

지상장애물 회피를 위한 항공기 경고
시스템에 관한 연구

함 광근* 최재덕** 허 용*

A Study on the Warning System of Aircraft
for Obstacle Avoidance

Kwang - Keun Ham , Jae - Duck Choi and Huh - Uoong

목 차

제 1 장 서론

제 2 장 거리계측 이론

제 3 장 시스템 구성

제 4 장 결론

* 명지대학교 전자공학과

** 한국항공대학교 비행교육원 교관

ABSTRACT

In this study, we devised side warning system that is necessary to the ground operation of aircraft.

The system consist of obstacle detection part, transmission part, receive part, and warning part.

We used TOF(Time Of Flight) method using 40kHz ultrasonic wave as the obstacle detection part. The 447MHz RF module was applied to the transmission and receive part.

The warning part is activated by the computer using received distance data. The detection system attach to the left/right side edge of main wing and horizontal stabilizer.

We have decided 10m obstacle detection range.

The result of experiment was satisfactory.

요 약

본 연구에서는 항공기의 지상활주에 필요한 측방 경고장치를 구현 하였다.

장치는 장애물 검출부, 송신부, 수신부, 그리고 경보부로 구성하였다. 장애물 검출부는 40KHz대의 초음파에 의한 펄스비행법을 채택하였고 송/수신부는 447 MHz 대의 RF모듈을 사용하였다.

경보부는 컴퓨터를 사용하여 수신된 거리 데이터로부터 경보를 한다. 검출장치는 주날개의 좌우측 끝과 수평 안정판의 좌/우측 끝에 장착한다. 장애물 검출 거리는 10m로 설정하였다.

실험 결과 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

제 1 장 서론

항공기의 지상활주중에 발생하는 지상안전사고는 기계적인 결함에 의한 것이 많았으나, 장비가 고도화로 발전한 현재는 인적 요인에 의해 발생하고 있다. 지상 사고에 대한 보고서에 따르면 지상요원의 부주의한 행위로 발생하는 사고가 88%가 되며, 불안정한 조건에서 오는 사고가 10% 정도이어서, 사고원인의 98%가 불가항력이 아닌 인적 및 물리적 조건에 의한 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾

항공기 자체는 공중운항에 관계된 고도의 계측장비가 완비되어 있으나 지상에서의 이동은 인력에 주로 의존한다. 지상장비가 밀집되어 있는 주기장이나 격납고 부근에서 자체적으로 이동하여야 하는 경우, 조종사는 이동에 대한 심적인 부담이 커진다. 그러므로 항공기의 이동시 조종사에게 주변 장애물에 대한 정보를 알려주면 이동중에 발생하는 사고를 예방할 수 있을 것이다.

근거리 계측에는 초음파를 사용하는 방법이 간편하므로 초음파 펄스 반사법이 흔히 사용되고 있다. 이러한 장애물 검출 장치를 항공기의 양쪽 주날개와 수평 안정판에 부착하여 초음파를 발

사하고 반사신호를 검출하여 지상 장애물에 대한 정보를 연속적으로 모니터링하여 제공하면 조종사는 심리적으로 안정된 비행을 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이러한 목적을 위해서 초음파 장애물 검출 시스템을 구현 하였다. 구현된 시스템은 장애물 검출부, 통신부, 경보부로 구성하였다.

장애물 검출부는 거리계측을 10m로 설정하였으며, 주날개에 2개, 수평 안정판에 2개를 부착하여 비행기의 좌/우측 장애물을 검출할 수 있도록 한다. 통신부는 검출부에서 검출된 정보를 경보 모니터부로 전송하는 목적으로 설계되었다. 사용주파수는 447MHz대이며 4CH로 멀티플렉싱하여 수신되게 구현 하였다.

경보부는 좌/우 주날개와 수평 안전판에서 검출된 거리 정보 신호로부터 위험 정도를 계산하여 조종사에게 제공할 수 있게 구성 하였다.

제 2 장 거리 계측 이론

본장에서는 초음파의 성질 및 거리계측 원리에 대해서 논한다.

제 1 절 초음파의 성질

초음파라함은 인간의 가청 주파수보다도 높은 20KHz 이상의 주파수를 말한다. 본 절에서는 공기중에서의 초음파의 기본적인 성질에 관해서 논한다.

1. 파장과 분해능

초음파의 파장은 전파속도를 주파수로 나눈값이다. 공기중에서 음파의 전파속도(음속)는 약 344m/s로 아주 늦기 때문에, 파장이 길다. 파장이 짧으면 거리방향의 분해능이 높으며, 정밀도가 높은 계측이 용이하게 된다.

2. 반사

음향 에너지가 매질을 진행할 때 음향 임피던스가 큰 매질이 있으면 경계면에서 반사가 발생한다. 일반적으로 대기중에 위치하는 고형의 물체는 그 표면에서 대기와 음향 임피던스 차이가 크므로 반사가 발생한다. 이러한 계면에서 반사현상을 이용하여 장애물의 위치 파악을 할 수 있다.

금속, 목재, 콘크리트, 거울, 종이등은 음향에너지를 계면에서 대부분 100% 반사하지만, 천, 스펀지와 같이 표면 반사율이 낮은 물체는 초음파 에너지를 흡수하는 양이 많으므로 반사에너지가 작다.

3. 온도의 영향

대기중의 기체는 온도에 따라 밀도가 달라지므로 대기중의 음향 에너지 전달 속도는 밀도의 영향을 받는다. 즉 온도 변화에 따라 음속이 변화하며 온도와 음속의 관계는 다음식과 같다. 여기서 c 는 음속, t 는 대기의 온도이다.

$$c = 331.5 + 0.607t \text{ [m/s]} \quad (1)$$

음속은 주변 온도에 따라 변하므로 물체와의 거리를 정확히 측정하기 위해서는 온도 보정이 필요하다.

제 2 절 거리측정의 원리^{(10), (11)}

1. 펄스비행법(Time Of Flight)

초음파를 이용하여 물체와의 거리측정에 가장 일반적으로 사용하는 방법은 TOF(Time Of Flight)이다.

이 방법은 음을 방사하는 시간과 반사되어 수신되는 시간을 계측하여 음속을 이용하여 거리를 계산하는 방법이다.

일반적으로 시간 계측은 음속으로 교정된 클럭 신호를 송신 시간과 수신시간과의 시간 게이트로 게이트하여 출력된 클럭수를 계수하여 거리를 나타낸다.

2. 거리 계측의 원리

거리를 측정하기 위해서 초음파를 트랜스듀서를 통해서 발사하고 대상 물체에 부딪혀서 반사한 초음파 에코를 수신해서 송신과 수신 시간간격을 측정하면 초음파 빔의 발사방향에 있는 대상물체까지의 거리를 알 수 있다.

그림 1은 TOF법의 원리를 나타내고 있으며, 그림 2는 타이밍 관계를 나타내고 있다.

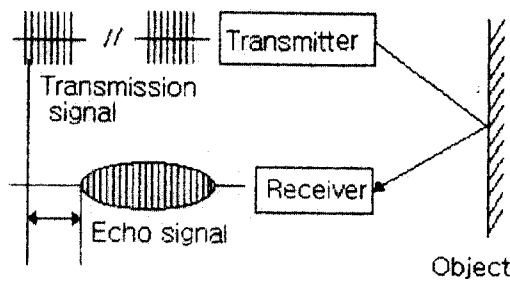


그림 1. TOF 거리 계측 원리

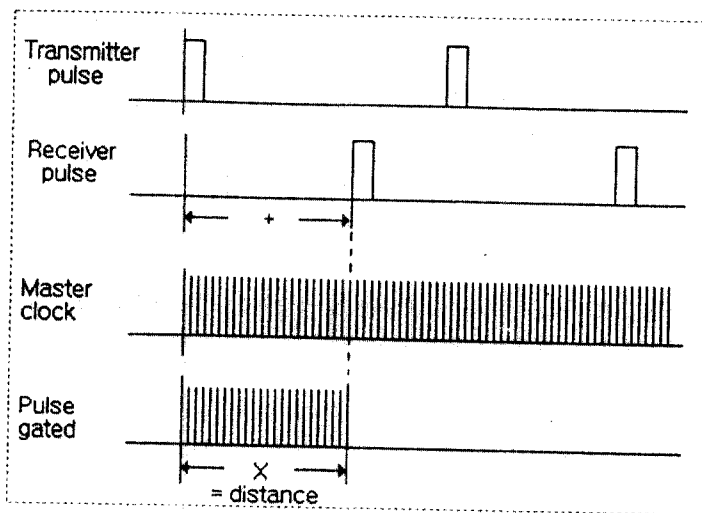


그림 2. TOF 거리 계측 타이밍도

충돌 장애물 검출 시스템의 구성은 그림 3과 같다.

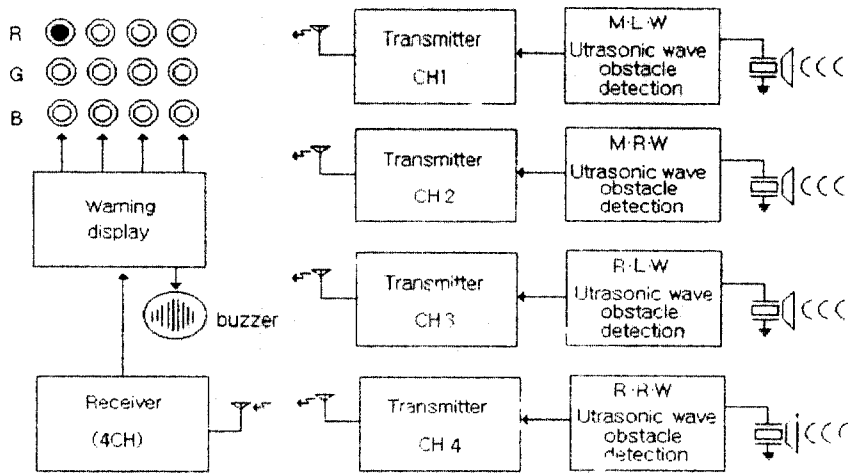


그림 3. 충돌 장애물 검출 시스템의 개념도

각 장애물 검출부에서 입력된 장애물의 거리 데이터는 각 송신부를 거쳐서 수신부에 입력된다. 입력된 각 채널의 데이터는 경보부에서 경보 알고리즘에 따라 시각적 경광 표시와 음향 정보를 한다. 경광 표시는 녹색, 황색 그리고 적색으로 구성한다. 10m밖에 장애물이 위치 할 때는 녹색, 5~10m에서는 황색, 5m이내는 적색을 경보하고 동시에 음향 정보를 제공한다.

그림 4는 각 장애물 검출부를 설치하는 위치를 나타낸다. 경보부와 수신부는 조종석에 설치를 하며 각 장애물 검출부는 그림 4와 같이 각 날개의 끝부분에 장착을 한다.

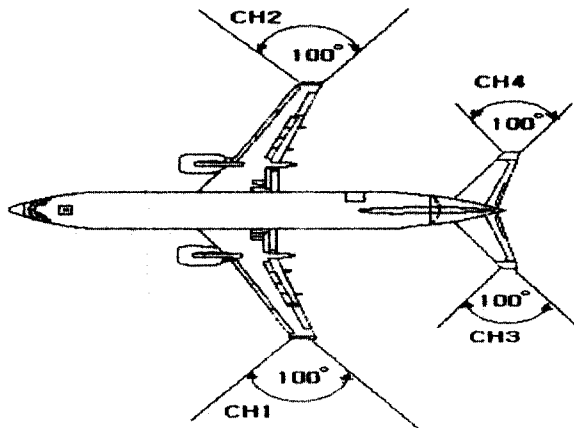


그림 4. 측방 장애물 검출기의 설치도

그림 5는 4채널의 감지시스템과 수신부로 구성되며 수신부는 4채널의 다중화부를 가지며, 여기에서 각 검출기로부터의 거리 데이터를 분리하여 컴퓨터에 입력 시킨다.

주조종석은 수신부, 마이크 제어부 그리고 경보부로 구성된다.

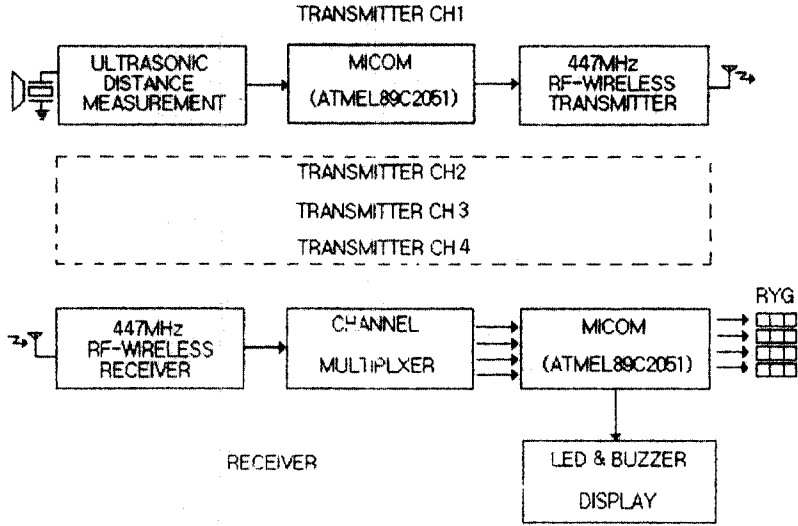


그림 5. 시스템의 구성도

제 3 장 시스템 구성

본 연구에서는 펄스 비행법을 이용하여 시스템을 구현 하였으며, 시스템은 하드웨어와 소프트웨어로 구성된다.

제 1 절 하드웨어 시스템

RF모듈은 스위치 조작에 따라 송신과 수신을 행할 수 있다.

1. RF 송신부^{(10), (11)}

마이컴의 TxD단자는 데이터 전송선이며 마이컴의 포트로서 RF 모듈의 11번 핀을 제어하여 데이터를 송신한다. 회로를 간략히 하기 위하여 송신모듈 TMX729을 사용하였으며, 송신 주파수 범위는 447.2625~447.9875MHz이며, 제 1 국부 발진 주파수는 425.6124~426.3375MHz이다. 수신된 신호를 증폭한 후, PLL신호로 만들어진 주파수와 혼합해서 주파수 변환한다. 그리고 이 혼합된 신호를 증폭하여 안테나로 송신한다. TxD단에는 $n = 8$, $f_c = 4.8\text{MHz}$ 의 능동필터를 사용하였다.

2. RF 수신부

안테나로 입력된 전파는 고주파 증폭이 된 후 입력되고, PLL로부터의 주파수와 혼합되어, 중간 주파수로 변환된다. 이 중간주파수를 증폭한 후 검파 회로로 인가하면 RX-DATA가 출력된다.

RxD단에는 $n = 6$, $f_c = 4.8\text{MHz}$ 의 능동 필터를 사용하였다.

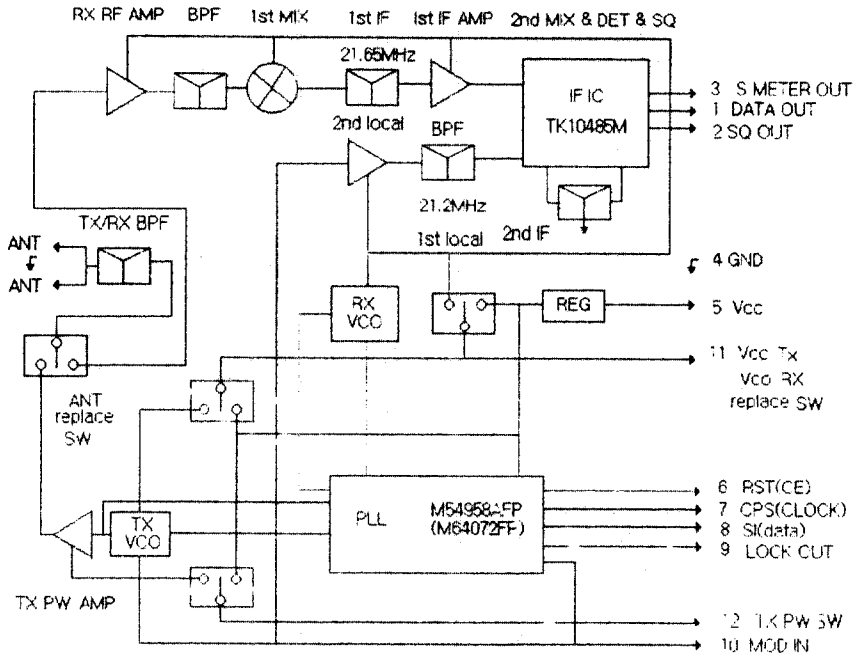


그림 6. 고주파 송/수신부의 블록도

3. 초음파 장애물 거리 측정기

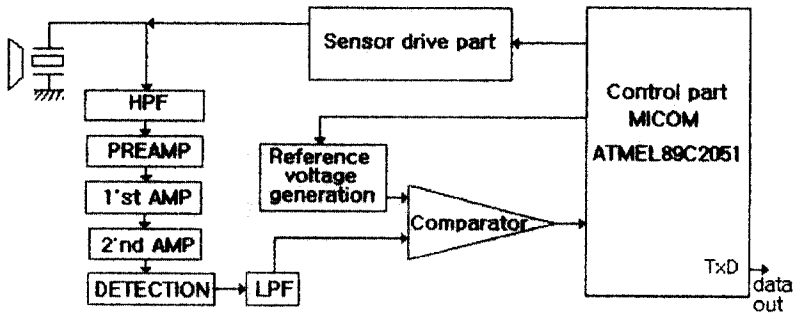


그림 7. 초음파 거리측정기의 블록도

초음파 센서는 무라다사의 MA40A5R/S 송/수신 겸용을 사용하였다. 하드웨어부는 송신부에 센서 구동부와 수신부에 밴드패스 필터, 증폭기, 검파기, 비교부로 구성된다.

1) 초음파 거리 측정기 송신부

초음파 거리 측정기는 펄스로 코일을 여기시켜 그 고유 진동수로 드라이브하는 자력석을 사용하였다. 초음파 발진회로는 코일과 트랜지스터 1석으로 구성하였고 출력측의 R1은 발진 감도조정용이다. 공진 주파수는

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2) \cdot C}} \quad (2)$$

로 구할수 있다.

2) 수신증폭 및 검파

초음파 에코신호를 수신하여 TR1으로 증폭하고 있다. PA 지점은 약 4.5V의 전압이 얻어진다. 전체 증폭을 위하여 R2를 연결한 전압 선트 귀환회로를 사용하고 있다.

수신된 신호는 미약하므로 IC1을 이용하여 에코신호를 증폭하고 IC2와 R, C의 시정수로서 대역 통과 필터 회로를 구성하여 사용 주파수 대역만 걸러낸다. 그리고 LPF로 저주파 신호성분을 걸러내면 에코 신호가 얻어진다. 밴드패스 필터의 중심 주파수는 다음과 같다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot C_3 \sqrt{R_3 \cdot R_4}} \quad (3)$$

밴드폭 BW 및 Q는 다음 수식으로 구한다.

$$B_w = \frac{2}{R_3 \cdot C_3} \quad (4)$$

$$Q = \frac{f_0}{B_w} \quad (5)$$

상한 주파수 f_H 및 하한 주파수 f_L 은 아래와 같다.

$$f_H = f_0 \left(1 + \frac{1}{2Q}\right) \quad (6)$$

$$f_L = f_0 \left(1 - \frac{1}{2Q}\right) \quad (7)$$

3) 신호 비교부

P1.4를 통해서 IC3의 +측에 “하이”를 인가한다. IC3는 비교기로서 검파후의 신호와 +측의 전압을 비교하여 “로우”일때 에코신호, “하이”일 때 여진 신호를 제거하는 역할을 한다.

PB지점은 VR1을 조정하여 200mV정도 나오도록 한다.

신호의 전원레벨을 올리기 위해서 R5, C5를 부가하였다. PC점에는 0~5V에 해당하는 검파신호가 얻어진다.

4) 마이컴 처리부

마이컴 부에서는 데이터 송신 제어, 수신, 그리고 데이터의 거리변환을 행한 후 시리얼로 송신기로 출력하는 루틴이 준비되어 있다. 40KHz의 초음파를 송신하면 실질적으로 678 μ s동안 방사되고 이어서 여진이 발생한다. 여진을 제거하기 위해서 280 μ s의 지연 시간을 둔다. 결국 약 1000 μ s동안 레퍼런스 P1.4는 "하이"가 된다. 레퍼런스가 끝나면, 즉 송신이 끝나면 에코펄스를 수신하기 위해서 레퍼런스를 "로우"로 만든다. 이때부터 소프트웨어 카운터를 작동시키고 수신신호를 기다린다. 신호가 검출되기까지 카운트한 펄스를 마이컴에서 거리로 환산한 후 시리얼로 데이터를 전송한다.

전체 시스템의 형태는 그림 8과 같다.

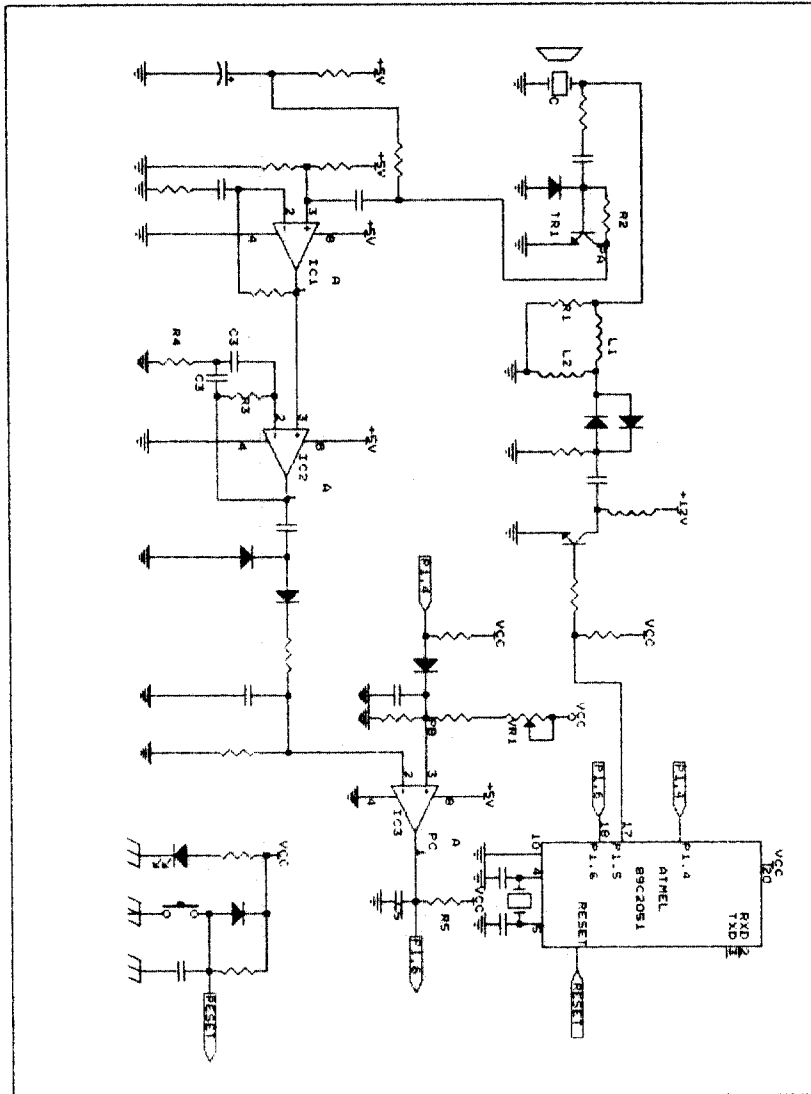


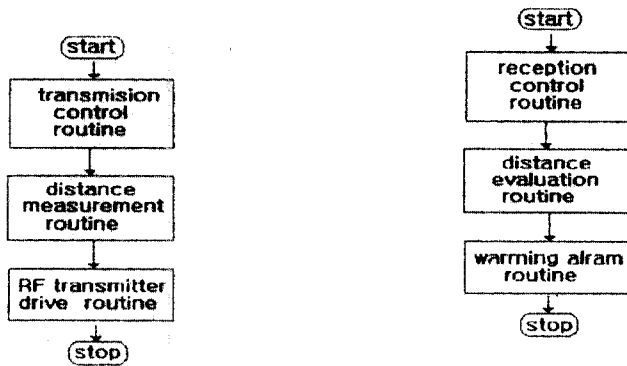
그림 8. 초음파 거리 측정기 회로

제 2 절 소프트웨어 시스템

1. 항공기 추돌 방지 시스템의 소프트웨어 구성

소프트웨어는 인텔사의 8051 어셈블리어로 작성하였으며, 초음파의 송/수신 및 RF 송/수신을 행한다. 그리고 수신기로부터 수신된 거리값은 LED 및 부저로 경보하도록 하였다.

좌측 주날개(CH1), 우측 주날개(CH2), 좌측 수평 안정판(CH3), 우측 수평 안정판(CH4)으로부터 날개와 평행하게 초음파를 독립적으로 발사하고, 독립적으로 각각의 수신된 신호를 거리값으로 환산한 후, 국부발전주파수로 변조시킨 후 주조종석의 모니터부로 송신된다. 주조종석에 각각 준비된 4채널의 수신기는 데이터를 검파하고 거리값에 따른 경보 및 부저음을 생성한다. 소프트웨어의 송/수신 구성은 다음과 같다.



a) 채널별 송신 제어 루틴

b) 채널별 수신 제어 루틴

그림 9. 소프트웨어 시스템의 블록도

2. 시스템의 제어 타이밍

초음파 거리 측정기의 타이밍도는 아래 표1과 같다.

표 1. 거리측정 타이밍도

← 50ms →				
← 678 ms →	← 280 ms →			
초음파 송신	여진시간 대기	초음파 에코 검출	마이크 처리	RF-송신

3. 초음파 송신

각 채널별로 TOF(Time Of Flight) 방식을 사용하여 50ms마다 측방으로 초음파를 발사하는 루틴으로 678 μ s동안 송신하고 뒤따르는 여진을 제거하기 위하여 280 μ s의 지연시간을 소프트웨어로 발생시킨다.

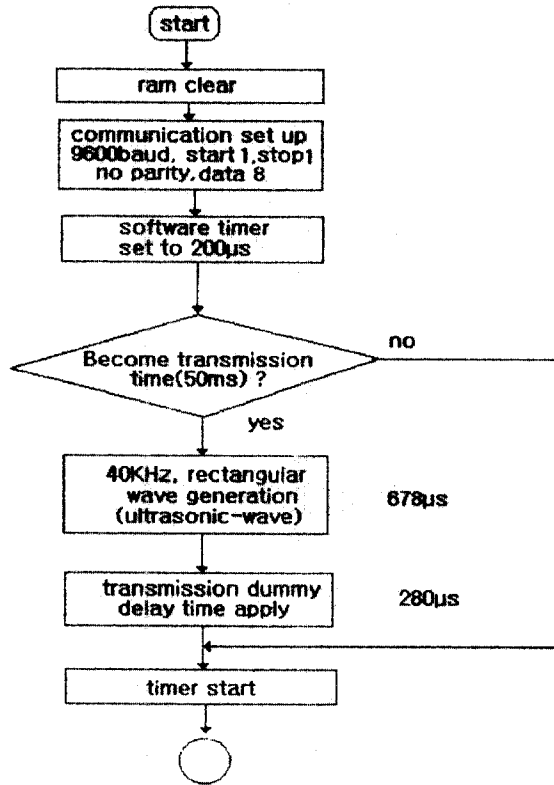


그림 10. 초음파 송신 루틴

4. 측방 계측

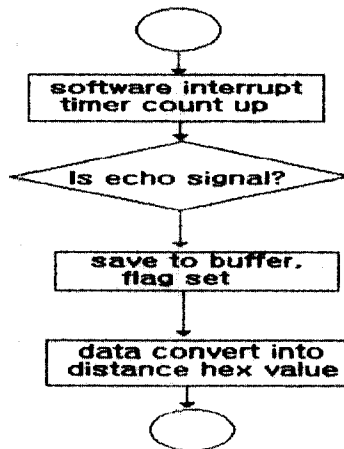


그림 11. 거리 계측 루틴

초음파를 발사하고 초음파가 되돌아 오기까지 소프트웨어 인터럽트 타이머를 200 μ s마다 걸리게 한 후 인터럽트가 걸린 횟수를 카운트하여 거리값을 hexa값으로 변환하여 저장한다.

5. RF 송신기 구동 루틴

계측되어 변환된 hexa 거리값은 국부발전주파수로 변조된 후 주 조종석으로 송신된다. 송신에 앞서 송신기를 턴온하고 송신될 데이터가 준비되면 SBUF에 hexa값을 써넣으면 데이터가 송신된다. 송신이 완료되면 송신기를 턴오프시키고 송신을 멈춘다.

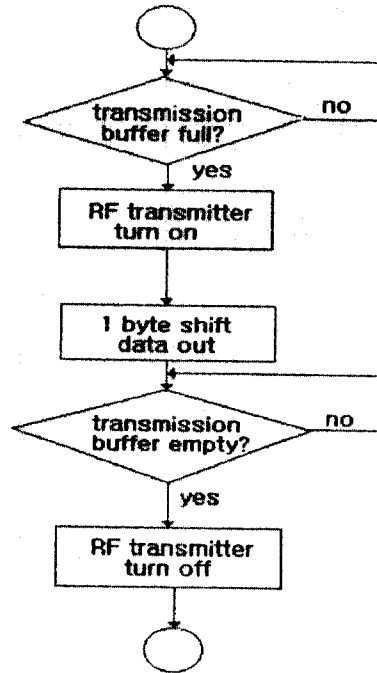


그림 12. RF 송신 구동 루틴

6. RF 데이터 수신 루틴

국부발전 주파수로 변조된 신호는 주종석의 수신기를 통해 검파되고, 거리 데이터는 시리얼로 마이컴으로 입력된다. 입력된 값은 10개의 FIFO에 연속적으로 시프트 되어 저장된다.

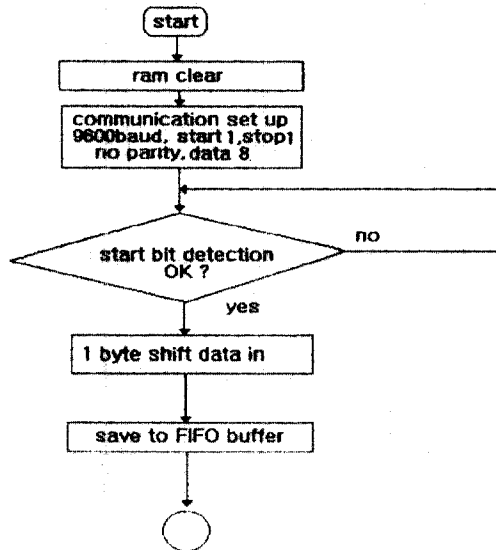


그림 13. 수신된 데이터 저장 루틴

7. 거리판정 및 경보루틴

불요 초음파로 인한 경보를 억제하기 위해서 최근에 수신된 3개의 데이터 분포를 조사하여 경보를 실시한다. 장애물과 1m~2m의 차가 생기면 LED "ON", 경보를 실시하지 않는다. 2m~3m의 차가 생기면 LED가 점멸하며, 200Hz의 비프음이 발생한다. 그리고 3m~4m의 차가 생기면 LED 점멸 및 1.6KHz의 비프음이 연속적으로 발생한다. 그리고 4m이상 차가 생기면 2.6KHz의 경보 및 LED가 점멸한다.

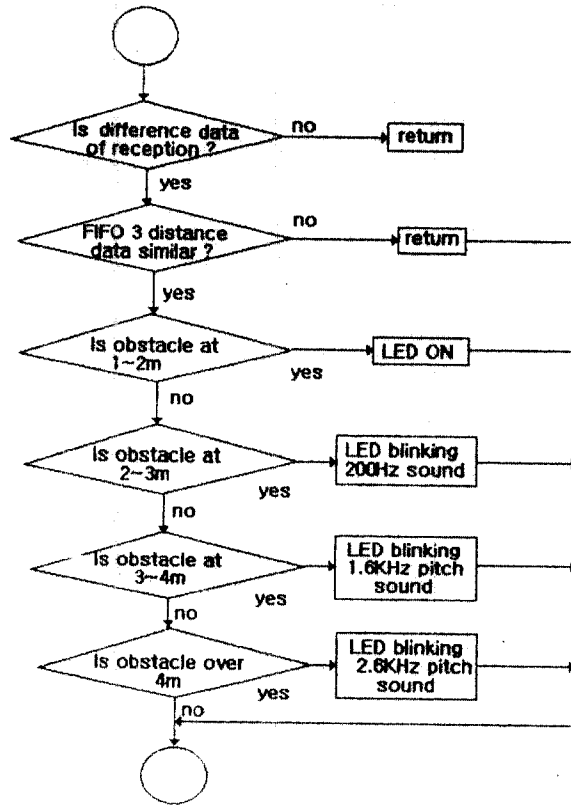


그림 14. 거리판정 및 경고 루틴

제 4 장 결 론

항공기가 격납고에서 활주로로 이동시 또는 특수한 상황에 의해서 지상에서 자율운행을 해야 할 필요성이 있는 경우, 근거리에 있는 장애물 때문에 기체의 파손 및 인명 피해의 요인이 되고 있다.

이러한 요인을 미연에 탐지하고 경고 가능하도록 초음파를 사용한 지상 장애물 검출 시스템을 구현 하였다.

주변차량 및 사람과 같은 장애물을 검지하기 위해 40KHz대의 초음파를 사용하였으며, 사각지대에 존재할 수 있는 물체에 대한 정보를 제공하도록 채널별로 경고 알고리즘을 적용하였다.

연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 사방 10m이내의 물체를 검출할수 있었다.
- 2) 이륙전 지상물체의 감지에 TOF방식이 적합하였다.
- 3) 물체와의 거리, 장애물의 연속 여부를 버퍼를 사용하여 비교하여, 억제 및 경보를 행하는 알고리즘을 적용하였다.

■ 참고문헌

- (1) 김태호, "항공기 자동화에 따른 비행 안전의 인적 요인에 관한 연구", 인하대학교 경영대학원 석사학위 논문, 1995
- (2) 진태중, "항공기 사고 방지를 위한 안전 관리에 관한 연구 : 한국적 Human factors을 중심으로", 경희대학교 경영대학원 석사학위 논문, 1995
- (3) 윤승중, "교통기관으로서의 항공기 안전운항을 위한 제기술교육의 검토와 그 역사적 배경", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 1976
- (4) 박재명, "항공기 사고 예방대책에 관한 연구 : 인적 요소를 중심으로", 동국대학교 행정대학원 석사학위 논문, 1990
- (5) 김득환, "항공기 사고조사에 관한 연구", 동국대학교 행정대학원 석사학위 논문, 1986
- (6) 임병길, "항공기 안전비행에 따른 사고예방에 관한 연구 : 인적 요소를 중심으로", 경희대학교 경영대학원 석사학위 논문, 1985
- (7) 강면규, "초음파 지팡이 구현에 관한 연구", 명지대학교 공학 석사학위 논문, 1995
- (8) 박동균, "FMCW를 이용한 초음파 지팡이 구현에 관한 연구", 명지대학교 공학석사학위 논문, 1994
- (9) Johann Borenstein & Yoram koren, "Obstacle Avoidance with ultrasonic sensors." IEEE. Journal of robotics & Automation, Vol.4, No.2. 1988
- (10)鈴木規夫, 丸岡嵩弼, "微弱電波를 사용한 傳送技法", 트랜ジスタ 技術 pp218-227, CQ 출판사, 1997,11,
- (11) ATMEL "8-bit microcontroller with 2kbytes Flash", AT89C2051 manual, 1996
- (12) 이 항, "등가연속체 Beam-rod 모델을 이용한 항공기날개의 공력탄성해석", 인하대학교 대학원 기계공학과 석사학위 논문, 1994
- (13) (株)村田製作所, 空中超音波 センサMAシリーズ, 카타ヒフ, cat, No, S6-6
- (14) Merrill I.Skolnik, "Radar Handbook", McGrawHill, pp14.21~14.41, 1991
- (15) Jefferson C.Boyce, "Operational Amplifier and Linear Intergrated Circuit", PWS-KENT, pp.152~156, pp.384~409, 1988
- (16) Rudolf F.Graf, "Encyclopedia of Electronic Circuits(Vol 1,2)TAB, pp.109~pp.522. 1988