

밀리미터파 레이더 시스템을 이용한 전력선 검출

강금실*, 용상순**, 강성덕***, 김정아****, 장영준*****

Wire-like Target Detection using Millimeter-wave Radar System

Gum-Sil Kang*, Sang-Soon Yong**, Song-doug Kang***,
Jong-ah Kim****, Young-Jun Chang*****

Satellite Application Department, Satellite Operation & Application Center,
Korea Aerospace Research Institute

Abstract

This paper describes the detection method of wire-like obstacles using millimeter-wave radar system. Passive sensor like CCD camera can be used for the detection of high power electric cables on the hills or mountains and it can give very good quality of obstacle target information. But this system is very limited to use by bad weather condition. The detection capability for different diameters of wire targets using millimeter radar system have been accomplished. To simulate the target on the moving helicopter, rotating targets are used with fixed radar system. In the experiment 11mm, 16mm and 22mm diameter of wires have been detected in single, two and three wires in one position. The detected signal from single wire was very clear on gray level image. Three wires placed very closely together could be recognized in range, cross range image plane. For two and three wires, blur effect due to mutual scattering effect is observed.

초 록

군용 뿐만 아니라 상업용으로 헬리콥터의 사용 빈도가 높아지면서, 무엇보다 헬기의 안전성이 가장 중요한 요소가 되었다. 단순히 조종사에 의한 시계 비행을 할 경우 야간 운항이 불가능하며 안개, 눈, 비등의 기후 조건에서는 매우 불안전하다. 그리고 주간 비행 중에도 전선과 같은 장애물로 인한 사고가 발생하고 있다. 그러므로 헬기의 안전운항을 위해서는 단순한 시계 비행에서 벗어나 장애물 탐지 시스템을 이용한 자동항법 개념을 도입해야 한다. 자동항법을 위한 장애물 탐지 시스템은 안개, 눈, 비등의 기후 조건하에서 주간 및 야간에도 정상적으로 동작해야 한다. 본 논문에서는 밀리미터파 레이더 시스템을 이용하여 전선 장애물의 탐지 기술 획득을 위한 기초 연구를 수행하였다. 서론에서는 헬기 운항에 장애가 되는 요소들을 탐지하기 위한 여러 방법들에 대해서 살펴보았다. 본문에서는 밀리미터파를 이용한 장애물 탐지 시스템과 실험 장치에 대해서 다루고 결론에서는 실험 결과 및 향후 연구 방향에 대해서 다루고 있다.

키워드 : collision warning, wire-like obstacle detection, millimeter-wave radar

* 위성응용그룹/wimikgs@kari.re.kr

*** 위성응용그룹/kangs@kari.re.kr

***** 위성응용그룹/yjchang@kari.re.kr

** 위성응용그룹/ssyong@kari.re.kr

**** 위성응용그룹/kja@kari.re.kr

1. 서 론

헬리콥터는 비행기와 달리 작은 공간에서도 이착륙이 가능한 장점이 있으며, 주로 군에서 신속한 병력 이동을 위한 수송 수단으로 활용되어왔으며, 최근에는 헬리콥터의 사용이 군의 작전에 확대되면서 숫자적으로도 증가하고 있다. 헬리콥터의 활용이 이러한 병력의 수송뿐만 아니라 대 탱크전 및 공격용 등 특수 임무가 증가되면서 과거 단순히 병력 수송의 임무에서 고도의 정밀 비행을 할 수 있는 항법이 도입되고 있다. 이러한 임무에는 과거에 단순히 시계에 의한 주간 비행에서 벗어나 야간 비행, 저공 비행 기능도 요구하고 있다. 이러한 비행 요구에 의하여 헬리콥터는 야간 또는 시계가 전혀 없는 상태에서 큰 나무나, 산악 지역에 설치된 통신 중계용의 안테나 첩탑, 산 계곡이나 등선에 위치한 전력 전송선에 비행 중 충돌하는 사례가 아주 자주 발생하고 있다. 최근 헬리콥터의 숫자가 증가하면서 이러한 장애물에 의한 사고도 증가하는 실정이다.

군에서의 이용뿐만 아니라 지상 교통이 포화를 이루면서 공중 수송 수단인 헬리콥터의 이용이 상업적으로 크게 증가되고 있으며 1990년대에 이르러서는 군용보다 상업적 이용이 증가하고 있는 추세이다. 상업적 이용은 군용과 달리 단순한 사람의 수송에서부터 산불 진화, 고층 빌딩 또는 산악 지역에서의 인명 구조, 산악 지역에서의 특수 작업, 농작물 재배 등 아주 다양한 용도로 사용되므로 헬리콥터의 안전 운항에 대한 장치가 필수적으로 요구되고 있다. 현재 일부 헬리콥터에는 위성을 이용한 위치 확인 시스템인 GPS(Global Positioning System), FMCW 고도계 등을 장착하고 있다. 이러한 시스템은 헬리콥터의 비행 경로나 항법에 필요한 정보를 제공하고 있지만 앞에서 언급한 것처럼 헬리콥터의 비행 경로에 위치해있는 위험한 장애물에 대한 사전 검출을 하지는 못한다. 특히 산악에 위치한 고압 송전선은 전선의 굵기가 아주 가늘어 탐지하기가 어려울 뿐만 아니라 여러 곳에 위치하여있어 아주 위험하다. 전력선은 주간에도 조종사의 시야에 들어오지 않은 경우가 흔히 발생하여 사고의 원인이 되고 있다. 이러한 전선에 접촉이 되었을 때 사고를 방지하

기 위하여 와이어 충돌 보호 시스템(Wire Strike Protection System)[1]이 헬리콥터의 상부와 하부에 장착되어 비행 중 와이어 충돌에 의한 인명 피해를 감소시키는데 도움을 주고 있다. 그러나 이 장치는 군용과 민간용의 헬리콥터에 광범위하게 사용되고 있음에도 불구하고 근본적으로 사고를 완전히 차단 하지는 못한다.

본 연구에서는 헬리콥터의 전천후 비행에 필수적으로 요구되는 장애물의 탐지를 위한 센서를 개발하기 위한 핵심 기술을 연구함으로써 추후 장애물을 피할 수 있는 헬리콥터의 자동 항법 시스템 (Automatic Guidance and Control System for Helicopter Obstacle Avoidance) [2]을 개발 하려고 한다. 특히 헬리콥터 비행에 가장 위험한 장애물이 될 수 있는 탐지가 어려운 "wire-like-obstacle" 을 검출하기 위한 연구가 수행되었으며 실험 결과 전선의 굵기가 11 mm인 전선도 검출할 수 있었다. 전선이 1 개가 있는 경우에서부터 전선이 3개가 평행하게 위치해있는 경우에도 3전선을 모두 검출할 수 있었다. 전선간의 간격도 상호 산란파에 의하여 크게 영향을 받고 있음을 고찰할 수 있었다. 본 실험에서 사용된 전선의 굵기는 11, 16, 22 mm이며 전선간의 최소 간격은 90 mm까지 설정하였다. 고해상도의 전선 영상 신호를 얻기 위하여 ISAR 방법을 이용하여 신호처리 과정을 수행 하였고 검출된 전선 영상 신호에 edge enhancement 필터를 이용하여 수신 신호에 대한 영상의 질을 개선하였다.

2. 장애물 탐지 시스템

2.1 수동탐지 시스템

장애물 탐지를 위하여서는 레이더[3] 또는 laser sensor와 같은 능동 시스템과 CCD 카메라[4], 케이블 절단기[1]를 이용한 수동 시스템을 이용할 수 있다. 케이블 절단기는 서론에서 언급한 것처럼 헬리콥터의 조정석 상부와 하부에 가위 형태의 절단기를 장착하여 전선에 충돌하였을 때 전선을 절단하면서 헬기의 추락을 방지하는 장치이다. 이 장치는 전선을 미리 검출하여 항공기의 안전한 항법에 자동적으

로 활용하는 형태가 아니므로 사고의 방지에는 잘 활용할 수 있으나 사전에 장애물을 검출하여 헬기의 자동 항법 시스템에 이용하는 개념과는 다소 차이가 있다.

레이다와 달리 수동 시스템인 CCD 카메라는 그 특성상 고 해상도의 화상을 통하여 비교적 작은 장애물체도 쉽게 검출할 수 있는 장점이 있는 반면에 안개, 비, 눈 등의 기상 상태에 따라 카메라의 시계가 아주 제약이 되므로 사용이 제한된다. 또한 전천후 비행을 위하여서는 악천후 조건뿐만 아니라 야간에도 물체를 검출할 수 있어야 하는데 카메라는 야간에는 특별한 조명이 없이는 사용이 불가능한 취약점을 갖고 있다. 그러나 2개의 CCD 를 이용하여 스트레오 방법은 전방에 있는 장애물체에 대하여 거리의 정보를 포함하는 정확한 영상 정보를 제공할 수 있어 레이다에 비하여 비행 전방에 위치한 시계 전체에 대하여 정확한 판단을 할 수 있는 유리한 점을 갖고 있다. 고해상도의 스트레오 영상을 실시간으로 얻기 위해서는 고성능의 프로세서를 이용하여야 하며 현 시점에서 헬기에 사용할 수 있는 프로세서의 비용이 아주 크다는 점도 단점으로 지적되고 있다.

2.2 능동탐지 시스템

능동 탐지 시스템으로서 저 주파수에 작동하는 전자계 센서[5]를 이용하여 헬기의 전방에 위치한 전선을 검출할 수 있으나 분해능이 떨어져 신뢰도가 적은 단점을 갖는다. 이에 반하여 Laser를 이용한 시스템은 해상도는 좋으나 기후에 많은 영향을 받는 단점을 갖는다. 또한 조종사의 시계 전체에 대한 검출을 위하여서는 Laser를 주사할 수 있는 기계적 주사 장치가 필요하다. 이러한 장치는 비교적 진동이 심한 헬기에서 안정된 동작을 하여야 하는 시스템의 요구에 불리한 작용을 하게 된다. 밀리미터파를 이용한 레이다 시스템은 비교적 파장이 짧은 높은 주파수에서 작동하므로 작은 안테나를 이용하여서도 높은 분해능을 갖는 장애물 검출 장치를 구현할 수 있다. 이상의 시스템 비교를 통해 기후에 의한 영향이 적을 뿐만 아니라 야간에도 이용 가능한 밀리미터파 레이다가 단거리에서 높은 해상도가 요구되는 장애물 탐지 시스템으로 가장 적합함을 알 수 있다.

3. 밀리미터파 장애물 탐지 시스템

밀리미터파 탐지 시스템은 안개, 눈, 비 등의 나쁜 기후 조건에도 수동 시스템에 비하여 원거리 측정이 가능하며 야간 이용이 가능할 뿐만 아니라 파장이 짧아 시스템의 소형화가 가능하다는 장점을 갖는다. 또한 밀리미터파 장애물 탐지 시스템에 목표물에 대한 고해상도 획득을 위한 기술을 응용한다면 단지 장애물의 존재 유무 뿐 아니라 고해상도의 영상으로도 장애물 관측이 가능해진다. 일반적으로 레이다가 보는 방향의 수직 방향 해상도를 높이기 위해서는 작은 빔 폭의 안테나가 필요하게 된다. 이와 같은 경우 고해상도가 요구될 수록 안테나의 크기가 커져야 하는 어려움이 있다. 그러나, 여기서 이용하고자 하는 고해상도 장애물 관측 레이다는 넓은 빔 폭을 갖는 작은 안테나를 이용해서 고해상도의 목표물을 관측 하려는 것이다. 전선을 검출하기 위한 센서 시스템은 물체가 정지해 있고 레이다가 상대운동을 유발하는 경우의 장애물 검출 개념을 적용하는 것이 바람직 하지만, 우선 실험실에서 구현 가능한 방법으로 장애물이 회전운동을 하며 레이다가 정지한 경우의 신호 검출 개념을 적용하여 전선, 나무 등의 장애물들을 관측할 수 있도록 하는 ISAR 신호 획득 및 신호처리 개념을 이용하여 측정 실험 장치를 구성하였다. 물체가 회전운동을 할 경우 거리 방향(range axis) 해상도는 다음과 같다.

$$\Delta y = \frac{c}{2B} \quad (1)$$

여기서 B는 대역폭, c는 빛의 속도이다. 만일 목표물과 레이다의 상대 운동이 발생한다면 목표물의 총 회전각도(T) 동안 위상차가 적어도 한 주기 즉, 2π 가 될 때 수직거리 방향에서 Δx 만큼 인접한 점 목표물(point target)은 구분 가능하다. 수직거리(cross range) 방향 해상도 Δx 는 식 (2)와 같이 관측 각도에 따라서 수평 분해능이 개선된다.

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2\theta_T} \quad (2)$$

주파수 샘플링 간격과 물체의 회전 각도 간격은 각각 가짜 신호에 영향 받지 않는 최대 측정 거리와 수직거리를 결정한다.[6] 거리 방향으로 가짜 신호가 발생하지 않는 측정 거리 y_m 는 주파수 샘플링 간격에 의해 식 (3)에 의하여 결정 된다.

$$y_m = \frac{c}{2\Delta f} \quad (3)$$

여기서 f 는 샘플링 주파수이다. 물체가 회전할 경우 레이더가 감지해야 하는 샘플링 회전 각은 Nyquist criterion과 회전 물체의 수직거리 방향 크기에 의해 결정된다. 즉, 한 주기 마다 적어도 두 번의 샘플링이 이루어져야 한다. 한번의 샘플링 각도에서 다음 샘플링 각도로 옮겨지기 전에 측정 물체는 위상차가 π radians 보다 작게 발생해야 한다. 회전 되어지는 목표물의 크기가 클수록 회전 시에 발생하는 위상차는 커지므로 일정한 해상도를 얻기 위하여서는 샘플링 각도는 작아져야 한다. 가짜 신호가 발생하지 않는 수직거리 방향의 최대 측정 거리 x_m 은 식 (4)와 같이 샘플링 각도 $\Delta\theta$ 에 의해서 결정 된다.

$$\Delta\theta \leq \frac{1}{2x_m} \quad (4)$$

그림 (1)은 거리 R 과 θ 위치에서 회전하는 목표물을 측정하기 위한 좌표계를 제시하고 있다. 거리 방향과 수직거리 방향의 2-D image plane은 목표물에 대한 탐지 영역을 가리키고 있다. 변수 r 과 ψ 은 물체의 고정된 평면에 대한 좌표이다. 단일 임의의 점 P 에 점 목표물이 있다고 가정하면 이 때 반사되는 신호 $V(t)$ 는 임의의 회전각도 θ 위치에서 식 (5)로 표현될 수 있다.

$$V(t) = \sigma \exp(j2\pi ft) \times \exp[-j4\pi fc^{-1}\{R + r \cos(\theta - \psi)\}] \quad (5)$$

σ = 레이더 단면적

R = 레이더와 목표물까지의 거리

2-D 탐지 영역에 대한 정보를 얻기 위해서는 우선 각각의 회전 위치에서 표현되는 레이더 신호에 대한 장애물의 주파수 응답을 측정 하고 측정된 데이터에 IFFT를 적용해 거리 방향 정보를 얻는다. 각각의 회전 위치에서 같은 거리상의 데이터들을 동위상 처리함으로써 수직거리 방향의 정보가 얻어진다. 그림 2는 회전 목표물로부터 거리와 수직거리 정보를 얻기 위한 신호처리 알고리즘의 과정을 제시하고 있다.

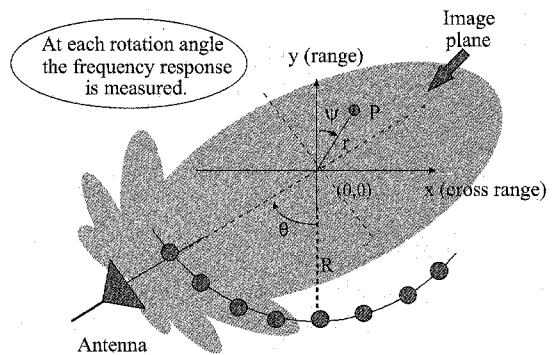


그림 1. 회전 목표물을 측정하기 위한 좌표계

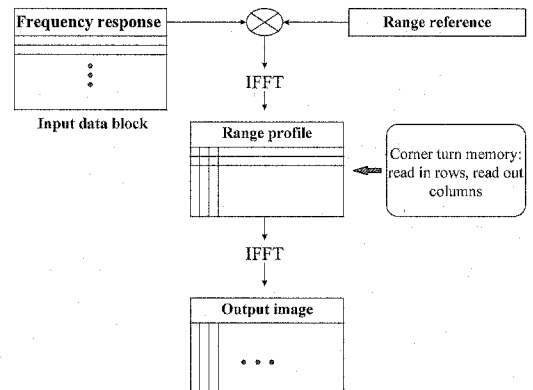


그림2. 2-D 영역에서의 장애물 탐지 알고리즘

4. 장애물 검출을 위한 실험장치

본 연구에서는 야간 비행이나 저공 비행, 그리고

이착륙 시에 나타나는 장애물들을 탐지할 수 있는 센서 시스템 개발을 목적으로 실험을 수행하고 있다. 여러 가지 장애물들 중 전선과 나무를 선택하여 현재 실험실의 환경에서 가능한 실내 측정 방법을 이용하여 장애물 검출 실험을 수행했다. 그림 3은 전선을 검출하기 위한 밀리미터파 장애물 탐지 실험 장치를 보여주고 있다. 장애물 측정 시스템은 RF 신호원과 송수신 안테나, 방향성 결합기, 주파수 변환기 그리고 수신기로 구성되었다. 장애물의 회전은 I/O 보드와 결합된 PC를 이용하여 모터의 회전각을 제어하도록 하였으며 수신 데이터에 대한 신호 처리는 역시 PC에서 HP-IB를 통해서 수행하도록 하였다.

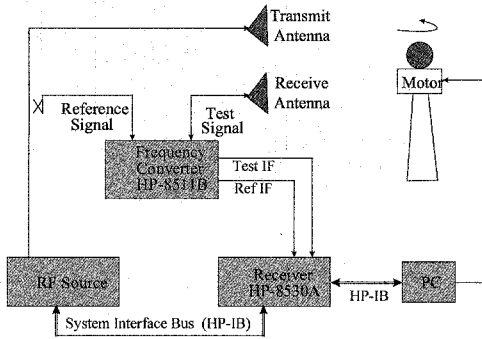


그림 3. 전선을 검출하기 위한 측정 장치

표1. 전선 검출 실험에 이용된 파라미터

거리 방향 해상도	0.75 m
수직거리 방향 해상도	0.0114 m
총 회전 각도	27.432°
회전 각도 샘플링 간격	0.216°
중심 주파수	27.5 GHz
대역폭	2 GHz
주파수 샘플링 간격	15.7 MHz
가짜 신호가 나타나지 않는 거리 방향 최대 거리	9.5m
가짜 신호가 나타나지 않는 수직거리 방향 최대 거리	1.4476 m

측정 대상물에 의한 반사 신호 외의 다른 잡음 신호를 최소화 하는 환경을 만들어 주기 위해 전파 흡수체로 격리 처리된 챔버에서 측정하였다. 각 각의

회전 각도에서 주파수 응답은 HP-VEE 프로그램을 이용한 순차적인 제어에 의해서 측정하였으며 표 (1)에 실험에서 전선을 검출하기 위하여 이용된 파라미터들을 제시하였다.

5. 실험결과 검토

장애물로 가정한 전선에 대한 검출 실험 결과를 살펴보고자 한다. 그림 (4a)는 지름이 22 mm인 전선의 측정을 위한 측정구도이다. 전선은 레이더가 보는 방향의 수직으로 세워진 형태로 헬기가 전선의 수직 방향으로 스캐닝 할 때의 상황을 가정한 것으로 수직 방향으로 전선이 회전한다. 그림 (4b)는 그림(4a)의 전선에 대한 수신 신호를 표시한 것이다. x축, y축은 각각 수직거리 방향과 거리 방향의 IFFT 인덱스이다. 지름 22 mm의 전선은 수직거리 방향에서 하나의 피크로 나타난다. 수직거리 축 상에서 전선을 나타내는 피크 외의 약간 퍼진 형태의 작은 피크는 전선을 고정하기 위해 사용된 버팀목에 대한 반사 수신 신호를 의미한다.

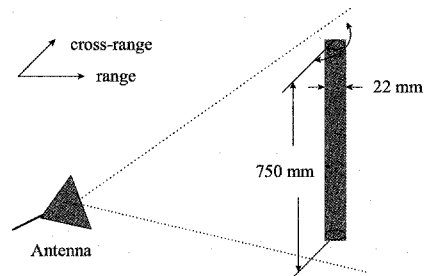


그림 4a. 안테나에서 바라본 전선의 위치

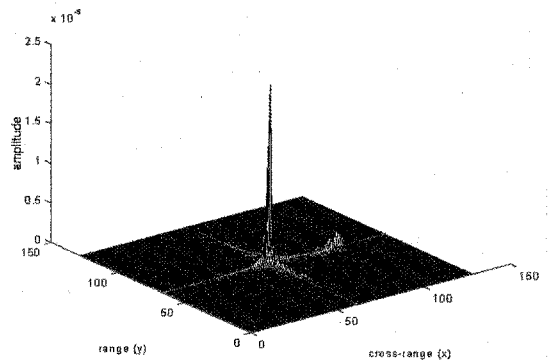


그림 4b. 지름 22mm의 전선 검출 신호

서로 다른 굵기의 전선에 대한 탐지 실험을 하기 위하여 그림 (5a)와 같이 11mm, 16mm, 22mm의 굵기를 갖는 전선을 91mm와 610mm의 간격으로 배치하여 측정하였다. 이때 안테나와의 위치는 그림 (4a)와 같다. 그림 (5b)는 그림 (5a)에 대한 검출 결과이며 같은 거리상에서 세 개의 전선이 탐지되고 있다.

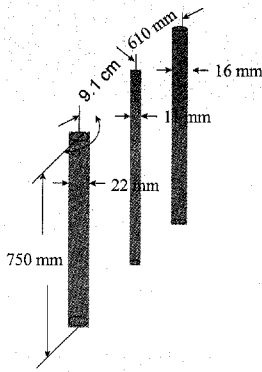


그림 5a. 3개의 전선 배치

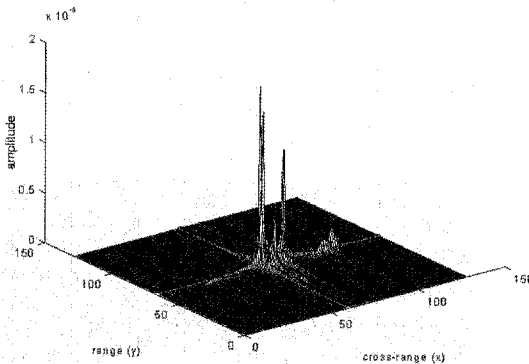


그림 5b. 세 개의 전선으로부터 관측된 신호

앞에서의 경우와 달리 그림 (6a)는 헬기가 전선과 평행한 방향으로 스캔할 때의 상황에 대한 안테나와 전선과의 위치 설정이다. 이때 안테나는 그림 (4a) 경우와 달리 전선의 수직거리인 긴 장축을 향하며 모터를 거리 방향을 중심으로 회전한다.

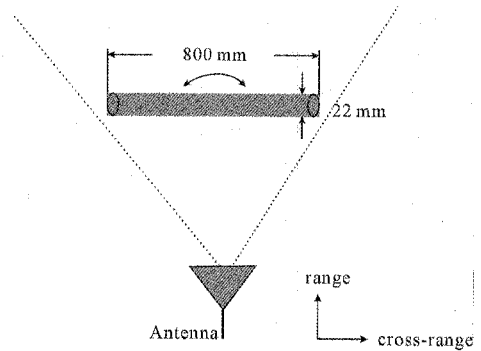


그림 6a. 전선의 장축이 안테나에 대하여 수직거리 방향으로 위치한 경우

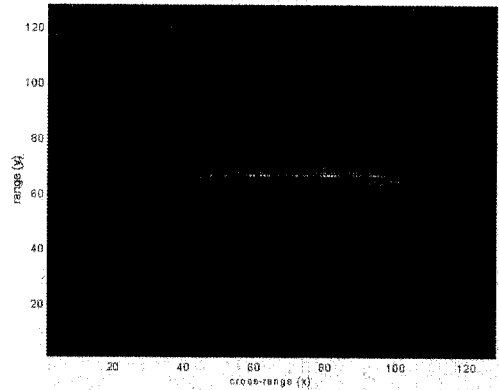


그림 6b. 지름이 22mm인 전선의 관측된 영상

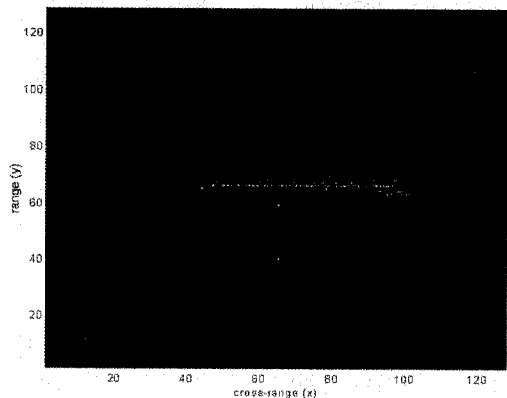


그림 6c. edge 필터를 이용하여 개선한 영상

그림 (6b)는 이와 같은 경우 전선의 직경이 22mm인 전선으로부터 관측된 신호를 gray level로 표현한 것이다. 수직거리 방향으로 길게 뻗은 하나의 전선이 탐지 되고 있다. edge enhancement 필터를 이용할 경우 그림 (6c)의 결과를 얻었다. 영상의 잡음은 제거할 수 없었으나 전선에 대한 선명도는 훨씬 개선할 수 있었다.

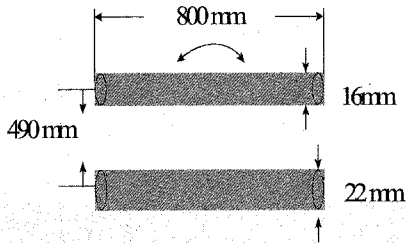


그림 7a. 16mm, 22mm 직경의 두개 전선이 안테나에 대하여 수직거리 방향으로 위치한 경우

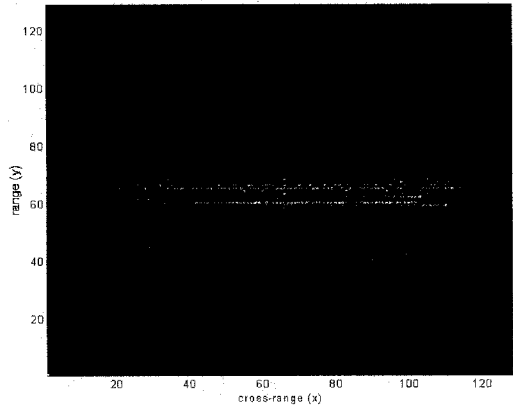


그림 7c. 직경이 16mm, 22mm인 두개의 전선으로부터 검출된 신호를 edge 필터를 이용하여 개선한 영상

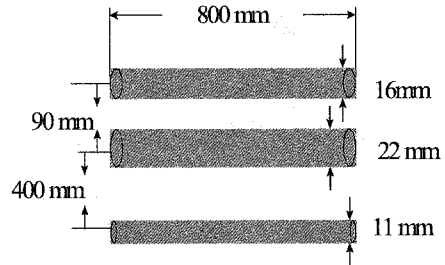


그림 8a. 11mm, 16mm, 22mm 직경의 3개 전선이 안테나에 대하여 수직거리 방향으로 위치한 경우

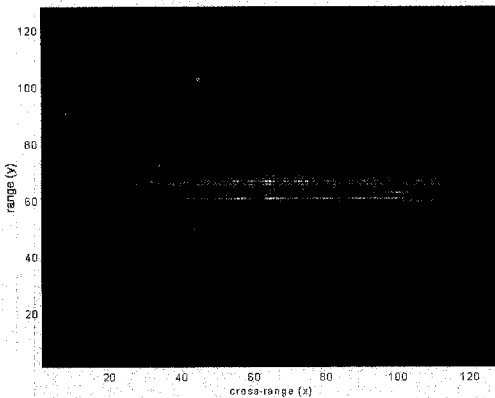


그림 7b. 지름이 16mm, 22mm인 두개의 전선으로부터 관측된 신호에 대한 영상

그림 (7a)는 그림 (6a) 처럼 안테나와 전선의 위치는 같고, 16mm와 22mm 두 개의 전선이 존재하는 경우의 실험 구성이다. 이 때의 전선 관측 실험 결과를 그림(7b)와 그림 (7c)에 제시하였다.

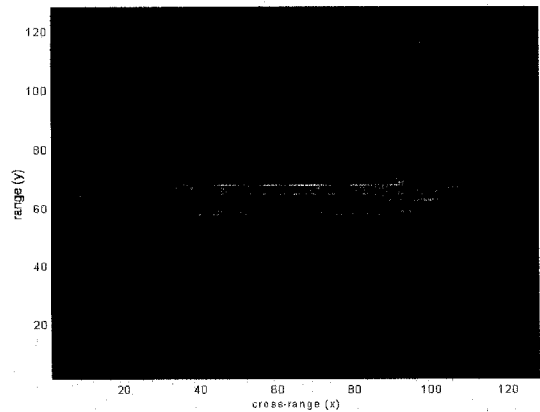


그림 8b. 지름이 11mm, 16mm, 22mm인 세개의 전선으로부터 관측된 신호에 대한 영상

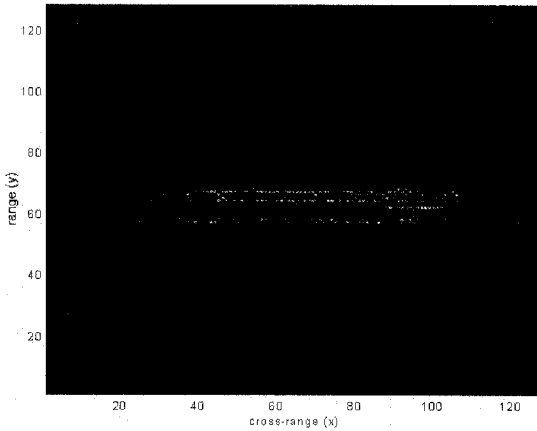


그림 8c. 직경이 11mm, 16mm, 22mm인 세개의 전선으로부터 검출된 신호를 edge 필터를 이용하여 개선한 영상

그림(8a), (8b), (8c)는 3개의 전선이 안테나와 수직 거리 방향에 위치할 때 결과이다. 그림(8b)는 이 때의 전선의 검출 신호를 나타내고 있으며 수직거리 방향으로 길게 분포해 있는 세 개의 전선이 검출되고 있다.

위의 실험에서 전선이 1개가 있는 경우에는 아주 선명한 전선의 영상을 얻을 수 있었으나 전선이 2개가 동시에 근접하여 위치해 있는 경우에는 전선이 1개가 있는 경우보다 수신 신호로부터 획득한 영상이 선명하지 못하고 blur 현상이 일어나는 것을 관찰할 수가 있었다. 이러한 현상은 전선이 3개가 있는 경우에도 발생하였으며 특히 전선이 3개가 있는 경우 중앙에 위치한 전선은 blur 현상이 아주 심하여 edge 필터를 이용하여야만 전선을 영상으로 인식할 수가 있었다. 이러한 현상은 전선의 위치가 인접한 경우 전선의 레이더 단면적으로부터 발생하는 상호 산란 현상에 의하여 각각의 전선으로부터 수신된 신호를 검출하기보다 평균 산란 신호를 수신한 결과이다. 중앙에 위치한 전선에 비하여 양쪽 가상 자리에 위치한 전선은 비교적 상호 산란 영향을 적게 받아 수신 신호가 선명히 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 본 실험에서 설정한 전선의 굵기나 전선간의 간격은 아주 극단적으로 하였으며 실제 고압선의 간격은 본 실험에서 설정한 최소 간격 90mm보다 5배 내지 10

배 이상의 간격으로 위치하고 있어 실제 상황에서는 이러한 문제가 아주 미약할 것으로 예상된다.

6. 결 론

본 논문에서는 헬기의 자동 항법을 위한 장애물 탐지 특히 전선을 검출하기 위한 밀리미터파 레이더에 대한 시스템과 신호 검출 방법에 대한 연구를 수행하였다. 특히 밀리미터파 레이더를 이용한 실험을 통하여 전선과 같은 아주 작은 레이더 단면적을 갖는 장애물의 검출 가능 여부를 확인하였다. 실험 결과에서 보듯이 1개의 전선이 위치하여 있을 때 뿐만 아니라 11mm, 16mm, 22mm의 지름을 갖는 전선이 동시에 나란히 서로 인접하여 있을 때도 명확한 전선의 신호를 검출할 수가 있었다. 물론 11mm 직경의 전선이 한 개만 존재하고 있을 때는 3개의 전선이 나란히 위치하여 있을 때 보다 아주 명확히 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 전선이 3개가 동시에 있을 때는 각 전선의 레이더 단면적으로부터의 전자파 산란에 의하여 3개의 전선에서 돌아오는 전자 신호가 일부 서로 혼합되어 수신기에 돌아오므로 각 전선에서 돌아오는 신호의 분리가 명확하지 않지만 그림에도 불구하고 실험 결과에서는 3개의 전선을 확인할 수 있었다. 본 실험 결과를 바탕으로 하여 헬기에 장착할 수 있는 장애물 탐지용 센서 시스템의 개발을 위한 기술의 확보를 가능케 하였다. 향후 이 시스템은 안테나에 수직, 수평 편파를 적용할 수 있는 모드 변환 회로를 첨부하여 편파의 변환에 따른 수신 신호의 특성을 고찰 하려고 한다.

참 고 문 헌

1. 월간항공, 6월. pp 15, 1992.
2. V.H.L.Cheng, "Automatic Guidance and Control for Helicopter Obstacle Avoidance," J. of Guidance, Control, and Dynamics, vol.17, No.6, Nov.-Dec., pp1252-1259, 1994.
3. H-J Li, N.H.Farhat, Y Shen, "Range Profiles and

- Images of a Loaded Straight Wire," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-37, pp.94-99, 1989.
4. P.N.Smith, "Flight Data Acquisition for Validation of Passive Ranging Algorithms for Obstacle Avoidance," 46th Annual Forum and Tech. Display of the American Helicopter Society, Washington, D.C., May 21-23, 1990.
 5. H. Paul Shuch, "A Proximity Warning System for Light Aircraft," rf design, May, pp43-53, 1988.
 6. W.M.Brown, R.J.Fredricks, "Range-Doppler Imaging with Motion Through Resolution Cells," IEEE Trans. AES. Vol.5, No.1, Jan. pp98-102, 1969.