

특수목적을 위한 이동형 영상 터미널 장비의 추적안테나 시스템에 적용하기 위한 방위각보정 알고리즘 구현

김남우¹ · 허창우^{2*}

The antenna azimuth correction method for a special purpose mobile video terminal tracking antenna system implementation

Nam-Woo Kim¹ · Chang-Wu Hur^{2*}

¹ Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 302-318, Korea

² Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 302-318, Korea

요 약

본 논문에서는 가시선 데이터링크용 추적안테나 시스템에 적용하기 위한 방위각 보정 알고리즘에 대해 연구한다. 이동하는 물체와 가시선 통신링크를 유지하기 위해서는 추적안테나 시스템이 필수적이다. 방위각과 고각계산을 위해서는 이동체와 안테나시스템의 GPS값을 이용하는데, 이때 두 좌표계의 동일성을 유지하기 위해서 초기에 지자기 센서나 beacon 등을 이용하여 보정을 하게 된다. 하지만 지형적으로 지자기교란이 생기기 쉬운 장소에서는 정확한 보정이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 초기에 RF신호의 수신세기추적을 통해서 신호의 발생 위치를 검출하고 검출된 위치까지의 방위각 보정 값을 계산하여 통신링크개설 후 수신된 GPS값에 보정 값을 적용함으로써 주변의 영향을 최소화하면서 쉽고 빠르게 보정할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed on the azimuth correction method for a line-of-sight data-link tracking antenna system. Tracking antenna system is essential to maintain line-of-sight between moving object and data-link equipment. In order to calculate the azimuth and elevation between the moving object and antenna system, we used GPS data. also to match the each coordinate systems, we used geomagnetic sensor or beacon. However, the geomagnetic disturbance-prone terrain in places difficult to correct calibration. The first step, finds the location of the strongest RF signal, we should remember the difference between the reference point and the detected position of the antenna. The second step, we could communicate each other. And the azimuth angle is calculated by GPS values. Despite the geomagnetic interference, we can correct the azimuth angle quickly and easily.

키워드 : 무선주파수, 무인항공기, 데이터 링크, 추적안테나, 지구위치측정시스템

Key word : RF, UAV, Data Link, Tracking Antenna, GPS

접수일자 : 2013. 10. 01 심사완료일자 : 2013. 10. 25 게재확정일자 : 2013. 11. 06

* **Corresponding Author** Chang-Wu Hur(E-mail:chang@mokwon.ac.kr, Tel:+82-42-829-7655)

Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 302-318, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.11.2541>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

세계적으로 무인항공기의 수요와 관심이 증가하는 추세로 2004년에서 2009년까지 집계된 자료에 의하면 양적으로는 3배, 개발 국가도 40개 국에서 51개 국가로 증가했다. 나라별 보유 현황으로는 미국이 1위로 이스라엘, 프랑스, 영국, 러시아, 독일 순으로 우리나라는 세계 11위이며, 2009년 군수용 47.8%, 민수용 10%에서 해마다 12% 이상 증가하고 있는 추세이다.

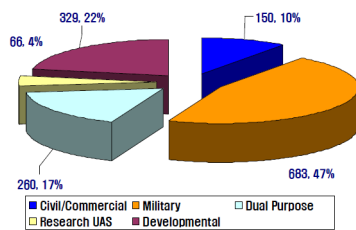


그림 1. 세계무인기 시장 분포
 Fig. 1 Teal Group Corporation(2008) "World Unmanned Aerial Vehicle Systems: Market Profile and Forecast"

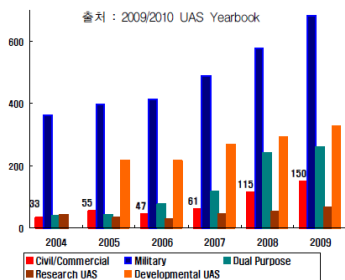


그림 2. 무인항공기 산업 동향
 Fig. 2 Trend of UAV System

조종사를 태우지 않고 시계박 까지 비행을 해야 하기 때문에, 무인항공기에서 데이터링크는 조종사와 비행기를 이끄는 생명줄과도 같은 역할을 하고 있다. 운행 거리 및 운용목적에 따라서 가시선 데이터링크만을 사용하거나, 위성 데이터링크도 함께 사용한다. 가시선 데이터링크는 1차, 2차로 2개의 가시선 데이터링크로 구성되어 링크연결이 어려운 극한 상황에서도 비행기의 회수율을 높이기 위해 설계 되어 있으며, 임무통제 체계 및 이착륙통제체계의 데이터링크 지상부와 비행체의 탑재부로 구분한다 [1][2].

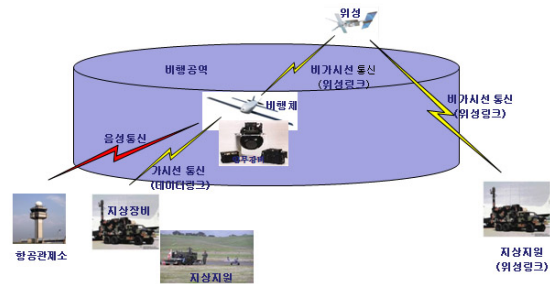


그림 3. 무인항공시스템 구성도
 Fig. 3 Architecture of UAV System

이 중에서 임무통제를 담당하는 지상 데이터링크부는 자동 추적안테나를 사용하여 항공기와 지속적으로 링크를 유지 하기위해 사용된다. 추적안테나는 오차 탐지 방법에 따라 모노펄스 추적, 로빙(lobing) 추적, 프로그램 추적, GPS를 이용한 추적으로 분류된다. 자동적으로 항공기를 추적하기 위한 두 개의 주된 방법은 GPS를 이용한 추적과 모노펄스 추적 방법이며 안테나 빔의 코니컬 스캔을 이용한 방법은 요즘 매우 드물게 사용되어 지고 있다 [3].

또한 무인기를 통해 수집된 위치정보나 실시간 영상 정보들을 이용하여 정밀타격이나 다양한 작전전개의 시도가 가능해 지면서 이동 가능한 원격터미널을 통해서 작전지역내의 무인항공기를 탐색, 추적 데이터 복원이 가능한 통합형 추적 안테나 시스템의 개발이 필요하게 되었다.

이 원격터미널은 산악지형이 많은 우리나라에서 사람이 이동할 수 있어야 하므로 크기와 무게가 제한적이며, 수km 이내의 비행체와의 데이터링크 연결 및 추적할 수 있는 탐색 및 추적 능력을 보유하여야 하며, 무인기로부터 전송되는 변조된 신호를 복조하고, 복조된 신호에 포함된 정보 및 영상을 판독할 수 있는 기능을 보유하고 있다.

근거리이기는 하지만, 비교적 데이터량이 많은 영상 데이터를 수신하는데 있어서 통신장비로서의 원격터미널은 크기와 무게, 전원의 제한으로 인해서 성능적으로도 많은 제약이 따르게 되어, 추적안테나시스템에서 높은 추적 정밀도가 요구된다. 본 연구에서는 위의 제약 조건을 극복하고 오차 및 탐색 시간을 최소화 하도록 하는 방법을 제안하고 시스템에 적용하였다.

II. 본 론

2.1. 추적 안테나 시스템 오차 및 정밀도

자동추적 시스템을 평가하는 각도 정밀도(angular accuracy) 3가지 범주인 추적(tracking) 정밀도, 포인팅(pointing) 정밀도, 각도 측정(angular measurement) 정밀도가 있다. 추적 정밀도는 안테나가 자동적으로 신호원(source)을 추적할 수 있는 정확도이며 일반적으로 빔폭의 1/10이하의 정밀도가 요구된다. 추적 오차는 추적 정밀도의 척도이며 안테나 빔축과 RF신호원 방향사이의 각도 차이로서 정의된다. 포인팅 정밀도는 지향하고자 하는 명령 벡터에 대한 안테나 조종의 정확도로, 안테나는 통상 빔폭의 1/5이하의 정밀도가 요구된다. 포인팅오차는 포인팅 정밀도의 척도이며, 안테나 빔축과 제어장치의 명령벡터 사이의 각도 차이로서 정의된다. 각도 측정 정밀도는 추적안테나가 각도를 측정할 수 있는 정확도를 의미하며, 보통 빔폭의 1/10 이하의 정밀도가 요구된다. 각도 측정 오차는 각도 측정 정밀도의 척도이며, 운용자가 추적장치로 부터 읽은 각도와 RF 신호원 방향사이의 각도 차이로서 정의된다[4][5][6].

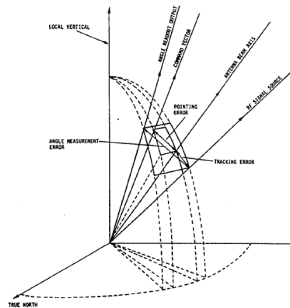


그림 4. 포인팅, 추적 및 각도 측정 오차의 정의
Fig. 4 Definition of Pointing, Tracking, Measure accuracy

안테나 의존형 오차로는 방위각축 수직성 오차(Azimuth Axis Verticality Error), 축 직교성 오차(Axes Orthogonality Error), 진북 정렬 및 영점 설정 오차(North Alignment and Zero Setting Error), 각도 판독 오차(Angle Readout Error), 조준 오차(Boresight Error), Servo imbalance Error(서보 불균형 오차), 수신기 열 잡음 오차(Receiver Thermal Noise Error), 스텝추적 결정 오차(Step Track Decision Error) 등이 있으며, 목표물

의존형 오차(Target-Dependent Errors) 로는 서보 능동 지연 오차(Servo Dynamic Lag Error), 편파 지향 및 변동 오차(Polarization Orientation and Variation Errors), 환경 의존형 오차(Environment-Dependent Errors)로는 구조변형(Structural Deformation), 서보 토크 오차(Servo Torque Error : Wind Gusts), 눈 축적 오차(Snow Accumulation Error), 마지막으로 전파 오차(Wave Propagation Error)로는 다중경로 오차(Multipath Error) 등이 존재하며, 이들간의 상관관계는 표1과 같다 [7][8][9][10][11].

표 1. 추적, 포인팅 및 각도측정 정밀도관련 오차 성분 상관관계
Table. 1 Relation of Tracking, Pointing, Angle meas. accuracy

Error Component	Tracking accuracy		Pointing accuracy		Angle meas. accuracy	
	Bias	Noise	Bias	Noise	Bias	Noise
AZ axis verticality	-	-	o	-	o	-
Axes orthogonality	-	-	o	-	o	-
North alignment and zero setting	-	-	o	-	o	-
Angle readout	-	-	o	o	o	o
Boresight	-	-	o	-	o	-
Null shift ★1	o	-	-	-	o	-
Servo unbalance	o	-	o	-	o	-
Bearing wobble	-	o	-	o	-	o
Receiver thermal noise ★1	-	o	-	-	-	o
Step track decision ★2	-	o	-	-	-	o
Servo dynamic lag	o	-	o	-	o	-
Polarization orientation and variation ★3	o	o	-	-	o	o
Structural deformation	-	-	o	o	o	o
wind, gusts	-	-	o	o	o	o
gravity	-	-	o	-	o	-
solar heating	-	-	o	-	o	-
Servo torque	-	o	-	o	-	o
wind gusts	-	-	o	o	o	o
Snow accumulation	-	-	o	-	o	-
Tropospheric refraction	-	o	o	o	o	o
Ionospheric refraction	-	o	o	o	o	o
Multipath	-	o	-	o	-	o

- ★1 : Applicable to monopulse track system
- ★2 : Applicable to step track system
- ★3 : Applicable to multi-horn monopulse track system

2.2. 추적 안테나 시스템 오차 및 정밀도 개선

추적 안테나에서 오차 성분들을 크게 안테나 자체의 요인에 의한 오차, 목표물에 의한 오차, 환경 요인에 의한 오차 그리고 전파에 의한 오차로 구분하였다. 이 중에서 운용 중에 교정에 의해 오차를 줄일 수 있는 부분은 당연히 안테나 자체 부분일 것이다[12]. 추적 안테나에서 보정 항목을 보면 안테나 설치시 오차가 발생되어 더 이상 보정할 수 없는 항목이 있고, 운용 중에 추적 정

밀도를 검토하여 보정할 수 있는 항목도 있다. 대부분 안테나를 설치할 때 정확하게 조절해야 하는데 방위각 축의 수직성과 방위각과 양각축의 직교성은 설치 후에는 교정할 수 없다. 설치 후에도 조절을 할 수 있지만 안테나 설치 전문가가 복잡한 계측 장비를 이용하여 보정을 해야만 가능하다. 본 논문에서 제시한 보정기법은 방위각 축의 진북 정렬 및 양각축의 영점 정렬에 대한 내용으로 일반적인 경우 비행 초기에 동일한 좌표계를 가지도록 진북을 고정하는 과정에 비콘(beacon)이라 불리는 장치를 진북 위치에 미리 설치하고 안테나가 진북에 대비하여 얼마나 틀어져 있는지는 미리 알거나, 수동으로 나침반을 이용하거나, 디지털 나침반을 이용하여 자동화를 하기도 한다.

2.3. 추적안테나의 방위각 및 고각 계산

일반적으로 GPS는 WGS84 정위도 좌표계를 사용하고 있는데 지구의 구면에 의한 왜곡을 무시할 수 있을 정도의 범위에서 사용할 경우 직교좌표계로 변환하여 사용하는 것이 일반적이다 [13][14].

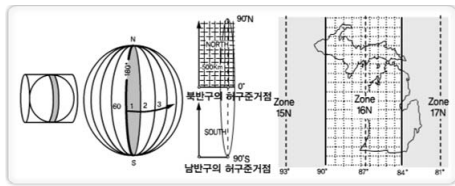


그림 5. UTM좌표계의 구축
Fig. 5 Definition of Pointing, Tracking, Measure accuracy

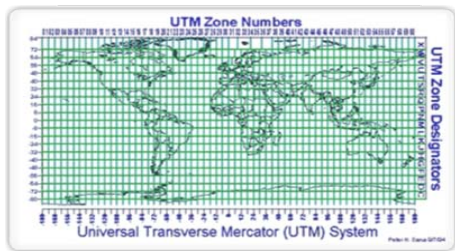


그림 6. UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표계
Fig. 6 Universal Transverse Mercator System

일반적으로 추적안테나의 방위각 및 고각의 계산은 GPS데이터를 이용하여 이동체와 안테나 사이의 기하학적 위치 관계를 통해서 결정하는 방식을 많이 사용하

고 있다. 본 논문에서는 그림 7에서 보는 것과 같이 수신된 GPS좌표를 UTM으로 변환하여 안테나가 설치된 지점을 중심으로 동쪽을 X축, 북쪽을 Y축으로 놓고 지향각을 계산하였다.

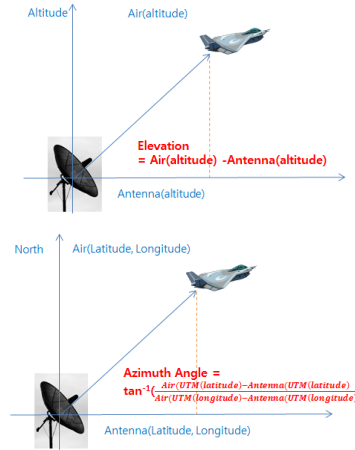


그림 7. GPS 정보를 이용한 지향각 계산
Fig. 7 The tracking angle calculation method using GPS

2.4. 보정 알고리즘

일반적으로 GPS추적방식의 추적 안테나 시스템은 방위각 및 고각에 대하여 초기화를 진행하고, 이를 통해서 각도에 대한 제어 펄스수 및 이를 카운트하는 카운터의 값을 초기화 하는 과정을 거친 후 사용자 또는 자동으로 진북에 대한 보정값을 받아 기억하고 좌표계 산시 이를 offset 형태로 반영하여 보정 후 활주로부터 수차례 비행준비 과정을 통해서 보정을 하는 것이 일반적이다.

하지만 본 논문에서 제시한 추적안테나시스템은 비행이 이미 시작된 이후로 초기에 좌표계를 일치시키는 작업을 할 수 없고, 자연지형으로 인한 지자기센서의 오동작 확률로부터 자유롭지 못한 환경을 극복하기 위하여 제시되었다. 비행체에서 운용되는 좌표계가 이미 진북을 기준으로 움직이고 있는 상태이고, 안테나는 초기화만 이루어진 상태에서 이동형 터미널에 수신되는 신호의 세기를 추적하여 안테나 초기위치를 기준으로 이동한 각도차를 기억하여 GPS수신 데이터를 통해서 지향을 할 때 자동으로 offset에 반영하여 계산하는 방식의 알고리즘을 제안한다.

안테나가 초기 운용시 우연히 진북에 맞추어져 있다면 추적시스템은 정상적으로 동작할 것이다. 하지만, 일반적으로는 진북에 대해서 일정한 각도로 틀어져 있을 것이고, 틀어진 방향이 좌측 또는 우측에 위치하게 된다. 안테나가 진북에 대해서 틀어진 각도를 θ_I , 안테나와 비행체가 진북을 기준으로 좌표계가 일치 되었을 때 안테나가 추적이동을 해야하는 각도를 θ_T 라고 하면 안테나가 비행체의 가장 강한 신호세기를 감지하는데 이동하는 각도에는 이미 안테나 보정값이 포함되게 된다. 따라서 안테나가 진북에 대하여 틀어진 각도는 아래와 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$\theta_{A-R.N} = (\theta_I + \theta_T) - \theta_T \quad (1)$$

즉 안테나가 비행기를 만나기위해서 초기 위치에서 이동한 각도에서 각각의 GPS 좌표를 이용하여 안테나가 비행체 추적을 위해 이동해야하는 각도를 빼주면 안테나가 진북을 기준으로 틀어진 값을 얻을 수 있는 것이다.

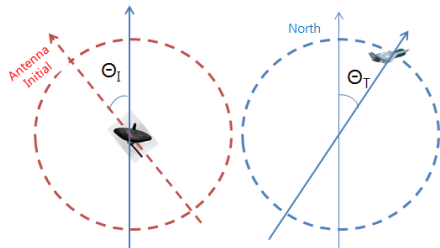


그림 8. 알고리즘 검증을 위한 안테나와 비행체에서
Fig. 8 Algorithm explanation model

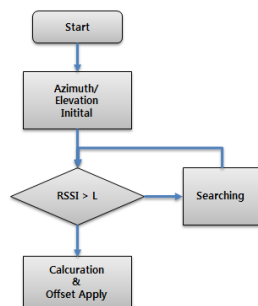


그림 9. 보정 알고리즘 운용 순서도
Fig. 9 Azimuth correction Algorithm flow

III. 실험 및 결과

3.1. 실험 환경

비행시험을 진행하기 전에 지상실험을 통해서 알고리즘의 동작을 확인하였다. 비행체를 대신하여 차량을 사용하였고, 차량내에 설치한 GPS값을 모뎀과 RF장비, 무지향성 안테나를 이용하여 전송하였다. 실제 운용거리를 감안하여 송신출력을 조절하였고, 실제 목표로 하는 무인항공기의 최대 속도인 40m/s(약 144Km/h)가 4km 반경에서 이동하는 것을 감안하여 10m 거리에서 시속 1m/s (3.6Km/h)로 시험하였다. 추적안테나 시스템의 수신부에서는 이동체의 위치좌표를 받아서 이동상에 도시하고, 이동 경로를 볼 수 있도록 별도의 프로그램을 이용하여 확인하였다.



그림 10. 시험장면
Fig. 10 Test scene

IV. 결 론

차량을 이용하여 실제 운용상황을 모의하였고, 제안된 알고리즘이 내장된 이동형 추적안테나 시스템은 신호세기 검출 후 차량과 안테나의 GPS값 및 초기오차값을 이용하여 방위각 보정값을 자동으로 계산하고 정상적으로 추적함으로써 제안된 알고리즘의 성능을 확인하였다.

REFERENCES

[1] D. K. Lee, "UAV datalink : For the more, For the far, For the real" The science & Technology : Special Feature-03,

- pp20-22, 2011.
- [2] Pusan University Industrial-Academy association et al, Tracking Antenna System for UAV and Method for controlling the same, Korea Patent 10-2007-0078684, 2009.
 - [3] Min-Shik Roh, Kyeum-Rae Cho, Dae-Woo Lee, "Test of a UAV Tracking Antenna System Using GPS", The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences 35권 제2호, 2007, pp.171-176.
 - [4] Takashi Kitsuregawa, Advanced Technology in Stellite Communication Antennas, Artech House, 1990.
 - [5] G. Maral, M. Bousquet, Satellite Communication Systems, John Wiley & Sons Ltd, 1998.
 - [6] Felix R. Hoots, Ronald L. Roehrich, Models for Propagation of Norad Element sets, Spacetrack Report No. 3, 1988.
 - [7] COMSAT RSI, Operation & Maintenance Manul, 1998
 - [8] Bruno Pattan, Satellite systems principles and technologies, Van Nostrand reinhold, 1990.
 - [9] samuel M, Sherman, Monopulse principles and techniques, Artech House, 1984.
 - [10] Richard C. Johnson, Antenna engineering handbook, McGraw-Hill, 1993
 - [11] ITU, 'Handbook Satellite Communications', 1988.
 - [12] G. J. Hawkins, D. J. Edwards, "Tracking systems for satellite Communications," IEE Proc., pp. 393-407, Oct. 1988.
 - [13] Map School [Internet]. Available: <http://mapschool.co.kr/>.
 - [14] Telecommunications Technology Association [Online]. UAS LOS data-link radio frequency standard trend. Available: http://www.tta.or.kr/data/weekly_view.jsp?news_id=3445.



김남우(Nam-Woo Kim)

1998년~1999년 한국전자통신연구원 위촉연구원
 2000년 목원대학교 공학석사
 1999년~2004년 ㈜에스엠아이티 과장
 2004년~2006년 ㈜힘스코리아 전임연구원
 2006년~2008년 ㈜휴인스 선임연구원
 2009년~현재 ㈜파인텔레콤 책임연구원
 ※ 관심분야 : SoC설계 및 검증, 임베디드 시스템, 통신용 반도체



허창우(Chang-Wu Hur)

1991년 연세대학교 전자통신공학과 공학박사
 1986년~1994년 LG 중앙연구소
 1994년 ~ 현재 목원대학교 IT공학부 교수
 1996년 ~ 현재 연세대학교 ASIC연구소 자문교수
 2005년 호주 Griffith 대학교 초빙교수
 2011년 ~ 2012년 한국정보통신학회 회장
 ※ 관심분야 : 반도체공학 및 VLSI설계