용한 이동 표적 경로 검출 및 추적 알고리즘

지도교수 이 종 현

이 재 일

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2011년 8월

이재일의 공학석사 학위논문을 인준함

심사위원장 배진호 印

위 원 팽동국 印

위 원 이종현 印

제주대학교 대학원

2011년 8월

개 요

본 논문에서는 감시정찰 목적의 무인 감시경보 시스템을 설계 및 구현하였다. 시스템에 운용된 펄스 도플러 레이더(PDR: Pulse Doppler Radar) 센서노드는 센서 탐지영역 안에서 검출된 이동 표적의 존재유무 정보만을 제공한다. 제한적인 센서 노드 환경에서 이동 표적의 경로 검출 및 추적 알고리즘을 제안한다. 시스템 구현을 위해 PDR 센서노드의 일반화된 탐지영역을 측정을 통해 정의한후 측정된 탐지영역과 예상 적 침투 경로의 지형적 특성을 고려한 최적의 센서 노드 배치 방법을 격자형, 선형, 갈지자형으로 제안 하였다. 제한된 배치 방법에 따라 측정된 탐지영역의 중심점 선정 방법을 LUT 을 활용하여 침입하는 표적의 위치를 선정 하였다. 선정된 표적의 위치 정보는 선형 보간법으로 연결하여 이동 표적의 경로를 추적한다.

본 시스템에 운용되는 PDR 센서노드는 이동 표적의 존재 유무만을 정보로 제공하고 그 외 표적의 이동속도, 거리, 방위각 정보는 제공하지 않는다. 따라서 표적의 위치 선정 및 추적을 위한 중심점 선정 방법은 탐지영역에 비례하는 오차를 포함한 추적 결과를 제공한다. 또한 중심점 선정 방법에 의한 이동 경로 표현은 이웃한 센서노드의 표적 검출 결과를 선형 보간법으로 연결한다. 이러한 중심점 선정 방법에 의한 감시경보 영역의 경계면에 위치하는 노드에서의 이동 표적의 최종 방향 예측결과는 신뢰성이 떨어진다. 이러한 중심점 선정 방법의 취약 부분을 보완하기 위해 센서 배치 방법과 표적의 이동 경로에 따른 센서 노드 활성화 시간차의 통계적 특성 획득을 위한 실험을 수행하였다. 실험을 통해 획득한 표적 검출에 따른 활성화 시간차의 통계적 특성을 이용한 이동 표적의 경로 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘과 중심점 선정 방법을 함께 적용한 결과 신뢰성 높은 이동 표적의 최종 진행 방향을 예측할 수 있었다. 본 연구 결과는 감시정찰 목적의 무선 센서네트워크 시스템 연구 및 운용분야에 적용될 것으로 기대된다.

CONTENTS

개 요	IV
Contents	V
LIST OF FIGURES	VII
LIST OF TABLES	X
제 1 장 서 론	1
제 2 장 PDR 센서 노드 특성	4
2.1. 펄스 도플러 레이더	4
2.2. 하드웨어 특성	6
2.3. PDR 센서노드 탐지영역	10
2.3.1. 탐지영역 측정 환경	10
2.3.2. 탐지영역 측정 결과	11
제 3 장 최적센서 배치 방법 및 중심점 선정 방법	13
3.1. 격자형 배치	13
3.1.1. 격자형 센서 배치 방법	13
3.1.2. 중심점 선정 방법	14
3.2. 선형 배치	16
3.2.1. 선형 센서 배치 방법	16
3.2.2. 중심점 선정 방법	16

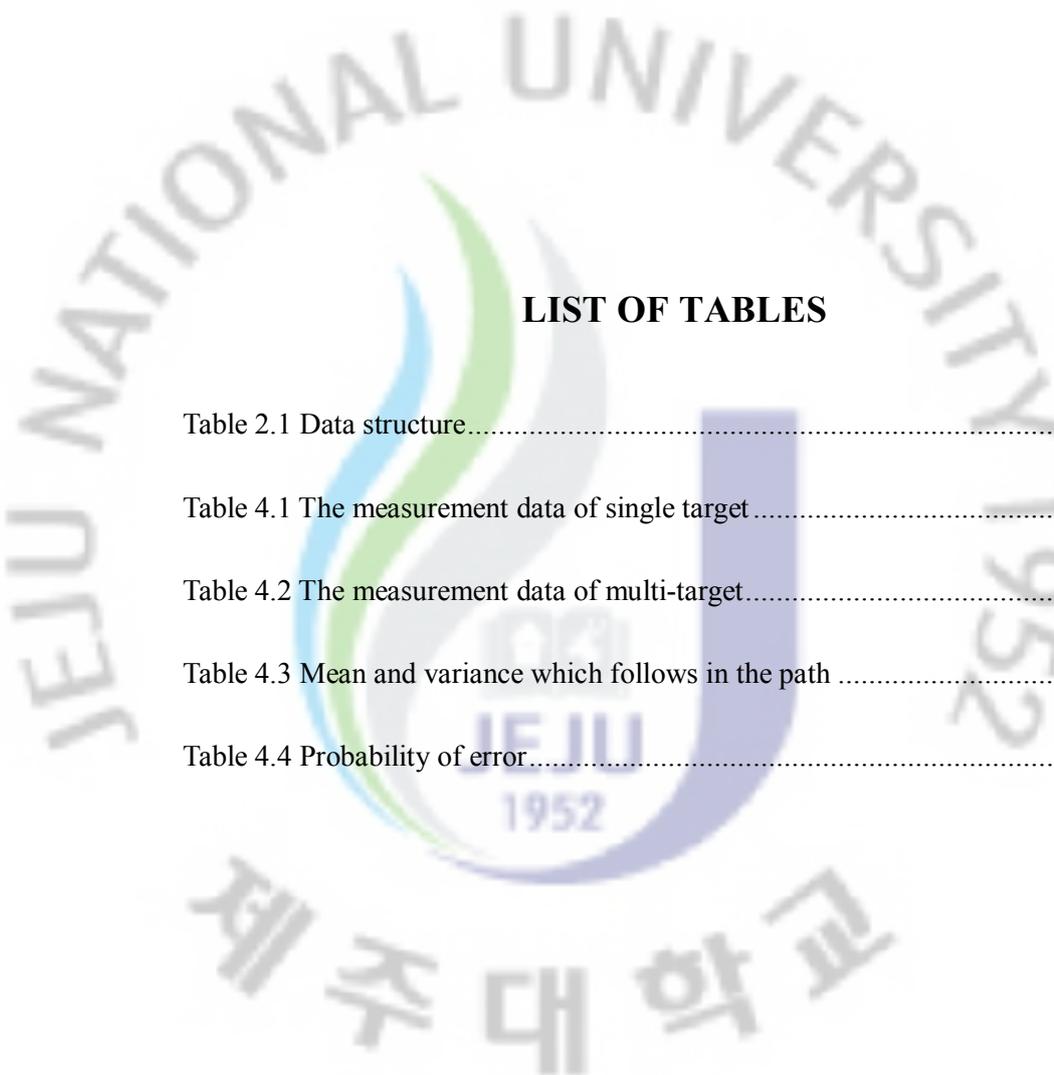
3.3. 갈지자형 배치.....	18
제 4 장 활성화 시간차를 이용한 예상 이동경로 검출 알고리즘.....	20
4.1. 활성화 시간 추정을 위한 단일 표적 노드 특성 실험.....	22
4.2. 활성화 시간 추정을 위한 다중 표적 노드 특성 실험 결과.....	26
4.3. 활성화 시간차를 이용한 예상 이동경로 검출 알고리즘.....	31
제 5 장 Labview 기반 감시경보 시스템.....	34
제 6 장 PDR 감시경보 시스템 실험.....	41
4.1. 경광등 제어 실험.....	43
4.2. 이동 표적 경로검출 및 추적 실험 결과.....	47
제 7 장 결 론.....	54
References	56
감사의글	58

LIST OF FIGURES

Figure 2.1 Principle of Pulse Doppler Radar	4
Figure 2.2 Block diagram of PDR sensor node.....	6
Figure 2.3 PDR sensor node	7
Figure 2.4 Structure of Sensor Network using PDR sensor node	8
Figure 2.5 Java Listen result in Cygwin	9
Figure 2.6 VISA Serial Communication vi in LabView	9
Figure 2.7 Ideal detection region of PDR sensor	10
Figure 2.8 Measurement experimental environment of detection region	11
Figure 2.9 The detection region which generalizes	12
Figure 3.1 Grid disposition of The Sensor Node	14
Figure 3.2 Location of the target which follow in the grid design	15
Figure 3.3 Linear disposition of The Sensor Node.....	16
Figure 3.4 Location of the target which follow in the linear design	17
Figure 3.5 Zigzag disposition of The Sensor Node.....	18
Figure 3.6 Location of the target which follow in the zigzag design	19
Figure 4.1 Target detection error.....	21
Figure 4.2 The difference time of activation.....	21

Figure 4.3 Experiment environment for the measurement activation time.....	23
Figure 4.4 Histogram of single target.....	24
Figure 4.5 The difference time pdf of activation by each path.....	25
Figure 4.6 The difference time pdf of non-activation by each path.....	25
Figure 4.7 The measurement data of single target by each path.....	26
Figure 4.8 Experiment environment for the measurement activation time of multi-target	27
Figure 4.9 The difference time pdf of M1.....	28
Figure 4.10 The measurement data of M1 by each path.....	28
Figure 4.11 The difference time pdf of M2.....	29
Figure 4.12 The measurement data of M2 by each path.....	29
Figure 4.13 The difference time pdf of M3.....	30
Figure 4.14 The measurement data of M3 by each path.....	30
Figure 4.15 Moving path detection using two dimension pdf.....	32
Figure 4.16 Algorithm Block diagram.....	33
Figure 5.1 The structure for surveillance-alert system using PDR.....	34
Figure 5.2 The system main GUI.....	35
Figure 5.3 LED electronic display board.....	35
Figure 5.4 History window.....	36
Figure 5.5 History window display result.....	36

Figure 5.6 The system set up GUI.....	37
Figure 5.7 The system flow chart.....	38
Figure 5.8 Present window and Past window display result.....	39
Figure 5.9 The system block diagram	40
Figure 6.1 Experiment environment.....	41
Figure 6.2 Pictures of Experiment.....	42
Figure 6.3 Concealment of sensor node	43
Figure 6.4-1 Alert experiment result - Recognition	44
Figure 6.5 Alert experiment result by Grid disposition	46
Figure 6.6 Alert experiment result by Zigzag disposition	46
Figure 6.7 Alert experiment result by Linear disposition	47
Figure 6.8 Target tracking experiment result by grid disposition in GUI display	48
Figure 6.9 Target tracking experiment result by linear disposition in GUI display	48
Figure 6.10 Target tracking experiment result by zigzag disposition in GUI display	49
Figure 6.11 Experiment result by linear disposition.....	49
Figure 6.12 Experiment result by grid disposition.....	50
Figure 6.13 Experiment result by zigzag disposition	51
Figure 6.14 Sensor node: 6, Experiment result by grid disposition	52
Figure 6.15 Sensor node: 6, Experiment result by zigzag disposition	52
Figure 6.16 Sensor node: 10, Experiment result	53

The logo of Jeju National University is a large, faint watermark in the background. It consists of a circular emblem with a stylized flame or leaf design in blue, green, and purple. The text "JEJU NATIONAL UNIVERSITY" is written in an arc at the top, and "제주대학교" is written in Korean at the bottom. The year "1952" is also present in the center of the emblem.

LIST OF TABLES

Table 2.1 Data structure.....	8
Table 4.1 The measurement data of single target.....	23
Table 4.2 The measurement data of multi-target.....	27
Table 4.3 Mean and variance which follows in the path	31
Table 4.4 Probability of error.....	32



제 1 장 서 론

21 세기 전장은 네트워크 중심전(NCW: Network Centric Warfare) 체계로 발전하고 있다. NCW란 탐지, 지휘, 타격 체계 등 여러 전투 요소를 통신 체계로 연계하여 정보의 우월성 확보로 지휘속도 향상, 신속한 작전 전개, 치명적 타격, 생존성향상 등 전투력을 극대화 시키는 작전수행 개념이다[7]. 공격탐지, 감시 및 경계, 적지 정찰 등의 목적으로 BAE SYSTEMS, Textron, L3 Communications 와 같은 외국 기업들은 무인 지상 센서(UGS: Unattended Ground Sensor)제품을 연구 개발해왔다. 무인 지상 센서는 GPS, 위성통신, PIR(Passive InfraRed), 음향, 진동, 자기 센서 및 고성능 센서 신호처리 기술에 의한 높은 탐지능력을 발휘하지만 비교적 큰 부피와 높은 가격에 의해 광범위한 작전지역을 장시간 감시 정찰하기에는 어려움이 있다[9]. 수km에서 수백km에 해당하는 군 작전지역에서 무인 센서를 이용한 감시정찰 시스템 구축을위해서는 경량화, 저전력 그리고 대규모 센서 네트워크가 가능해야 한다.

유비쿼터스 센서네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)기술은 1980 년경 군사적인 목적으로 미국 DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)에서 DSN(Distributed Sensor Networks)이라는 프로그램으로 버클리대에서 시작되었다. 이 프로그램은 적군 감지를 위해 통신 가능한 소형센서들을 배치하고 적군의 움직임을 탐지하여 보고하는 형태의 시스템을 개발했다[9]. 일반적으로 USN 에 사용되는 센서 노드는 크기가 작고 전력소모가 작으며, 저전력 통신을 제공한다. 또한 제한된 병렬처리 능력과 하드웨어 제어구조를 가지며, 하드웨어 I/O 장치를 직접 접근방식으로 제어한다[19,20]. 이러한 이유로 센서 노드는 경량화, 저전력 그리고 비용이 저렴한 장점을 갖지만 제한된 메모리, 낮은 연산처리 능력등 센서 운용측면에서 제한적으로 사용되는 단점이 있다. 센서 노드의 경량화, 저전력

그리고 대규모 센서 네트워크가 가능한 USN 기술을 군 시스템에 적용하기 위한 방안과[11], USN의 음향, 진동, 자기, PIR 센서를 이용한 감시정찰 시스템을 연구 중이다[12]. USN의 경량화, 저전력 시스템 구현을 위해 제한적인 센서 운용 및 신호처리 환경은 군의 감시정찰 시스템 운용환경에 따라 효율적인 적용 방안이 필요하다. 또한 감시정찰 영역에서 침입하는 적을 효율적으로 검출하기 위해서는 센서 탐지영역에 존재하는 지형 클러터(Clutter)로부터 이동하는 표적만을 검출 대상으로 선정해야 한다.

본 논문에서는 감시정찰 목적의 무인 감시경보 시스템을 설계 및 구현하였다. 시스템에 운용된 펄스 도플러 레이더(PDR: Pulse Doppler Radar) 센서노드는 센서 탐지영역 안에서 검출된 이동 표적의 존재유무 정보만을 제공한다. 제한적인 센서 노드 환경에서 이동 표적의 경로 검출 및 추적 알고리즘을 제안한다. 시스템 구현을 위해 PDR 센서노드의 일반화된 탐지영역을 측정 후 측정된 탐지영역과 예상 적 침투 경로의 지형적 특성을 고려한 최적의 센서 노드 배치 방법을 격자형, 선형, 갈지자형으로 제안 하였다. 제안된 배치 방법에 따라 측정된 탐지영역의 중심점 선정 방법 결과를 LUT로 활용하여 침입하는 표적을 검출 하였다. 검출된 표적의 위치 정보는 선형 보간법으로 연결하여 이동 표적의 경로를 추적한다. 이때 이동 표적과 야군의 방호체계와의 거리변화에 따라 경보등급을 인식-주의-경고-위험 순으로 조절하여 시청각적 경보로 적의 침입을 알린다. 이동 표적의 경로 추적 결과는 시스템 GUI 화면에 출력한다. 또한 최근 6 단계의 출력결과를 히스토리 창에 출력함으로써 감시경보 영역의 표적 이동 추이를 확인 할 수 있도록 하였다.

일반적인 펄스 도플러 레이더는 표적의 이동속도, 거리 그리고 방위각을 제공한다. 그러나 본 시스템에 운용된 펄스 도플러 레이더 센서노드는 시스템적인 제약으로 이동 표적의 존재 유무만을 제공한다. 그러한 이유로 표적의 위치 선정 및 추적을 위한 중심점 선정 방법은 탐지영역에 비례하는 오차를 포함한 추적 결과를 제공한다. 또한 중심점 선정 방법에 의한 이동 경로 표현은 이웃한

센서노드의 표적 검출 결과를 선형 보간법으로 연결한다. 이러한 중심점 선정 방법에 의한 감시경보 영역의 경계면에 배치된 노드에서의 이동 표적의 최종 방향 예측결과는 신뢰성이 떨어진다. 이러한 중심점 선정 방법의 취약 부분을 보완하기 위해 센서 배치 방법과 표적의 이동 경로에 따른 센서 노드 활성화 시간차의 통계적 특성 획득을 위한 실험을 수행하였다. 실험을 통해 획득한 표적 검출에 따른 활성화 시간차의 통계적 특성을 이용하여 이동 표적 경로 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘과 중심점 선정 방법을 함께 적용한 결과 신뢰성 높은 이동 표적의 최종 진행 방향을 예측할 수 있었다.

본 논문의 구성은 제 2 장에서는 시스템에 운용되는 PDR 센서노드의 하드웨어 특성과 센서노드의 탐지영역 특성을 분석한다. 제 3 장에서는 최적 센서배치 방법 및 중심점 선정 방법을 소개한다. 제 4 장에서는 중심점 선정 방법의 성능 향상을 위해 표적의 이동경로에 따라 발생하는 활성화 시간차의 통계적 특성 획득 실험을 및 이동 표적 경로 검출 알고리즘을 소개한다. 제 5 장에서는 LabView 기반 감시 경보 시스템 구현에 관해 기술된다. 제 6 장에서는 본 논문에서 제안된 이동표적의 경로 검출 및 추적 알고리즘의 성능 평가 및 검증을 위한 PDR 감시경보 시스템의 실험결과를 제시하고 제 7 장에서는 결론을 맺는다.

제 2 장 PDR 센서 노드 특성

2.1. 펄스 도플러 레이더

본 논문에서 운용되는 PDR 센서 노드는 펄스 도플러 레이더 센서로 레이더 센서의 도플러 효과를 이용하여 이동 표적을 검출한다. 도플러 효과는 크리스티안 도플러가 발견한 것으로 어떤 파동의 파동원과 관찰자의 상대 속도에 따라 진동수와 파장이 바뀌는 현상이다. 도플러 레이더 센서의 원리는 전자기파 신호가 움직이는 물체에 반사될 때, 도플러 효과로 인해 신호의 주파수가 물체의 속도에 비례하여 변화된다. 일정한 주기를 갖고 움직이는 물체로부터 반사되는 신호의 주파수는 동일하게 유지되나 위상이 시간에 따라 변한다. 시간에 따른 위상 변화는 표적의 이동 변위에 비례한다.

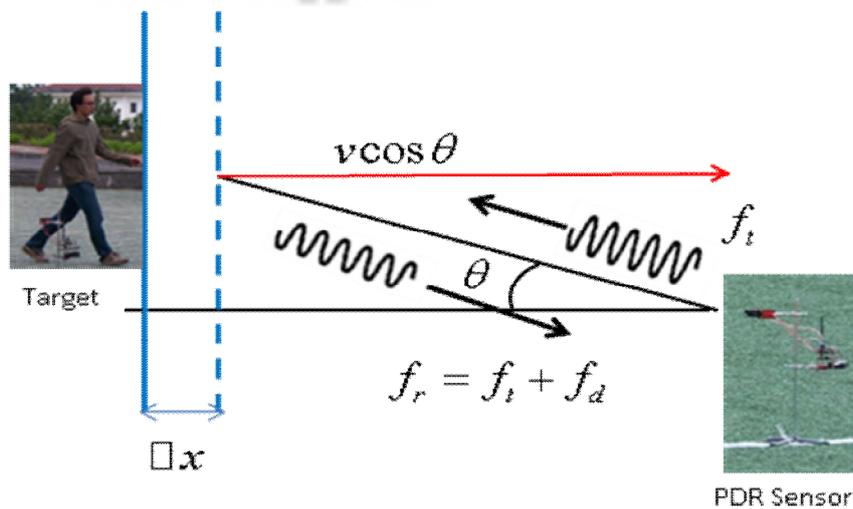


Figure 2.1 Principle of Pulse Doppler Radar

$$\begin{aligned}
 f_r &= \left(\frac{c + v \cos \theta}{c - v \cos \theta} \right) f_t \\
 f_d &= f_r - f_t = \frac{2v \cos \theta}{c - v \cos \theta} f_t, \\
 &= \frac{2v \cos \theta}{c} f_t = \frac{2v \cos \theta}{\lambda} \quad \text{if } v \cos \theta \ll c
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

여기서, f_t 는 도플러 레이더 센서의 송신 주파수, f_r 는 표적으로부터 반사된 수신 주파수, f_d 는 도플러 주파수, $v \cos \theta$ 는 표적의 이동 속도, c 는 전자기파의 속도로 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다. λ 는 송신 주파수의 파장을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 \sin(2\pi f_r t) &= \sin\left(2\pi f_t t + \frac{4\pi}{\lambda} v \cos \theta t\right), & v \cos \theta * t &= \Delta x \\
 &= \sin\left(2\pi f_t t + \frac{4\pi}{\lambda} \Delta x\right), & \frac{4\pi}{\lambda} \Delta x &= \Delta \phi \\
 &= \sin(2\pi f_t t + \Delta \phi), & 2\pi f_t t &= \phi_0 \\
 &= \sin(\phi_0 + \Delta \phi),
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

여기서, Δx 는 표적의 거리변화, $\Delta \phi$ 는 표적 거리 변화에 따른 위상 변화, ϕ_0 는 초기위상을 나타낸다. 즉, 수신 신호는 표적의 거리변화에 따른 위상변화에 따라 변화하게 된다. 일반적인 펄스 도플러 레이더는 이동 표적의 거리와 방위각 이동속도를 측정할 수 있다.

2.2. 하드웨어 특성

PDR 센서노드는 이동 표적의 도플러 효과를 검출하기 위한 PDR 센서 (BumbleBee Radar, Samraksh, USA)와 검출된 신호로부터 이동표적의 존재를 확인하고 검출된 결과를 PC 와 무선 센서네트워크하기 위한 USN 노드(Node : imote2, Crossbow, USA & TelosB, Crossbow, USA)로 구성된다. BumbleBee Radar 는 노드 규모의 저전력 PDR 센서로 이동물체의 위상 데이터를 TelosB 의 I/O 포트를 통해 imote2 에 전달한다. 전달된 위상 데이터는 연산 과정을 거쳐 이동 물체의 존재 여부를 판단하며, 판단 결과는 TelosB 를 통해 PC 와 무선 센서네트워크 한다. 일반적인 PDR 는 표적의 방위각, 거리 그리고 이동속도를 측정할수 있다. 그러나 앞장에서 설명한 USN 의 저전력, 경량화 시스템 구현을 위해 PDR 의 위상 데이터는 센서노드에서 제한적으로 운용되어 탐지영역 내의 표적 존재 여부만을 정보로 제공한다. 그림 2.2 는 PDR 센서노드의 블록도 이다.

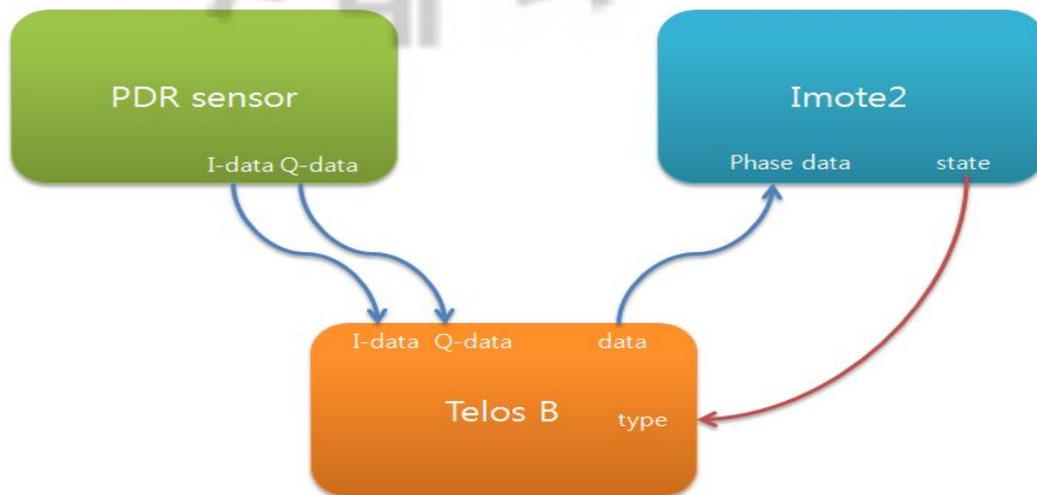


Figure 2.2 Block diagram of PDR sensor node

PDR 센서는 무선 센서네트워크 응용을 위해 설계된 저전력 Pulsed Doppler Radar(PDR)센서이다(그림 2.3 A). 센서 탐지영역은 최대 10m, 종각(azimuth) 60°

그리고 횡각(elevation) 120° 이다. 중심 주파수는 5.8GHz 이며 On-Board 안테나 형태로 구성되어 있다. PDR 센서는 이동표적 탐지에 있어 PIR(Passive InfraRed) 센서보다 더 좋은 false alarm 성능을 보인다.

TelosB 는 MSP430 와 cc2420 을 기반으로 설계된 USN RF 모듈이다(그림 2.3 B). IEEE 802.15.4 를 지원하며 저전력 임베디드 시스템 구현을 위한 TinyOS 가 탑재되어 있다. USB 인터페이스에 의한 프로그래밍과 데이터 수집이 가능하며 250kbps 데이터 전송률을 갖는다. TelosB 는 PDR 센서에서 측정된 위상 데이터를 Imote2 로 전달하고 Imote2 의 표적 검출 데이터를 기지국 노드와 무선 센서네트워크 한다.

Imote2는 Xscale CPU가 탑재된 고성능 무선 센서네트워크 노드이다(그림 2.3 C). Intel PXA271 XScale CPU at 13~416MHz 와 Intel 무선 MMX DSP Coprocessor 가 탑재되어 있다. 또한 IEEE 802.15.4 를 지원하며 3xUART, GPIOs, I2C, SDIO, 2xSPI 등 다양한 I/O 포트로 시스템 확장 성이 용이하다. 256kB SRAM, 32MB FLASH 그리고 32MB SDRAM 의 저장용량을 확보하고 있다. Imote2 는 TelosB 를 통해 획득한 PDR 센서의 위상 데이터로부터 위상차를 연산하여 표적의 유무를 검출한다.

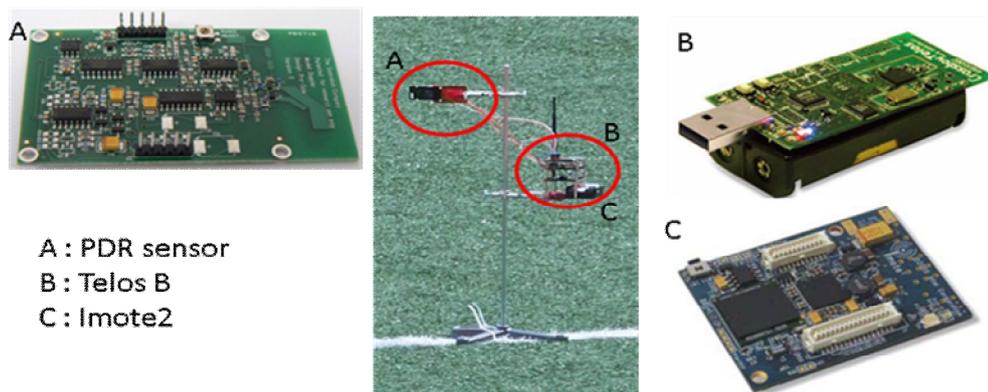


Figure 2.3 PDR sensor node

기지국 노드는 TelosB 로 구성되고 PC 와 센서 노드사이 무선 센서네트워크 역할을 한다. PDR 센서노드는 센서탐지영역에 존재하는 이동 표적의 존재여부를

검출하여 기지국 노드와 USN 무선 센서네트워크 한다(그림 2.4). 기지국 노드는 수신 받은 표적 검출 데이터를 시리얼 포트를 통해 PC 로 전송한다. 이때 전송되는 데이터 구조는 표 2.1 와 같다.

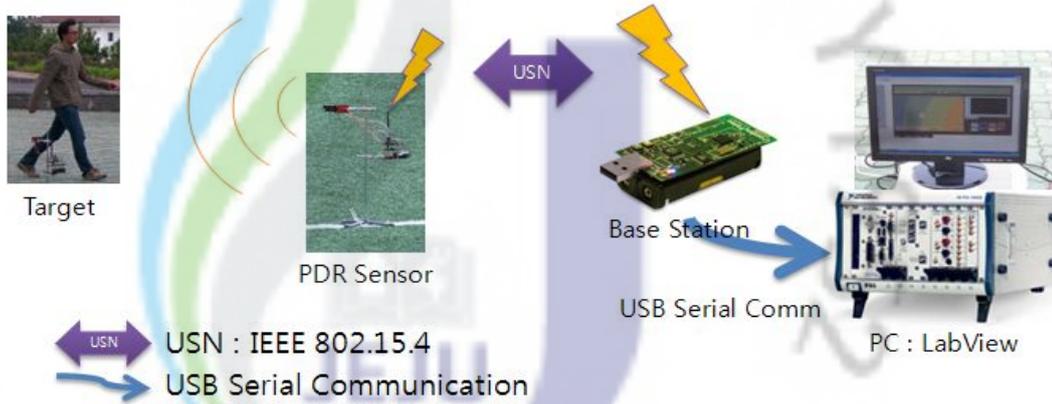


Figure 2.4 Structure of Sensor Network using PDR sensor node

Data structure																	
00	FF	FF	00	02	0A	00	EF	00	02	00	01	00	14	00	00	00	00
AM Packet	Destination address		Source address		Payload length	Group ID	Msg type	Node ID	Count			type	values				

Table 2.1 Data structure

첫 번째 바이트 ‘00’ 는 데이터 구조가 AM(Active Message) 구조라는 것을 나타낸다. 소스 주소와 노드 ID 는 각 PDR 센서노드 ID 를 의미 하며 Payload 길이는 메시지 구조체에서 정의한 데이터 전송 길이를 의미한다. ‘type’ 은 PDR 센서노드의 상태정보를 나타내며 탐지영역 내(內)에서 이동물체를 검출하면 즉 센서 노드가 활성화 되면 20(0x14)를 비활성화 되면 21(0x15)를 전송한다. 여기서 ‘Node ID’와 ‘type’정보만을 데이터로 사용한다. 수신된 데이터는 PC 환경에서 Cygwin 의 Listen 명령어로 확인할 수 있다(그림 2.5). 또한, LabView 환경에서 외부 디바이스의 정보는 VISA Serial Communication vi 함수를 사용하여 시리얼 통신 결과로 확인할 수 있다(그림 2.6). 시리얼 통신에 사용된

전송률은 115200 bit/s 이며 데이터 전송 비트는 8bit 이다. VISA Serial Communication vi 실험을 통해 기지국 노드 수신 데이터를 LabView 환경에서 수신 가능함을 확인하였고 이는 센서노드와 LabView 를 이용한 시스템 구현 가능 여부를 확인 할 수 있었다.

```

XBR5IXHU COM3 Crossbow Telos Rev.B
Administrator@JICOM ~
$ java net.tinyos.tools.Listen -comm serial@COM3:telosb
serial@COM3:115200: wesyochwanising
00 FF FF 00 02 0A 00 EF 00 02 00 00 00 14 00 00 00 00
00 FF FF 00 02 0A 00 EF 00 02 00 01 00 14 00 00 00 00
00 FF FF 00 02 0A 00 EF 00 02 00 02 00 15 00 00 00 00
00 FF FF 00 02 0A 00 EF 00 02 00 03 00 15 00 00 00 00
00 FF FF 00 03 0A 00 EF 00 03 00 00 00 14 00 00 00 00
00 FF FF 00 03 0A 00 EF 00 03 00 01 00 14 00 00 00 00
00 FF FF 00 02 0A 00 EF 00 02 00 04 00 14 00 00 00 00
00 FF FF 00 02 0A 00 EF 00 02 00 05 00 14 00 00 00 00

```

Figure 2.5 Java Listen result in Cygwin

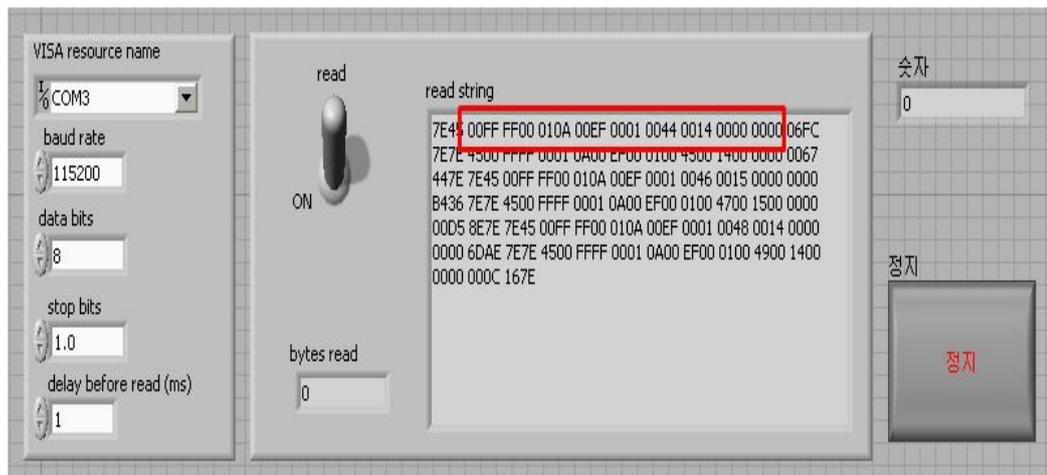


Figure 2.6 VISA Serial Communication vi in LabView

2.3. PDR 센서노드 탐지영역

PDR 센서노드의 탐지영역은 횡각 120° 의 지향각과 최대 10m 범위를 갖는다. 그림 2.7는 PDR 센서의 이상적인 탐지영역을 보인다.

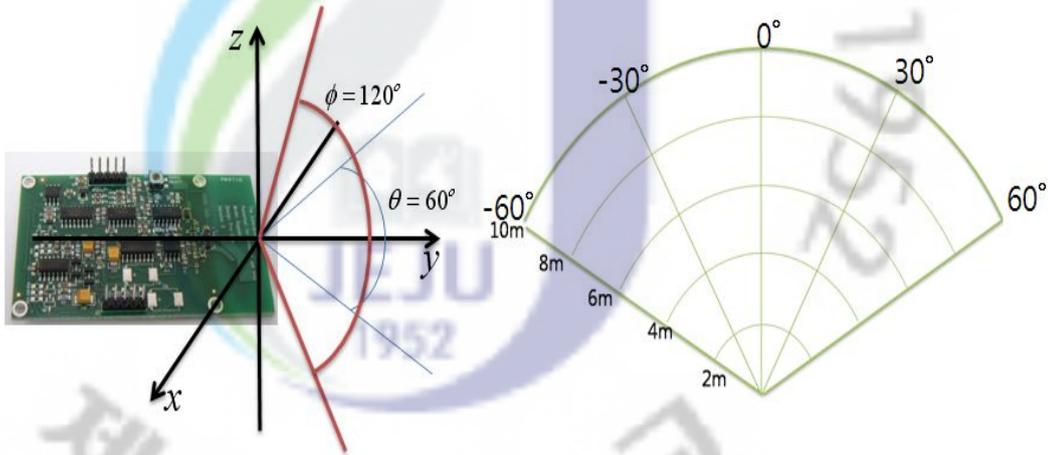


Figure 2.7 Ideal detection region of PDR sensor

여기서 θ 는 종각(azimuth) 60° 을 ϕ 는 횡각(elevation) 120° 을 의미한다. 감시경보 시스템에 운용되는 PDR 센서의 실질적인 탐지영역을 확인하기 위해 6개의 센서노드 탐지영역을 측정 한 후 측정된 탐지영역으로부터 일반화된 탐지영역을 정의한다.

2.3.1. 탐지영역 측정 환경

그림 2.8는 센서 탐지영역 측정 실험 환경을 나타낸다. PDR 센서 탐지영역을 30° , 2m 단위로 분할한 후 각 영역에서 임의의 움직임을 보였다. 이때 분할된 탐지영역에서의 이동표적 검출 빈도를 측정하였다.

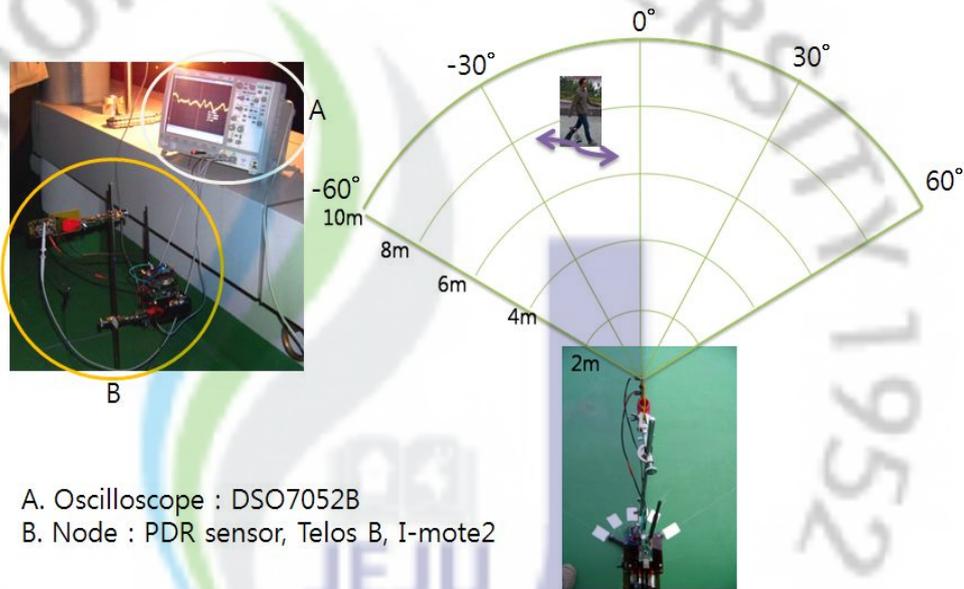


Figure 2.8 Measurement experimental environment of detection region

2.3.2. 탐지영역 측정 결과

1 번 센서노드의 탐지영역 측정결과 4~6m 영역에서는 120° 전 범위에서 높은 탐지력을 보였으며, 6~8m 영역에서는 중심각 기준 $\pm 50^\circ$ 범위에서 높은 탐지력을 보였다. 4m 이하 영역에서는 120°전 범위에서 센서노드로 근접할수록 낮은 탐지력을 보였다. 8m 이상의 영역에서는 매우 낮은 탐지력 특성을 보였다.

2 번 센서노드의 탐지영역 측정결과 4~6m 는 중심각 기준 $\pm 55^\circ$, 6~8m 는 $\pm 45^\circ$ 범위 그리고 8~9m 는 $\pm 25^\circ$ 범위에서도 높은 탐지력을 보였다. 4m 이하 영역에서는 120° 전 범위에서 센서노드로 근접할수록 낮은 탐지력을 보였다. 그밖에 영역에서는 매우 낮은 탐지력 특성을 보였다.

3 번 센서노드의 탐지영역 측정결과 4~7m 영역에서는 120° 전 범위에서 높은 탐지력을 보였으며, 4m 이하 영역에서는 120°전 범위에서 센서노드로 근접할수록 낮은 탐지력을 보였다. 7m 이상의 영역에서는 매우 낮은 탐지력 특성을 보였다.

4 번 센서노드의 탐지영역 측정결과 4~8m 영역에서는 120° 전 범위에서

센서노드 중 가장 감도가 높은 탐지력을 보였으며, 4m 이하 영역에서는 120° 전 범위에서 센서노드로 근접할수록 낮은 탐지력을 보였다. 0~8m, 120° 전 범위와 8~9m, $\pm 30^\circ$ 영역을 제외한 영역에서는 매우 낮은 탐지력 특성을 보였다.

5 번 센서노드의 탐지영역 측정결과 4~8m 영역에서는 120° 전 범위에서 높은 탐지력을 보였으며, 4m 이하 영역에서는 120° 전 범위에서 센서노드로 근접할수록 낮은 탐지력을 보였다. 그밖에 영역에서는 매우 낮은 탐지력 특성을 보였다.

6 번 센서노드의 탐지영역 측정결과 4.5~8m 영역에서는 120° 전 범위에서 높은 탐지력을 보였으며, 4m 이하 영역에서는 120° 전 범위에서 센서노드에 근접할수록 낮은 탐지력을 보였다. 그밖에 영역에서는 매우 낮은 탐지력 특성을 보였다.

탐지영역 측정 결과 일반적으로 4m~8m 탐지영역에서는 120° 전 범위에서 가장 높은 탐지력을 보였으며, 8m~9m는 중심각 기준 $\pm 30^\circ$ 의 탐지영역에서 좋은 탐지력을 보였다. 그리고 4m 이하 영역에서는 120° 전 범위에서 센서노드에 근접할수록 낮은 탐지력을 보였다. 또한 센서노드를 기준으로 2m 범위의 ‘후방 탐지영역’ 과 120° 근방의 ‘주변 탐지영역’ 을 확인 하였다. 그림 2.9 는 6 개의 측정된 탐지영역으로부터 획득한 일반화된 탐지영역을 정의한 것이다.

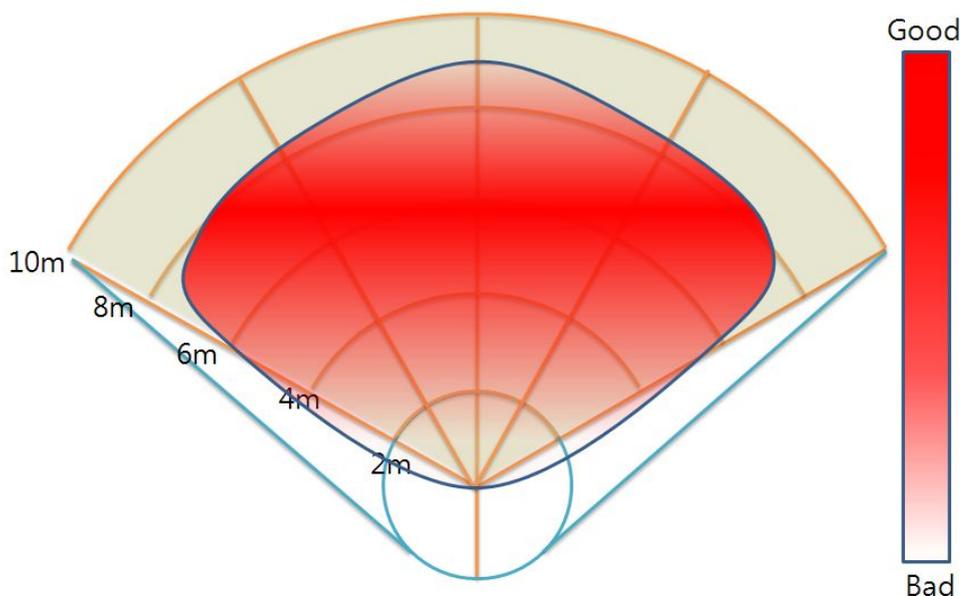


Figure 2.9 The detection region which generalizes

제 3 장 최적센서 배치 방법 및 중심점 선정 방법

본 장에서는 2.3 절에서 정의한 PDR 센서노드의 탐지영역을 기반으로 센서노드가 응용될 작전지역의 지형적 특성을 고려한 최적의 센서노드 배치 방법과 각 배치 방법에 따른 중심점 선정 방법에 대하여 기술한다.

본 시스템에 운용되는 PDR 센서노드의 특징은 탐지영역내 존재하는 이동 표적 검출여부에 따라 센서 구동상태를 활성화 또는 비활성화 정보로 전송한다. 위와 같은 센서노드 환경에서 표적 검출 및 표적의 이동경로를 표현함에 있어 표적의 위치 선정에 어려움이 따르며 정확한 이동표적의 위치는 검출할 수 없다. 그러나 지향각을 갖는 센서노드의 탐지영역에서 이동표적의 위치를 탐지영역의 면적 중심점으로 선정할 때 탐지범위에 비례하는 검출 오차를 포함한 표적 검출결과를 획득할 수 있다. 이는 수백에서 수킬로미터에 해당하는 감시정찰 지역에 비해 상대적으로 작은 오차라 할 수 있다. 이러한 중심점 선정 방법이 적용된 센서노드를 감시정찰 지역의 지형적 특성을 고려한 배치 방법따라 이동표적 검출 및 경로추적이 가능하다. 즉, 센서의 상태 정보만으로 이동표적의 감시경보 시스템 구현이 가능함을 보인다.

앞서 측정된 센서 탐지영역과 감시정찰 지역의 지형적 특성을 고려하여 센서노드의 배치 방법을 격자형, 선형 그리고 갈지자형으로 제안하며 센서노드 배치 방법과 배치에 따른 표적 검출 방법을 다음과 같이 서술한다.

3.1. 격자형 배치

3.1.1. 격자형 센서 배치 방법

그림 3.1 는 감시정찰 지역의 지형적 특성과 예상 침입경로에 따른 격자형

배치 예를 보인다. A 노드의 탐지영역의 중심각 θ_c 를 기준으로 센서노드의 왼쪽을 L 축 오른쪽을 R 축이라 정의한다. 또한 R 축이 y 축 방향을 바라볼 때는 아래쪽 노드, L 축이 -y 축 방향을 바라볼 때는 위쪽 노드로 정의한다. 표적 예상 침입경로가 그림과 같이 좌측에서 우측으로 접근할 때 앞서 정의한 아래쪽 노드의 R 축과 위쪽 노드의 L 축이 서로 겹치도록 배치하며 각 센서노드 간격은 PDR 센서의 최대 탐지 범위인 10m로 한다.

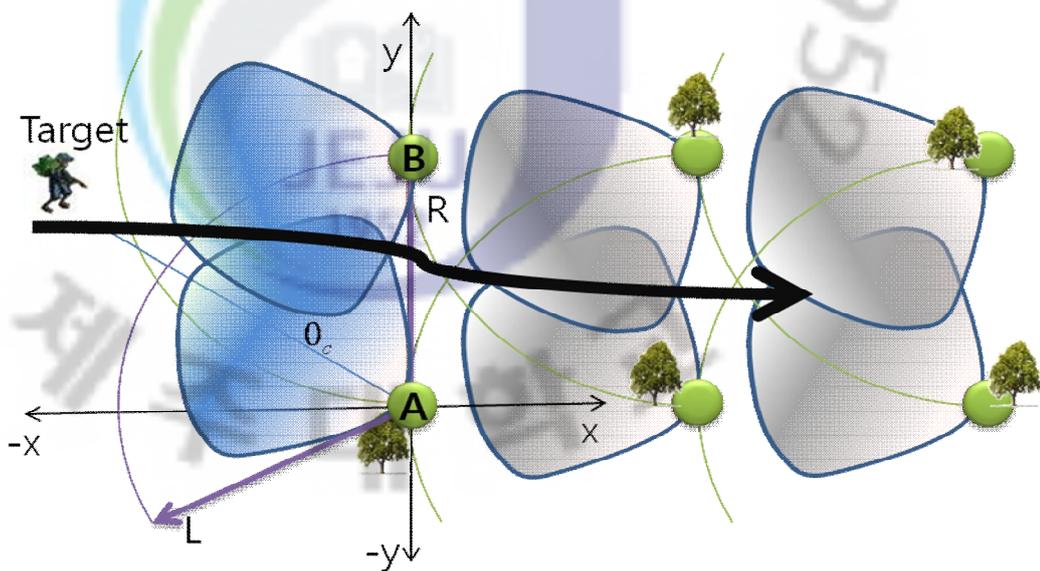


Figure 3.1 Grid disposition of The Sensor Node

3.1.2. 중심점 선정 방법

센서노드가 격자형으로 배치될 때 이동표적의 위치는 중심점 선정 방법에 의해 선정된다. 그림 3.2 는 격자형 배치에 따른 중심점 선정 기법을 xy 좌표를 이용하여 설명한다. 앞서 정의한 위쪽 노드와 아래쪽 노드에 따라 마주보는 한쌍의 노드중 단일 노드 활성화시 탐지영역의 중심점('+')을 표적의 위치로 선정한다. 또한 인접한 쌍의 노드가 동시에 활성화될 때 중첩되는 탐지영역의 중심점('x')을 표적의 위치로 선정한다.

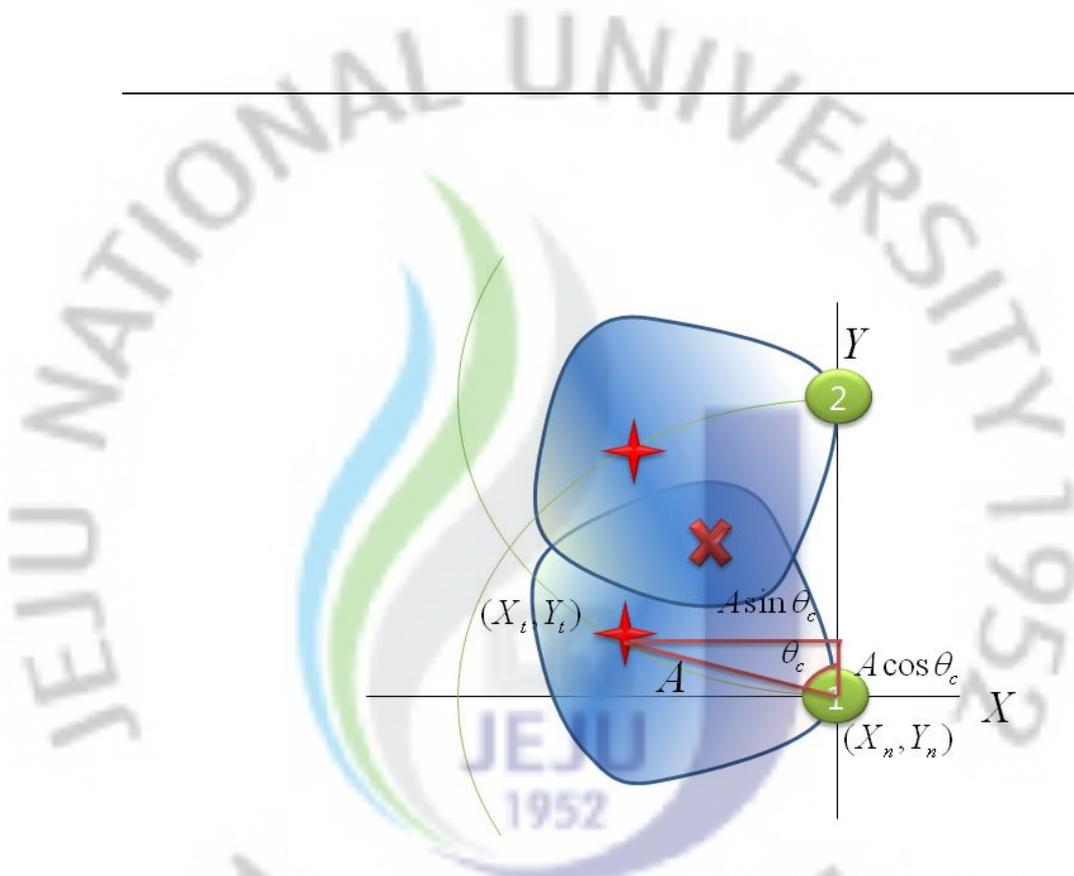


Figure 3.2 Location of the target which follow in the grid design

여기서 검출된 표적의 위치좌표는 식(3.1)과 같이 연산되어 LUT(Look Up Table)로 사용되며 LabView8.6(National Instruments, USA)로 프로그래밍 하였다.

$$\begin{aligned} X_t &= X_n - A \sin \theta_c \\ Y_t &= Y_n \pm A \cos \theta_c \end{aligned} \quad (3.1)$$

여기서 X_t, Y_t 는 검출된 표적의 위치이고, X_n, Y_n 는 배치된 센서노드의 위치를 나타내며 A 는 범위 계수로 격자형 배치에서는 PDR 센서의 탐지 감도가 가장 높은 4-8m 를 토대로 6m 를 선정하였다. θ_c 는 탐지영역의 중심각으로 y 축을 기준으로 단일 노드 활성화될 때는 60° 를 마주 보는 한쌍의 노드가 동시 활성화될 때는 34.5° 로 선정하였다. 또한 한쌍의 노드가 동시 활성화될 때 표적의 X_{t2}, Y_{t2} 는 식(3.2)와 같이 연산된다.

$$\begin{aligned}
 X_{t2} &= X_{t,up} = X_{t,down} = X_n - A \sin \theta_c \\
 Y_{t2} &= (Y_{t,up} + Y_{t,down}) / 2
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

여기서, $X_{t,down}, Y_{t,down}$ 는 아래쪽 노드에서 선정한 표적의 위치 이고, $X_{t,up}, Y_{t,up}$ 는 위쪽 노드에서 선정한 표적의 위치를 의미한다.

3.2. 선형 배치

3.2.1. 선형 센서 배치 방법

센서노드의 선형 배치는 그림 3.3 과 같이 침입 예상경로를 바로보도록 배치한다. 이때 각 센서노드의 탐지영역이 서로 겹치지 않도록 하며 간격은 PDR 센서의 최대 탐지 범위인 10m로 한다.

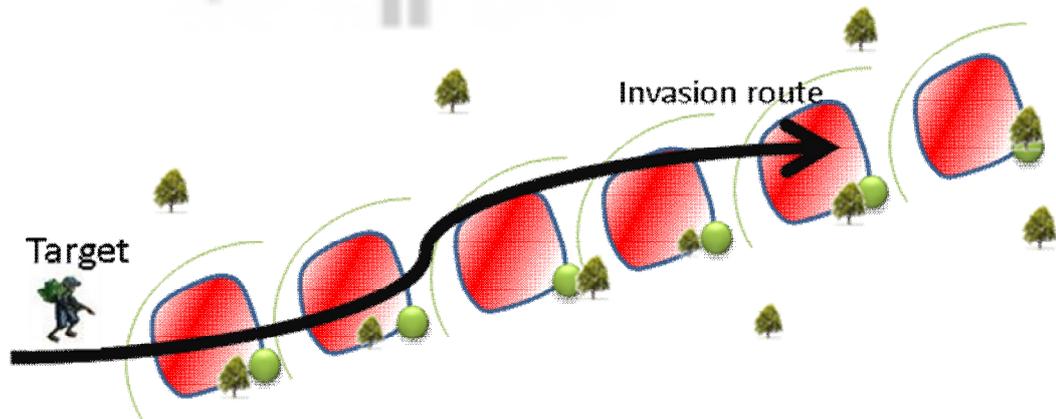


Figure 3.3 Linear disposition of The Sensor Node

3.2.2. 중심점 선정 방법

센서노드가 선형으로 배치될 때 이동표적의 위치는 중심점 선정 방법에 의해

선정된다. 그림 3.4 는 선형 배치에 따른 중심점 선정 기법을 xy 좌표를 이용하여 설명한다. 선형 배치된 센서노드가 활성화 되면 탐지영역의 중심점 ('+')을 표적의 위치로 선정한다.

여기서 검출된 표적의 위치좌표는 식(3.3)과 같이 연산되어 LUT 로 사용되며 LabView8.6 으로 프로그래밍 하였다.

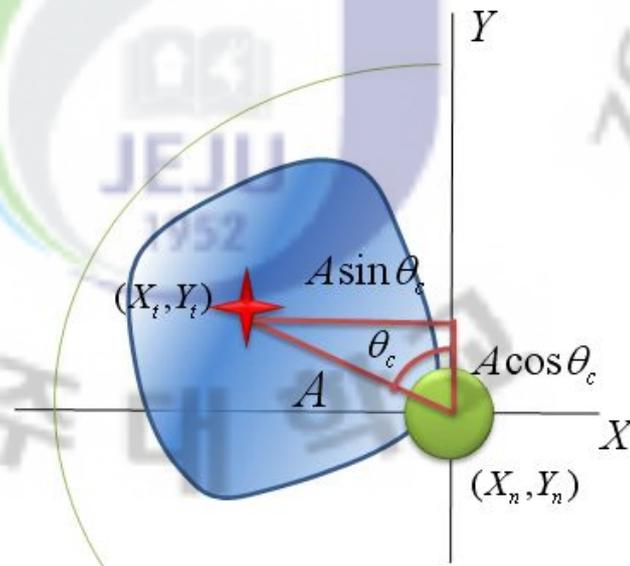


Figure 3.4 Location of the target which follow in the linear design

$$\begin{aligned} X_t &= X_n - A \sin \theta_c \\ Y_t &= Y_n + A \cos \theta_c \end{aligned} \quad (3.3)$$

여기서 X_t, Y_t 는 검출된 표적의 위치이고, X_n, Y_n 는 배치된 센서노드의 위치를 나타내며 A 는 범위 계수로 6m 를 선정하였으며 θ_c 는 탐지영역의 중심각으로 y 축을 기준으로 60° 로 선정하였다.

3.3. 갈지자형 배치

3.3.1. 갈지자형 센서 배치 방법

그림 3.5 는 감시정찰 지역의 지형적 특성과 예상 침입경로에 따른 갈지자형 배치 예를 보인다. 탐지영역의 중심각 θ_c 를 기준으로 센서노드의 왼쪽을 L 축 오른쪽을 R 축이라 정의한다. 또한 센서노드 좌표 정의에 따라 중심각 θ_c 가 y 축 방향을 바라볼 때는 아래쪽 노드, $-y$ 축 방향을 바라볼 때는 위쪽 노드로 정의한다. 갈지자형 센서노드 배치는 앞서 정의한 아래쪽 노드의 R 축과 위쪽 노드의 R 축이 서로 마주 보도록 배치한다. 이때 각 센서노드 간격은 가로 13m 세로 8.5m로 배치한다.

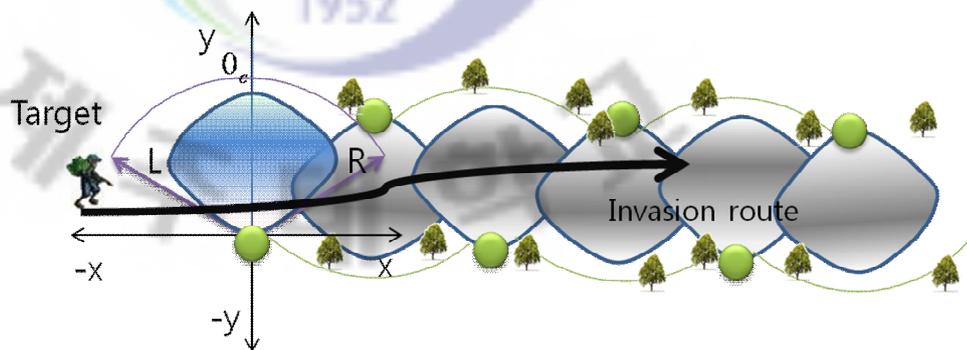


Figure 3.5 Zigzag disposition of The Sensor Node

3.3.2. 중심점 선정 방법

센서노드가 갈지자형으로 배치될 때 이동표적의 위치는 중심점 선정 방법에 의해 선정된다. 그림 3.6 는 갈지자형 배치에 따른 중심점 선정 기법을 xy 좌표를 이용하여 설명한다. 앞서 정의한 위쪽 노드와 아래쪽 노드에 따라 인접한 한쌍의 노드중 단일 노드 활성화시 탐지영역의 중심점('+')을 표적의 위치로 선정한다. 또한 인접한 쌍의 노드가 동시에 활성화될 때 중첩되는 탐지영역의 중심점('x')을 표적의 위치로 선정한다.

여기서 검출된 표적의 위치좌표는 식(3.4)과 같이 연산되어 LUT 로 사용되며 LabView8.6 으로 프로그래밍 하였다.

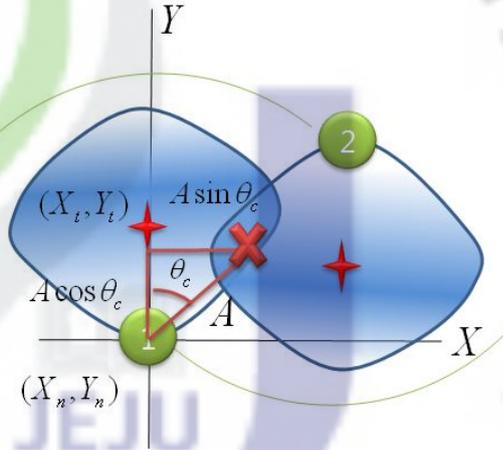


Figure 3.6 Location of the target which follow in the zigzag design

$$\begin{aligned} X_t &= X_n \\ Y_t &= Y_n \pm A \cos \theta_c \end{aligned} \quad (3.4)$$

여기서 X_t, Y_t 는 검출된 표적의 위치이고, X_n, Y_n 는 배치된 센서노드의 위치를 나타내며 A 는 범위 계수를 θ_c 는 탐지영역의 중심각이다. 단일 노드 활성화시 범위계수 A 는 5m 중심각 θ_c 는 0° 로 선정하였다. 또한 인접한 노드가 함께 활성화될 때는 범위계수 A 는 6m 중심각 θ_c 는 60° 로 선정하였다. 인접한 노드가 동시 활성화될 때 표적의 X_{t2}, Y_{t2} 는 식(3.5)와 같이 연산된다.

$$\begin{aligned} X_{t2} &= X_{t,up} = X_{t,down} = X_n \pm A \sin \theta_c \\ Y_{t2} &= (Y_{t,up} + Y_{t,down}) / 2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

여기서, $X_{t,down}, Y_{t,down}$ 는 아래쪽 노드에서 선정한 표적의 위치를 나타내고 $X_{t,up}, Y_{t,up}$ 는 위쪽 노드에서 선정한 표적의 위치를 나타낸다.

제 4 장 활성화 시간차를 이용한 예상 이동경로 검출 알고리즘

본 장에서는 표적 침입 이동경로에 따른 활성화 시간차와 비활성화 시간차의 통계적 특성 분석 실험 결과를 소개하고 활성화 시간차의 통계적 특성을 이용한 예상 이동경로 검출 알고리즘을 제안한다. 앞장에서 설명한 PDR 센서노드는 탐지영역 내 존재하는 이동표적의 움직임에 따른 도플러 효과를 이용하여 표적존재 유무 정보만을 전송한다. 이와 같은 센서노드 환경에서 표적의 위치는 앞서 소개한 중심점 선정 방법으로 선정된다. 중심점 선정 방법을 이용한 표적 이동경로 추적은 임의의 센서노드의 표적 검출 결과로부터 이웃한 센서노드의 표적 검출 결과를 선형 보간법으로 연결하여 추적된다. 이때 표적 검출 결과는 제한된 센서 운용에 따라 센서 탐지 범위에 비례하는 검출 오차를 갖게 된다(그림 4.1). 또한 중심점 선정 방법만으로는 감시경보 영역의 경계면에 배치된 센서노드의 표적 검출 결과 이후의 표적 예상 이동경로를 추정하기 어렵다. 이러한 중심점 선정 방법의 취약 부분을 보완 하기 위한 방법이 필요하다.

이러한 가운데 센서노드는 센서 배치 방법 및 표적의 침입 경로에 따라 활성화 및 비활성화 시작 시간에 차가 발생한다. 그림 4.2 는 센서노드 활성화 및 비활성화 시간차 예를 도시한 것이다. 여기서 이동 경로 1 과 2 로 표적이 이동할 때 센서노드 A 와 B 의 위치에 따라 표적 검출 활성화 시작 시점과 비활성화 시작 시점에 시간차가 발생한다. 활성화 시간차와 비활성화 시간차는 표적 이동 경로에 따라 경로 1 에서보다 경로 2 에서 더 큰 시간차가 발생한다. 즉, 한쌍의 센서 노드로부터 표적 검출 활성화 시간차와 비활성화 시간차를 이용할때 각각 표적 침입 유입 경로와 유출 경로를 파악할수 있게된다.

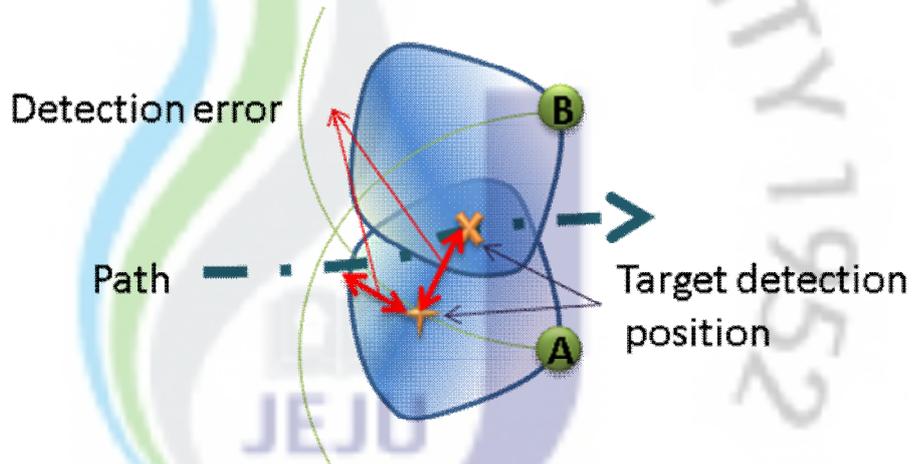


Figure 4.1 Target detection error

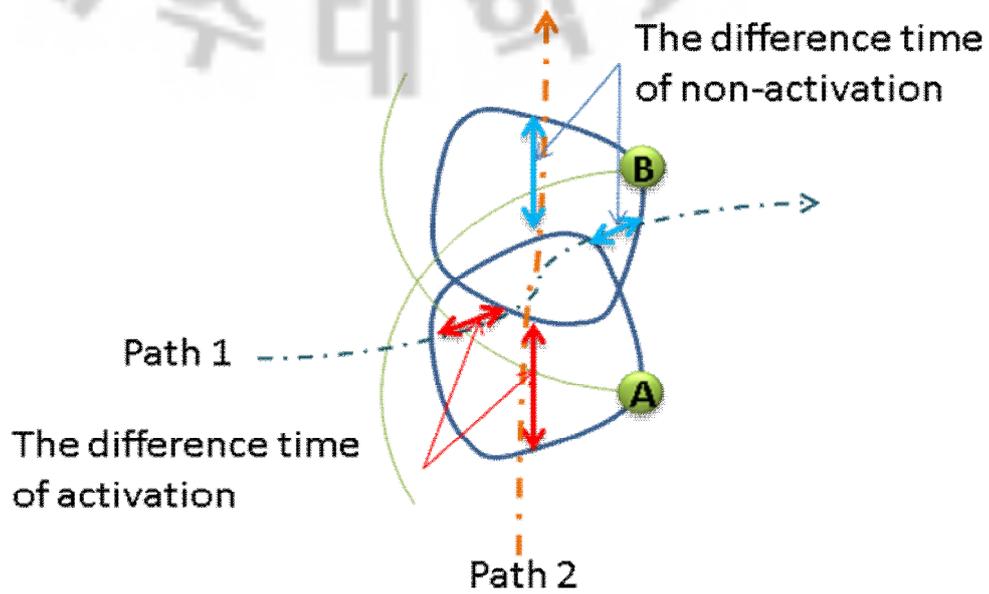


Figure 4.2 The difference time of activation

활성화 시간차를 dt_{on} , 비활성화 시간차를 dt_{off} 라 할 때 dt_{on} 과 dt_{off} 는 식(4.1)과 같이 연산된다.

$$\begin{aligned} dt_{on} &= A_{on_time} - B_{on_time} \\ dt_{off} &= A_{off_time} - B_{off_time} \end{aligned} \quad (4.1)$$

여기서, A_{on_time} 와 A_{off_time} 는 각각 A 센서노드의 활성화(on) 시간과 비활성화(off) 시간을 나타내고, B_{on_time} 와 B_{off_time} 는 각각 B 센서노드의 활성화(on) 시간과 비활성화(off) 시간을 나타낸다. 표적 검출 결과는 센서노드에서 PC 로 전송된다. 이때 PC 에서는 수신 받는 시점을 LabView 내부 타이머를 이용하여 활성화 시간을 획득한다.

dt_{on} 의 정보는 중심점 선정 방법의 표적 검출 결과를 보완하여 표적 진입 방향에 따른 검출 오차를 감소 시킬 수 있으며 dt_{off} 의 정보는 표적 검출 이후의 예상 경로를 추정 할 수 있을 것으로 보인다. 즉, 한쌍의 센서노드에서 획득한 표적의 이동경로에 따른 활성화 시간차 정보로 이동 표적의 진입경로 및 진출 경로를 추정할 수 있다.

4.1. 활성화 시간 추정을 위한 단일 표적 노드 특성 실험

4.1.1. 단일표적 노드 특성 실험 환경

그림 4.3 은 활성화 시간차 획득 실험 환경을 나타낸다. A 와 B 는 센서노드를 나타내고 1,2,3 는 이동경로를 의미한다. 센서노드를 격자형 배치 방법에 따라 배치한 후 센서 탐지감도가 높은 4~8m 범위에 그림과 같이 실험환경 바닥에 표시한다. 이때 이동경로 1,2,3 에 따라 검출 되는 센서노드의 활성화 시간을 데이터로 수집 하였다. 단일 표적 실험은 5 명의 피실험자를 각 이동 경로당

100 회 이상의 실험 데이터를 수집하였다.

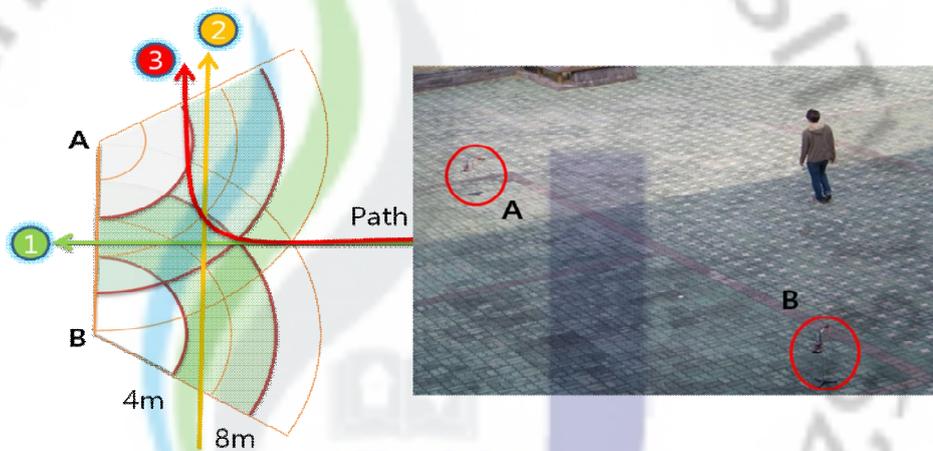


Figure 4.3 Experiment environment for the measurement activation time

표 4.1 는 단일 표적의 측정 데이터 표를 보인다.

Target information	Path 1	Path 2	Path 3
S1 (188 cm, 72 kg)	100	100	100
S2 (180 cm, 77 kg)	100	100	100
S3 (171 cm, 65 kg)	100	100	100
S4 (172 cm, 60 kg)	100	100	100
S5 (173 cm, 80 kg)	100	100	100
Total + α	600	600	600

Table 4.1 The measurement data of single target

여기서, S1, S2, S3, S4, S5 는 단일 표적의 피실험자 정보를 나타낸다.

4.1.2. 단일표적 노드 특성 실험 결과

단일 표적의 이동경로에 따른 센서노드의 활성화 시간 측정 결과를 소개한다.

다음은 각 5 명의 피실험자 종합 측정 데이터 결과이며, 그림 4.4 는 각 이동 경로에 따른 dt on, dt off 의 측정된 데이터 히스토그램을 보인다.

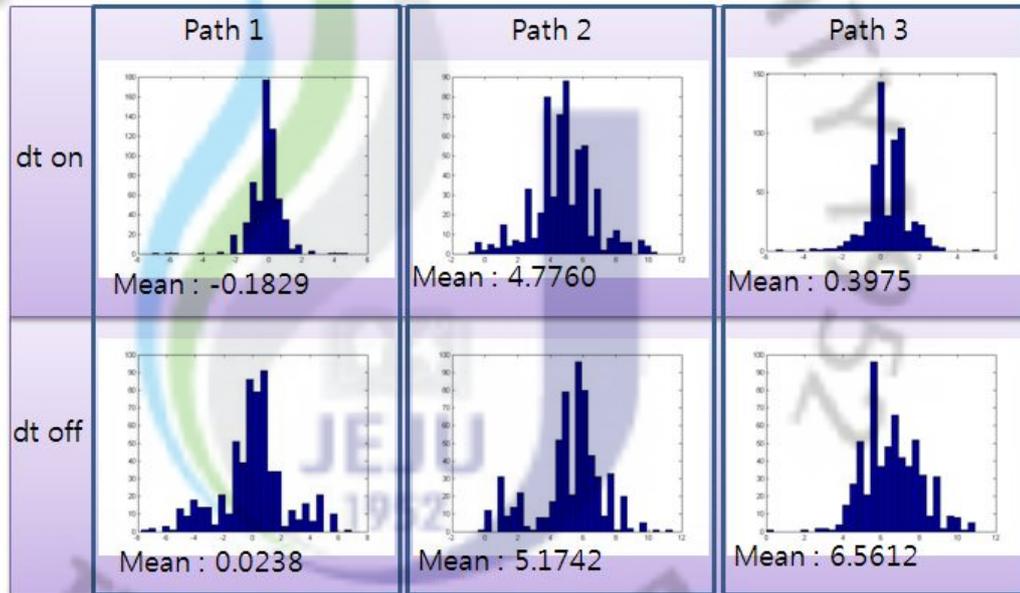


Figure 4.4 Histogram of single target

여기서, Path1, Path2, Path3 은 각 이동경로를 의미하고 mean 값은 dt on, dt off 데이터의 평균값을 의미한다. 그림 4.5와 그림 4.6은 측정된 데이터의 pdf 결과를 보이며 그림 4.7 는 dt on, dt off 좌표계로 표현한 이동경로에 따른 데이터 측정 결과를 보인다. 활성화 시간에 따른 노드 특성 실험 결과 dt on, dt off 의 결과로 이동 경로를 판단 할 수 있다. 이는 중심점 선정 알고리즘과 병행 적용할 때 이동 경로에 따른 표적 위치 추적 오차를 감소 시킬 수 있으며 경계면에 위치하는 노드로 부터 감시경보 영역을 벗어나는 표적의 예상 경로를 예측 가능할 것으로 보인다.

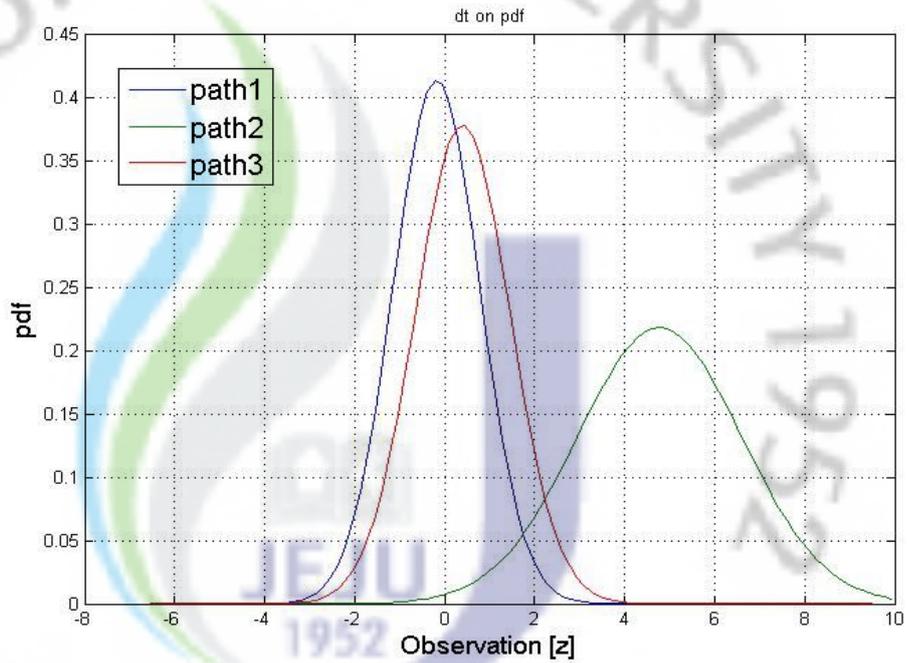


Figure 4.5 The difference time pdf of activation by each path

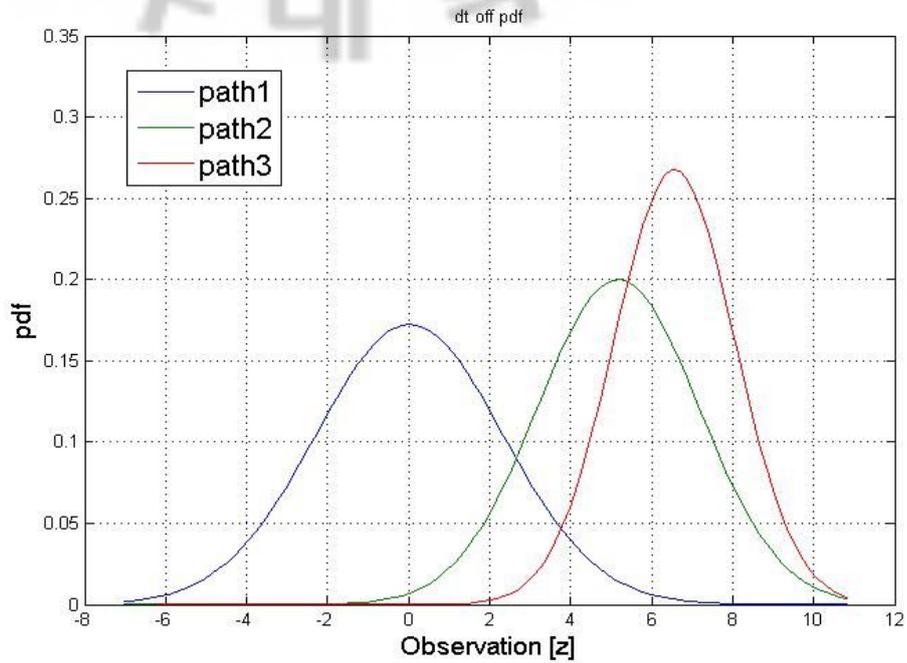


Figure 4.6 The difference time pdf of non-activation by each path

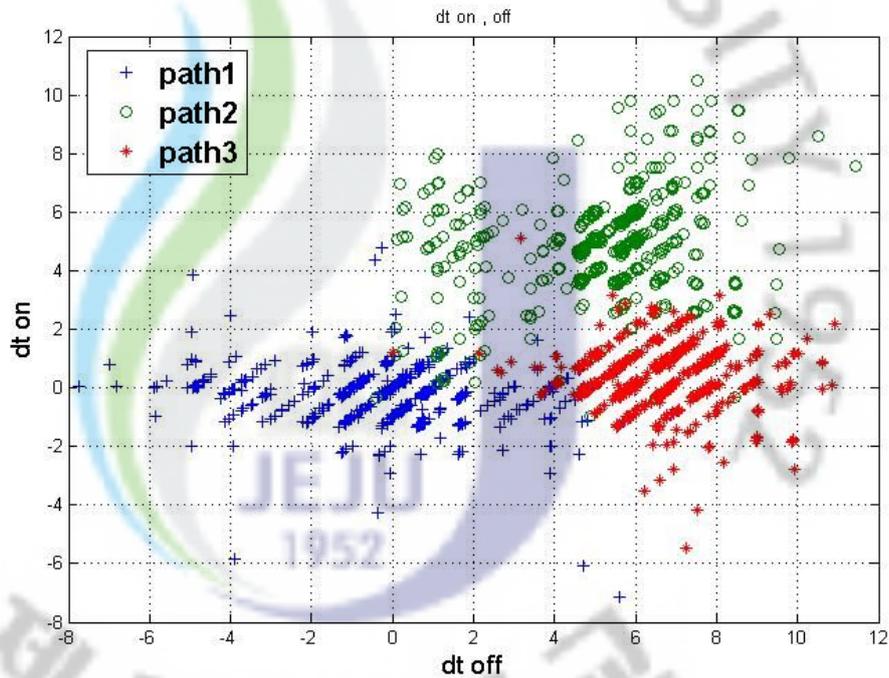


Figure 4.7 The measurement data of single target by each path

4.2. 활성화 시간 추정을 위한 다중 표적 노드 특성 실험 결과

4.2.1. 다중표적 노드 특성 실험 환경

다중 표적 실험은 그룹 인원을 1,2,3 명으로 배정하였으며 앞 뒤 피실험자간 간격을 1.5m 이내로 위치한 후 각 경로당 50 회 이상의 실험 데이터를 수집하였다. 그림 4.8 는 다중표적의 활성화 시간차 측정을 위한 다중 표적 실험 환경을 나타내며 실내(본교 해양과학대학 4 호관 1 층 로비)에서 이루어 졌다.

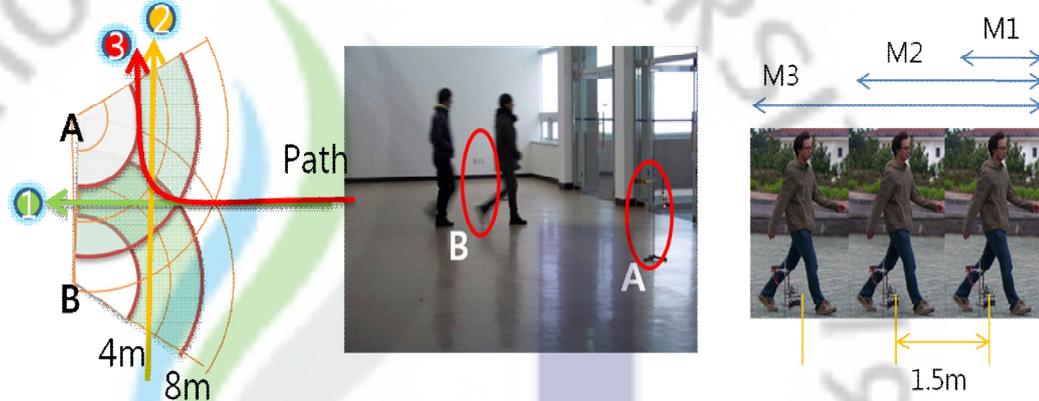


Figure 4.8 Experiment environment for the measurement activation time of multi-target

표 4.2는 다중 표적의 측정 데이터 표를 보인다.

Target information	Path 1	Path 2	Path 3
M1 (one person)	50	50	50
M2 (2 people)	50	50	50
M3 (3people)	50	50	50

Table 4.2 The measurement data of multi-target

여기서, M1, M2, M3 는 다중 표적의 그룹 인원을 의미한다.

4.2.2. 다중표적 노드 특성 실험 결과

다중 표적의 이동경로에 따른 센서노드의 활성화 시간 측정 결과를 소개한다. M1, M2, M3 는 각 그룹의 인원을 의미하고 각 경로당 50 회의 측정 데이터 결과를 도시한다. 활성화 시간에 따른 노드 특성 실험 결과 dt on, dt off 의 결과로 다중 표적의 이동경로 또한 판단 할 수 있다.

M1 (1 명)

그림 4.9 는 실내환경에서의 dt 측정 데이터 pdf 결과를 보이며 그림 4.10 는 dt on, dt off 좌표계로 표현한 이동경로에 따른 데이터 측정 결과를 보인다.

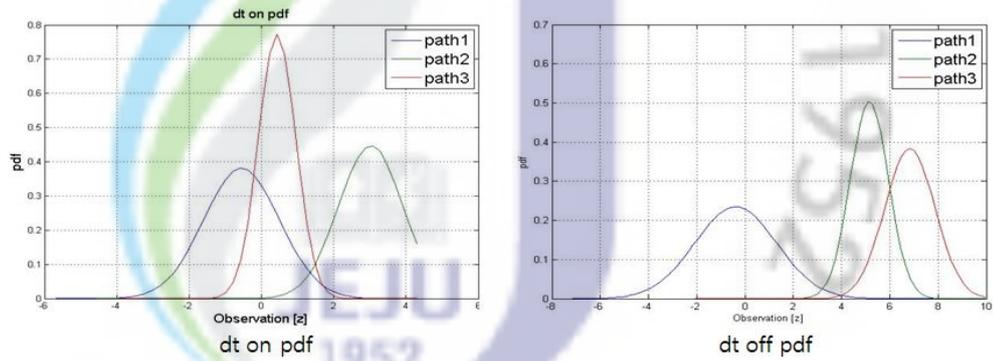


Figure 4.9 The difference time pdf of M1

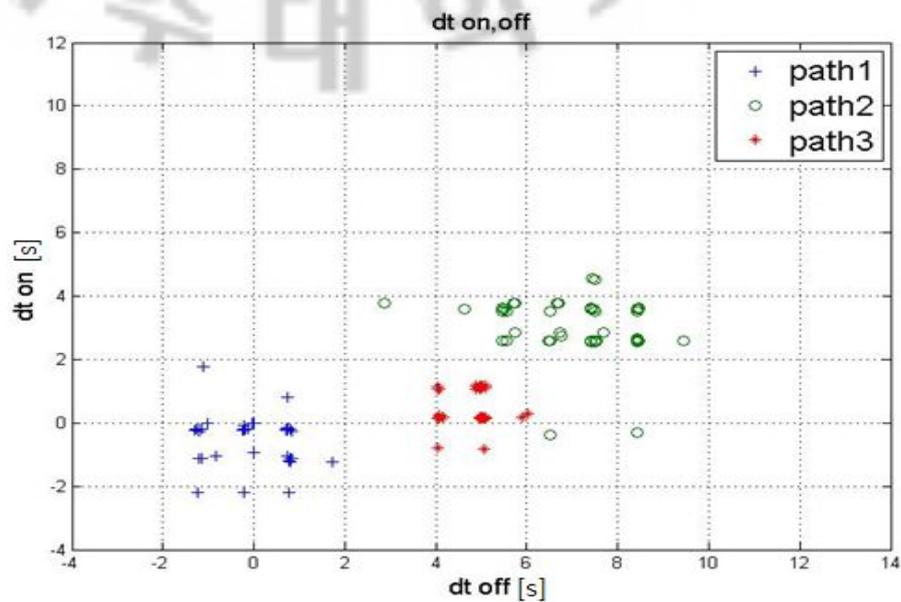


Figure 4.10 The measurement data of M1 by each path

M2 (2 명)

그림 4.11 는 M2 의 dt 측정 데이터 pdf 결과를 보이며 그림 4.12 는 dt on, dt off 좌표계로 표현한 이동경로에 따른 데이터 측정 결과를 보인다.

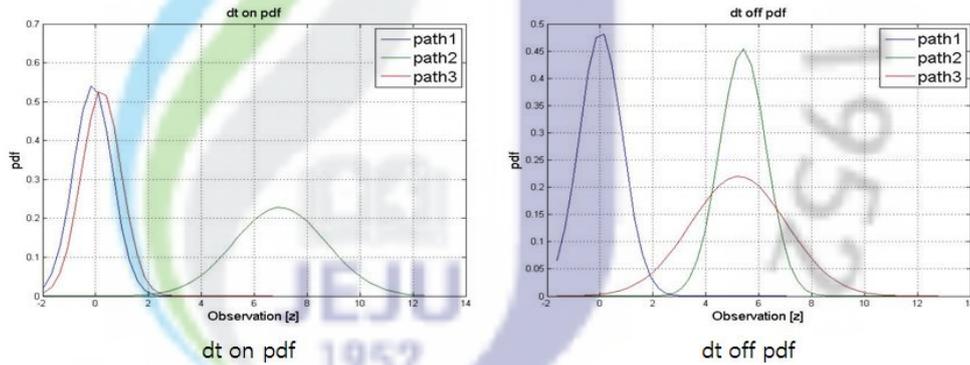


Figure 4.11 The difference time pdf of M2

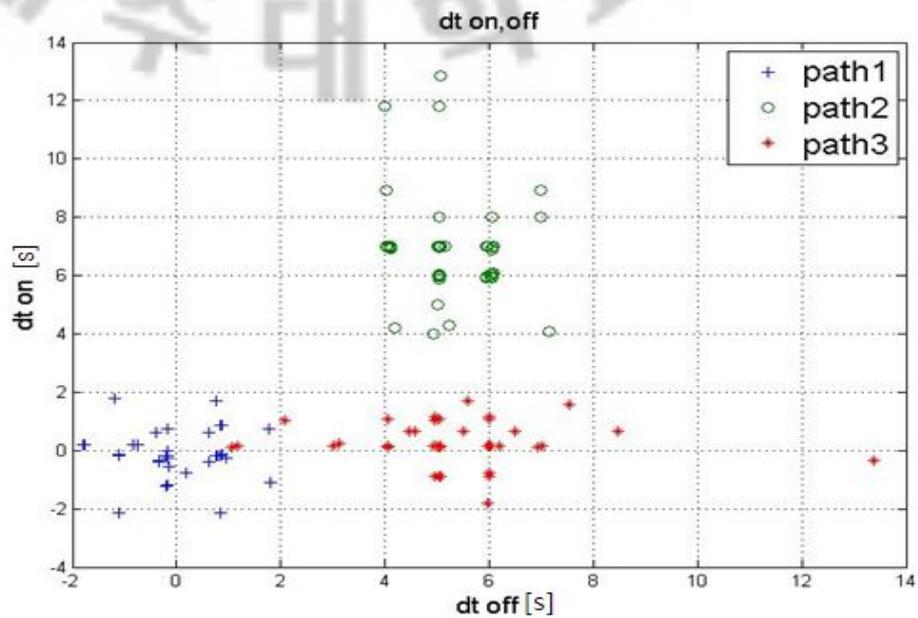


Figure 4.12 The measurement data of M2 by each path

M3 (3 명)

그림 4.13 는 M3 의 dt 측정 데이터 pdf 결과를 보이며 그림 4.14 는 dt on, dt off 좌표계로 표현한 이동경로에 따른 데이터 측정 결과를 보인다.

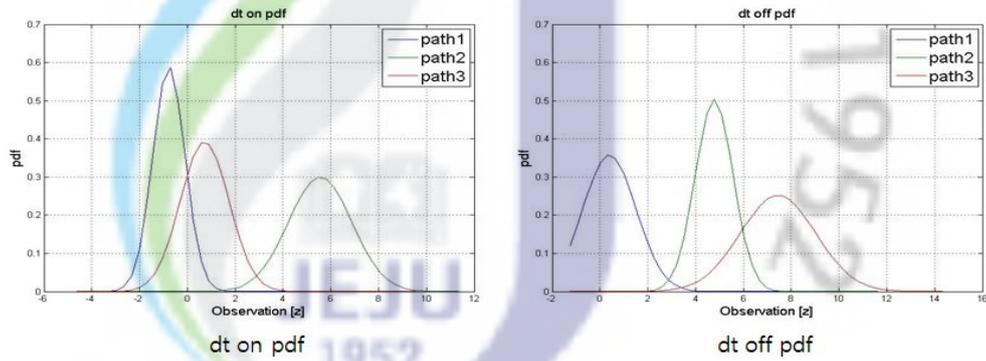


Figure 4.13 The difference time pdf of M3

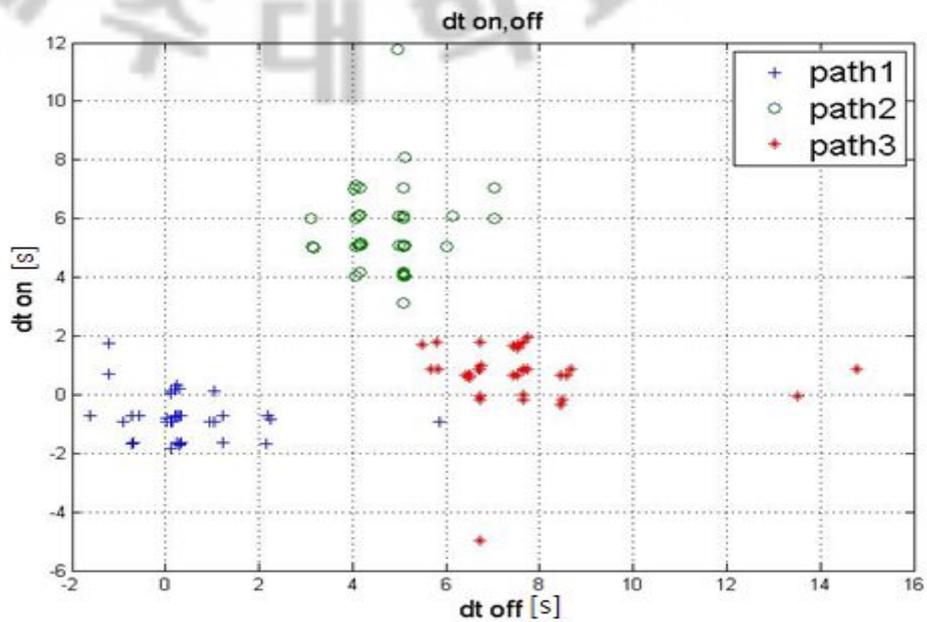


Figure 4.14 The measurement data of M3 by each path

4.3. 활성화 시간차를 이용한 예상 이동경로 검출 알고리즘

4.3.1. ML 검파를 이용한 이동경로 검출

실험을 통해 획득한 이동 경로에 따른 검출 시간차의 통계적 특성을 이용한 표적 이동 경로 검출 방법을 소개한다. ML(Maximum Likelihood) 검파 방법을 이용하여 이동 경로를 추정한다. ML 검파에 사용되는 매개변수는 실험을 통해 획득한 이동경로에 따른 검출 시간차의 확률밀도함수(pdf: probability density function) 이다. 측정된 실험결과의 히스토그램을 기준으로 이동 경로에 따른 검출 시간차의 분포를 가우시안 밀도 함수로 가정할 때, 이동 경로에 따른 검출 시간차의 평균과 분산 데이터를 이용하여 비활성화 시간차를 observation z_1 축으로 활성화 시간차 observation z_2 축으로 하는 2 차원 확률밀도함수를 구할 수 있다. 2 차원 확률밀도함수로부터 이동 경로 결정 영역을 식(4.2)와 같이 선정할 때 각각의 경로에 따른 오류 검출 백분율은 각각 5.67%, 5.83% 그리고 7.17%의 낮은 에러 확률을 갖고 표적의 이동 경로를 결정 할 수 있다.

		Path 1	Path 2	Path 3
dt on	mean	-0.1829	4.7760	0.3975
	variance	0.9258	3.3391	1.1103
dt off	mean	0.0238	5.1742	6.5612
	variance	5.3591	3.9779	2.2235

Table 4.3 Mean and variance which follows in the path

$$\begin{aligned}
 d1 &= \{z : z_2 + 0.44z_1 < 2.8; z_2 + 3.411z_1 < 13.65\} \\
 d2 &= \{z : z_2 + 0.44z_1 > 2.8; z_2 - 0.223z_1 > 0.4\} \\
 d3 &= \{z : z_2 - 0.223z_1 < 0.4; z_2 + 3.411z_1 > 13.65\}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

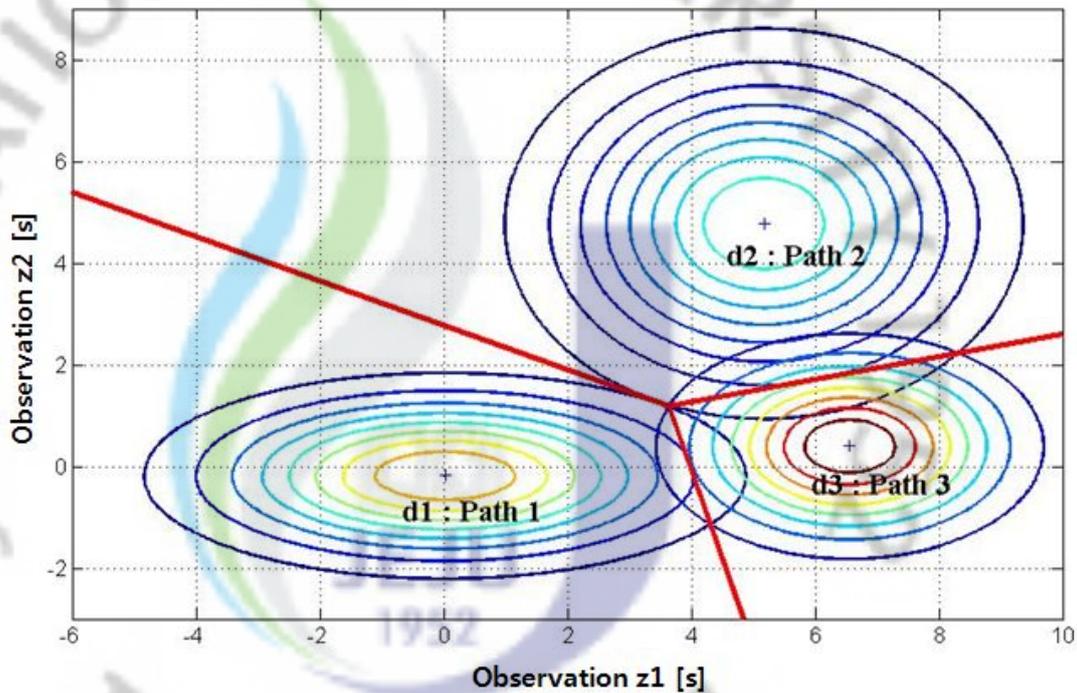


Figure 4.15 Moving path detection using two dimension pdf

	Path 1	Path 2	Path 3
Probability of Error	5.67%	5.83%	7.17%

Table 4.4 Probability of error

4.3.2. 표적 추적 및 이동경로 검출 알고리즘

탐지영역에 배치된 각 PDR 센서노드의 표적 검출 결과는 기지국 노드와 무선 센서네트워크하여 노드 상태를 정보를 수신받고 수신된 상태 정보는 PC 와 직렬 통신한다. 이때 센서노드는 이동 표적 검출결과에 따라 활성화를 시작하면 '20(0x14)'을 활성화를 멈추면 '21(0x15)'의 상태정보를 송신한다. 수신된 센서노드의 상태정보는 노드의 ID 와 노드 활성화 상태 그리고 수신된 시간을 버퍼에 기록한다. 노드 활성화 상태 정보로부터 LUT 를 활용하여 표적의 위치를

중심점 선정 방법으로 선정한다. 한쌍의 노드 활성화 상태 정보로부터 검출 시간차를 획득하여 표적의 이동 경로를 결정한다. 결정된 표적 이동 경로로부터 한쌍의 센서 노드의 탐지영역을 벗어나는 예상 이동 경로를 추정한다. 최종 표적 예상 이동경로는 화살표로 제시한다. 추정된 예상 이동경로와 중심점 선정 방법으로 검출된 표적의 위치정보를 기반으로 표적을 추적한다. 그림 4.16 는 표적 추적 및 이동 경로 검출 알고리즘의 블록도이다.

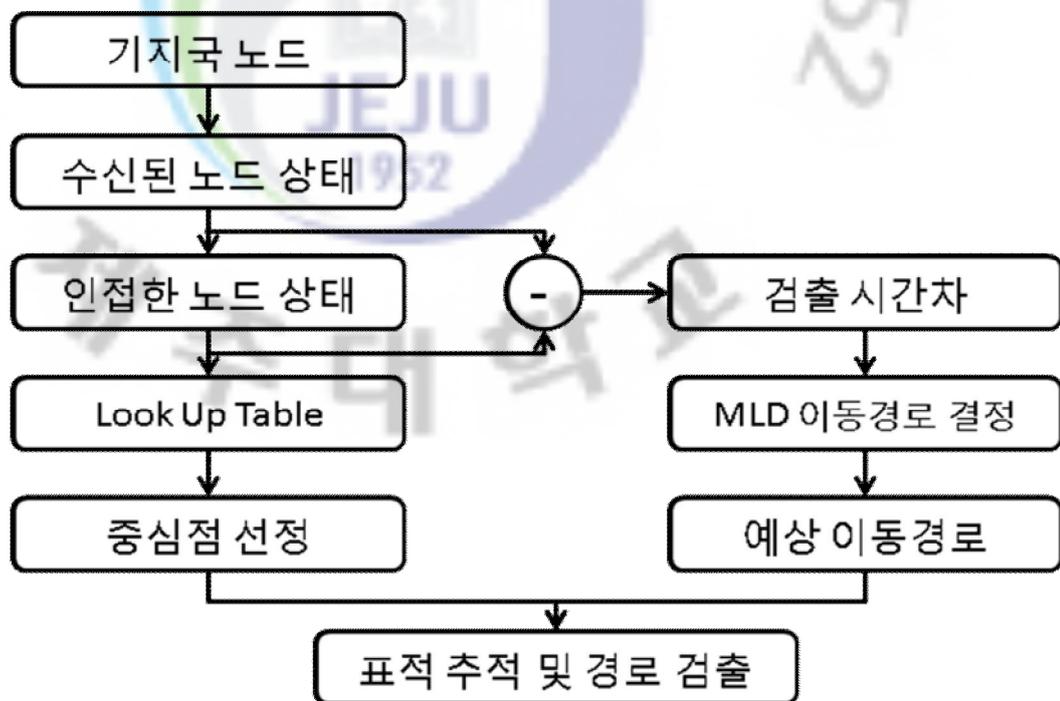


Figure 4.16 Algorithm Block diagram

제 5 장 LABVIEW 기반 감시경보 시스템

본 장에서는 LabView 기반 감시경보 시스템에 관해 설명한다. 시스템 구현은 외부 하드웨어 제어가 간편한 LabView8.6(National Instruments, USA)으로 프로그래밍 하였다. LabView 는 프로그램 확장성이 용이하며 GUI 컨트롤러를 제공한다. GUI 컨트롤러에 의해 입력 파라미터 설정이 편리하며 시스템 출력 결과를 간편하게 확인할 수 있다. 외부 LED 전광판은 데이터 수집보드(PXI-6259, National Instruments, USA)로 제어된다. 그림 5.1 는 PDR 감시경보 시스템구성도를 나타낸다.

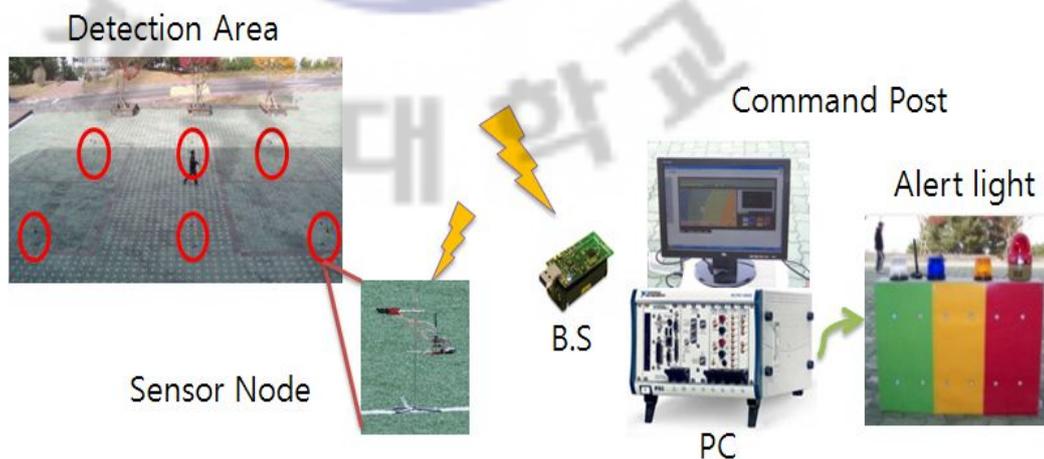


Figure 5.1 The structure for surveillance-alert system using PDR

탐지영역에서 표적이 검출되면 PDR 센서노드는 USN 으로 기지국 노드에 상태정보를 전송한다. 전송된 상태 정보로 표적의 위치를 추적하고 GUI 화면의 우측 상단 그래프에 추적결과를 출력한다. 표적의 위치와 아군의 방호체계 사이 거리변화 D 를 기준으로 경광등의 경보등급을 제어하고 GUI 화면의 우측하단 경광등 활성화 LED 와 외부 LED 전광판의 경광등을 통해 전탐사에게 위험

수준을 시청각적으로 알린다. GUI 화면 좌측은 표적 추적결과를 애니메이션 효과로 출력한다. 그림 5.2 는 PDR 센서노드 10 개를 운용할 때 격자형 배치에 따른 메인 GUI 화면 이다. 여기서 A 는 애니메이션 디스플레이, B 는 표적 추적 결과를 현재와 과거창으로 출력하며 C 는 경고표시 창으로 경보등급을 보인다.



Figure 5.2 The system main GUI

외부 LED 전광판은 경광등(인식-주의-경고-위험), LED 그리고 부저(ALP1205S)로 구성되며 데이터 수집보드의 제어신호는 릴레이(CS11-5SH; HR91A05H) 스위치를 제어함으로써 LED 전광판을 제어하게 된다. 그림 2.27 은 LED 전광판의 외형을 보인다. 여기서 A 는 전광판 외형을 B 는 LED, C 는 릴레이 및 부저를 그리고 D 는 납축전지를 나타낸다.



Figure 5.3 LED electronic display board

그림 5.4 와 그림 5.5 는 구현된 시스템의 히스토리 GUI 화면을 나타낸다. 히스토리는 최근 과거 이동경로 추적 결과를 6 단계로 출력한다. 최초 노드 활성화 시작 시간과 마지막 노드 활성화 끝나는 시간을 함께 출력하며, 표적의 시작 포인트는(x)로 멈추는 포인트는(●)로 표현한다.



Figure 5.4 History window

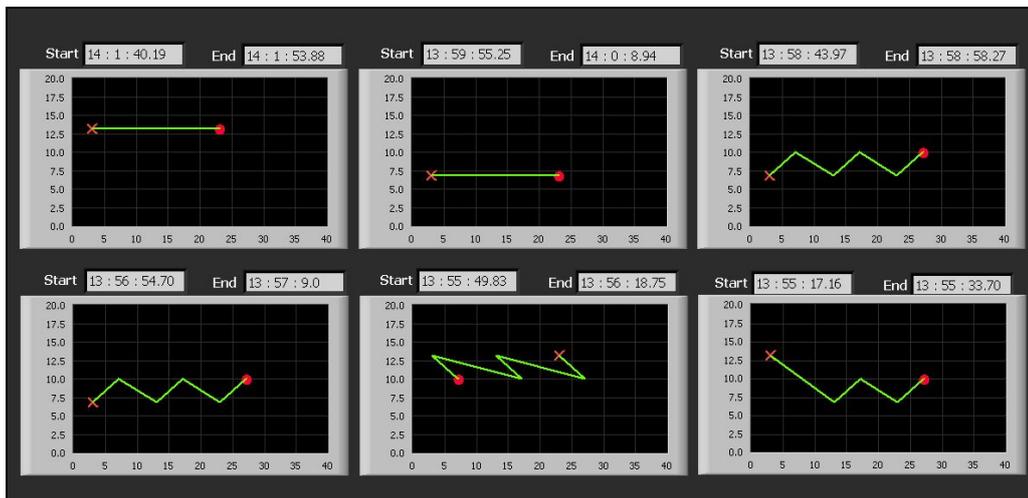


Figure 5.5 History window display result

그림 5.6 는 구현된 시스템의 초기 설정 GUI 화면 이다. 여기서 A 는 초기 센서노드의 위치 좌표값을 설정하고, B 는 아군 방호체계의 위치 좌표값을 설정한다. C 는 A 에서 설정한 센서노드의 위치에 따라 출력되는 디스플레이 창이다. D 는 PC 와 연결된 기지국 노드의 USB 시리얼 포트 및 데이터 통신률(rate) 설정을 위한 창이며 E 는 외부 LED 전광판 제어를 위한 데이터 수집보드의 디지털 출력 포트 설정 창이다. 마지막으로 F 는 센서노드의 활성화 시작과 끝 시간을 기록하는 데이터 경로 및 센서노드 활성화 시간차에 따른 이동 표적의 예상 경로 선정을 위한 문턱값 설정 창을 의미한다.



Figure 5.6 The system set up GUI

선형 및 갈지자형 GUI 화면 또한 센서노드의 초기위치 설정 창에 따른 노드 위치 및 운용된 센서의 수량에만 차이가 있으며 위에 설명한 격자형 GUI 와 유사하다.

그림 5.7 는 PDR 감시경보시스템의 순서도를 보인다. 구현된 시스템은 기지국 노드와 직렬 통신하여 각 센서 노드의 표적 검출 결과를 수신 받는다. 이때 센서노드는 이동표적을 검출하여 센서노드의 상태가 활성화를 시작하면 '20(0x14)'을 활성화를 멈추면 '21(0x15)'의 상태 정보를 송신한다. 수신된 상태정보는 프로그래밍에 의해 활성화는 '1' 비활성화는 '0'의 정보로 재

정의된다. 센서노드의 활성화 상태에 따라 ‘인식’단계를 활성화 시킨다.

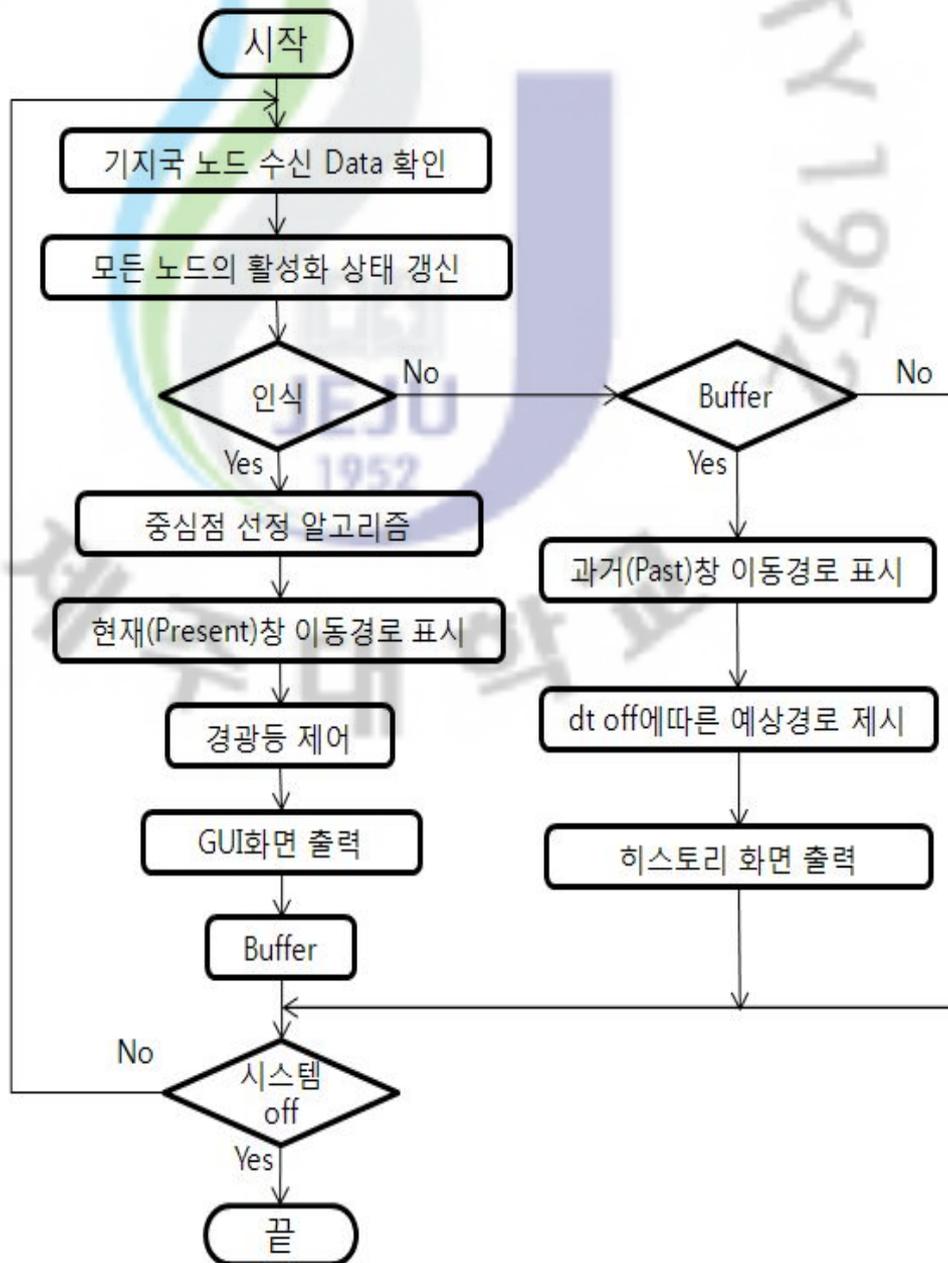


Figure 5.7 The system flow chart

인식 단계의 여부에 따라 중심점 선정 방법을 적용하여 표적의 위치를 선정하고 선정된 표적의 위치에 따라 이동표적의 경로를 추적한다. 추적된 결과는 선형 보간법으로 이동경로를 현재 창에 출력한다. 또한 표적 추적결과와 아군의 방호체계와의 상대적 거리 변화에 따라 경광등의 경보 등급을 제어하고 GUI 화면의 경보표시등과 외부 LED 전광판을 제어하여 전담사에게 시청각적 정보로 위험을 알릴 수 있도록 구현한다. 검출된 표적의 위치정보 및 이동경로 추적 결과는 Buffer 에 기록된다. 또한 인식 단계가 활성화에서 비활성화로 변경될 때 메인 GUI 화면의 현재창은 Reset 되고 현재창의 정보는 과거 창에 출력된다. 과거 창에서는 이동경로 검출 기반으로 표적 예상 이동경로를 화살표로 추적 결과와 함께 제시한다(그림 5.8). 또한 출력된 최근 6 단계의 과거 창은 히스토리 화면에 순차적으로 출력되어 최근 감시영역에서의 이동표적 경로추적결과를 확인할 수 있도록 하였다.

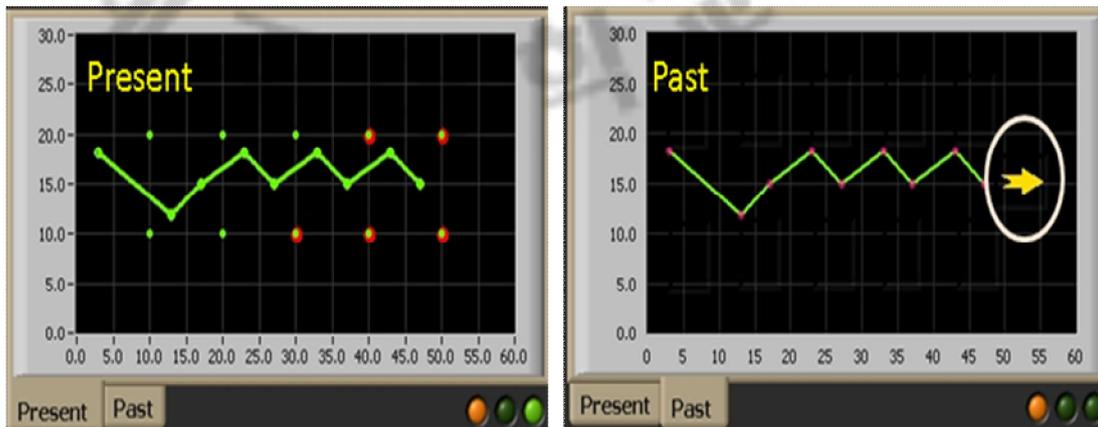


Figure 5.8 Present window and Past window display result

그림 5.6 은 구현된 시스템의 블록다이어그램을 보인다.

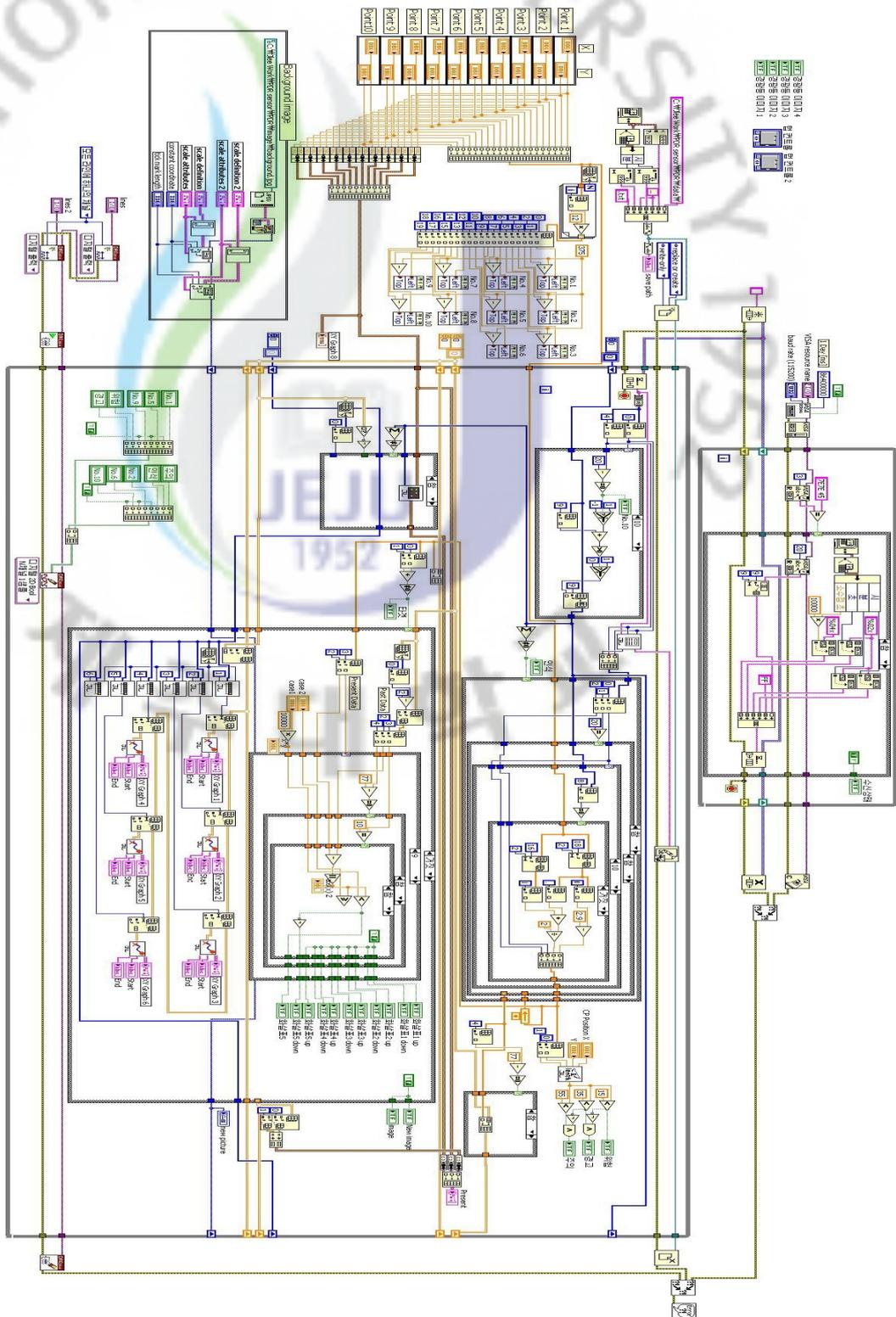


Figure 5.9 The system block diagram

제 6 장 PDR 감시경보 시스템 실험

본 장에서는 PDR 감시경보 시스템의 경광등 제어 실험과 이동 표적 경로 검출 및 추적 실험 결과를 소개한다. 그림 6.1 은 실험 환경을 보인다. 각 센서노드를 감시경보 영역에 배치한 후 가상의 아군 방호체계(CP)를 선정하여 접근 하였다. 이때 센서 노드 배치는 앞서 제안한 격자형, 선형 그리고 갈지자형 으로 배치하였으며 그에 따른 노드 간격은 격자형과 선형은 10m, 갈지자형은 가로 13m 세로 8.5m 로 하였다. 기지국 노드와 감시 경보 시스템은 B.S 에 위치하며 각 센서노드와 방호체계의 위치정보는 알고 있다고 가정하였다.



Figure 6.1 Experiment environment

실험은 넓은 공터(본교 공대 4 호관 앞), 운동장, 오솔길, 산책로에서 진행

되었다. 그림 6.2 는 실험 사진을 보인다. 감시경보 시스템의 사실적인 운용 장소와 유사한 환경을 구축하기 위해 산책로 에서 실험 하였으며 이때 센서 은폐는 그림 6.3 센서노드 은폐(隱蔽)와 같이 배치하였다.

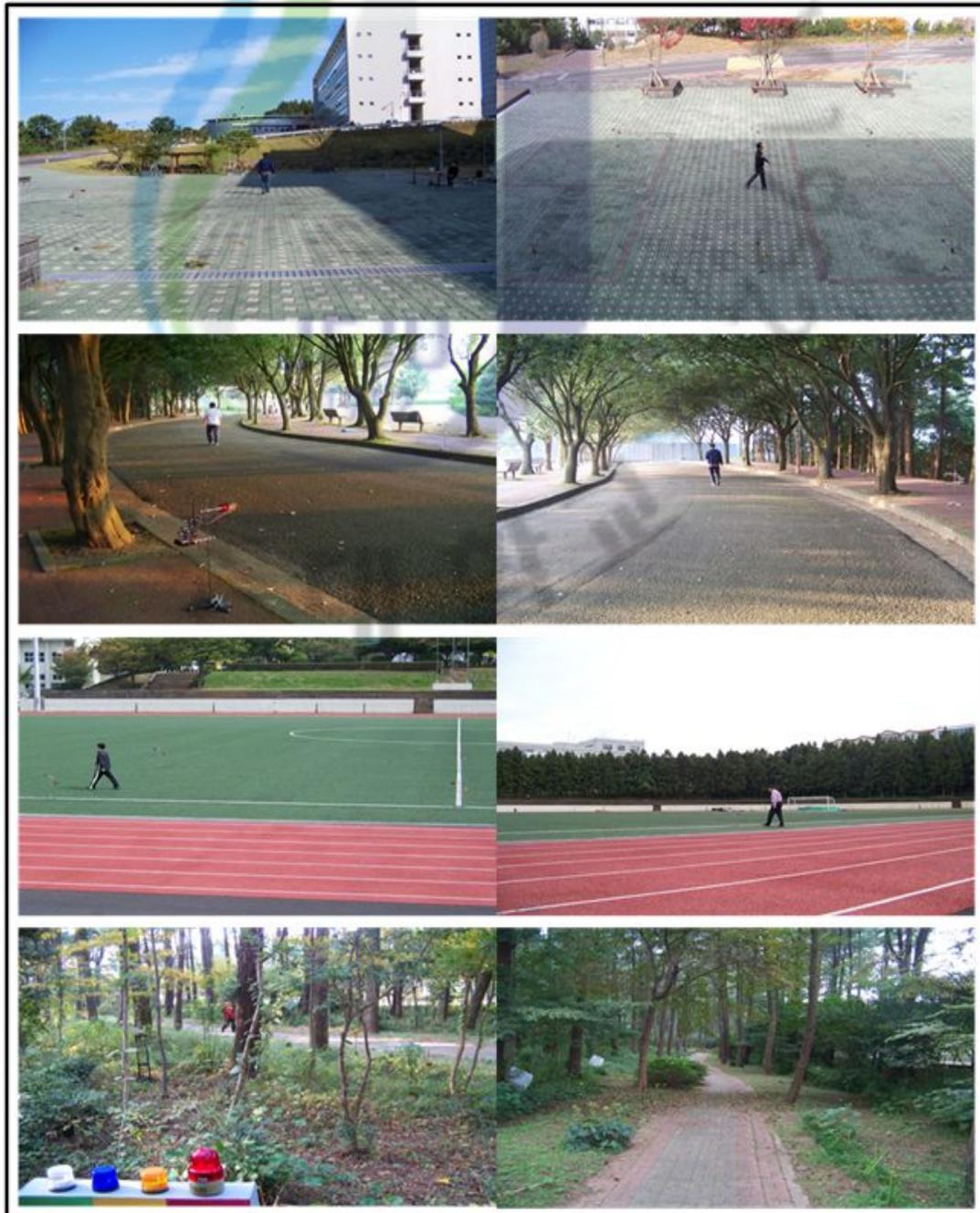


Figure 6.2 Pictures of Experiment



Figure 6.3 Concealment of sensor node

4.1 경광등 제어 실험

본 절에서는 PDR 감시경보 시스템의 경광등 제어 실험 결과를 나타낸다. 각 센서 배치에 따른 경보등급을 ‘인식-주의-경고-위험’ 지역으로 분할 후 표적이 PDR 감시경보 영역에 진입하여 아군의 방호체계에 접근할 때 표적의 위치 추적과 그에 따른 방호체계와의 거리변화를 기준으로 경보등급을 선정 한다. 경광등은 인식-백, 주의-청, 경고-황, 위험-적 색등으로 배치하였다. 다음은 경광등 제어 실험 결과를 소개하고 이때 실험은 센서노드 6 개 또는 10 개를 각 배치 방법에 따라 수행 하였다.

그림 4.4 는 센서노드 10 개 격자형 배치에 따른 경광등 제어 실험 결과를 인식-주의-경고-위험 순으로 보인다.



Figure 6.4-1 Alert experiment result - Recognition



Figure 6.4-2 Alert experiment result - Caution



Figure 6.4-3 Alert experiment result - Warning



Figure 6.4-4 Alert experiment result - Danger

여기서, 그림 6.4-1의 A는 외부 전광판의 출력 결과를 보이며 B는 시스템 GUI의 출력 결과를 보인다. 이동 표적이 감시경보 영역을 침입함에 따라 외부 전광판 및 시스템 GUI 화면에 표적의 이동 경로 추적 및 경보등급 선정 결과를 확인할 수 있다.

그림 6.5 는 센서노드 10 개를 격자형 배치 했을 때 GUI 화면 경광등 제어 결과를 보인다.



Figure 6.5 Alert experiment result by Grid disposition

그림 6.6 는 센서노드 10 개를 갈지자형 배치 했을 때 GUI 화면 경광등 제어 결과를 보인다.



Figure 6.6 Alert experiment result by Zigzag disposition

그림 6.7 는 센서노드 10 개를 선형 배치 했을 때 GUI 화면 경광등 제어 결과를 보인다.



Figure 6.7 Alert experiment result by Linear disposition

4.2 이동 표적 경로검출 및 추적 실험 결과

본 절에서는 이동 표적 경로검출 및 추적 실험 결과를 소개한다. 중심점 선정방법에 의한 이동경로 표현 기법은 임의의 센서 노드의 표적 검출 결과로부터 이웃한 센서노드의 표적 검출 결과를 선형 보간법으로 연결하여 표적의 이동경로를 추적한다. 실험은 센서노드 6 개 또는 10 개를 각 배치 방법에 따라 수행 하였다.

그림 6.8, 그림 6.9 그리고 그림 6.10 는 각각 격자형 배치, 선형 배치 그리고 갈지자형 배치에 따른 실험결과를 메인 GUI 화면에 보인다.

화면의 좌측 하단은 애니메이션 효과 출력을 우측 상단은 표적 추적 결과를 그리고 우측 하단은 경광등 제어 결과를 나타낸다.

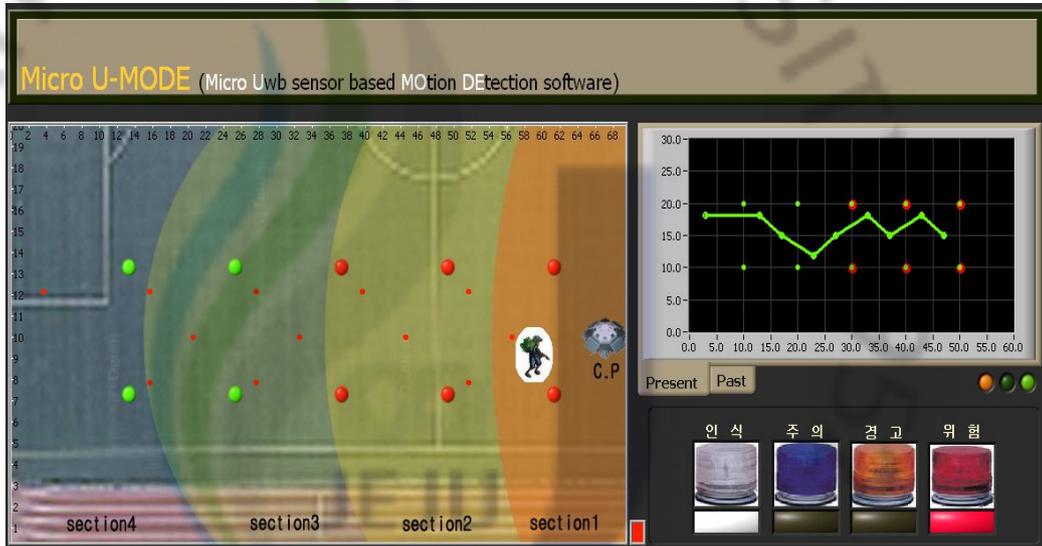


Figure 6.8 Target tracking experiment result by grid disposition in GUI display



Figure 6.9 Target tracking experiment result by linear disposition in GUI display

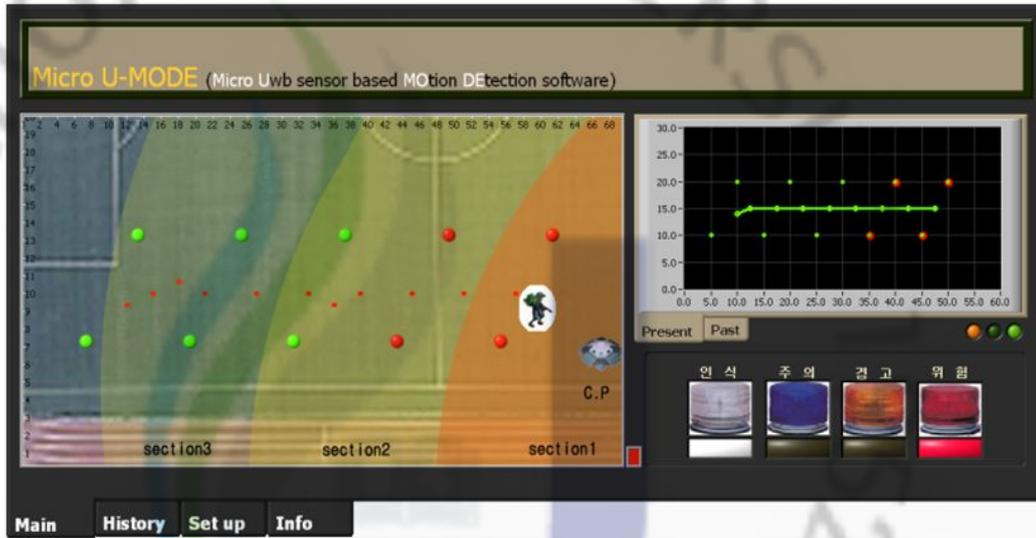


Figure 6.10 Target tracking experiment result by zigzag disposition in GUI display

다음은 표적의 이동경로가 감시경보 영역을 직선으로 가로지를 때의 출력 결과를 소개한다. 그림 6.11 는 선형 배치 방법에 따른 이동 표적 추적 및 경로 예측결과를 보인다.

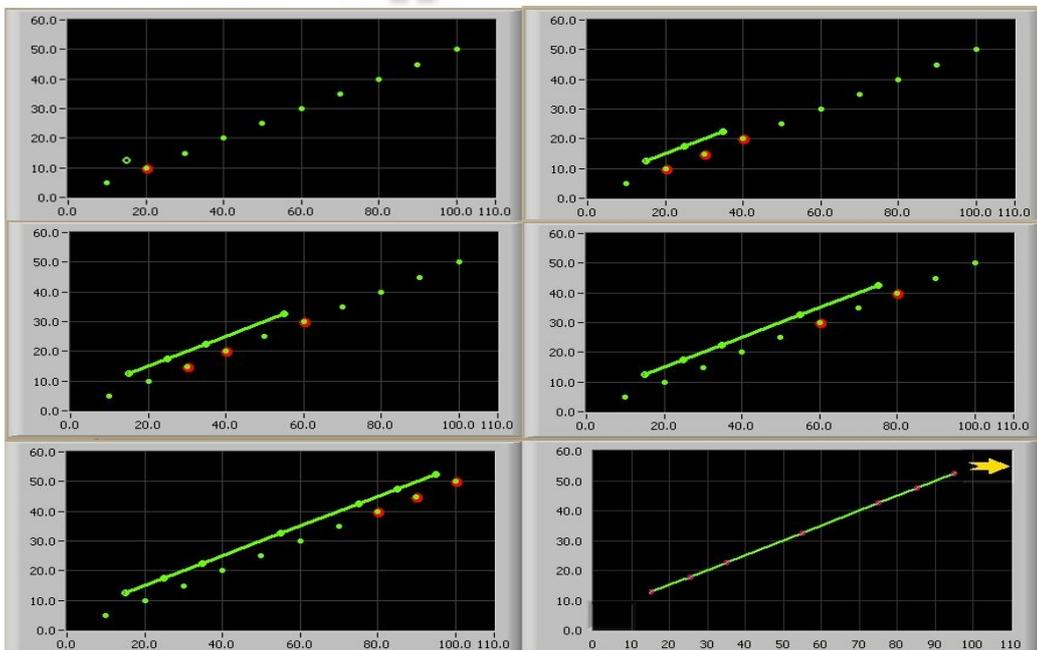


Figure 6.11 Experiment result by linear disposition

그림 6.12 는 격자형 배치 방법에 따른 이동 표적 추적 및 경로 예측결과를 보인다.

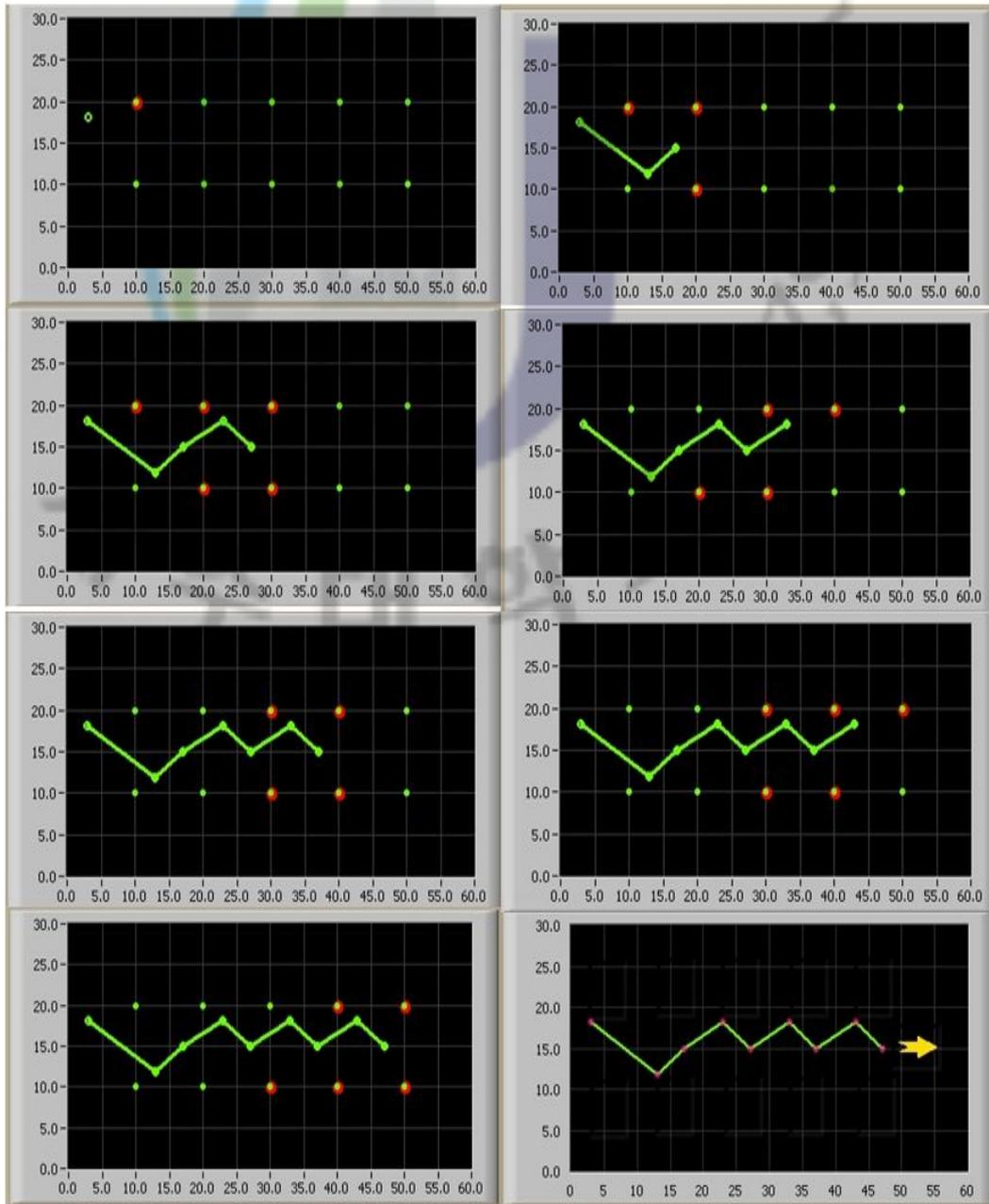


Figure 6.12 Experiment result by grid disposition

그림 6.13 는 갈지자형 배치 방법에 따른 이동 표적 추적 및 경로 예측결과를 보인다.

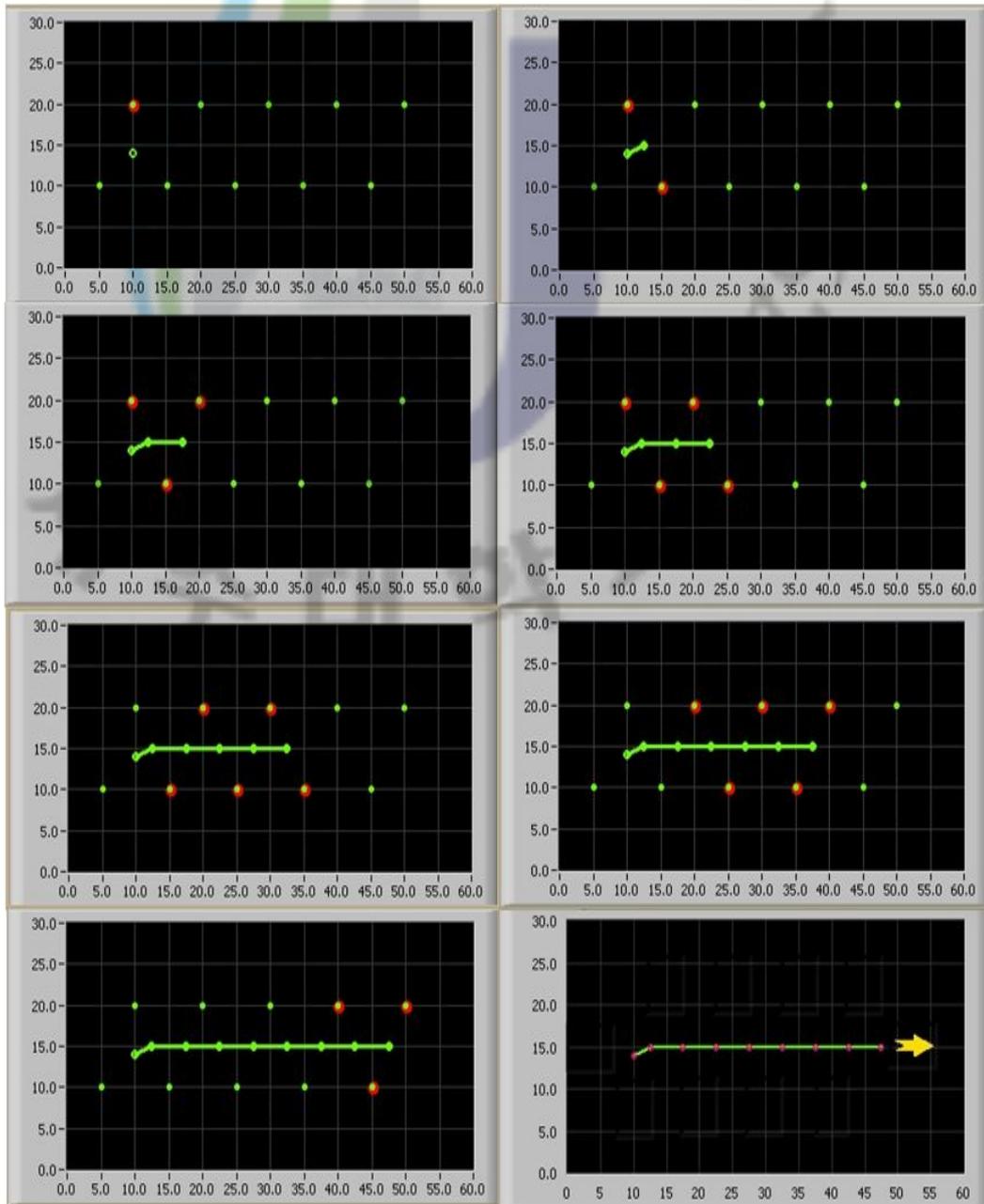


Figure 6.13 Experiment result by zigzag disposition

그림 6.14 는 센서노드 6 개를 격자형 배치했을 때 점선과 같은 경로로 표적이 이동한 결과를 나타낸다.

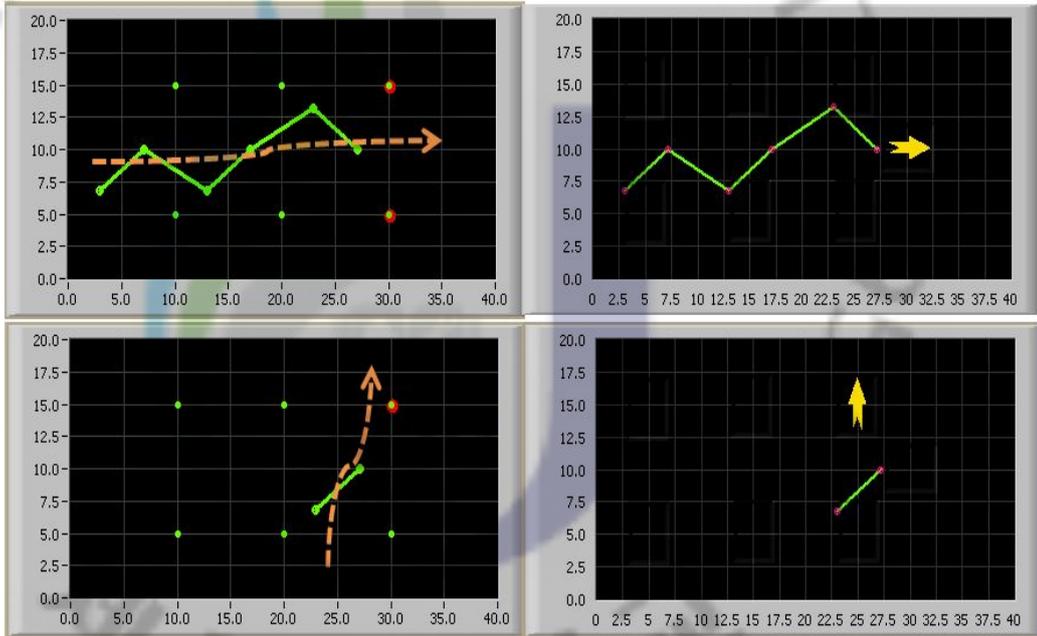


Figure 6.14 Sensor node: 6, Experiment result by grid disposition

그림 6.15 는 센서노드 6 개를 갈지자형 배치했을 때 점선과 같은 경로로 표적이 이동한 결과를 나타낸다.

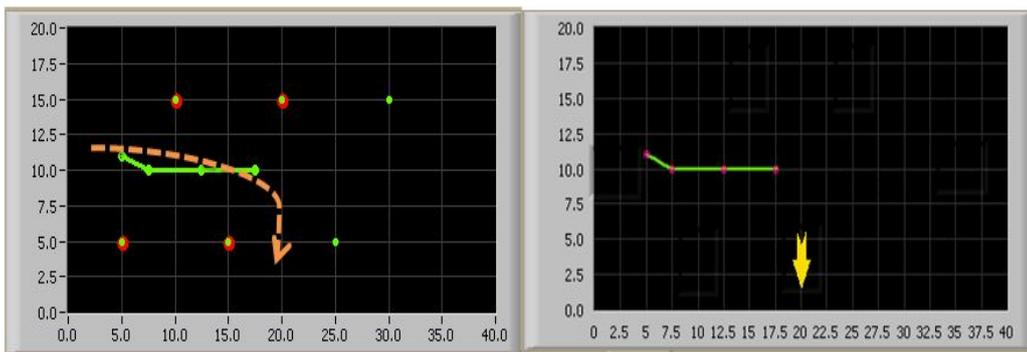


Figure 6.15 Sensor node: 6, Experiment result by zigzag disposition

그림 6.15 는 센서노드 10 개를 격자형, 선형 그리고 갈지자형 배치했을 때 감시경보 영역을 점선과 같은 경로로 표적이 이동한 결과를 나타낸다.

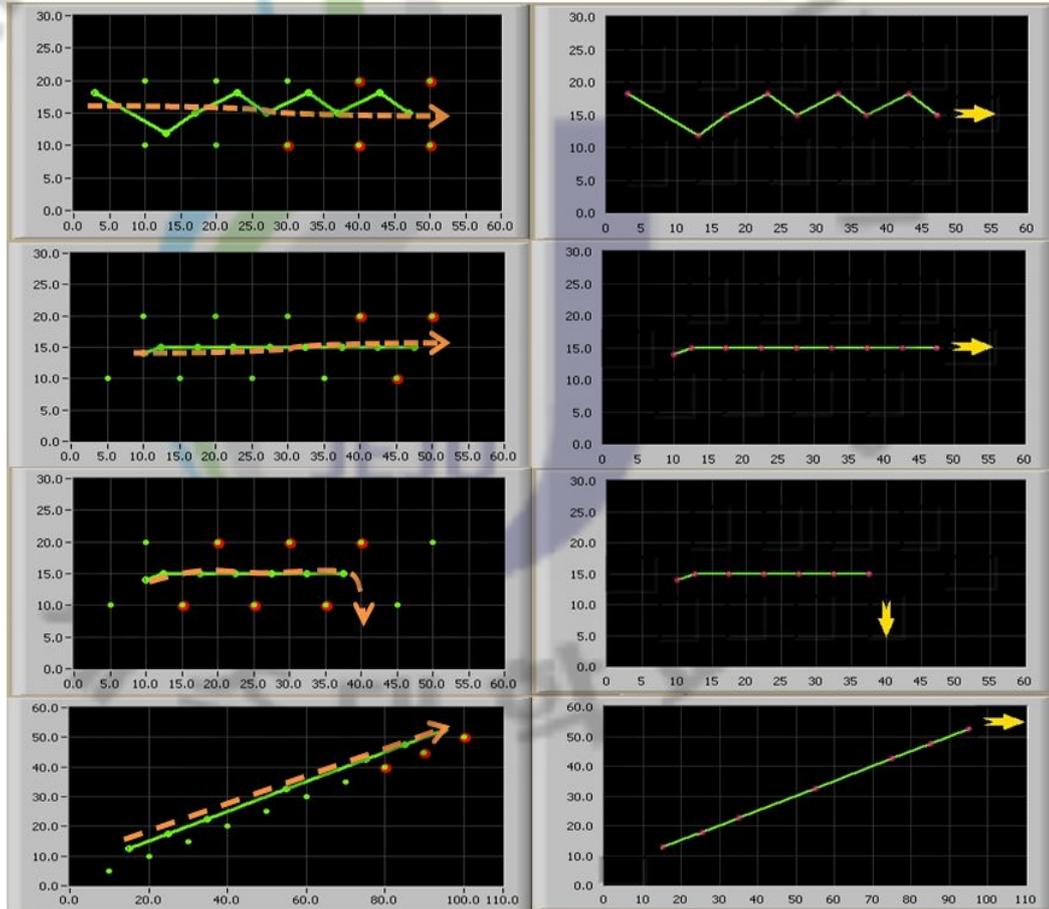


Figure 6.16 Sensor node: 10, Experiment result

PDR 센서노드가 표적을 탐지하면 인식등급이 활성화된다. 센서 탐지영역에 표적이 출몰 후 방호체계로 접근함에 따라 경보등급이 변하는 것을 확인 할 수 있다. 표적의 거리 정보와 속도 정보를 알 수 없는 환경에서 표적을 탐지 추적함에 있어 정확한 위치 선정은 불가능하나 단독 또는 한 쌍의 센서 노드만으로 표적을 탐지 추적 가능하며 접근하는 표적의 거리 변화에 따라 경보 등급을 조절할 수 있음을 확인하였다.

제 7 장 결 론

본 논문에서는 ‘펄스 도플러 레이더를 이용한 이동 표적 경로 검출 및 추적 알고리즘’의 검증에 위해 감시정찰 영역에서 저전력 경량화 시스템 운용이 가능한 PDR 센서노드 기반 감시경보 시스템을 설계 및 구현하였다. 탐지영역에 존재하는 표적의 유무 정보만을 제공하는 PDR 센서 환경에서 일반화된 탐지영역을 측정하였다. 측정된 탐지영역을 기반으로 예상 적 침투 경로에 지형적 특성을 고려한 최적의 센서 노드 배치 방법을 격자형, 선형, 갈지자형으로 제안 하였다. 또한 제한된 배치에 따라 침입하는 표적을 검출하기 위해 측정된 탐지영역의 중심점 선정 방법의 결과를 LUT 로 활용하여 검출 하였다. 검출된 표적의 위치 정보는 선형 보간법으로 연결하여 이동 표적의 경로를 추적한다. 이때 이동 표적과 아군의 방호체계와의 거리변화에 따라 경보등급을 인식-주의-경고-위험 순으로 조절하여 전담사에게 시청각적으로 경보 수준을 알릴 수 있도록 하였다. 이동 표적의 경로 추적 결과는 메인 GUI 화면의 현재 창과 과거 창으로 구분하여 추적 중인 결과는 현재창에 출력하고 추적결과는 과거 창에서 표적 예상 이동 경로를 화살표로 추정하여 함께 출력한다. 또한 최근 6 단계의 출력결과를 히스토리 창에 출력함으로써 감시경보 영역의 표적 이동 추이를 확인 할 수 있도록 하였다.

본 시스템에 운용되는 PDR 센서노드는 USN 의 저전력, 경량화 시스템 구현을 위해 PDR 의 위상 데이터는 센서노드에서 제한적으로 운용되어 탐지영역 내의 이동 표적 존재 여부만을 정보로 제공하고 그 외 표적의 이동속도, 거리, 방향 정보는 제공하지 않는다. 따라서 표적의 위치 선정 및 추적을 위한 중심점 선정 방법은 탐지영역에 비례하는 오차를 포함한 추적 결과를 제공한다. 또한 중심점 선정 방법에 의한 이동 경로 표현은 이웃한 센서노드의 표적 검출 결과를 선형

보간법으로 연결한다. 이러한 중심점 선정 방법에 의한 감시경보 영역의 경계면에 위치하는 노드에서는 이동 표적의 최종 방향을 예측 할수 없다. 이러한 중심점 선정 방법의 취약 부분을 보완 하기 위해 표적 이동경로에 따른 센서노드 활성화 시간차의 통계적 특성획득 실험을 수행하였다. 실험은 단일 표적과 다중 표적에 관한 실험을 수행 하였으며 그 결과 활성화 시간 및 비활성화 시간차를 이용한 좌표계에서 표적의 이동 경로 패턴을 구분 가능함을 확인 하였다. 이동경로에 따른 통계적 특성을 이용하여 이동 경로 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 이동경로 검출 알고리즘과 중심점 선정 방법을 적용한 실험결과 이동 표적의 경로 추적 및 표적의 최종 이동경로 검출이 가능함을 확인 하였다.

본 연구 결과는 감시정찰 목적의 무선 센서네트워크 시스템 연구 및 운용분야에 적용될 것으로 기대된다. 특히 탐지영역에 존재하는 표적의 유무 정보만을 제공하는 제한된 센서노드 환경하에서 감시정찰 시스템 개발에 유용하게 사용될 것이라 판단된다. 보다 신뢰성 있는 시스템 구현을 위해 센서노드 특성 파악을 위한 충분한 데이터 취득 실험이 필요하며 향후 높은 성능의 감시경보 시스템 구현을 위해서는 진동, 음향 센서등 복합적인 센서 운용이 필요하다.

REFERENCES

- [1] Joshua N. Ash, and Randolph L. Moses, "On Optimal anchor Node Placement In Sensor Localization by Optimization of Subspace Principal Angles", Proc. Of ICASSP 2008 pp 2289-2292.
- [2] Tamir Hegazy, and George Vachtsevanos, "Sensor Placement for Isotropic Source Localization."
- [3] T. Heath, Scientific Computing second edition, McGraw-Hill, New York, 2002.
- [4] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demirbas, M. Grouda, Y-R. Choi, T. Herman, S. S. Kulkarni, U. Arumugam, M. Nesterenko, A. Vora and M. Miyashita, "A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification and tracking." Computer Networks, pp 605-634,2004.
- [5] James L. Melsa, David L. Cohn, Decision and Estimation Theory, McGraw-Hill.
- [6] David J. Ritter, LabVIEW GUI Essential Techniques, McGraw-Hill.
- [7] 최성빈, 손태중 "NCW 구현을 위한 C4ISR 체계 운용 발전방향" 주간국방논단 제 1327 호. 2010. 9.
- [8] 김영도, 홍정희, 손태중 "국방 C4ISR-PGM 체계간 상호운용성 소요 평가" 정보과학회지 제 25 권 제 9 호 통권 제 220 호 pp.74-80 1738-5385. 2007. 9.
- [9] 박상준, 박현, 함영환 "국방 센서네트워크의 핵심요소 기술" 한국통신학회지 : 정보와 통신 제 25 권 제 10 호 pp.42-49 1226-4725. 2008. 10.
- [10] 박현문, 박수현, 김창화, 김상경 "국방전술을 위한 수중 센서 네트워크 기술" 한국통신학회지 : 정보와 통신 제 24 권 제 10 호 pp.34-43 1226-4725. 2007. 10.
- [11] 이동준, 한상록, 이노복 "USN 의 군 체계 적용방안" 한국지능정보시스템학회 2007 년도 추계학술대회 2007
- [12] 심현민, 김태복, 김이형, 강태인 "감시정찰 센서네트워크의 표적 탐지 및 식별

알고리즘에 관한 연구” 한국지능정보시스템학회 2007년도 추계학술대회 2007

[13] 김대영, 김재언, 유성은, 성중우 “USN 센서 네트워크 기술” OSIA standards&technology review 제 25 권 제 4 호 통권 63 호 pp67-76 1738-9887. 2005.12 한국지능정보시스템학회 2007년도 추계학술대회 2007

[14] 박정호 “감시정찰 IT 기술의 현향과 발전 방향” 전자공학회지 제 35 권 제 10 호 pp1185-1192. 2008.10

[15] Imote2. Builder Kit Manual, Crossbow, September 2007.

[16] Imote2. Hardware Reference Manual, Crossbow, September 2007.

[17] TelosB Mote Platform, Crossbow.

[18] Users Manual for the BumbleBee, The Samraksh Company, May,2008.

[19] <http://www.tinyos.net/>

[20] Tiny OS 2.x 기반을 이용한 유비쿼터스 센서네트워크 설계 및 응용, Huins.

감사의글

부족한 저에게 배움의 길을 인도해주시고 배움의 즐거움을 알게 해주신 이종현 교수님께 글로써 다 전할수 수 없는 깊은 감사의 마음을 고개 숙여 전합니다. 또한 논문의 완성에 있어서 아낌없는 조언을 주신 배진호 교수님과 팽동국 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 학부때부터 많은 가르침을 주신 조일형 교수님께도 감사 드립니다.

학문적 선배이자 인생의 선배로서 많은 조언과 관심을 주신 정희형, 대학원 생활동안 많은 조언과 힘이 대어 주신 태훈형, 혁준형, 승우형, 잉형과 의공학 실험실의 관석형에게 감사의 마음 전합니다. 서로 의지하고 함께한 주호, 성협, 정록이에게 고마운 마음과 격려를 보냅니다.

힘들었을 실험일정 동안 불평없이 도움을준 주형, 종우, 운용, 종현, 한수, 요한, 건민 등 해양시스템공학과 후배들에게 고마운 마음을 전합니다. 항상 응원해주고 힘이되어준 벗 승준, 강현, 원삼, 고봉, 현이에게 고마움을 전합니다.

끝으로 항상 저를 믿고 응원해주시는 가족들에게 사랑한다는 말과 함께 이 논문을 바칩니다.