

技術論文

과학기술위성2호의 이중 머리 별 추적기 개발

신일식*, 이성호*, 유창완*, 남명룡*

EM Development of Dual Head Star Tracker for STSAT-2

Il-Sik Shin*, Sung-ho Rhee*, Chang-Wan Ryu* and Myeong-Ryong Nam*

ABSTRACT

We develop the Dual Head Star Tracker (DHST) to obtain the attitude information of science and Technology Satellite2 (STSAT-2). Because most of star sensor has only one head camera, star recognition is impossible when camera point to sun or earth. We therefore considered the DHST which can obtain star images from two spots simultaneously. That is, even though we fail a star recognition from an image obtained by one camera, it is possible to recognize stars from an image obtained by the other camera. In this paper, we introduce engineer model (EM) of the DHST and propose a star recognition and a star track algorithm.

초 록

본 논문은 위성의 자세정보를 획득하는 센서로서 과학기술위성2호에 장착하기 위해 개발 중인 이중 머리 별 추적기를 소개한다. 대부분의 별 센서는 위성의 한쪽 방향만 지향하기 때문에 태양 및 지구 영역으로 지향할 경우 별 인식이 불가능하다. 그래서 시스템은 두개의 카메라를 직각의 방향으로 지향하여 동시에 두개의 영상을 입력 받고 하나의 영상에서 별 인식을 실패할 경우 다른 영상에서 별 인식을 수행하여 별 인식률을 높이도록 구현하였다. 논문에서는 이중머리 별 추적기의 시험모델을 소개하고 별 인식 및 별 추적 알고리즘을 제안하였다.

Key Words : Star Sensor(별 센서), Star Tracker(별 추적기), Star Recognition Algorithm(별 인식 알고리즘), Star Track Algorithm(별 추적 알고리즘)

1. 서 론

위성의 자세제어를 위해서 위성의 자세정보를 획득하는 센서는 별 추적기, 태양 센서, 지자기 센서, 지구수평 센서, 자이로 등이 있다. 이중에서 별 추적기는 천구상의 별을 관측하여 위성의 자세를 결정하는 센서로써, 다른 센서들과 달리 위성의 3축 자세정보를 얻을 수 있기 때문에 매우 정밀하게 위성의 자세를 결정할 수 있다.

† 2005년 3월 30일 접수 ~ 2005년 10월 10일 심사완료

* 정회원, 한국과학기술원 인공위성연구센터
연락처, E-mail : isshin@satrec.kaist.ac.kr
대전시 유성구 구성동 373-1번지

대부분의 별 추적기는 위성의 정밀 자세 결정을 위하여 좁은 시야를 지향한다. 만약 별 추적기가 태양, 달 및 지구의 영역을 지향할 경우 별 인식이 불가능하다. 이 경우는 휠의 성능에 따라 비교적 긴 시간 동안 정밀 자세 결정을 할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 현재 이 문제를 해결하기 위하여 두 개 이상의 별 추적기를 위성의 서로 다른 축으로 장착하여 하나의 별 추적기가 별 인식을 실패할 경우 나머지 별 추적기를 이용하여 별 인식을 수행하도록 하였다. 하지만 두 개 이상의 별 추적기를 장착할 경우 경제적인 면에서 비효율적이므로, 이 문제들을 해결하기 위하여 본 논문에서는 하나의 연산 장치(Processing

Unit)와 두개의 별 영상을 획득할 수 있는 광학 장치(Telescope Unit)를 가지는 이중 머리 별 추적기(Dual Head Star Tracker : DHST)를 제안한다. 시스템은 차이가 나는 두개 지점의 별 영상을 동시에 획득하여 두개의 영상 중에서 사용가능한 영상을 이용하여 별 인식을 수행하므로써 위성의 자세를 신속하게 결정할 수 있다.

본 논문에서는 DHST의 시험모델과 별 인식 및 별 추적 알고리즘을 소개한다.

II. 전체 시스템의 개요

그림 1에서 보는 바와 같이 과학기술위성2호(STSAT-2)의 DHST는 직각으로 두개의 Camera Head가 있다. Camera Head1,2에서 동시에 영상을 입력받아 하나의 영상을 선택하여 위성의 자세를 결정한다. 만약 위성의 자세를 성공적으로 결정하지 못할 경우 나머지 Camera Head에서 얻어진 영상에서 천구상의 별 정보를 추정할 수 있기 때문에 Camera Head1에서 별 인식을 실패할 경우 Camera Head2의 영상을 이용하여 별을 인식할 수 있다.

그림 2는 DHST의 전체 시스템 흐름도를 나타내었다. 시스템은 Camera Head1의 영상을 입력

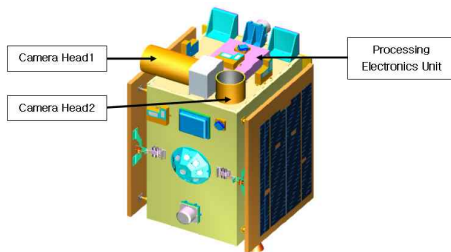


그림 1. 과학기술위성 2호의 DHST

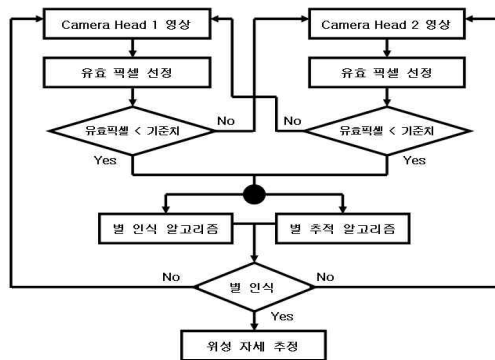


그림 2. 전체 시스템 흐름도

받아 유효 픽셀을 선정 후 기준치 이하일 경우 별 인식 및 별 추적 알고리즘을 이용하여 별 인식 과정을 거친다. 만약 기준치 이상의 유효 픽셀이 선정이 되었다면 시스템은 태양 및 지구, 달, 영역을 지향하는 것으로 판단하고 Camera Head2의 영상을 이용하여 별 인식 및 별 추적 알고리즘으로 별 인식 과정을 거친다. 그 후 위성의 자세를 추정하도록 구현하였다.

III. 별 인식 알고리즘

3.1 Mission Catalog

천구에는 무수히 많은 별들이 존재하므로 모든 별들의 정보를 내부 한정된 메모리에 저장하는 것은 거의 불가능하다. 그래서 Star Catalog에는 천구의 별 중에서 특별히 선택된 별들의 좌표와 밝기가 저장된다. 이러한 Star Catalog를 Mission Catalog라 한다. 그림 3에서 보는 바와 같이 Mission Catalog는 적경을 4도 간격으로 총 45구역으로 분할하여 1등성부터 5등성까지의 별들을 구역별로 저장한다. 그리고 두 별간의 각거리를 알면 전체 Mission Catalog를 검색하지 않고 별의 정보를 찾을 수 있도록 Pair Catalog를 구성하였다. Pair Catalog는 Mission Catalog내의 두 별간의 각거리 정보를 모은 것으로 각거리를 0도에서 0.02도씩 증가시켜 15도까지 두 별들의 번호를 저장하였다.

Mission Catalog				Pair Catalog	
번호	적 경	적 위	등급	별의 번호	
1	2.5°	-82.2°	4.7 Mv		
2	216.7°	-83.6°	4.3 Mv		
3	327.7°	-82.7°	4.8 Mv		
4	158.8°	-78.6°	2.8 Mv		
5	161.4°	-80.5°	4.5 Mv		
6	179.9°	-78.2°	4.8 Mv	n+3	n+4
7	184.5°	-79.3°	4.2 Mv		
n	341.8°	83.1°	4.0 Mv		
n+1	17.1°	86.2°	3.0 Mv	4	5
n+2	53.0°	84.9°	4.9 Mv		
n+3	342.8°	85.0°	3.5 Mv		
n+4	343.6°	84.3°	3.6 Mv		
n+5	37.9°	89.2°	1.7 Mv		
n+6	259.2°	89.0°	4.8 Mv		

그림 3. Mission Catalog 작성법

3.2 별 인식 알고리즘

별 인식이란 2차원 별 영상이 천구상의 어느 지점에 존재하는가를 Mission Catalog에서 찾아내는 것을 말한다. 별 인식 알고리즘의 블록도가 그림 4에 보여 진다.

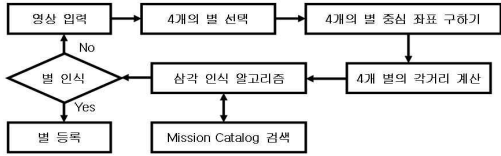


그림 4. 별 인식 알고리즘

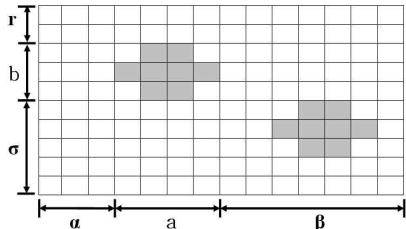


그림 5. CCD에서 별의 영상

3.2.1 별 중심 좌표 구하기

하나의 별의 영상은 여러 픽셀에 걸쳐서 나타나므로 한점의 좌표를 구하기 위해 Centroid 알고리즘을 적용한다. 이 알고리즘은 무게 중심법과 같이 픽셀의 밝기를 이용하여 별의 영상의 중심좌표를 알아내는 것이다.

이 알고리즘을 적용하기 위해서는 그림 5에서 보는 바와 같이 픽셀들을 둘러싸는 가장 작은 사각형은 $a \times b$ 로 되어있다. 각 픽셀의 CCD에서의 위치가 (x, y) 이고 밝기가 $B(x, y)$ 라고 하자. $S(x, y)$ 를 $B(x, y)$ 가 Threshold보다 클 땐 1, 작을 땐 0로 정의할 경우 작은 사각형이 $\alpha \leq x \leq \beta, \gamma \leq y \leq \delta$ 한다면 식(1), 식(2)를 이용하여 중심좌표 x_{ic}, y_{ic} 를 구할 수 있다.

$$x_{ic} = \frac{\sum_{x=\alpha}^{\beta} \sum_{y=\gamma}^{\delta} x B(x, y) S(x, y)}{\sum_{x=\alpha}^{\beta} \sum_{y=\gamma}^{\delta} B(x, y) S(x, y)} \tag{1}$$

$$y_{ic} = \frac{\sum_{y=\gamma}^{\delta} \sum_{x=\alpha}^{\beta} y B(x, y) S(x, y)}{\sum_{x=\alpha}^{\beta} \sum_{y=\gamma}^{\delta} B(x, y) S(x, y)} \tag{2}$$

3.2.2 각 거리 구하기

천구별은 무한대의 거리에 있기 때문에 지구에서 바라보는 두 별간의 각거리와 위성에서 바라보는 각거리는 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이 렌즈에서 CCD까지의 거리 F와 영상의 CCD에서의 위치를 알고 있으므로 식(3)을 이용하여 두 별간의 각거리를 구할 수 있다.

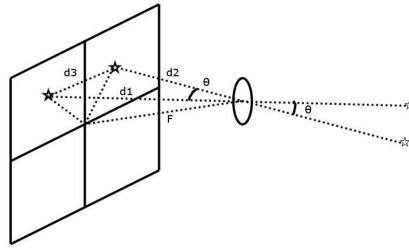


그림 6. CCD에서의 각거리 구하기

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{d_1^2 + d_2^2 - d_3^2}{2d_1 d_2} \right) \tag{3}$$

3.2.3 별 인식

그림 7(a)에서 보는 바와 같이 영상이 입력이 되었다면, 영상에서 가장 밝은 세 개의 별을 선택하고 별 Q1, Q2, Q3의 각거리 a, b, c를 구한다. 각 별들의 각거리를 이용하여 Pair Catalog에서 $\pm 0.02^\circ$ 구역의 별들 번호를 찾아서 삼각형 조합을 확인한다. 예를 들어 그림 8에서 보는 바와 같이 만약 Pair Catalog에서 각거리에 따른 후보 별들의 번호가 $a = \{(Q1, Q2), (Q3, Q7)\}, b = \{(Q5, Q8), (Q2, Q3)\}, c = \{(Q4, Q1), (Q3, Q1), (Q11, Q6)\}$ 일 경우 (Q1, Q2, Q3)처럼 삼각형 조합이 성립이 된다면 Q1, Q2, Q3의 별 번호에 해당하는 별의 정보를

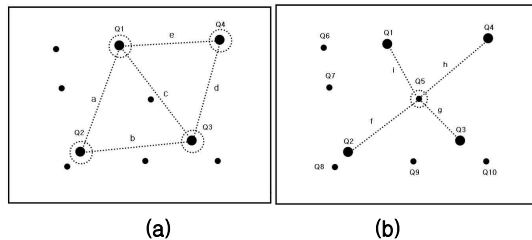


그림 7. 별 인식 알고리즘

Mission Catalog				Pair Catalog	
번호	적경	적위	등급	별의 번호	
Q5	13.7°	-69.5°	4.8 Mv	Q1	Q2
Q4	18.9°	-68.8°	4.5 Mv	Q3	Q7
Q1	28.7°	-67.6°	4.2 Mv		
Q2	33.5°	-67.8°	4.4 Mv	Q5	Q8
Q3	35.4°	-68.6°	4.1 Mv	Q2	Q3
Q6	36.3°	-66.4°	4.2 Mv		
Q7	39.8°	-68.2°	4.1 Mv	Q4	Q10
Q8	41.3°	-67.6°	4.8 Mv	Q3	Q1
Q9	78.4°	-67.1°	4.1 Mv	Q11	Q6
Q10	95.6°	-69.9°	4.5 Mv		

그림 8. Mission Catalog 검색

Mission Catalog에서 찾으면 된다. 만약 여러 개의 삼각형 후보가 발생을 하였을 경우 Q4별을 추가해서 Q2,Q3,Q4 별들을 이용하여 각거리 d, e를 구한 후 삼각형 조합을 수행한다. 그래서 앞서 구한 여러 삼각형 후보들 중 Q1,Q3의 별 번호가 공통적으로 존재하는 삼각형 조합을 찾으면 별 Q1,Q2,Q3,Q4의 정보를 획득할 수 있다.

별 인식이 성공적으로 수행 되었다면 별 추적 알고리즘을 사용하기 위하여 획득된 영상의 별들 중 인식된 별들을 제외한 Star Catalog에 존재하는 나머지 별들을 등록하여야 한다. 그림 7(b)에서 보는 바와 같이 별 Q5를 선택하여 인식된 별들과 각거리 e, f, g, h를 구하고 Pair Catalog에서 각 후보 별들의 번호가 (Q1,Q5), (Q2,Q5), (Q3,Q5), (Q4,Q5)로 찾아지면 별을 등록한다. 나머지별들 Q6,Q7,Q8,Q9,Q10도 상기루틴을 수행하여 별을 등록한다.

IV. 별 추적 알고리즘

별 추적 알고리즘은 바로 전에 촬영한 별 이미지에 얻은 별 인식 정보를 이용하여 현재의 별을 인식하는 작업을 말한다. 따라서 별 인식에서와 같이 전체 Mission Catalog를 탐색할 필요가 없기 때문에 별 인식 알고리즘보다 빠른 처리가 가능하다. 그림 9는 별 추적 알고리즘의 흐름도를 나타내었다.

그림 7을 K-1번째 영상이고 그림 10를 K번째 영상이라고 할 경우 그림 10의 영상은 그림 7의 영상에서 오른쪽으로 이동하여 영상이 입력이 되었다. 만약 그림 7영상에서 별 인식 알고리즘을 수행하여 별 Q1,Q2사이의 각거리가 θ_{12} 라고 등록이 되었다면, 그림 10(a)에서 보는 바와 같이 영상에서 별 Q1와 별 Q2,Q3,Q11,Q12 사이의 각거리 중 어느 하나가 θ_{12} 와 허용오차범위 내에서 일치하면 이 별의 유효 가중치를 한 단계 증가

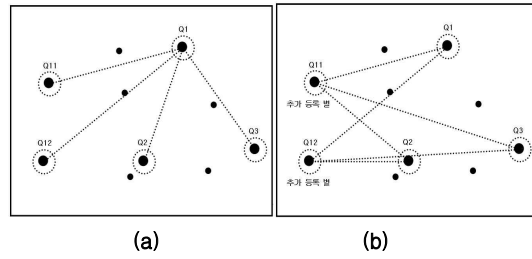


그림 10. 별 추적 알고리즘

시킨다. 이와 같은 방법으로 별 Q1와 나머지별의 각거리를 검사하여 유효 가중치를 증가 시킨다. 최종적으로 얻어진 유효 가중치의 값이 기준치에 만족할 경우 K-1번째 영상에서 등록되어진 별이 K번째 영상에도 존재한다고 판단하고 별을 메모리에 등록 시킨다. 나머지 별들을 상기의 루틴을 모든 별에 수행하여 별을 등록한 후 등록된 별들의 개수가 기준치에 만족할 경우 별 추적 알고리즘을 성공적으로 수행이 되었다고 판단하고 K+1번째 영상에서 별 추적 알고리즘을 사용하기 위하여 그림 10(b)와 같이 별 등록 알고리즘을 수행하여 Q11,Q12의 별들을 등록한다.

V. DHST 하드웨어

DHST를 구성하는 하드웨어는 그림 11에서 보는 바와 같이 크게 Telescope Unit, Focal Plane Assembly(FPA), Processing Unit, Power Supply Unit으로 나누어진다.

Telescope Unit은 다수의 렌즈 및 기계구조물로 되어 있으며, Focal Plane Assembly는 Telescope Unit으로 모아진 빛을 전기적인 신호로 전환하며, 이 신호를 SRAM에 임시로 저장한 후 필요시 Processing Unit으로 전송한다. Processing Unit은 Focal Plane Assembly에서 생

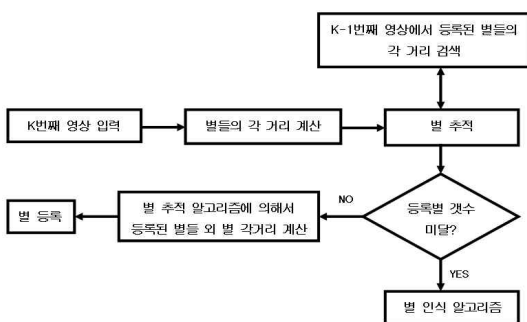


그림 9. 별 추적 알고리즘 흐름도

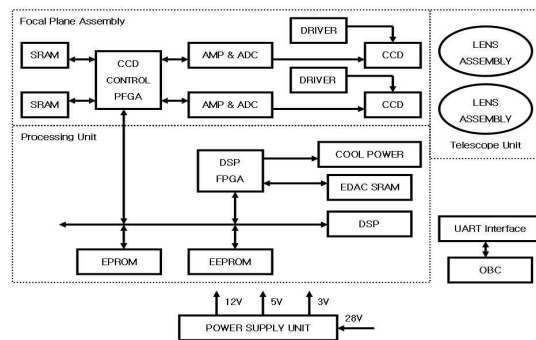


그림 11. DHST 하드웨어 구조

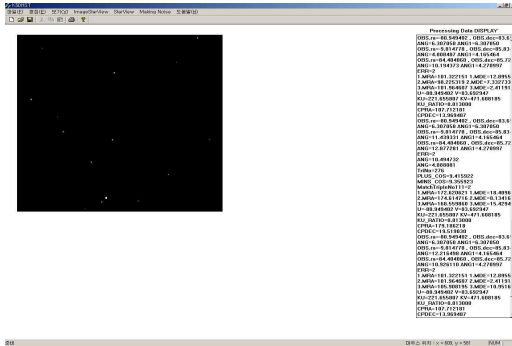


그림 12. 별 인식 시뮬레이션 프로그램

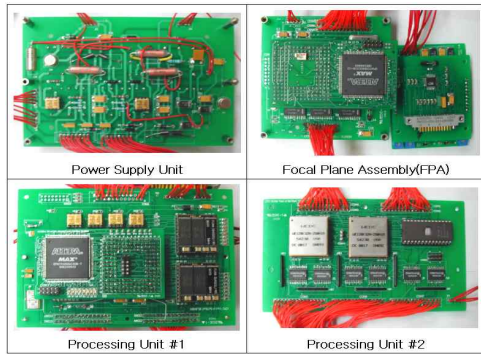


그림 13. DHST 시험모델

성된 영상을 저장된 Star catalog 데이터와 비교하여 별을 인식한 후 자세 결정 알고리즘을 통해 현재 위성의 자세 정보를 계산한다.

VI. 실험 결과

그림 12는 별 인식 및 별 추적 알고리즘을 수행할 수 있는 시뮬레이션 프로그램이다. 과학기술위성 1호에 장착된 별 추적기에서 획득된 천구 영상을 이용하여 별 인식 및 별 추적 알고리즘을

수행하였으며, 정상적으로 별 인식 과정이 수행이 됨을 알 수 있었다.

그림 13은 DHST 시험 모델의 전자 회로부를 나타내었으며 인공위성연구센터에서 자체적으로 개발한 통신 프로그램을 가지고 DHST 시험 모델과 과학기술위성2호의 On-Board Computer와의 통신 시험을 수행하였다.

VII. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 과학기술위성2호에 탑재될 DHST를 소개하고 별 인식 및 별 추적 알고리즘과 시스템의 시험모델 개발 결과에 대하여 기술하였다. 향후에는 개발된 시험모델에 별 인식 및 별 추적 알고리즘을 이식하여 세부적으로 별 인식 시험을 진행할 예정이다.

후 기

본 연구논문은 과학기술부 과학위성 2호 개발 사업의 예산지원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

- 1) 조상우, "인공위성 자세 결정을 위한 오일러 각 추정에 관한 연구", 한국과학기술원, 석사학위논문, 1997.
- 2) 이현우, 김병진, 유상근, "우리별 3호 STAR SENSOR 시험모델 개발", 한국우주과학회지, 12권, 2호, pp. 256-264, 1995.
- 3) 김병진, 박동조, "인공 위성체의 자세제어", 전자공학회지, 17권, 3호, pp. 244-254, 1990.
- 4) 이준호, 이성호, 김세일, "고정밀 별센서 선행기술 연구 및 개발", 한국과학기술원 인공위성 연구센터, 2004.