
DSP(TMS320F240), 자이로센서, 직접드라이버/ 전동기를 이용한 2차원 안정화 시스템 설계

류정오*

The Design of a 2-Dim stabilizing System Using the DSP (TMS320F240),
Gyroscope, Direct Driving motor/ driver

Jeong Oh Ryu*

요약

3D stabilizing system 구현 전 단계로서, 본 논문에서는 vehicle의 운동 중에도 지정된 방향을 유지 하는 2D stabilizing system을 제작하였다. 본 system은 controller로서 DSP TMS320F240을, rate gyroscope로서 vibratory rate gyro(Tokimec co. TFG -160D), direct drive driver/motor로서 SD1015B52-1 · SD1004C04-1/DM1015B · DM1004C, control algorithm로서 PI control을 이용 system을 구현하여 rate gyro를 이용, 발생 error를 보상하도록 하여 비교적 나은 안정화 결과를 얻었다.

ABSTRACT

As the pre-stage of making 3D stabilizing systems, at this paper designed 2D stabilizing system. This is composed of two axes stabilizing platform to preserve targeted direction while vehicle is moving. The system maintains stabilization by recovering error using the rate gyro with DSP TMS320F240 as controller, vibratory rate gyro (Tokimec co. TFG -160D) as gyro scope, SD1015B52-1 · SD1004C04-1/DM1015B · DM1004C as direct drive driver/motor, PI control as control algorithm. This paper got a comparably good stabilization.

키워드

중요 색인어: Gimbal, 안정화 System, TMS320F240, Vibratory Gyroscope

I. 서론

운동체에 탑재되어 안정한 자세를 요하는 시스템, 시선의 방향을 제어하는 안정화 시스템은 관성 항법 장치, 망원경, 카메라 안정화 장치, 위성통신, 표적 추종시스템 등에 광범위하게 응용되고 있으므로, 실용적인 3D 시스템 구현 이전 단계로서 연구할 가치가 있으

므로 2D 시스템을 사전 연구하였다.

II. 본론: System 개요

2.1 2축 안정화 플랫폼(1)

2개의 단축 자이로(각속도 측정 자이로)를 사용하여 2축 안정화 플랫폼을 구성하였다. 그림 1과 같이 직

* 창원대학교 전자공학과

접수일자: 2001. 10. 05

접 구동 전동기를 사용하여 방위(azimuth)축(①)을 설치하고 그 위에 고도(elevation)축 (②)을 직교 상태를 유지하여 설치하였다.

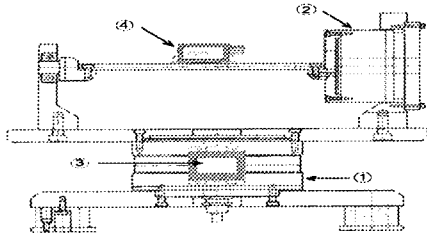


그림 1 2축 김블 시스템
Fig1 2axes gimbal system

그리고 각 축 방향으로 단축 자이로(③, ④)를 평행하게 설치하여 각 축의 각변위를 감지하도록 하고, 각각의 각변위에 영향을 주지 않도록 하였다. 본체가 움직이면 각 축에 대해 독립된 자이로로부터 각속도를 입력받아서 적분한 오차 거리를 0으로 만드는 방향으로 김블을 회전시켜서 플랫폼이 안정하도록 하였다. 적분 오차가 크면 김블의 회전 속도를 증가시키고 적분 오차가 줄어들면 김블의 회전 속도를 감소 시켜서 정지시의 진동을 감소 시켰다.

2.2 직접 구동 전동기 및 드라이버(2)

일본yogogawa사/미국 Compumotor 사의 DM series 직접구동(Direct Drive) 전동기는 전동기로 광학식 인크리멘탈 엔코더를 장착한 고성능 직접구동 모터이다. DM 시리즈 모터는 위치, 속도, 토크 모드로 구동될 수 있다. 위치모드에서는 드라이버(Driver)가 스텝과 방향명령을 입력받는다. 속도 또는 토크모드로 동작할 때는 아날로그 전압형태의 명령입력을 요구한다. 구동드라이버는 개방과 단락회로의 과전류, 과전압에 보호될 수 있도록 설계되었고 특히 과열에 대한 보호성능은 높다. 그리고 구동기 내부의 마이크로프로세서에 의해 I-PD 디지털과 아날로그 제어 알고리즘을 수행한다.

DM 시리즈 모터의 특징은.

- o. 브러시리스 직접 구동 모터 채용
- o. Incremental 형 엔코더 신호 출력
- o. 최대 200 Nm 까지의 토크 출력

- o. 엔코더 정밀도는 최대 1,024,000 스텝/회전
- o. 마이크로프로세서이용I-PD제어알고리즘 실행
- o. 아날로그 속도, 토크 제어루프(아날로그 제어 명령인가)/디지털 위치제어루프(디지털입력)
- o. PI 이득 튜닝을 위한 자체 시험모드

2.3 gyro scope(3)

본 연구의 TOKIMEC의 TFG-160D 진동 자이로는 위와 같은 각속도 자이로가 가진 결점을 없앤 것으로 장수명, 저소비 전력, 짧은 기동 시간 등의 장점을 가지고 있다. 부품의 변위 검출 및 추종 속도 신호를 직류전압으로 변환하기 위한 회로가 내장되어 있고, DC ±15V 전압원을 접속하는 것만으로 자이로를 장착한 물체의 운동 각속도를 직류 전압 값으로 읽어들이 수 있다.

2.4 DSP TMS320F240(4,5,6,7)

DSP에 의해서 기존에 존재하던 DMC(Digital Motor Control) system을 더 진보된 알고리즘과 더 나은 수행속도 그리고 시스템 구성 요소를 줄인 디자인이 가능하게 되었다. TMS320F240 구조는 참조문헌 [4,5,6,7]을 참조바랍니다.

2.5 속도패턴에 의한 위치제어 및 안정화 제어 알고리즘

2축 안정화를 하려면 각 축별로 이동할 거리와 속도가 다르므로 각각 가·감속을 해야한다.

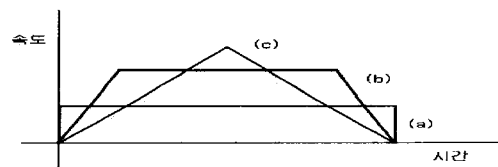


그림 2. 다양한 스텝 속도 궤적
Fig2 Various step velocity locus

2.5.1 속도 프로파일링 알고리즘

본 연구에서 직접 구동 전동기를 스텝으로 구동하는데 소프트웨어적으로 고려해야할 사항들이 있다. 기동시 너무 큰 가속 명령을 줄 수 없다는 것과 자기동 영역을 벗어나는 스텝 속도를 주어서는 안 된다는

것, 그리고 정지시 급감속을 해서는 안 된다는 것 등이다. 이러한 사항들을 모두 고려해서 모터에 스텝 속도 지령을 주기 위해 고안된 방법들이 펄스 속도 지령시 그림 2과 같은 모양의 속도 궤적들을 따라가도록 프로그램 하는 것이다. 각각의 궤적 면적은 주어진 위치로 진행하기 위한 스텝수와 같다. 그림 2(a)의 직사각형 속도 궤적은 짧은 시간 안에 단거리를 이동하거나 긴 시간 안에 장거리를 이동하는 경우에 사용되어질 수 있는 궤적으로 장거리를 짧은 시간에 가기 위해 이 궤적을 이용한다면 정속 구간의 속도치가 커야하고 이는 전동기에 무리한 속도 스위칭을 요구하게 된다. 그림 2(b)의 사다리꼴 속도 궤적은 비교적 먼 거리를 빨리 이동하는데 있어 사용되어질 수 있다. 특히 이 궤적은 가속 및 감속 그리고 정속 구간을 갖고 있어 안정된 구동이 가능하다. 그림 2(c)의 삼각형 궤적은 사다리꼴에 비해 같은 거리 이동시 보다 작은 가속 및 감속치가 요구되기 때문에 급가·감속시 탈조 현상을 방지할 수 있다.

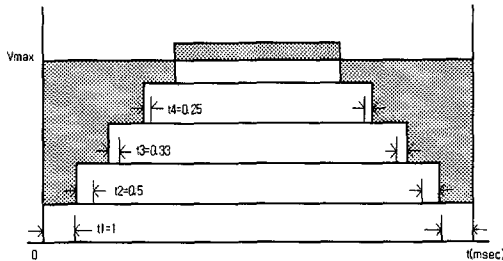


그림 3 수정된 스텝 속도 궤적
Fig3.Modified step vel. locus

그림 2의 사다리꼴 속도 궤적을 TMS320F240에서 적용하기에는 floating 계산이 많아서 고정 소수점 계산 전용인 프로세서가 처리하기에는 시간이 많이 걸린다. 따라서 수정된 방법으로 그림3과 같이 사다리꼴 속도 궤적을 구현하였다. 먼저 주어진 명령(펄스 수, 시간)에 의해 무조건적으로 직사각형 궤적을 선택하여 급가속 속도 (V_{max})를 계산하게 한다. 이 V_{max} 가 허용 최고 속도 1kpps보다 크면 일단 첫 펄스의 속도는 1kpps 그대로 계산한다. 이 속도의 펄스 주기는 1msec가 된다. 다음 펄스의 속도는 기본 속도에 1kpps를 더한 2kpps가 되게 한다. 이렇게 가속 구간에서 매 1m

sec마다 속도를 증가시키도록 하면 어느 속도의 펄스에서는 다단계 직사각형 궤적의 각 직사각형을 더한 면적이 총 이동 펄스에 해당하는 면적 S 를 넘어서게 될 것이다. 이 때에는 1kpps의 증가를 취소하고 맨 상단 직사각형의 아래 면에 해당하는 값으로 전체를 진행해야될 펄스 수 S 에서 지금까지의 다단계 직사각형을 더한 면적을 뺀 값을 나누면 최종 직사각형 궤적의 속도 값을 얻을 수 있고 이로써 전체 다단계 직사각형 면적이 S 값과 같아지면서 시간 명령을 지킬 수 있게 된다. 중요한 급가속 및 급감속 문제도 해결된다.

2.5.2 안정화 제어 알고리즘

2축 안정화 플랫폼에서는 자이로 센서가 독립적이므로 해당 센서에서 출력되는 값을 적분하여 현재의 위치 오차를 알아낸다. 이 위치 오차를 0으로 만드는 방향으로 펄스를 발생시켜서 구동기에 입력시켜주면 안정화를 유지하게 된다. 본 플랫폼은 10Hz 이하의 진동제거를 목표로 설계되었으며 그것보다 큰 진동이 입력되면 안정화되지 않고 계속 진동하는 경우가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 위치 오차 펄스가 300펄스 이상 벗어나지 않는 경우에는 오차 계산은 계속하고 실제 안정화를 위한 펄스 발생을 하지 않도록 하였고 적분 오차의 크기에 따라서 전동기의 속도를 가변 시켜서 김블이 유연하게 동작하도록 하였고 직접 구동 전동기의 사양과 DSP의 타이머 인터럽트 처리 시간문제 때문에 상한과 하한 속도를 정해서 구동하였다. 다음 그림 4는 플랫폼 안정화를 위한 flow chart이다

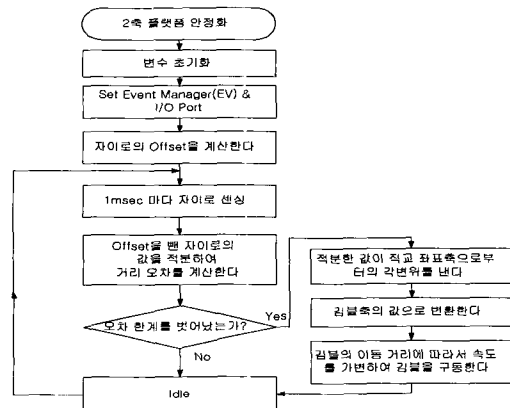


그림 4 2축 플랫폼 안정화 순서도

2.6 전체 안정화시스템구현 결과

controller로서 DSP TMS320F240을, rate gyro-scope로서 vibratory rate gyro(Tokimec co. TFG-160D), direct drive driver/motor로서 SD1015B52-1·SD1004C04-1 / DM1015B·DM1004C, control algorithm로서 PI control을 이용 구현하여 rate gyro를 이용을 구성한 전체 실험system은 그림 5와 같다.

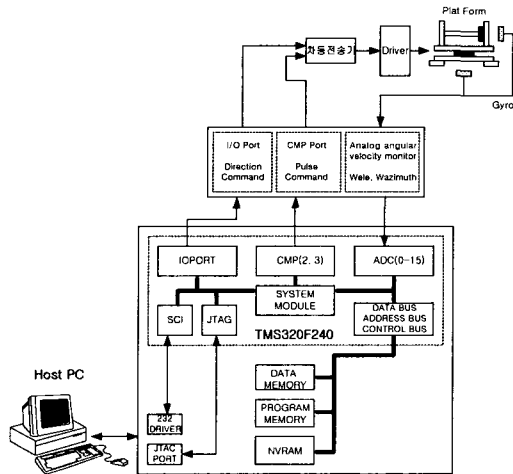


그림 5 전체 시스템 구성도
Fig5 Overall system structure

III. 실험 및 결과분석

PC에서 RS-232통신을 이용하여TMS320F240으로 프로그램을 다운로드(Download)하여 실험을 하고 TMS320F240의 RAM 영역에 실험 중에 결과를 저장 하고 실험이 완료되면 PC로 Upload 하여 파일로 저장 하였다. 본 장에서는 2축 펄스 발생 알고리즘에 의한 2축 구동 실험 결과와 2축 구동 안정화 실험 결과를 보였다. 안정화 플랫폼을 임의로 요동시켰을 때의 자이로출력과 안정화를 위해서 DSP에서 계산한 펄스의 주기를 측정하였다.

3.1 프로파일

먼저 자이로의 작동상태를 확인키 위해

3.1.1 거리 지령 CW 5000pulse, 시간 지령 1sec으로 전동기 구동시 자이로의 출력 측정결과(각 그래프에서

위의 출력은 고도(elevation), 아래는 방위(azimuth)축이며, 직선형직선은 전동기를, 날카로운 선은 자이로의 추종신호임)

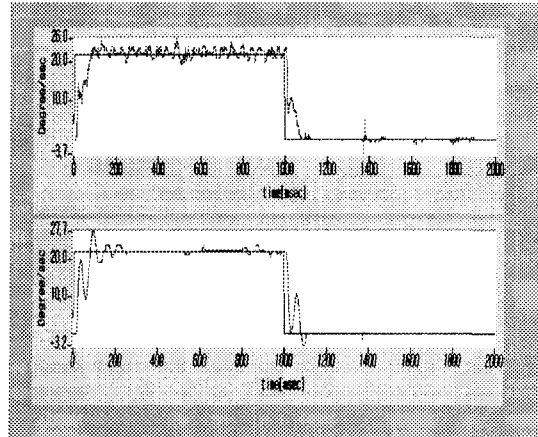


그림 6 거리 지령 CW 5000pulse, 시간 지령 1sec일 때 자이로의 출력

3.1.1 거리 지령 CW 3000pulse 시간 지령 1sec에서 10000pulse, 1sec로 변화시켰을 때 자이로의 출력

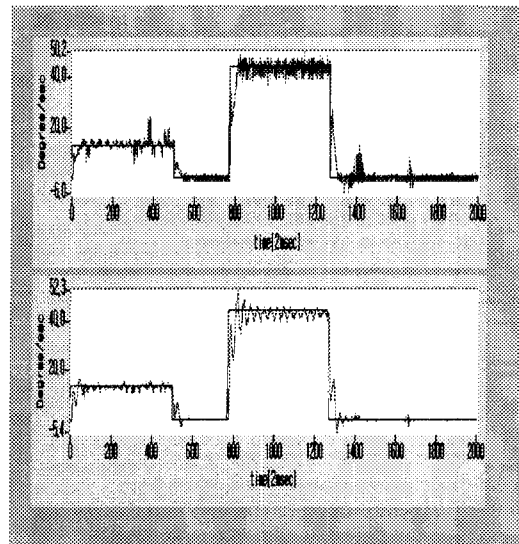


그림 6 거리 지령 CW 3000pulse 시간 지령 1sec에서 10000pulse, 1sec로 변화시켰을 때 자이로의 출력

분석:

(1) 자이로의 출력이 다소 지연되어 나타나지만

- (2) 지령한 속도와 위치로 거의 정확하게 이동함을 알 수 있어서 시스템이 정상적으로 작동함을 알 수 있다.

3.2 안정화실험 결과

안정화시스템에 지정된 목표를 가지적으로 지시해 주고 있는 director라든지, 안정화 시스템에 외란을 주는 역할을 하는 운동체에 대한 세부내용을 계측할 수 있는 시스템이라든지..등이 구비되어야하나, 구비치 못한 실정이어서 회전의자이용 좌우로 임의의(문자의 뜻 그대로이지만, 약간은 주기적인, (a)는 주기성이 강하게, (b)는 임의성이 강한 외란)각변위를 전체 시스템에 주었을 때 자이로출력(각속도/각변위검출),전동기출력(각변위 보상을 위한 속도지령)을 측정하였다.

3.2.1 회전의자이용 전체 시스템에 좌우로 임의 각 변위부가시 각변위보상을 위한 속도지령출력 측정결과.

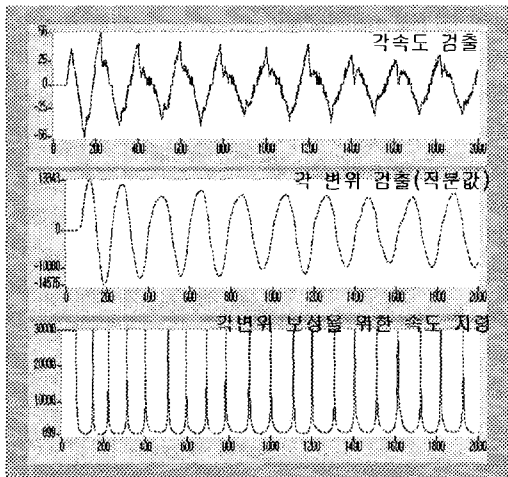


그림 7 안정화 동안의 각속도, 각변위 그리고 보상을 위한 속도지령(a)

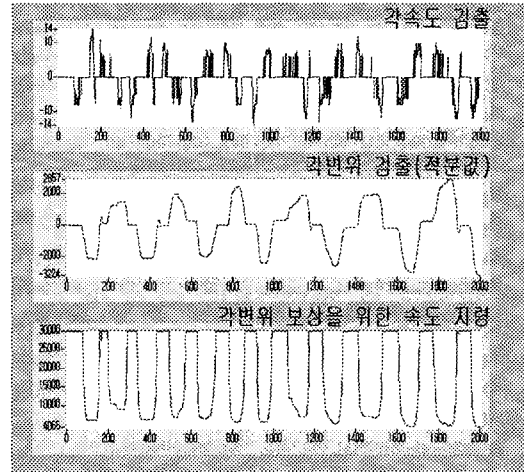


그림 8 안정화 동안의 각속도, 각변위 그리고 보상을 위한 속도지령(b...)

분석: 회전의자이용 전체 시스템에 좌우로 임의 각 변위 부가시 각 변위 보상을 위한 속도 지령의 출력결과로서(그래프 (a)는 주기성이 강하게, (b)는 임의성이 강한 외란을 가한 것 임)

-시스템에 부가하는 각 속도 및 변위가 임의(문자의 뜻 그대로이지만, 약간은 주기적인)이며 안정화 능력을 정밀하게 확인키 위해서는

1. 계측가능한 운동체의 추가설계/ 구형/ 탑재가 필요하고,
2. 가지적/계량적으로 추종능력을 확인분석키 위해서는 안정화시스템에 지정된 목표를 가지적으로 지시해주는 영상추적장치, director라든지 및 관련 계측장비 등이 구비되어야 하지만, 구비치 못한 실정이므로

그래프의 결과만을 이용해서라도 추종능력을 분석하면,

- 1 주기성이 강한 (a)에서 각속도, 각 변위(적분값) 및 속도지령의 관계를 정성적으로 비교시 시스템이 비교적 정상적으로 작동하고 있음을 알 수 있음.
- 각속도가 0이 되는때 주기지점에서
- 매 반주기지점까지 각 변위가 증가하고있고,

- 매 주기 지점인 200/400...에서 각변위가 주기적으로 0이 됨을 알 수 있음
- '각변위 보상을 위한 (전동기)속도지령' 에서도 매 주기 지점인 200/400...에서 주기적으로 peak가 됨을 알 수 있다.
- 2 임의성이 강한 외란을 가한 (b)의 경우도 유사한 분석결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다
- 3) 상기(1).(2) 및 전동기 구동시 자이로의 출력성능 고려시(3.1.1 및 3.1.2에 대한 분석참조) 추종능력 및 PI제어가 정상적으로 실시되고 있음을 쉽게 추정할 수 있다.

V. 결 론

시스템에 부가하는 각 속도 및 변위가 임의(문자의 뜻 그대로이지만, 약간은 주기적인)이므로 안정화 능력을 정밀하게 확인키 위해서는 계측가능한 운동체의 추가설계/ 구현/ 탑재가 필요하지만, 현실적으로 불가능하여 controller로서 DSP TMS320F240을, rate gyroscope로서 vibratory rate gyro(Tokimec co. TFG-160D), direct drive driver/motor로서 SD1015B52-1 · SD1004C04-1/ DM1015B · DM1004C, control algorithm로서 PI control을 이용 구현하여 rate gyro를 이용 발생 error를 보상하도록 안정화시스템을 구성하고 회전의자이용 좌우로 임의의[문자의 뜻 그대로이지만, 약간은 주기적인; (a)는 주기성이 강하게, (b)는 임의성이 강한 외란을 가한 것] 각 변위를 전체 시스템에 주었을 때 자이로출력(각속도/각변위검출), 전동기출력(각변위 보상을 위한 속도지령)을 측정하였다.

1. 먼저 자이로의 작동상태를 확인키 위해 거리 지령 CW 5000pulse, 시간지령 1sec으로 전동기 구동시 자이로의 출력을 분석한 결과가 자이로의 출력이 다소 지연되어 나타나지만 나 지령한 속도와 위치로 거의 정확하게 이동함을 알 수 있어서 안정화 시스템이 양호하게 작동함을 알 수 있었고,
- 2 회전의자이용 전체 시스템에 좌우로 임의 각변위 부가시 '각속도, 각변위, 각변위보상을 위한 속도 지령'의 그래프를 분석한 결과

- 가 주기성이 강한 (a)에서 각속도, 각 변위(적분값) 및 속도지령의 관계를정성적으로 비교시 시스템이 비교적 정상적으로 작동하고 있음을 알 수 있음.
- 각속도가 0이 되는때 주기지점에서
- 매 반주기지점까지 각 변위가 증가하고 있고,
- 매 주기 지점인 200/400...에서 각변위가 주기적으로 0이 됨을 알 수 있음
- '각변위 보상을 위한 (전동기)속도지령' 에서도 매 주기 지점인 200/400...에서 주기적으로 peak가 됨을 알 수 있다.
- 나 임의성이 강한 외란을 가한 (b)의 경우도 유사한 분석결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다
- 다 상기(1).(2) 및 전동기 구동시 자이로의 출력성능 고려시(3.1.1 및 3.1.2에 대한 분석참조) 추종능력 및 PI제어가 정상적으로 실시되고 있음을 쉽게 추정할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 이교일 외, "Gyro-stabilized Platform의 설계 및 전실제어에 관한 연구", 서울대 공학연구소, 1995.
- [2] YOGOGAWA co., DYNASERVE, yogogawa precision co.계., 1994.
- [3] TOKIMEC co., TGF-160D vibratory gyroscope, TOKIMEC co., 1994.
- [4] TMS320F/C240 DSP Controllers CPU and Instruction Set Reference Guide, Texas Instrument, 1999.
- [5] TMS320F/C240 DSP Controllers Peripheral Library and Specific Devices Reference Guide, Texas Instrument, 1999.
- [6] TMS320C1x/C2x/C2xx/C5x Assembly Language Tools User's Guide, Texas Instrument, 1995.
- [7] TMS320C2x/C2xx/C5x Optimizing C Compiler User's Guide, Texas Instrument, 1995.
- [8] "TMS320C24X General Purpose Timer 1 Asymmetric Mode", Texas Instruments Application Notes (SPRA367)