

RRL 396
94-05

전파연구소장 귀하

“Doppler 위성 추적 감시 기술 개발 연구(II)”에 관한 최종 보고서를
별첨과 같이 제출합니다.

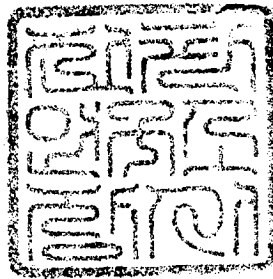
1994. 1.

연구 기관장 : 한국 통신 학회장

연구 책임자 : 최 규홍

1994년 1월

Doppler 위성 추적 감시 기술 연구 (II)



주관연구기관명: 전 파 연구 소
한국통신학회

제 출 문

전파연구소장 귀하

본 보고서를 “Doppler 위성 추적 감시 기술 개발에 관한 연구(II)” 사업의 연구 보고서로 제출 합니다.

1994. 1.

연구 책임자 : 최 규홍(연세대 교수)

연구 원 : 위 규진(전파 연구소)

고 영철(전파 연구소)

김 혁(전파 연구소)

김 경미(연세대 박사과정)

연구 보조원 : 송 우영(연세대 석사과정)

김 방엽(연세대 석사과정)

김 동규(연세대 석사과정)

우 병삼(연세대 석사과정)

조 정호(연세대 석사과정)

요 약 문

1. 제 목

Doppler 위성 추적 감시 기술 개발(II)

2. 연구의 목적 및 필요성

1992년 8월 11일 우리별 1호와 1993년 9월 26일 우리별 2호의 발사성공으로 우리 나라도 위성 보유국이 되었다.

우리별 위성과 같은 저고도 위성을 지향성 안테나로 추적하면 위성의 공전에 의한 도플러 효과를 관측할 수 있게 되며, 관측된 주파수 변화를 미분 보정법으로 처리하면 위성의 궤도 요소를 얻게 된다.

본 연구는 우리나라 상공을 통과하는 인공위성의 운용 상태 파악과 위성의 추적 감시를 위해, 필요한 도플러 추적 방법을 국내에서 실용화 시키기 위한 기술을 개발하는데 그 목적이 있다.

3. 연구 내용 및 범위

가. 도플러 위성 관측 자료의 분석 실험

나. 도플러 위성 관측에 의한 궤도 요소 결정 연구

4. 연구 결과

가. 실험 위성 우리별 1,2호, UOSAT, 기상 위성 NOAA, MET 등의 궤도 요소를 조사 연구하였다.

나. 우리별 1호의 송신 주파수에 대한 도플러 편이를 관측하기 위해 1993년 8월 1일 3시 29분에서 3시 45분(한국시각) 사이에 연세대 과학관 6층에서 주파수 변화를 측정하였다. 수동으로 관측한 주파수 변화량은 435180.0kHz에서 435167.2kHz까지였다.

다. 기상 위성 NOAA-11호의 송신주파수에 대한 도플러 편이를 관측하기 위해 1993년 10월 20일 16시 16분에서 16시 30분(한국시각) 사이에 전파연구소의 직경 5m 추적 안테나로 주파수 변화를 관측하였다. 관측된 중간주파수는 70.061MHz에서 69.983MHz이다.

라. 관측된 도플러 편이 자료를 본 연구에서 개발된 미분 보정 S/W에 응용해 본 결과, 허용 오차 이내의 아주 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

5. 연구의 기대 성과 및 활용 방안

가. 우리나라 상공을 통과하는 각종 군사용 및 과학 실험용 극 궤도 인공위성의 운용 현황을 파악.

나. 우리나라에서 개발하여 운용하는 과학 실험위성(우리별 1,2호)의 궤도 운용 현황 파악과 추적 관제 업무에 활용.

다. 우주 전파 감시 능력 확대로 전파 권익 보호.

6. 계획과 실적의 대비표

구 분 연구내용	연 구 기 간										진 도 율(%)
	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
우리별, UOSAT 위성의 궤도 연구											100
우리별, UOSAT 위성의 Doppler shift 관측 실행											100
관측 실행에 의한 기존의 S/W 보완											100
Doppler 위성 관측에 의한 궤도 요소의 결정											100
보고서											100

——— 당초 계획
————> 진 도

SUMMARY

1. Title

A technical development of Doppler tracking and monitoring for the artificial satellite (II)

2. The purpose and necessity of the research

In October 11, 1992 and September 26, 1993, we launched the KITSAT-1 and KITSAT-2 respectively. Using a directional antenna, you can observe the Doppler shift of the received frequency from the low earth orbit satellite like the KITSATs. By differential correction we can get the six orbital elements of satellite.

This work was accomplished for the operating and control of artificial satellites above the Korean Peninsular.

3. The contents of report

- a) The analysis of Doppler shifted frequency from satellites
- b) Determination of orbital elements by differential correction

4. Results

a) We have surveyed the orbital elements of UOSAT, KITSATs, NOAA and MET.

b) In August 1, 1993, we observed the frequency alternation of KITSAT 1 in Yonsei Univ. Science Hall to get the Doppler shifts of the received frequency from 03:29 to 03:45(KST). The observed frequency widths is from

435180.0KHz to 435167.2KHz by manual.

c) In October 20, 1993, we also observed the frequency variation of NOAA-11 from 16:16 to 16:30(KST) by 5m antenna of RRL and the received intermediate frequency is from 70.061MHz to 69.983MHz.

d) Using a differential correction S/W, we got the orbital elements within an allowable error.

5. The application of the report

a) The perception of satellite operating system passing through the Peninsula of Korea

b) The Understanding of orbit management and T&C(Tracking and command) for scientific satellites(KITSAT-1, KITSAT-2)

c) The protection of R.W.S.(radio wave sovereignty) by enhancing the monitoring radio waves

목 차

제 1 장 서 론	1
제 2 장 위성의 궤도요소	2
제 3 장 우리별 1호의 Doppler 편이 관측	17
제 1 절 위성주파수의 도플러 편이	17
1. 위성 추적 자료	17
2. 위성주파수의 도플러 변화	22
제 2 절 궤도요소의 변화에 따른 주파수의 도플러 편이	25
제 4 장 기상위성 NOAA-11호의 Doppler편이 관측	32
제 1 절 기상위성 NOAA-11호의 추적자료	32
제 2 절 위성 주파수의 도플러 변화	36
제 5 장 미분 보정의 S/W에 응용	44
제 1 절 미분 보정법	44
제 2 절 S/W의 구조	62
제 3 절 우리별 1호에 응용	70
제 4 절 기상위성 NOAA에 응용	77
제 6 장 결론	89
참고문헌	90
List of Program	91

그 립 차 례

그림 1. 방위각과 고도각에 대한 우리별 1호의 궤적 (궤적의 시간간격은 20초)	19
그림 2. 1993년 8월 1일 03시 29분 ~ 03시43분(한국시간)동안 우리별 1호의 시선거리 변화	20
그림 3. 그림 2와 같은 시각에 우리별 1호의 도플러 편이 변화.	21
그림 4. 그림 2와 같은 시각에 수동으로 직접 관측한 우리별 1호의 주파수	23
그림 5. 수동으로 직접 관측한 주파수(0표)와 컴퓨터 모의실험으로 얻은 주파수(실선)와의 비교	24
그림 6. 우리별 1호의 궤도 장반경 변화에 따른 주파수 변화(1993년 8월 1일 한국시간)	26
그림 7. 우리별 1호의 궤도 이심률 변화에 따른 주파수 변화(1993년 8월 1일 한국시간)	27
그림 8. 우리별 1호의 궤도 경사각 변화에 따른 주파수 변화(1993년 8월 1일 한국시간)	28
그림 9. 우리별 1호의 근지점 인수 변화에 따른 주파수 변화(1993년 8월 1일 한국시간)	29
그림 10. 우리별 1호의 승교점 적경 변화에 따른 주파수 변화(1993년 8월 1일 한국시간)	30
그림 11. 우리별 1호의 기산점 시각 변화에 따른 주파수 변화(1993년 8월 1일 한국시간)	31
그림 12. 1993년 10월 20일 16시 16분에서 16시 30분(한국시각)까지 방위각과 고도각에 대한 기상위성 NOAA-11호의 궤적(시간간격 10초) ·	33
그림 13. 그림 12와 같은 시각에 기상위성 NOAA-11호의 시선거리 변화 ...	34
그림 14. 그림 12와 같은 시각에 기상위성 NOAA-11호의 도플러 편이 변화	35
그림 15. 그림 12와 같은 시각에 직접 관측한 기상위성 NOAA-11호의 주파수 변화	41

그림 16. 그림 15에서 관측치에 대한 잡음을 제거한 주파수 변화	42
그림 17. 그림 16의 주파수 변화를 시선속도로 환산한 그림	43
그림 18. 도플러 편이 추적 감시 S/W의 흐름도	63
그림 19. 우리별 1호에 대한 궤도장반경의 수렴과정	71
그림 20. 우리별 1호에 대한 궤도이심률의 수렴과정	72
그림 21. 우리별 1호에 대한 궤도경사각의 수렴과정	73
그림 22. 우리별 1호에 대한 근지점인수의 수렴과정	74
그림 23. 우리별 1호에 대한 승교점적경의 수렴과정	75
그림 24. 우리별 1호에 대한 기산점시각의 수렴과정	76
그림 25. 기상위성 NOAA-11호에 대한 궤도장반경의 수렴과정	78
그림 26. 기상위성 NOAA-11호에 대한 궤도이심률의 수렴과정	79
그림 27. 기상위성 NOAA-11호에 대한 근지점인수의 수렴과정	80
그림 28. 기상위성 NOAA-11호에 대한 승교점적경의 수렴과정	81
그림 29. 기상위성 NOAA-11호에 대한 궤도경사각의 수렴과정	82
그림 30. 기상위성 NOAA-11호에 대한 평균근점이각의 수렴과정	83
그림 31. 기상위성 NOAA-11호에 대한 승교점통과시각의 수렴과정	84
그림 32. NOAA-11호 위성의 주파수 관측자료(점)와 미분보정에 의해 계산된 값(실선)과 비교	88

표 차 례

표 1. 위성의 궤도요소	4
표 2. 위성추적자료의 Raw Data	37

제 1 장 서론

1992년 8월 11일 오전 8시 8분(한국시간) 소형 실험 과학 위성인 우리별 1호를 탑재한 아리안 42P 로켓이 중남미의 기아나에 위치한 쿠루 가지에서 발사 성공하였고, 1993년 9월 26일에는 우리별 2호가 아리안 40 로켓으로 발사 되었다. 우리별 1호는 고도 약 1300 km, 궤도 경사각 66.08도의 저궤도로 그리고 우리별 2호는 고도 약 810 km, 궤도 경사각 98.7도의 극궤도로 지구주위를 회전하는데, 한국 상공을 하루에 6번 정도 지나며, 최대 관측시간은 약 15분 이내이다.

본 연구는 우리별 1호와 UOSAT위성의 궤도연구, 우리별 1호와 NOAA위성에 대한 Doppler Shift 관측실험, 그리고 관측실험결과에 따라 기존의 S/W를 보완하였다.

본 연구의 목표는 인공위성의 추적감시를 위해 필요한 Doppler 추적 기술을 국내에서 실용화시키기 위한 기술을 개발하는 것이다.

제 2 장 위성의 궤도요소

우리별 1호와 UOSAT-22의 궤도 자료 수집 Micro-Satellite에 대한 궤도요소 자료를 1992년 8월 25일부터 1993년 12월 29일까지 수집 하였음.

AO는 미국의 아마추어 위성이고,

RS는 구 소련의 아마추어 통신위성이고,

FO는 일본의 아마추어 위성이고,

UO는 Surrey대학의 아마추어 위성이고,

KO-23은 우리별 1호 위성이고,

KO-25는 우리별 2호 위성이고,

NOAA는 미국 기상위성이고,

MET는 구소련의 기상위성이고,

LO는 알젠티나위성인 LUSAT이고,

WO는 미국의 Webersat이고,

HUBBLE는 미국의 Hubble Telescope이고,

MIR는 구 소련의 우주 정거장이다.

위성 궤도 요소에 대한 설명은 다음과 같다.

Epoch time : 기산점 시각, 위성이 승교점을 통과할 때 시각.

앞의 2자리는 년도이고, 3자리부터 마지막은 일수이다.(U.T.)

Inclination : 위성의 평균 궤도 경사각

R.A. of node : 위성의 평균 승교점 적경

Eccentricity : 위성의 평균 이심률

Arg. of perigee : 위성의 평균 근지점 인수

Mean anomaly : 위성의 평균 근점 이각

Mean motion : 위성의 평균 각속도

Decay rate : 감쇄 속도

Epoch rev. : 발사한 후부터 지구를 공전한 횟수

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

August 25, 1992

Satellite: AO-10
Catalog number: 14129
Epoch time: 92227.67653450
Element set: 889
Inclination: 26.7268 deg
RA of node: 88.9017 deg
Eccentricity: 0.6028962
Arg of perigee: 8.6060 deg
Mean anomaly: 358.5849 deg
Mean motion: 2.05882051 rev/day
Decay rate: -3.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 4098
Checksum: 332

Satellite: RS-10/11
Catalog number: 18129
Epoch time: 92234.05428826
Element set: 319
Inclination: 88.3248 deg
RA of node: 00.01317
Eccentricity: 0.0013127
Arg of perigee: 72.2189 deg
Mean anomaly: 323.6083 deg
Mean motion: 13.72926109 rev/day
Decay rate: -1.5e-06 rev/day²
Epoch rev: 25868
Checksum: 318

Satellite: AO-13
Catalog number: 19216
Epoch time: 92227.08821418
Element set: 442
Inclination: 57.1008 deg
RA of node: 7.5445 deg
Eccentricity: 0.7294288
Arg of perigee: 233.6133 deg
Mean anomaly: 8.8254 deg
Mean motion: 2.09721330 rev/day
Decay rate: -3.07e-06 rev/day²
Epoch rev: 3193
Checksum: 304

Satellite: FO-20
Catalog number: 20480
Epoch time: 92231.73786188
Element set: 381
Inclination: 99.0714 deg
RA of node: 138.6430 deg
Eccentricity: 0.0541439
Arg of perigee: 51.4046 deg
Mean anomaly: 313.4278 deg
Mean motion: 12.83212827 rev/day
Decay rate: -4.0e-08 rev/day²
Epoch rev: 11852
Checksum: 295

Satellite: DO-17
Catalog number: 20440
Epoch time: 92233.52455972
Element set: 488
Inclination: 98.6427 deg
RA of node: 315.5842 deg
Eccentricity: 0.0012125
Arg of perigee: 351.7631 deg
Mean anomaly: 8.3350 deg
Mean motion: 14.29855787 rev/day
Decay rate: 9.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 13448
Checksum: 321

Satellite: AO-10
Catalog number: 14129
Epoch time: 92227.67653450
Element set: 889
Inclination: 26.7268 deg
RA of node: 88.9017 deg
Eccentricity: 0.6028962
Arg of perigee: 8.6060 deg
Mean anomaly: 358.5849 deg
Mean motion: 2.05882051 rev/day
Decay rate: -3.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 4098
Checksum: 332

Satellite: RS-10/11
Catalog number: 18129
Epoch time: 92234.05428826
Element set: 319
Inclination: 88.3248 deg
RA of node: 00.01317
Eccentricity: 0.0013127
Arg of perigee: 72.2189 deg
Mean anomaly: 323.6083 deg
Mean motion: 13.72926109 rev/day
Decay rate: -1.5e-06 rev/day²
Epoch rev: 25868
Checksum: 318

Satellite: AO-13
Catalog number: 19216
Epoch time: 92227.08821418
Element set: 442
Inclination: 57.1008 deg
RA of node: 7.5445 deg
Eccentricity: 0.7294288
Arg of perigee: 233.6133 deg
Mean anomaly: 8.8254 deg
Mean motion: 2.09721330 rev/day
Decay rate: -3.07e-06 rev/day²
Epoch rev: 3193
Checksum: 304

Satellite: FO-20
Catalog number: 20480
Epoch time: 92231.73786188
Element set: 381
Inclination: 99.0714 deg
RA of node: 138.6430 deg
Eccentricity: 0.0541439
Arg of perigee: 51.4046 deg
Mean anomaly: 313.4278 deg
Mean motion: 12.83212827 rev/day
Decay rate: -4.0e-08 rev/day²
Epoch rev: 11852
Checksum: 295

Satellite: DO-17
Catalog number: 20440
Epoch time: 92233.52455972
Element set: 488
Inclination: 98.6427 deg
RA of node: 315.5842 deg
Eccentricity: 0.0012125
Arg of perigee: 351.7631 deg
Mean anomaly: 8.3350 deg
Mean motion: 14.29855787 rev/day
Decay rate: 9.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 13448
Checksum: 321

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

September 10, 1992

Satellite: AO-21
Catalog number: 21087
Epoch time: 92247.08307405
Element set: 491
Inclination: 62.9412 deg
RA of node: 265.2713 deg
Eccentricity: 0.0036954
Arg of perigee: 100.9269 deg
Mean anomaly: 259.6029 deg
Mean motion: 13.74492427 rev/day
Decay rate: 7.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 8000
Checksum: 304

Satellite: RS-12/13
Catalog number: 21089
Epoch time: 92242.76591364
Element set: 300
Inclination: 82.9273 deg
RA of node: 138.2227 deg
Eccentricity: 0.0028246
Arg of perigee: 134.0020 deg
Mean anomaly: 13.72926109 rev/day
Decay rate: 4.1e-07 rev/day²
Epoch rev: 7850
Checksum: 294

Satellite: AO-16
Catalog number: 20439
Epoch time: 92236.72664478
Element set: 488
Inclination: 98.6422 deg
RA of node: 318.6280 deg
Eccentricity: 0.0011845
Arg of perigee: 342.8772 deg
Mean anomaly: 17.1011 deg
Mean motion: 14.29728314 rev/day
Decay rate: 8.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 13493
Checksum: 323

Satellite: DO-17
Catalog number: 20440
Epoch time: 92242.55157438
Element set: 489
Inclination: 98.6422 deg
RA of node: 324.5410 deg
Eccentricity: 0.0011377
Arg of perigee: 328.0982 deg
Mean anomaly: 14.29857069 rev/day
Decay rate: 8.0e-07 rev/day²
Epoch rev: 13577
Checksum: 322

Satellite: AO-18
Catalog number: 20439
Epoch time: 92236.72664478
Element set: 488
Inclination: 98.6422 deg
RA of node: 318.6280 deg
Eccentricity: 0.0011845
Arg of perigee: 342.8772 deg
Mean anomaly: 17.1011 deg
Mean motion: 14.29728314 rev/day
Decay rate: 8.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 13493
Checksum: 323

Satellite: AO-19
Catalog number: 20439
Epoch time: 92236.72664478
Element set: 488
Inclination: 98.6422 deg
RA of node: 318.6280 deg
Eccentricity: 0.0011845
Arg of perigee: 342.8772 deg
Mean anomaly: 17.1011 deg
Mean motion: 14.29728314 rev/day
Decay rate: 8.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 13493
Checksum: 323

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

December 29, 1992

Satellite: AO-10

Catalog number: 14129
Epoch time: 47362 21185627
Element set: 854
Inclination: 92.008 deg
RA of node: 473477 deg
Eccentricity: 0.0016919
Arg of perigee: 44.6565 deg
Mean anomaly: 330.5128 deg
Mean anomaly: 2.0687765 rev/day
Decay rate: -1.9e-07 rev/day²
Epoch rev: 17172
Checksum: 302

Satellite: AO-11

Catalog number: 14781
Epoch time: 92360 5848106
Element set: 391
Inclination: 97.828 deg
RA of node: 98.334 deg
Eccentricity: 0.003515
Arg of perigee: 198.2798 deg
Mean anomaly: 173.8798 deg
Mean anomaly: 14.08801901 rev/day
Decay rate: 8.21e-08 rev/day²
Epoch rev: 47123
Checksum: 342

Satellite: RS-10/11

Catalog number: 18129
Epoch time: 92381.35777432
Element set: 504
Inclination: 82.926 deg
RA of node: 6.3565 deg
Eccentricity: 0.003387
Arg of perigee: 77.8539 deg
Mean anomaly: 282.4118 deg
Mean anomaly: 13.72304025 rev/day
Decay rate: 9.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 27814
Checksum: 303

Satellite: AO-13

Catalog number: 19216
Epoch time: 92358 05962542
Element set: 548
Inclination: 57.6197 deg
RA of node: 342.9249 deg
Eccentricity: 0.001917
Arg of perigee: 303.9623 deg
Mean anomaly: 2.0913278 rev/day
Decay rate: -2.48e-08 rev/day²
Epoch rev: 3468
Checksum: 359

Satellite: DO-17

Catalog number: 20440
Epoch time: 92356 12237951
Element set: 640
Inclination: 98.029 deg
RA of node: 77.1792 deg
Eccentricity: 0.001520
Arg of perigee: 352.4649 deg
Mean anomaly: 14.25907469 rev/day
Decay rate: 2.27e-08 rev/day²
Epoch rev: 15200
Checksum: 292

Satellite: UO-22

Catalog number: 21575
Epoch time: 92360 70382998
Element set: 238
Inclination: 88.430 deg
RA of node: 73.4738 deg
Eccentricity: 0.0008275
Arg of perigee: 267.0063 deg
Mean anomaly: 14.36754671 rev/day
Decay rate: 3.00e-06 rev/day²
Epoch rev: 7375
Checksum: 318

Satellite: KO-23

Catalog number: 22077
Epoch time: 92358 01281502
Element set: 85
Inclination: 66.0802 deg
RA of node: 333.0470 deg
Eccentricity: 0.0013285
Arg of perigee: 228.8174 deg
Mean anomaly: 131.3703 deg
Mean anomaly: 12.86275053 rev/day
Decay rate: -0.00000000 rev/day²
Epoch rev: 1718
Checksum: 254

Satellite: MIR

Catalog number: 16609
Epoch time: 92362 59801975
Element set: 765
Inclination: 51.6223 deg
RA of node: 0.8744 deg
Eccentricity: 0.0001555
Arg of perigee: 164.7779 deg
Mean anomaly: 195.3104 deg
Mean anomaly: 15.57376113 rev/day
Decay rate: 1.7040e-04 rev/day²
Epoch rev: 39237
Checksum: 312

Satellite: FO-20

Catalog number: 20480
Epoch time: 92361.70989334
Element set: 434
Inclination: 99.029 deg
RA of node: 244.3547 deg
Eccentricity: 0.0541768
Arg of perigee: 171.2289 deg
Mean anomaly: 248.5075 deg
Mean anomaly: 12.83215005 rev/day
Decay rate: -2.0e-08 rev/day²
Epoch rev: 13518
Checksum: 309

Satellite: AO-21

Catalog number: 21087
Epoch time: 92360 87140303
Element set: 652
Inclination: 82.9429 deg
RA of node: 181.0758 deg
Eccentricity: 0.0035919
Arg of perigee: 142.7285 deg
Mean anomaly: 13.74504595 rev/day
Decay rate: 1.01e-06 rev/day²
Epoch rev: 9563
Checksum: 310

Satellite: RS-12/13

Catalog number: 21089
Epoch time: 92354 69171528
Element set: 308
Inclination: 82.928 deg
RA of node: 35.2340 deg
Eccentricity: 0.002748
Arg of perigee: 192.7478 deg
Mean anomaly: 171.8579 deg
Mean anomaly: 13.74099432 rev/day
Decay rate: 5.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 9387
Checksum: 326

Satellite: AO-16

Catalog number: 20439
Epoch time: 92357 09600260
Element set: 538
Inclination: 58.6339 deg
RA of node: 77.9027 deg
Eccentricity: 0.0011917
Arg of perigee: 349.2408 deg
Mean anomaly: 10.8521 deg
Mean anomaly: 14.29776739 rev/day
Decay rate: 2.15e-06 rev/day²
Epoch rev: 15213
Checksum: 319

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

January 26, 1993

Satellite: AO-10

Catalog number: 14129
Epoch time: 93012 23943283
Element set: 854
Inclination: 92.0159 deg
RA of node: 45.9649 deg
Eccentricity: 0.0022306
Arg of perigee: 47.8186 deg
Mean anomaly: 348.5618 deg
Mean anomaly: 2.05862640 rev/day
Decay rate: 1.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 7265
Checksum: 304

Satellite: RS-10/11

Catalog number: 18129
Epoch time: 93020 43915885
Element set: 631
Inclination: 82.9249 deg
RA of node: 347.8131 deg
Eccentricity: 0.0012685
Arg of perigee: 13.8349 deg
Mean anomaly: 336.3145 deg
Mean anomaly: 13.72324411 rev/day
Decay rate: 9.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 27828
Checksum: 314

Satellite: AO-13

Catalog number: 19216
Epoch time: 93017 80781545
Element set: 537
Inclination: 67.1511 deg
RA of node: 337.9799 deg
Eccentricity: 0.0041500
Arg of perigee: 306.3113 deg
Mean anomaly: 6.5866 deg
Mean anomaly: 2.09720871 rev/day
Decay rate: 3.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 3320
Checksum: 323

Satellite: FO-20

Catalog number: 20480
Epoch time: 93020 19160350
Element set: 436
Inclination: 99.0497 deg
RA of node: 264.2542 deg
Eccentricity: 0.0541500
Arg of perigee: 61.8638 deg
Mean anomaly: 303.6760 deg
Mean anomaly: 12.83216534 rev/day
Decay rate: 1.0e-07 rev/day²
Epoch rev: 13613
Checksum: 257

Satellite: AO-21

Catalog number: 21087
Epoch time: 93020 1345861
Element set: 679
Inclination: 82.926 deg
RA of node: 161.9563 deg
Eccentricity: 0.0036839
Arg of perigee: 72.5392 deg
Mean anomaly: 287.9779 deg
Mean anomaly: 13.74507307 rev/day
Decay rate: 1.01e-06 rev/day²
Epoch rev: 9918
Checksum: 338

Satellite: RS-12/13

Catalog number: 21089
Epoch time: 93011.35744800
Element set: 390
Inclination: 82.9220 deg
RA of node: 38.2731 deg
Eccentricity: 0.0030134
Arg of perigee: 118.2489 deg
Mean anomaly: 242.1744 deg
Mean anomaly: 13.74011781 rev/day
Decay rate: 5.6e-07 rev/day²
Epoch rev: 9701
Checksum: 274

Satellite: AO-16

Catalog number: 20439
Epoch time: 93018 24844793
Element set: 641
Inclination: 98.0325 deg
RA of node: 104.8939 deg
Eccentricity: 0.0019281
Arg of perigee: 268.2027 deg
Mean anomaly: 91.2899 deg
Mean anomaly: 14.29782735 rev/day
Decay rate: 1.58e-06 rev/day²
Epoch rev: 15601
Checksum: 341

Satellite: DO-17

Catalog number: 20440
Epoch time: 93016 22272524
Element set: 543
Inclination: 98.0315 deg
RA of node: 103.0533 deg
Eccentricity: 0.0010830
Arg of perigee: 273.4883 deg
Mean anomaly: 86.5000 deg
Mean anomaly: 14.29918799 rev/day
Decay rate: 1.78e-06 rev/day²
Epoch rev: 15573
Checksum: 300

Satellite: LO-19

Catalog number: 20442
Epoch time: 93016 72050630
Element set: 642
Inclination: 98.0332 deg
RA of node: 105.7156 deg
Eccentricity: 0.0011996
Arg of perigee: 266.5000 deg
Mean anomaly: 93.4752 deg
Mean anomaly: 14.29991574 rev/day
Decay rate: 1.70e-06 rev/day²
Epoch rev: 15610
Checksum: 298

Satellite: UO-22

Catalog number: 21575
Epoch time: 93021.72455528
Element set: 241
Inclination: 98.4886 deg
RA of node: 100.1074 deg
Eccentricity: 0.0008391
Arg of perigee: 197.7713 deg
Mean anomaly: 14.36763555 rev/day
Decay rate: 2.04e-06 rev/day²
Epoch rev: 7963
Checksum: 316

Satellite: KO-23

Catalog number: 22077
Epoch time: 93008 08566143
Element set: 86
Inclination: 66.0809 deg
RA of node: 303.5640 deg
Eccentricity: 0.0013347
Arg of perigee: 229.3565 deg
Mean anomaly: 130.6278 deg
Mean anomaly: 12.86275910 rev/day
Decay rate: -0.00000000 rev/day²
Epoch rev: 1899
Checksum: 293

Satellite: MIR

Catalog number: 16609
Epoch time: 93020 59111682
Element set: 831
Inclination: 51.6207 deg
RA of node: 740.5731 deg
Eccentricity: 0.0001429
Arg of perigee: 276.2709 deg
Mean anomaly: 83.8804 deg
Mean anomaly: 15.58093450 rev/day
Decay rate: 1.1807e-04 rev/day²
Epoch rev: 39611
Checksum: 288

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

March 28, 1993

June 30, 1993

Satellite: AO-10
Catalog number: 14129
Epoch time: 93078 29 105693
Element set: 979
Inclination: 27 0754 deg
RA of node: 34 6420 deg
Eccentricity: 0.001476
Arg of perigee: 66.423 deg
Mean anomaly: 344.1607 deg
Mean motion: 2.05681390 rev/day
Decay rate: -1.35e-06 rev/day*2
Epoch rev: 7341
Checksum: 300

Satellite: RS-10/11
Catalog number: 18129
Epoch time: 93084 07 363164
Element set: 684
Inclination: 82 9238 deg
RA of node: 300 3478 deg
Eccentricity: 0.001071
Arg of perigee: 183.335 deg
Mean anomaly: 172.7725 deg
Mean motion: 13.7211779 rev/day
Decay rate: 6.7e-07 rev/day*2
Epoch rev: 28839
Checksum: 329

Satellite: AO-13
Catalog number: 19216
Epoch time: 93082 65 53582
Element set: 850
Inclination: 92 034 deg
RA of node: 316 0300 deg
Eccentricity: 0.0013801
Arg of perigee: 311.2856 deg
Mean anomaly: 6.0998 deg
Mean motion: 2.0774032 rev/day
Decay rate: -1.98e-06 rev/day*2
Epoch rev: 3656
Checksum: 303

Satellite: FO-20
Catalog number: 20480
Epoch time: 93080 61 387554
Element set: 441
Inclination: 99 6257 deg
RA of node: 313.3439 deg
Eccentricity: 0.039952
Arg of perigee: 285.0751 deg
Mean anomaly: 69.1261 deg
Mean motion: 12.83218206 rev/day
Decay rate: -1.3e-07 rev/day*2
Epoch rev: 14658
Checksum: 294

Satellite: AO-21
Catalog number: 21087
Epoch time: 93084 62 664066
Element set: 728
Inclination: 82 9403 deg
RA of node: 114 6759 deg
Eccentricity: 0.003769
Arg of perigee: 204.6887 deg
Mean anomaly: 13.74512879 rev/day
Decay rate: 8.2e-07 rev/day*2
Epoch rev: 10796
Checksum: 337

Satellite: RS-12/13
Catalog number: 21089
Epoch time: 93077 16 553936
Element set: 396
Inclination: 82 9217 deg
RA of node: 349 6137 deg
Eccentricity: 0.0029660
Arg of perigee: 300.4358 deg
Mean anomaly: 59.3875 deg
Mean motion: 13.74017048 rev/day
Decay rate: 6.4e-07 rev/day*2
Epoch rev: 10602
Checksum: 322

Satellite: AO-16
Catalog number: 20439
Epoch time: 93080 74 052899
Element set: 649
Inclination: 98 4241 deg
RA of node: 165 7852 deg
Eccentricity: 0.001935
Arg of perigee: 79.8469 deg
Mean anomaly: 280.4060 deg
Mean motion: 14.29810587 rev/day
Decay rate: 2.24e-06 rev/day*2
Epoch rev: 16494
Checksum: 340

Satellite: DO-17
Catalog number: 20480
Epoch time: 93078 77 900803
Element set: 550
Inclination: 98 6285 deg
RA of node: 165 0385 deg
Eccentricity: 0.0012089
Arg of perigee: 83.7587 deg
Mean anomaly: 273.4979 deg
Mean motion: 14.29943209 rev/day
Decay rate: 2.19e-06 rev/day*2
Epoch rev: 16467
Checksum: 346

Satellite: UC-22
Catalog number: 21575
Epoch time: 93081 75 436579
Element set: 248
Inclination: 98 4815 deg
RA of node: 159.2404 deg
Eccentricity: 0.0007317
Arg of perigee: 196.5150 deg
Mean anomaly: 14.36797698 rev/day
Decay rate: 2.72e-06 rev/day*2
Epoch rev: 8825
Checksum: 354

Satellite: KO-23
Catalog number: 22077
Epoch time: 93070 30 807943
Element set: 94
Inclination: 64 0779 deg
RA of node: 169.1155 deg
Eccentricity: 0.009657
Arg of perigee: 210.7767 deg
Mean anomaly: 12.86276531 rev/day
Decay rate: 0.0000000 rev/day*2
Epoch rev: 2725
Checksum: 310

Satellite: MIR
Catalog number: 16609
Epoch time: 93085 01 702985
Element set: 967
Inclination: 67 6198 deg
RA of node: 276.9798 deg
Eccentricity: 0.0031884
Arg of perigee: 124.9241 deg
Mean anomaly: 235.1666 deg
Mean motion: 15.57404565 rev/day
Decay rate: 7.263e-05 rev/day*2
Epoch rev: 40616
Checksum: 345

Satellite: TUSAT
Catalog number: 21577
Epoch time: 93085 05 339066
Element set: 248
Inclination: 98 4819 deg
RA of node: 162.1257 deg
Eccentricity: 0.006218
Arg of perigee: 165.2727 deg
Mean anomaly: 174.8900 deg
Mean motion: 14.36355291 rev/day
Decay rate: 2.03e-06 rev/day*2
Epoch rev: 8870
Checksum: 355

Satellite: NOAA-9

Catalog number: 15427
Epoch time: 93182 58 892745
Element set: 400
Inclination: 99.0992 deg
RA of node: 223.0196 deg
Eccentricity: 0.0015791
Arg of perigee: 125.3671 deg
Mean anomaly: 234.9568 deg
Mean motion: 14.13572724 rev/day
Decay rate: 6.8e-07 rev/day*2
Epoch rev: 40081
Checksum: 325

Satellite: NOAA-10

Catalog number: 16669
Epoch time: 93182 74 651229
Element set: 242
Inclination: 98.5157 deg
RA of node: 197.3264 deg
Eccentricity: 0.0012081
Arg of perigee: 275.0146 deg
Mean anomaly: 84.9662 deg
Mean motion: 14.24816659 rev/day
Decay rate: 1.52e-06 rev/day*2
Epoch rev: 35270
Checksum: 319

Satellite: MET-3/2

Catalog number: 19336
Epoch time: 93179 58 783045
Element set: 45
Inclination: 82.5407 deg
RA of node: 213.8876 deg
Eccentricity: 0.0018497
Arg of perigee: 63.7733 deg
Mean anomaly: 296.5289 deg
Mean motion: 13.16959886 rev/day
Decay rate: 4.3e-07 rev/day*2
Epoch rev: 23671
Checksum: 351

Satellite: NOAA-11

Catalog number: 19531
Epoch time: 93182 82 815629
Element set: 150
Inclination: 99.1327 deg
RA of node: 158.9119 deg
Eccentricity: 0.0012818
Arg of perigee: 40.5520 deg
Mean anomaly: 319.6627 deg
Mean motion: 14.12891910 rev/day
Decay rate: 1.55e-06 rev/day*2
Epoch rev: 24574
Checksum: 305

Satellite: MET-3/3

Catalog number: 20305
Epoch time: 93177 99 926999
Element set: 718
Inclination: 82.5531 deg
RA of node: 157.9524 deg
Eccentricity: 0.0017135
Arg of perigee: 87.7200 deg
Mean anomaly: 272.5856 deg
Mean motion: 13.16021137 rev/day
Decay rate: 4.3e-07 rev/day*2
Epoch rev: 17639
Checksum: 323

Satellite: MET-2/19

Catalog number: 20670
Epoch time: 93175 99 726086
Element set: 562
Inclination: 82.5460 deg
RA of node: 132.1866 deg
Eccentricity: 0.0017407
Arg of perigee: 66.4284 deg
Mean anomaly: 293.8699 deg
Mean motion: 13.84176455 rev/day
Decay rate: 2.6e-07 rev/day*2
Epoch rev: 15120
Checksum: 331

Satellite: MET-3/4

Catalog number: 21232
Epoch time: 93176 70 28427
Element set: 367
Inclination: 82.5446 deg
RA of node: 61.7136 deg
Eccentricity: 0.0019361
Arg of perigee: 10.7258 deg
Mean anomaly: 349.2424 deg
Mean motion: 13.16823632 rev/day
Decay rate: 4.3e-07 rev/day*2
Epoch rev: 10444
Checksum: 290

Satellite: NOAA-12

Catalog number: 21263
Epoch time: 93182 51 892282
Element set: 604
Inclination: 98.6552 deg
RA of node: 212.3479 deg
Eccentricity: 0.0012953
Arg of perigee: 167.7981 deg
Mean anomaly: 192.3517 deg
Mean motion: 14.22280563 rev/day
Decay rate: 2.17e-06 rev/day*2
Epoch rev: 11068
Checksum: 298

Satellite: MIR

Catalog number: 16609
Epoch time: 93182 41 837443
Element set: 157
Inclination: 51.6185 deg
RA of node: 148.0413 deg
Eccentricity: 0.0005466
Arg of perigee: 150.9423 deg
Mean anomaly: 209.1917 deg
Mean motion: 15.58958584 rev/day
Decay rate: 8.705e-05 rev/day*2
Epoch rev: 42135
Checksum: 311

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

July 12, 1993

Satellite: RS-10/11

Catalog number: 18179
Epoch time: 93179 60307149
Element set: 421
Inclination: 82 9253 deg
RA of node: 230 1130 deg
Eccentricity: 0.001024
Arg of perigee: 290 3597 deg
Mean anomaly: 19 4641 deg
Mean motion: 12 72319367 rev/day
Decay rate: 8 8e-07 rev/day²
Epoch rev: 30141
Checksum: 299

Satellite: AO-13

Catalog number: 19216
Epoch time: 93182 31033537
Element set: 614
Inclination: 58 0476 deg
RA of node: 308 3919 deg
Eccentricity: 0.7229145
Arg of perigee: 318 4621 deg
Mean anomaly: 4 8900 deg
Mean motion: 2 09723320 rev/day
Decay rate: -1 27e-06 rev/day²
Epoch rev: 3865
Checksum: 292

Satellite: AO-20

Catalog number: 20480
Epoch time: 93177 60753357
Element set: 449
Inclination: 99 0337 deg
RA of node: 32 0095 deg
Eccentricity: 0.0641600
Arg of perigee: 300 3442 deg
Mean anomaly: 12 83720260 rev/day
Decay rate: -4 0e-08 rev/day²
Epoch rev: 15852
Checksum: 266

Satellite: AO-21

Catalog number: 21087
Epoch time: 93181 73366042
Element set: 798
Inclination: 82 9210 deg
RA of node: 42 8049 deg
Eccentricity: 0.0035437
Arg of perigee: 346 4704 deg
Mean anomaly: 13 74521037 rev/day
Decay rate: 8 5e-07 rev/day²
Epoch rev: 12130
Checksum: 293

Satellite: RS-12/13

Catalog number: 21089
Epoch time: 93179 26235602
Element set: 408
Inclination: 82 9214 deg
RA of node: 273 9003 deg
Eccentricity: 0.0030785
Arg of perigee: 15 3636 deg
Mean anomaly: 344 8447 deg
Mean motion: 13 74023675 rev/day
Decay rate: 2 3e-07 rev/day²
Epoch rev: 12004
Checksum: 286

Satellite: AO-22

Catalog number: 21575
Epoch time: 93181 75491313
Element set: 261
Inclination: 98 4723 deg
RA of node: 297 6484 deg
Eccentricity: 0.0007068
Arg of perigee: 262 5960 deg
Mean anomaly: 14 36835221 rev/day
Decay rate: 9 0e-07 rev/day²
Epoch rev: 10261
Checksum: 303

Satellite: KO-23

Catalog number: 22077
Epoch time: 93170 84137870
Element set: 105
Inclination: 66 0771 deg
RA of node: 318 6262 deg
Eccentricity: 0.0004589
Arg of perigee: 184 8593 deg
Mean anomaly: 175 2383 deg
Mean motion: 12 86578854 rev/day
Decay rate: 0.0000000 rev/day²
Epoch rev: 4018
Checksum: 302

Satellite: ARSENE

Catalog number: 22654
Epoch time: 93145 00000000
Element set: 008
Inclination: 1 0950 deg
RA of node: 130 8800 deg
Eccentricity: 0.2939760
Arg of perigee: 137 2680 deg
Mean anomaly: 355 5380 deg
Mean motion: 1 42273540 rev/day
Decay rate: 0.0000000 rev/day²
Epoch rev: 24
Checksum: 212

Satellite: MIR

Catalog number: 16609
Epoch time: 93182 41837443
Element set: 157
Inclination: 51 6185 deg
RA of node: 148 0413 deg
Eccentricity: 0.0004666
Arg of perigee: 150 9423 deg
Mean anomaly: 269 767917 deg
Mean motion: 15 8595854 rev/day
Decay rate: 8 70e-05 rev/day²
Epoch rev: 42135
Checksum: 311

Satellite: ARSENE

Catalog number: 22654
Epoch time: 93171 50001791
Element set: 11
Inclination: 1 1154 deg
RA of node: 126 6985 deg
Eccentricity: 0.2945839
Arg of perigee: 142 5335 deg
Mean anomaly: 12 86578854 rev/day
Decay rate: -4 9e-07 rev/day²
Epoch rev: 62
Checksum: 267

Satellite: WO-18

Catalog number: 20441
Epoch time: 93191 26340100
Element set: 566
Inclination: 98 6203 deg
RA of node: 0 019211 deg
Eccentricity: 0.001211
Arg of perigee: 112 8955 deg
Mean anomaly: 247 3503 deg
Mean motion: 14 29956753 rev/day
Decay rate: 8 1e-07 rev/day²
Epoch rev: 18075
Checksum: 292

Satellite: NOAA-9

Catalog number: 15427
Epoch time: 93197 09966434
Element set: 415
Inclination: 99 0982 deg
RA of node: 237 7784 deg
Eccentricity: 0.0016109
Arg of perigee: 86 7752 deg
Mean anomaly: 273 5272 deg
Mean motion: 14 13631294 rev/day
Decay rate: 4 2e-07 rev/day²
Epoch rev: 44286
Checksum: 337

Satellite: NOAA-10

Catalog number: 16969
Epoch time: 93197 00206386
Element set: 258
Inclination: 98 5149 deg
RA of node: 211 1598 deg
Eccentricity: 0.0012176
Arg of perigee: 229 5013 deg
Mean anomaly: 1383 3110 deg
Mean motion: 14 1594083 rev/day
Decay rate: 1 19e-06 rev/day²
Epoch rev: 35473
Checksum: 290

Satellite: MET-3/2

Catalog number: 19336
Epoch time: 93194 02258664
Element set: 47
Inclination: 82 5404 deg
RA of node: 203 6663 deg
Eccentricity: 0.0018698
Arg of perigee: 29 0663 deg
Mean anomaly: 13 14997978 rev/day
Decay rate: 4 3e-07 rev/day²
Epoch rev: 23861
Checksum: 325

Satellite: NOAA-11

Catalog number: 19336
Epoch time: 93196 92048640
Element set: 165
Inclination: 99 1333 deg
RA of node: 0 001233 deg
Eccentricity: 0.001233
Arg of perigee: 3 0787 deg
Mean anomaly: 357 0453 deg
Mean motion: 14 12896235 rev/day
Decay rate: 9 2e-07 rev/day²
Epoch rev: 24773
Checksum: 297

Satellite: MET-3/3

Catalog number: 20306
Epoch time: 93197 03691783
Element set: 165
Inclination: 82 5518 deg
RA of node: 144 5414 deg
Eccentricity: 0.0018576
Arg of perigee: 41 4357 deg
Mean anomaly: 318 8170 deg
Mean motion: 13 16021360 rev/day
Decay rate: 4 3e-07 rev/day²
Epoch rev: 17889
Checksum: 293

Satellite: MET-3/19

Catalog number: 20670
Epoch time: 93194 86381434
Element set: 565
Inclination: 82 5475 deg
RA of node: 117 2064 deg
Eccentricity: 0.0017332
Arg of perigee: 21 4336 deg
Mean anomaly: 338 7356 deg
Mean motion: 13 843382 rev/day
Decay rate: 5 12e-06 rev/day²
Epoch rev: 15381
Checksum: 306

Satellite: MET-3/4

Catalog number: 21232
Epoch time: 93194 63761360
Element set: 370
Inclination: 82 5427 deg
RA of node: 49 0308 deg
Eccentricity: 0.0018663
Arg of perigee: 330 0867 deg
Mean anomaly: 13 14997978 rev/day
Decay rate: 4 3e-07 rev/day²
Epoch rev: 10680
Checksum: 312

Satellite: NOAA-12

Catalog number: 21263
Epoch time: 93197 06123349
Element set: 621
Inclination: 98 6444 deg
RA of node: 0 001233 deg
Eccentricity: 0.001233
Arg of perigee: 126 9348 deg
Mean anomaly: 233 3083 deg
Mean motion: 14 22286754 rev/day
Decay rate: 1 78e-06 rev/day²
Epoch rev: 11275
Checksum: 308

Satellite: HUBBLE

Catalog number: 20680
Epoch time: 93196 77152277
Element set: 165
Inclination: 28 4703 deg
RA of node: 240 0415 deg
Eccentricity: 0.0004518
Arg of perigee: 347 3242 deg
Mean anomaly: 12 7213 deg
Mean motion: 14 92761200 rev/day
Decay rate: 4 82e-06 rev/day²
Epoch rev: 17579
Checksum: 273

Satellite: SARA

Catalog number: 21578
Epoch time: 93196 68753844
Element set: 436
Inclination: 98 4773 deg
RA of node: 273 6495 deg
Eccentricity: 0.0004212
Arg of perigee: 206 6612 deg
Mean anomaly: 153 4387 deg
Mean motion: 14 2204363 rev/day
Decay rate: 4 20e-06 rev/day²
Epoch rev: 10482
Checksum: 326

July 18, 1993

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

July 29, 1993

Satellite: AO-10
Catalog number: 14129
Epoch time: 93202.62536230
Element set: 565
Inclination: 81.005 deg
RA of node: 27.0768 deg
RA of node: 15.1878 deg
Eccentricity: 0.622626
Arg of perigee: 98.7035 deg
Mean anomaly: 329.8676 deg
Mean anomaly: 2.0586369 rev/day
Decay rate: 2.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 7592
Checksum: 322

Satellite: AO-11
Catalog number: 18129
Epoch time: 93199.50757804
Element set: 564
Inclination: 82.9227 deg
RA of node: 21.5499 deg
RA of node: 0.001367
Eccentricity: 0.000367
Arg of perigee: 225.8425 deg
Mean anomaly: 134.1868 deg
Mean anomaly: 13.7320353 rev/day
Decay rate: 8.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 30414
Checksum: 304

Satellite: AO-13
Catalog number: 19216
Epoch time: 93202.33713546
Element set: 623
Inclination: 57.8903 deg
RA of node: 304.6158 deg
Eccentricity: 0.7223772
Arg of perigee: 320.1229 deg
Mean anomaly: 4.9105 deg
Mean anomaly: 2.0972720 rev/day
Decay rate: -2.69e-06 rev/day²
Epoch rev: 3907
Checksum: 288

Satellite: AO-16
Catalog number: 20439
Epoch time: 93200.26347958
Element set: 563
Inclination: 98.6210 deg
RA of node: 285.0949 deg
Eccentricity: 0.0012487
Arg of perigee: 86.0964 deg
Mean anomaly: 10.9621 deg
Mean anomaly: 12.8320462 rev/day
Decay rate: -8.0e-06 rev/day²
Epoch rev: 16160
Checksum: 265

Satellite: AO-27
Catalog number: 21087
Epoch time: 93202.62536230
Element set: 565
Inclination: 81.005 deg
RA of node: 27.0768 deg
RA of node: 15.1878 deg
Eccentricity: 0.622626
Arg of perigee: 98.7035 deg
Mean anomaly: 329.8676 deg
Mean anomaly: 2.0586369 rev/day
Decay rate: 2.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 7592
Checksum: 322

Satellite: AO-28
Catalog number: 21088
Epoch time: 93194.70011642
Element set: 564
Inclination: 82.9227 deg
RA of node: 21.5499 deg
RA of node: 0.001367
Eccentricity: 0.000367
Arg of perigee: 225.8425 deg
Mean anomaly: 134.1868 deg
Mean anomaly: 13.7320353 rev/day
Decay rate: 8.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 12216
Checksum: 269

Satellite: AO-29
Catalog number: 22654
Epoch time: 93171.50001791
Element set: 111
Inclination: 1.1154 deg
RA of node: 126.6985 deg
Eccentricity: 0.2955839
Arg of perigee: 142.5535 deg
Mean anomaly: 241.8695 deg
Mean anomaly: 1.42200091 rev/day
Decay rate: -4.9e-07 rev/day²
Epoch rev: 62
Checksum: 267

Satellite: AO-30
Catalog number: 20439
Epoch time: 93200.26347958
Element set: 563
Inclination: 98.6210 deg
RA of node: 285.0949 deg
Eccentricity: 0.0012487
Arg of perigee: 86.0964 deg
Mean anomaly: 10.9621 deg
Mean anomaly: 12.8320462 rev/day
Decay rate: -8.0e-06 rev/day²
Epoch rev: 16160
Checksum: 265

Satellite: DO-17
Catalog number: 20440
Epoch time: 93200.26347958
Element set: 565
Inclination: 98.6210 deg
RA of node: 285.0949 deg
Eccentricity: 0.0012487
Arg of perigee: 86.0964 deg
Mean anomaly: 10.9621 deg
Mean anomaly: 12.8320462 rev/day
Decay rate: -8.0e-06 rev/day²
Epoch rev: 16160
Checksum: 265

Satellite: DO-19
Catalog number: 20442
Epoch time: 93200.26347958
Element set: 564
Inclination: 98.6210 deg
RA of node: 285.0949 deg
Eccentricity: 0.0012487
Arg of perigee: 86.0964 deg
Mean anomaly: 10.9621 deg
Mean anomaly: 12.8320462 rev/day
Decay rate: -8.0e-06 rev/day²
Epoch rev: 16160
Checksum: 265

Satellite: DO-22
Catalog number: 21575
Epoch time: 93200.69628709
Element set: 263
Inclination: 98.4714 deg
RA of node: 276.2850 deg
Eccentricity: 0.00701335 deg
Arg of perigee: 195.3135 deg
Mean anomaly: 154.2389 deg
Mean anomaly: 14.30639 rev/day
Decay rate: 7.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 10533
Checksum: 326

Satellite: DO-23
Catalog number: 22077
Epoch time: 93199.53163862
Element set: 107
Inclination: 66.0764 deg
RA of node: 258.5539 deg
Eccentricity: 0.0003204
Arg of perigee: 161.1709 deg
Mean anomaly: 178.9304 deg
Mean anomaly: 12.8627936 rev/day
Decay rate: 0.000000 rev/day²
Epoch rev: 4364
Checksum: 304

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

Aug 12, 1993

Satellite: AO-10
Catalog number: 14129
Epoch time: 93213.29558827
Element set: 12
Inclination: 27.0845 deg
RA of node: 13.1793 deg
Eccentricity: 0.6019675
Arg of perigee: 102.0313 deg
Mean anomaly: 2.0587930 rev/day
Decay rate: 5.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 7619
Checksum: 301

Satellite: AO-11
Catalog number: 18129
Epoch time: 93216.4958542
Element set: 564
Inclination: 82.9227 deg
RA of node: 21.5499 deg
RA of node: 0.001367
Eccentricity: 0.000367
Arg of perigee: 225.8425 deg
Mean anomaly: 134.1868 deg
Mean anomaly: 13.7320353 rev/day
Decay rate: 8.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 30414
Checksum: 305

Satellite: AO-13
Catalog number: 19216
Epoch time: 93217.59545265
Element set: 627
Inclination: 57.8475 deg
RA of node: 301.8431 deg
Eccentricity: 0.7220699
Arg of perigee: 321.2134 deg
Mean anomaly: 4.8415 deg
Mean anomaly: 2.0971757 rev/day
Decay rate: 1.08e-06 rev/day²
Epoch rev: 3939
Checksum: 320

Satellite: AO-20
Catalog number: 20480
Epoch time: 93213.62679476
Element set: 452
Inclination: 99.0320 deg
RA of node: 61.1953 deg
Eccentricity: 0.0541077
Arg of perigee: 343.7838 deg
Mean anomaly: 12.8320426 rev/day
Decay rate: -1.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 16314
Checksum: 281

Satellite: AO-21
Catalog number: 21087
Epoch time: 93216.82011135
Element set: 822
Inclination: 82.9421 deg
RA of node: 16.8307 deg
Eccentricity: 0.034000
Arg of perigee: 245.4913 deg
Mean anomaly: 114.2681 deg
Mean anomaly: 13.74232018 rev/day
Decay rate: 8.5e-07 rev/day²
Epoch rev: 12612
Checksum: 254

Satellite: AO-22
Catalog number: 21089
Epoch time: 93207.07946854
Element set: 411
Inclination: 98.9224 deg
RA of node: 253.2736 deg
Eccentricity: 0.002626
Arg of perigee: 299.6709 deg
Mean anomaly: 13.74024613 rev/day
Decay rate: 1.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 12386
Checksum: 302

Satellite: AO-16
Catalog number: 20439
Epoch time: 93200.26347958
Element set: 563
Inclination: 98.6210 deg
RA of node: 285.0949 deg
Eccentricity: 0.0012487
Arg of perigee: 86.0964 deg
Mean anomaly: 10.9621 deg
Mean anomaly: 12.8320462 rev/day
Decay rate: 4.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 18202
Checksum: 327

Satellite: DO-17
Catalog number: 20440
Epoch time: 93213.62679476
Element set: 452
Inclination: 99.0320 deg
RA of node: 61.1953 deg
Eccentricity: 0.0541077
Arg of perigee: 343.7838 deg
Mean anomaly: 12.8320426 rev/day
Decay rate: -1.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 16314
Checksum: 281

Satellite: LO-19
Catalog number: 20442
Epoch time: 93210.22505146
Element set: 565
Inclination: 98.6210 deg
RA of node: 285.0949 deg
Eccentricity: 0.0013471
Arg of perigee: 60.0285 deg
Mean anomaly: 14.3004234 rev/day
Decay rate: 5.8e-07 rev/day²
Epoch rev: 18347
Checksum: 260

Satellite: JO-22
Catalog number: 21575
Epoch time: 93209.74914374
Element set: 264
Inclination: 98.4712 deg
RA of node: 285.1895 deg
Eccentricity: 0.0007252
Arg of perigee: 167.9437 deg
Mean anomaly: 192.1925 deg
Mean anomaly: 14.36841017 rev/day
Decay rate: 6.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 10663
Checksum: 320

Satellite: KO-23
Catalog number: 22077
Epoch time: 93215.15967061
Element set: 109
Inclination: 66.0762 deg
RA of node: 225.8331 deg
Eccentricity: 0.001975
Arg of perigee: 176.3527 deg
Mean anomaly: 163.7534 deg
Mean anomaly: 12.86279633 rev/day
Decay rate: 0.000000 rev/day²
Epoch rev: 4586
Checksum: 275

Satellite: MLR
Catalog number: 16609
Epoch time: 93217.80596446
Element set: 220
Inclination: 51.6209 deg
RA of node: 330.3117 deg
Eccentricity: 0.0003838
Arg of perigee: 301.5056 deg
Mean anomaly: 58.5692 deg
Mean anomaly: 15.50778626 rev/day
Decay rate: 6.978e-05 rev/day²
Epoch rev: 42687
Checksum: 324

Orbital Elements for OSCAR & Weather Satellites

Satellite: RS-10/11

Catalog number: 18129
Epoch time: 93290 06201884
Element set: 803
Inclination: 82.9233 deg
RA of node: 148 5516 deg
Eccentricity: 0.001814
Arg of perigee: 346.1410 deg
Mean anomaly: 13.724107 rev/day
Decay rate: 4.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 31656
Checksum: 273

Satellite: NOAA-9

Catalog number: 15427
Epoch time: 93290 74617187
Element set: 605
Inclination: 99.0870 deg
RA of node: 332.9651 deg
Eccentricity: 0.0014954
Arg of perigee: 179.9226 deg
Mean anomaly: 180.2097 deg
Decay rate: -3.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 45608
Checksum: 326

Satellite: NOAA-10

Catalog number: 16949
Epoch time: 93290 82106501
Element set: 804
Inclination: 98.5150 deg
RA of node: 302.1917 deg
Eccentricity: 0.0012934
Arg of perigee: 321.7010 deg
Mean anomaly: 38.3214 deg
Decay rate: 1.22e-06 rev/day²
Epoch rev: 36808
Checksum: 269

Satellite: NOAA-11

Catalog number: 19531
Epoch time: 93290 89200958
Element set: 404
Inclination: 99.1481 deg
RA of node: 269.2092 deg
Eccentricity: 0.0012760
Arg of perigee: 92.8710 deg
Mean anomaly: 267.3840 deg
Decay rate: 1.86e-06 rev/day²
Epoch rev: 26100
Checksum: 296

Satellite: NOAA-12

Catalog number: 21263
Epoch time: 93290 85353603
Element set: 809
Inclination: 98.6440 deg
RA of node: 318.6746 deg
Eccentricity: 0.0012273
Arg of perigee: 215.7022 deg
Mean anomaly: 14.22324821 rev/day
Decay rate: 2.015e-05 rev/day²
Epoch rev: 12607
Checksum: 276

Satellite: AO-13

Catalog number: 19216
Epoch time: 93291 9702075
Element set: 573
Inclination: 82.9233 deg
RA of node: 268.8083 deg
Eccentricity: 0.0015233
Arg of perigee: 326.4503 deg
Mean anomaly: 2.99724992 rev/day
Decay rate: -1.12e-06 rev/day²
Epoch rev: 4095
Checksum: 308

Satellite: NOAA-17

Catalog number: 19531
Epoch time: 93290 89200958
Element set: 404
Inclination: 99.1481 deg
RA of node: 269.2092 deg
Eccentricity: 0.0012760
Arg of perigee: 92.8710 deg
Mean anomaly: 267.3840 deg
Decay rate: 1.86e-06 rev/day²
Epoch rev: 26100
Checksum: 296

Satellite: NOAA-18

Catalog number: 21263
Epoch time: 93291 9702075
Element set: 803
Inclination: 98.6153 deg
RA of node: 177.8815 deg
Eccentricity: 0.0011930
Arg of perigee: 171.0347 deg
Mean anomaly: 189.1050 deg
Decay rate: 7.9e-07 rev/day²
Epoch rev: 19540
Checksum: 306

Satellite: NOAA-19

Catalog number: 20480
Epoch time: 93286 0564589
Element set: 601
Inclination: 99.0706 deg
RA of node: 119.8505 deg
Eccentricity: 0.0014570
Arg of perigee: 176.5733 deg
Mean anomaly: 180.7200 deg
Decay rate: -1.4e-07 rev/day²
Epoch rev: 17243
Checksum: 315

Satellite: NOAA-20

Catalog number: 20480
Epoch time: 93286 0564589
Element set: 601
Inclination: 99.0706 deg
RA of node: 119.8505 deg
Eccentricity: 0.0014570
Arg of perigee: 176.5733 deg
Mean anomaly: 180.7200 deg
Decay rate: -1.4e-07 rev/day²
Epoch rev: 17243
Checksum: 315

Satellite: AO-21

Catalog number: 21087
Epoch time: 93294 06409391
Element set: 359
Inclination: 81.9442 deg
RA of node: 319.6650 deg
Eccentricity: 0.0036271
Arg of perigee: 32.4253 deg
Mean anomaly: 327.9130 deg
Decay rate: 5.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 13673
Checksum: 303

Satellite: MET-3/3

Catalog number: 20305
Epoch time: 93293 86376909
Element set: 905
Inclination: 82.5526 deg
RA of node: 76.2083 deg
Eccentricity: 0.0016004
Arg of perigee: 158.9218 deg
Mean anomaly: 201.2569 deg
Decay rate: 1.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 19163
Checksum: 307

Satellite: MET-3/4

Catalog number: 21232
Epoch time: 93292 47380643
Element set: 605
Inclination: 82.5446 deg
RA of node: 339.7727 deg
Eccentricity: 0.0014438
Arg of perigee: 70.5573 deg
Mean anomaly: 289.7107 deg
Decay rate: 1.6e-07 rev/day²
Epoch rev: 11968
Checksum: 316

Satellite: AO-23

Catalog number: 22077
Epoch time: 93292 44454846
Element set: 301
Inclination: 82.9233 deg
RA of node: 64.0300 deg
Eccentricity: 0.0033238
Arg of perigee: 352.2623 deg
Mean anomaly: 7.8344 deg
Decay rate: 12.8628279 rev/day
Epoch rev: 55892
Checksum: 265

Satellite: RS-12/13

Catalog number: 21089
Epoch time: 93292 0628196
Element set: 604
Inclination: 82.9234 deg
RA of node: 190.7557 deg
Eccentricity: 0.003765
Arg of perigee: 62.7849 deg
Mean anomaly: 13.724107 rev/day
Decay rate: 1.2e-07 rev/day²
Epoch rev: 13553
Checksum: 286

Satellite: AO-11

Catalog number: 14781
Epoch time: 93290 08412027
Element set: 603
Inclination: 97.8032 deg
RA of node: 311.0490 deg
Eccentricity: 0.0010183
Arg of perigee: 26.0441 deg
Mean anomaly: 2.74e-06 rev/day²
Decay rate: 2.14e-06 rev/day²
Epoch rev: 51461
Checksum: 264

Satellite: RS-10/11

Catalog number: 18129
Epoch time: 93290 06201884
Element set: 803
Inclination: 82.9233 deg
RA of node: 148.5516 deg
Eccentricity: 0.001814
Arg of perigee: 346.1410 deg
Mean anomaly: 13.724107 rev/day
Decay rate: 4.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 31656
Checksum: 273

Satellite: AO-13

Catalog number: 19216
Epoch time: 93291 9702075
Element set: 803
Inclination: 98.6153 deg
RA of node: 177.8815 deg
Eccentricity: 0.0011930
Arg of perigee: 171.0347 deg
Mean anomaly: 189.1050 deg
Decay rate: -1.12e-06 rev/day²
Epoch rev: 4095
Checksum: 308

Satellite: AO-20

Catalog number: 20480
Epoch time: 93286 0564589
Element set: 601
Inclination: 99.0706 deg
RA of node: 119.8505 deg
Eccentricity: 0.0014570
Arg of perigee: 176.5733 deg
Mean anomaly: 180.7200 deg
Decay rate: -1.4e-07 rev/day²
Epoch rev: 17243
Checksum: 315

Satellite: AO-21

Catalog number: 21087
Epoch time: 93294 06409391
Element set: 359
Inclination: 81.9442 deg
RA of node: 319.6650 deg
Eccentricity: 0.0036271
Arg of perigee: 32.4253 deg
Mean anomaly: 327.9130 deg
Decay rate: 5.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 13673
Checksum: 303

Satellite: AO-16

Catalog number: 20439
Epoch time: 93291 23405536
Element set: 704
Inclination: 98.6147 deg
RA of node: 15.1060 deg
Eccentricity: 0.0011712
Arg of perigee: 178.1320 deg
Mean anomaly: 14.27680814 rev/day
Decay rate: 5.5e-07 rev/day²
Epoch rev: 19502
Checksum: 301

Satellite: DO-17

Catalog number: 20440
Epoch time: 93294 22005761
Element set: 704
Inclination: 98.6150 deg
RA of node: 15.1060 deg
Eccentricity: 0.0011374
Arg of perigee: 169.2905 deg
Mean anomaly: 190.6528 deg
Decay rate: 8.2e-07 rev/day²
Epoch rev: 19546
Checksum: 310

Satellite: WO-18

Catalog number: 20441
Epoch time: 93293 71202168
Element set: 705
Inclination: 98.6153 deg
RA of node: 17.8815 deg
Eccentricity: 0.0011930
Arg of perigee: 171.0347 deg
Mean anomaly: 189.1050 deg
Decay rate: 7.9e-07 rev/day²
Epoch rev: 19540
Checksum: 306

Satellite: AO-19

Catalog number: 20442
Epoch time: 93291 73698884
Element set: 704
Inclination: 98.6158 deg
RA of node: 16.0091 deg
Eccentricity: 0.0012313
Arg of perigee: 176.5733 deg
Mean anomaly: 14.27680814 rev/day
Decay rate: 7.9e-07 rev/day²
Epoch rev: 19512
Checksum: 319

Satellite: AO-22

Catalog number: 21575
Epoch time: 93292 12954494
Element set: 404
Inclination: 98.4601 deg
RA of node: 16.0091 deg
Eccentricity: 0.0005983
Arg of perigee: 204.2221 deg
Mean anomaly: 65.8240 deg
Decay rate: 14.26851525 rev/day
Epoch rev: 9307 rev/day²
Checksum: 310

Satellite: AO-27

Catalog number: 22805
Epoch time: 93292 20644361
Element set: 204
Inclination: 98.6801 deg
RA of node: 5.1308 deg
Eccentricity: 0.0008356
Arg of perigee: 187.6401 deg
Mean anomaly: 14.27680814 rev/day
Decay rate: 8.1e-07 rev/day²
Epoch rev: 329
Checksum: 303

Satellite: AO-28

Catalog number: 22826
Epoch time: 93291 43407526
Element set: 205
Inclination: 98.6791 deg
RA of node: 5.1308 deg
Eccentricity: 0.0007990
Arg of perigee: 191.9871 deg
Mean anomaly: 146.1093 deg
Decay rate: 5.3e-07 rev/day²
Epoch rev: 319
Checksum: 318

Satellite: AO-25

Catalog number: 22830
Epoch time: 93293 18077098
Element set: 205
Inclination: 98.5788 deg
RA of node: 5.8953 deg
Eccentricity: 0.0012182
Arg of perigee: 157.1178 deg
Mean anomaly: 203.0570 deg
Decay rate: 14.28010481 rev/day
Epoch rev: 6.9e-07 rev/day²
Checksum: 297

Satellite: MIR

Catalog number: 16609
Epoch time: 93291 95673353
Element set: 520
Inclination: 51.6178 deg
RA of node: 317.6411 deg
Eccentricity: 0.0003008
Arg of perigee: 324.5715 deg
Mean anomaly: 15.63350429 rev/day
Decay rate: 8.910e-05 rev/day²
Epoch rev: 4362
Checksum: 303

Satellite: POSAT

Catalog number: 22859
Epoch time: 93289 11726978
Element set: 204
Inclination: 98.6763 deg
RA of node: 0.001004
Eccentricity: 0.001004
Arg of perigee: 184.4594 deg
Mean anomaly: 14.27675953 rev/day
Decay rate: 2.7e-07 rev/day²
Epoch rev: 286
Checksum: 317

Orbital Elements for OSCAR & Weather Satellites

November 22, 1993

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

November 12, 1993

Satellite: AO-10
Catalog number: 14129
Epoch time: 93304.58449144
Element set: 607
Inclination: 98.717 deg
RA of node: 271.958 deg
Eccentricity: 0.001030
Arg of perigee: 131.023 deg
Mean anomaly: 299.132 deg
Mean motion: 14.1352437 rev/day
Decay rate: -1.12e-06 rev/day²
Epoch rev: 5004

Satellite: AO-16
Catalog number: 20439
Epoch time: 93310.19784452
Element set: 612
Inclination: 98.6143 deg
RA of node: 33.8639 deg
Eccentricity: 0.0011727
Arg of perigee: 123.8773 deg
Mean anomaly: 236.3527 deg
Mean motion: 14.2985932 rev/day
Decay rate: 1.04e-06 rev/day²
Epoch rev: 19773

Satellite: RS-12/13
Catalog number: 21089
Epoch time: 93309.17285915
Element set: 610
Inclination: 82.9251 deg
RA of node: 177.5725 deg
Eccentricity: 0.0030654
Arg of perigee: 13.7478 deg
Mean anomaly: 13.74079161 rev/day
Decay rate: 4.30e-07 rev/day²
Epoch rev: 13788

Satellite: FO-20
Catalog number: 20480
Epoch time: 93310.0732541
Element set: 607
Inclination: 98.717 deg
RA of node: 271.958 deg
Eccentricity: 0.001030
Arg of perigee: 131.023 deg
Mean anomaly: 299.132 deg
Mean motion: 14.1352437 rev/day
Decay rate: -1.12e-06 rev/day²
Epoch rev: 17551

Satellite: AO-21
Catalog number: 21087
Epoch time: 93311.0876416
Element set: 366
Inclination: 82.9411 deg
RA of node: 307.0744 deg
Eccentricity: 0.003594
Arg of perigee: 345.7140 deg
Mean anomaly: 14.3001 deg
Mean motion: 13.7457646 rev/day
Decay rate: 8.50e-07 rev/day²
Epoch rev: 13066

Satellite: FO-26
Catalog number: 22826
Epoch time: 93305.6096033
Element set: 209
Inclination: 98.6791 deg
RA of node: 18.4934 deg
Eccentricity: 0.0009019
Arg of perigee: 149.5441 deg
Mean anomaly: 210.6266 deg
Mean motion: 14.27689613 rev/day
Decay rate: 7.60e-07 rev/day²
Epoch rev: 522

Satellite: NOAA 09
Catalog number: 15427
Epoch time: 93321.67817478
Element set: 612
Inclination: 99.0821 deg
RA of node: 4.3682 deg
Eccentricity: 0.0015682
Arg of perigee: 95.7490 deg
Mean anomaly: 264.5523 deg
Mean motion: 14.1352437 rev/day
Decay rate: 1.05e-06 rev/day²
Epoch rev: 46046

Satellite: NOAA 10
Catalog number: 16969
Epoch time: 93315.7532400
Element set: 509
Inclination: 98.5140 deg
RA of node: 326.3695 deg
Eccentricity: 0.0012248
Arg of perigee: 244.0314 deg
Mean anomaly: 115.9574 deg
Mean motion: 14.24842726 rev/day
Decay rate: 8.10e-07 rev/day²
Epoch rev: 37164

Satellite: NOAA 11
Catalog number: 19331
Epoch time: 93315.67698101
Element set: 409
Inclination: 99.1508 deg
RA of node: 294.5292 deg
Eccentricity: 0.0012315
Arg of perigee: 27.3413 deg
Mean anomaly: 332.6509 deg
Mean motion: 14.12931327 rev/day
Decay rate: 1.65e-06 rev/day²
Epoch rev: 26450

Satellite: NOAA 12
Catalog number: 21263
Epoch time: 93315.68793624
Element set: 816
Inclination: 98.6427 deg
RA of node: 343.0215 deg
Eccentricity: 0.0013434
Arg of perigee: 143.1680 deg
Mean anomaly: 217.0407 deg
Mean motion: 14.22331177 rev/day
Decay rate: 1.76e-06 rev/day²
Epoch rev: 12961

Satellite: Met 2-21
Catalog number: 22782
Epoch time: 93320.66678128
Element set: 211
Inclination: 82.5521 deg
RA of node: 14.8526 deg
Eccentricity: 0.0023798
Arg of perigee: 100.3379 deg
Mean anomaly: 260.0455 deg
Mean motion: 13.82991168 rev/day
Decay rate: 3.30e-07 rev/day²
Epoch rev: 1071

Satellite: Met 3-03
Catalog number: 20308
Epoch time: 93322.67787330
Element set: 914
Inclination: 82.5604 deg
RA of node: 55.8664 deg
Eccentricity: 0.0018203
Arg of perigee: 91.3654 deg
Mean anomaly: 267.0662 deg
Mean motion: 13.1602063 rev/day
Decay rate: 4.30e-07 rev/day²
Epoch rev: 19542

November 24, 1993

Satellite: EO-10	Catalog number: 18129 Epoch time: 93320.53637545 Element set: 812 Inclination: 82.9209 deg RA of node: 126.0240 deg Eccentricity: 0.0010352 Arg of perigee: 256.4589 deg Mean anomaly: 103.5413 deg Mean motion: 13.72326438 rev/day Decay rate: 6.1e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 32074	Satellite: EO-11	Catalog number: 20442 Epoch time: 93320.70317911 Element set: 712 Inclination: 98.6151 deg RA of node: 44.7345 deg Eccentricity: 0.0013139 Arg of perigee: 93.7468 deg Mean anomaly: 266.5215 deg Mean motion: 14.30068015 rev/day Decay rate: 6.1e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 19926	Satellite: EO-12	Catalog number: 20480 Epoch time: 93310.07362541 Element set: 607 Inclination: 99.0217 deg RA of node: 139.2984 deg Eccentricity: 0.0541030 Arg of perigee: 125.0547 deg Mean anomaly: 240.2545 deg Mean motion: 12.83221816 rev/day Decay rate: -5.00e-08 rev/day ⁻² Epoch rev: 17551	Satellite: EO-13	Catalog number: 19216 Epoch time: 93315.34314830 Element set: 813 Inclination: 57.8997 deg RA of node: 284.2683 deg Eccentricity: 0.2726538 Arg of perigee: 327.9216 deg Mean anomaly: 3.4613 deg Mean motion: 2.09719999 rev/day Decay rate: -5.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 9303	Satellite: EO-14	Catalog number: 20439 Epoch time: 93320.27451247 Element set: 712 Inclination: 98.6124 deg RA of node: 43.8287 deg Eccentricity: 0.0012274 Arg of perigee: 93.5343 deg Mean anomaly: 264.7257 deg Mean motion: 14.29860785 rev/day Decay rate: 6.40e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 19917	Satellite: EO-15	Catalog number: 20439 Epoch time: 93320.27451247 Element set: 712 Inclination: 98.6124 deg RA of node: 43.8287 deg Eccentricity: 0.0012274 Arg of perigee: 93.5343 deg Mean anomaly: 264.7257 deg Mean motion: 14.29860785 rev/day Decay rate: 6.40e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 19917	Satellite: EO-16	Catalog number: 21087 Epoch time: 93320.47796564 Element set: 368 Inclination: 82.9418 deg RA of node: 300.1208 deg Eccentricity: 0.0034496 Arg of perigee: 319.1873 deg Mean anomaly: 13.7452168 rev/day Mean motion: 13.7452168 rev/day Decay rate: 8.40e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 14036	Satellite: EO-17	Catalog number: 20440 Epoch time: 93320.66926486 Element set: 712 Inclination: 98.6144 deg RA of node: 44.7634 deg Eccentricity: 0.0012250 Arg of perigee: 94.2945 deg Mean anomaly: 265.9628 deg Mean motion: 14.29997984 rev/day Decay rate: 6.00e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 18924	Satellite: EO-18	Catalog number: 20439 Epoch time: 93320.66926486 Element set: 712 Inclination: 98.6144 deg RA of node: 44.7634 deg Eccentricity: 0.0012250 Arg of perigee: 94.2945 deg Mean anomaly: 265.9628 deg Mean motion: 14.29997984 rev/day Decay rate: 6.00e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 18924	Satellite: EO-19	Catalog number: 22077 Epoch time: 93320.59051504 Element set: 309 Inclination: 66.9900 deg RA of node: 5.1103 deg Eccentricity: 0.0050593 Arg of perigee: 341.0656 deg Mean anomaly: 18.9960 deg Mean motion: 12.86281800 rev/day Decay rate: 1.0000e-08 rev/day ⁻² Epoch rev: 5944	Satellite: EO-20	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-21	Catalog number: 21575 Epoch time: 93320.68042724 Element set: 412 Inclination: 98.4578 deg RA of node: 34.2336 deg Eccentricity: 0.0008986 Arg of perigee: 220.1876 deg Mean anomaly: 150.9027 deg Mean motion: 14.36655218 rev/day Decay rate: 1.050e-06 rev/day ⁻² Epoch rev: 12956	Satellite: EO-22	Catalog number: 21575 Epoch time: 93320.68042724 Element set: 412 Inclination: 98.4578 deg RA of node: 34.2336 deg Eccentricity: 0.0008986 Arg of perigee: 220.1876 deg Mean anomaly: 150.9027 deg Mean motion: 14.36655218 rev/day Decay rate: 1.050e-06 rev/day ⁻² Epoch rev: 12956	Satellite: EO-23	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-24	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-25	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-26	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-27	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-28	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-29	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-30	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set: 212 Inclination: 98.6768 deg RA of node: 33.3808 deg Eccentricity: 0.0009869 Arg of perigee: 107.8468 deg Mean anomaly: 253.3794 deg Mean motion: 14.21697586 rev/day Decay rate: 7.30e-07 rev/day ⁻² Epoch rev: 736	Satellite: EO-31	Catalog number: 22826 Epoch time: 93320.65872634 Element set:
-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	---	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	---	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---

Orbital Elements for OSCAR & Weather Satellites

December 10, 1993

Satellite: MIR-2/21	Satellite: NOAA-11	Satellite: MET-2/19	Satellite: NOAA-12	Satellite: AO-21	Satellite: UO-11
Catalog number: 16531	Catalog number: 16531	Catalog number: 20670	Catalog number: 21263	Catalog number: 21087	Catalog number: 14781
Epoch time: 73335.572967935	Epoch time: 73335.572967935	Epoch time: 7335.60399146	Epoch time: 73333.97166137	Epoch time: 61334.62703634	Epoch time: 93334.5600296
Element set: 8	Element set: 8	Element set: 716	Element set: 820	Element set: 372	Element set: 616
Inclination: 81.6183 deg	Inclination: 81.6183 deg	Inclination: 82.5472 deg	Inclination: 99.1410 deg	Inclination: 82.9438 deg	Inclination: 97.7956 deg
RA of node: 99.0804 deg	RA of node: 99.0804 deg	RA of node: 6.5182 deg	RA of node: 2.4804 deg	RA of node: 289.7212 deg	RA of node: 93.7963 deg
Eccentricity: 0.0011726	Eccentricity: 0.0011726	Eccentricity: 0.0015768	Eccentricity: 0.0013991	Eccentricity: 0.0034068	Eccentricity: 0.0011482
Arg of perigee: 311.7228 deg	Arg of perigee: 311.7228 deg	Arg of perigee: 346.9929 deg	Arg of perigee: 37.7504 deg	Arg of perigee: 219.0064 deg	Arg of perigee: 179.8391 deg
Mean anomaly: 18.2839 deg	Mean anomaly: 28.3309 deg	Mean anomaly: 13.0856 deg	Mean anomaly: 372.5281 deg	Mean anomaly: 80.7210 deg	Mean anomaly: 180.2622 deg
Mean motion: 14.12936228 rev/day	Mean motion: 14.12936228 rev/day	Mean anomaly: 13.84186500 rev/day	Mean motion: 14.22339524 rev/day	Mean motion: 13.74529132 rev/day	Mean motion: 14.60071713 rev/day
Decay rate: 8.2e-07 rev/day ²	Decay rate: 8.1e-07 rev/day ²	Decay rate: 1.5e-07 rev/day ²	Decay rate: 1.89e-06 rev/day ²	Decay rate: 8.4e-07 rev/day ²	Decay rate: 2.00e-06 rev/day ²
Epoch rev: 1208	Epoch rev: 26735	Epoch rev: 11328	Epoch rev: 13249	Epoch rev: 62114	Epoch rev: 62114
Checksum: 316	Checksum: 302	Checksum: 315	Checksum: 320	Checksum: 308	Checksum: 308

Satellite: NOAA-10	Satellite: MIR-2/19	Satellite: MET-2/19	Satellite: NOAA-12	Satellite: AO-21	Satellite: UO-11
Catalog number: 16659	Catalog number: 16659	Catalog number: 20670	Catalog number: 21263	Catalog number: 21087	Catalog number: 14781
Epoch time: 73335.57165375	Epoch time: 73335.57165375	Epoch time: 7335.60399146	Epoch time: 73333.97166137	Epoch time: 61334.62703634	Epoch time: 93334.5600296
Element set: 8	Element set: 8	Element set: 716	Element set: 820	Element set: 372	Element set: 616
Inclination: 81.6183 deg	Inclination: 81.6183 deg	Inclination: 82.5472 deg	Inclination: 99.1410 deg	Inclination: 82.9438 deg	Inclination: 97.7956 deg
RA of node: 99.0804 deg	RA of node: 99.0804 deg	RA of node: 6.5182 deg	RA of node: 2.4804 deg	RA of node: 289.7212 deg	RA of node: 93.7963 deg
Eccentricity: 0.0015663	Eccentricity: 0.0015663	Eccentricity: 0.0015768	Eccentricity: 0.0013991	Eccentricity: 0.0034068	Eccentricity: 0.0011482
Arg of perigee: 60.2936 deg	Arg of perigee: 60.2936 deg	Arg of perigee: 346.9929 deg	Arg of perigee: 37.7504 deg	Arg of perigee: 219.0064 deg	Arg of perigee: 179.8391 deg
Mean anomaly: 299.9797 deg	Mean anomaly: 299.9797 deg	Mean anomaly: 13.0856 deg	Mean anomaly: 372.5281 deg	Mean anomaly: 80.7210 deg	Mean anomaly: 180.2622 deg
Mean motion: 14.13566417 rev/day	Mean motion: 14.13566417 rev/day	Mean motion: 13.84186500 rev/day	Mean motion: 14.22339524 rev/day	Mean motion: 13.74529132 rev/day	Mean motion: 14.60071713 rev/day
Decay rate: 1.30e-06 rev/day ²	Decay rate: 1.30e-06 rev/day ²	Decay rate: 1.5e-07 rev/day ²	Decay rate: 1.89e-06 rev/day ²	Decay rate: 8.4e-07 rev/day ²	Decay rate: 2.00e-06 rev/day ²
Epoch rev: 45332	Epoch rev: 45332	Epoch rev: 11328	Epoch rev: 13249	Epoch rev: 62114	Epoch rev: 62114
Checksum: 329	Checksum: 329	Checksum: 315	Checksum: 320	Checksum: 308	Checksum: 308

Satellite: NOAA-10	Satellite: MIR-2/19	Satellite: MET-2/19	Satellite: NOAA-12	Satellite: AO-21	Satellite: UO-11
Catalog number: 16659	Catalog number: 16659	Catalog number: 20670	Catalog number: 21263	Catalog number: 21087	Catalog number: 14781
Epoch time: 73335.97166137	Epoch time: 73335.97166137	Epoch time: 7335.60399146	Epoch time: 73333.97166137	Epoch time: 61334.62703634	Epoch time: 93334.5600296
Element set: 813	Element set: 813	Element set: 716	Element set: 820	Element set: 372	Element set: 616
Inclination: 98.1322 deg	Inclination: 98.1322 deg	Inclination: 82.5472 deg	Inclination: 99.1410 deg	Inclination: 82.9438 deg	Inclination: 97.7956 deg
RA of node: 0.0013991 deg	RA of node: 0.0013991 deg	RA of node: 6.5182 deg	RA of node: 2.4804 deg	RA of node: 289.7212 deg	RA of node: 93.7963 deg
Eccentricity: 0.0013991	Eccentricity: 0.0013991	Eccentricity: 0.0015768	Eccentricity: 0.0013991	Eccentricity: 0.0034068	Eccentricity: 0.0011482
Arg of perigee: 177.6435 deg	Arg of perigee: 177.6435 deg	Arg of perigee: 346.9929 deg	Arg of perigee: 37.7504 deg	Arg of perigee: 219.0064 deg	Arg of perigee: 179.8391 deg
Mean anomaly: 182.3746 deg	Mean anomaly: 182.3746 deg	Mean anomaly: 13.0856 deg	Mean anomaly: 372.5281 deg	Mean anomaly: 80.7210 deg	Mean anomaly: 180.2622 deg
Mean motion: 14.24846117 rev/day	Mean motion: 14.24846117 rev/day	Mean motion: 13.84186500 rev/day	Mean motion: 14.22339524 rev/day	Mean motion: 13.74529132 rev/day	Mean motion: 14.60071713 rev/day
Decay rate: 8.2e-07 rev/day ²	Decay rate: 8.2e-07 rev/day ²	Decay rate: 1.5e-07 rev/day ²	Decay rate: 1.89e-06 rev/day ²	Decay rate: 8.4e-07 rev/day ²	Decay rate: 2.00e-06 rev/day ²
Epoch rev: 37421	Epoch rev: 37421	Epoch rev: 11328	Epoch rev: 13249	Epoch rev: 62114	Epoch rev: 62114
Checksum: 329	Checksum: 329	Checksum: 315	Checksum: 320	Checksum: 308	Checksum: 308

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

December 12, 1993

Satellite: AO-10 Catalog number: 14129 Epoch time: 93329.34450477 Element set: 213 Inclination: 27.1217 deg RA of node: 354.5434 deg Eccentricity: 0.6014493 Arg of perigee: 132.9243 deg Mean anomaly: 298.0909 deg Mean motion: 2.06477387 rev/day Decay rate: 9.0e-08 rev/day*2 Epoch rev: 7858 Checksum: 313	Satellite: AO-21 Catalog number: 21087 Epoch time: 93338.5306287 Element set: 373 Inclination: 82.9439 deg RA of node: 286.7581 deg Eccentricity: 0.0039930 Arg of perigee: 267.3519 deg Mean anomaly: 92.3725 deg Mean motion: 13.74529222 rev/day Decay rate: 8.4e-07 rev/day*2 Epoch rev: 14284 Checksum: 327	Satellite: AO-22 Catalog number: 21575 Epoch time: 93339.62142588 Element set: 416 Inclination: 98.4556 deg RA of node: 324.808 deg Eccentricity: 0.0036057 Arg of perigee: 141.089 deg Mean anomaly: 218.4692 deg Mean motion: 14.5687028 rev/day Decay rate: 1.37e-06 rev/day*2 Epoch rev: 12328 Checksum: 329	Satellite: FO-23 Catalog number: 22077 Epoch time: 93340.4170864 Element set: 313 Inclination: 66.0868 deg RA of node: 323.5901 deg Eccentricity: 0.0024317 Arg of perigee: 335.5125 deg Mean anomaly: 24.5569 deg Mean motion: 12.8628202 rev/day Decay rate: 0.0000000 rev/day*2 Epoch rev: 6199 Checksum: 281	Satellite: FO-26 Catalog number: 22826 Epoch time: 93340.21182841 Element set: 216 Inclination: 98.6747 deg RA of node: 52.7873 deg Eccentricity: 0.0010063 Arg of perigee: 55.9737 deg Mean anomaly: 304.2402 deg Mean motion: 14.27696330 rev/day Decay rate: 8.9e-07 rev/day*2 Epoch rev: 1015 Checksum: 288	Satellite: MIP Catalog number: 16609 Epoch time: 93343.56114036 Element set: 716 Inclination: 34.180 deg RA of node: 59.4213 deg Eccentricity: 0.0025383 Arg of perigee: 14.5508 deg Mean anomaly: 285.6216 deg Mean motion: 15.58960993 rev/day Decay rate: 1.905e-04 rev/day*2 Epoch rev: 44445 Checksum: 291
Satellite: AO-10 Catalog number: 14129 Epoch time: 93329.34450477 Element set: 213 Inclination: 27.1217 deg RA of node: 354.5434 deg Eccentricity: 0.6014493 Arg of perigee: 132.9243 deg Mean anomaly: 298.0909 deg Mean motion: 2.06477387 rev/day Decay rate: 9.0e-08 rev/day*2 Epoch rev: 7858 Checksum: 313	Satellite: AO-21 Catalog number: 21087 Epoch time: 93338.5306287 Element set: 373 Inclination: 82.9439 deg RA of node: 286.7581 deg Eccentricity: 0.0039930 Arg of perigee: 267.3519 deg Mean anomaly: 92.3725 deg Mean motion: 13.74529222 rev/day Decay rate: 8.4e-07 rev/day*2 Epoch rev: 14284 Checksum: 327	Satellite: AO-22 Catalog number: 21575 Epoch time: 93339.62142588 Element set: 416 Inclination: 98.4556 deg RA of node: 324.808 deg Eccentricity: 0.0036057 Arg of perigee: 141.089 deg Mean anomaly: 218.4692 deg Mean motion: 14.5687028 rev/day Decay rate: 1.37e-06 rev/day*2 Epoch rev: 12328 Checksum: 329	Satellite: FO-23 Catalog number: 22077 Epoch time: 93340.4170864 Element set: 313 Inclination: 66.0868 deg RA of node: 323.5901 deg Eccentricity: 0.0024317 Arg of perigee: 335.5125 deg Mean anomaly: 24.5569 deg Mean motion: 12.8628202 rev/day Decay rate: 0.0000000 rev/day*2 Epoch rev: 6199 Checksum: 281	Satellite: FO-26 Catalog number: 22826 Epoch time: 93340.21182841 Element set: 216 Inclination: 98.6747 deg RA of node: 52.7873 deg Eccentricity: 0.0010063 Arg of perigee: 55.9737 deg Mean anomaly: 304.2402 deg Mean motion: 14.27696330 rev/day Decay rate: 8.9e-07 rev/day*2 Epoch rev: 1015 Checksum: 288	Satellite: MIP Catalog number: 16609 Epoch time: 93343.56114036 Element set: 716 Inclination: 34.180 deg RA of node: 59.4213 deg Eccentricity: 0.0025383 Arg of perigee: 14.5508 deg Mean anomaly: 285.6216 deg Mean motion: 15.58960993 rev/day Decay rate: 1.905e-04 rev/day*2 Epoch rev: 44445 Checksum: 291

SATELLITE ORBITAL ELEMENTS

December 29, 1993

Satellite: AO-10 Catalog number: 14129 Epoch time: 93329.34450477 Element set: 213 Inclination: 27.1217 deg RA of node: 354.5434 deg Eccentricity: 0.6014493 Arg of perigee: 132.9243 deg Mean anomaly: 298.0909 deg Mean motion: 2.06477387 rev/day Decay rate: 9.0e-08 rev/day*2 Epoch rev: 7858 Checksum: 313	Satellite: AO-21 Catalog number: 21087 Epoch time: 93357.16575150 Element set: 399 Inclination: 82.9469 deg RA of node: 272.9683 deg Eccentricity: 0.0039939 Arg of perigee: 213.7225 deg Mean anomaly: 146.1744 deg Mean motion: 13.74530786 rev/day Decay rate: 9.4e-07 rev/day*2 Epoch rev: 14540 Checksum: 331	Satellite: FO-23 Catalog number: 22077 Epoch time: 93353.94500435 Element set: 337 Inclination: 66.0868 deg RA of node: 295.2665 deg Eccentricity: 0.0026949 Arg of perigee: 331.1179 deg Mean anomaly: 28.9453 deg Mean motion: 12.86282320 rev/day Decay rate: -3.7e-07 rev/day*2 Epoch rev: 6373 Checksum: 325	Satellite: FO-26 Catalog number: 22826 Epoch time: 93353.94801570 Element set: 240 Inclination: 98.6737 deg RA of node: 66.4193 deg Eccentricity: 0.0009857 Arg of perigee: 18.2897 deg Mean anomaly: 341.8607 deg Mean motion: 14.27698719 rev/day Decay rate: 2.1e-07 rev/day*2 Epoch rev: 1211 Checksum: 328	Satellite: MIP Catalog number: 16609 Epoch time: 93356.89342327 Element set: 62 Inclination: 35.6187 deg RA of node: 551.4352 deg Eccentricity: 0.0005780 Arg of perigee: 118.8381 deg Mean anomaly: 241.3181 deg Mean motion: 15.59223375 rev/day Decay rate: 1.270e-04 rev/day*2 Epoch rev: 44654 Checksum: 310	Satellite: AO-16 Catalog number: 20439 Epoch time: 93353.72330553 Element set: 716 Inclination: 34.110 deg RA of node: 59.6982 deg Eccentricity: 0.0011736 Arg of perigee: 2.7801 deg Mean anomaly: 357.3445 deg Mean motion: 14.29667859 rev/day Decay rate: 6.6e-07 rev/day*2 Epoch rev: 20395 Checksum: 313
Satellite: AO-10 Catalog number: 14129 Epoch time: 93329.34450477 Element set: 213 Inclination: 27.1217 deg RA of node: 354.5434 deg Eccentricity: 0.6014493 Arg of perigee: 132.9243 deg Mean anomaly: 298.0909 deg Mean motion: 2.06477387 rev/day Decay rate: 9.0e-08 rev/day*2 Epoch rev: 7858 Checksum: 313	Satellite: AO-21 Catalog number: 21087 Epoch time: 93357.16575150 Element set: 399 Inclination: 82.9469 deg RA of node: 272.9683 deg Eccentricity: 0.0039939 Arg of perigee: 213.7225 deg Mean anomaly: 146.1744 deg Mean motion: 13.74530786 rev/day Decay rate: 9.4e-07 rev/day*2 Epoch rev: 14540 Checksum: 331	Satellite: FO-23 Catalog number: 22077 Epoch time: 93353.94500435 Element set: 337 Inclination: 66.0868 deg RA of node: 295.2665 deg Eccentricity: 0.0026949 Arg of perigee: 331.1179 deg Mean anomaly: 28.9453 deg Mean motion: 12.86282320 rev/day Decay rate: -3.7e-07 rev/day*2 Epoch rev: 6373 Checksum: 325	Satellite: FO-26 Catalog number: 22826 Epoch time: 93353.94801570 Element set: 240 Inclination: 98.6737 deg RA of node: 66.4193 deg Eccentricity: 0.0009857 Arg of perigee: 18.2897 deg Mean anomaly: 341.8607 deg Mean motion: 14.27698719 rev/day Decay rate: 2.1e-07 rev/day*2 Epoch rev: 1211 Checksum: 328	Satellite: MIP Catalog number: 16609 Epoch time: 93356.89342327 Element set: 62 Inclination: 35.6187 deg RA of node: 551.4352 deg Eccentricity: 0.0005780 Arg of perigee: 118.8381 deg Mean anomaly: 241.3181 deg Mean motion: 15.59223375 rev/day Decay rate: 1.270e-04 rev/day*2 Epoch rev: 44654 Checksum: 310	Satellite: AO-16 Catalog number: 20439 Epoch time: 93353.72330553 Element set: 716 Inclination: 34.110 deg RA of node: 59.6982 deg Eccentricity: 0.0011736 Arg of perigee: 2.7801 deg Mean anomaly: 357.3445 deg Mean motion: 14.29667859 rev/day Decay rate: 6.6e-07 rev/day*2 Epoch rev: 20395 Checksum: 313

제 3 장 우리별 1호 위성의 도플러 편이 관측

제 1 절 위성 주파수의 도플러 편이

1. 위성의 추적 자료

우리별 1호 주파수의 도플러 변화를 관측하기 위해서 1993년 8월 1일 03시 29분부터 03시 45분(한국시간) 까지 연세대학교 과학관 6층에서 주파수 변화를 측정하였다.

프로그램 추적을 위해 사용된 궤도요소는 다음과 같다.

기산점 시각 : 1993년 7월 4.38088294일 U.T.

궤도 경사각 : 66.0765°

승교점 적경 : 288.1820°

이심률 : 0.0003939

근지점 인수 : 181.8255°

평균근점이각 : 178.2750°

평균 운동 : 12.86279208 rev/day

궤도감쇄속도 : $0.00000000 \text{ rev/day}^2$

발사후 지구를 공전한 횟수 : 4205

그림 1은 방위각 -13.2° 부터 89.9° 까지, 고도각은 5.4° 부터 17.0° 까지 움직인 위성의 궤적을

20초 간격으로 도시한 것이다. 높은 고도각에서 위성의 빠른 움직임을 볼 수 있다.

그림 2는 8월 1일 03시 29분부터 03시 43분(한국시간) 사이의 위성지상국과 위성과의 시선

거리를 보이고 있다. 가장 가깝게 접근할 때는 2842 km이고 위성 궤적은 20초 간격으로 표

시하였다.

그림 3은 그림 2와 같은 시간에 시선속도가 -3.85 km/s에서 $+3.82$ km/s까지 변화량을 보

이고 있다.

Time interval = 20 sec

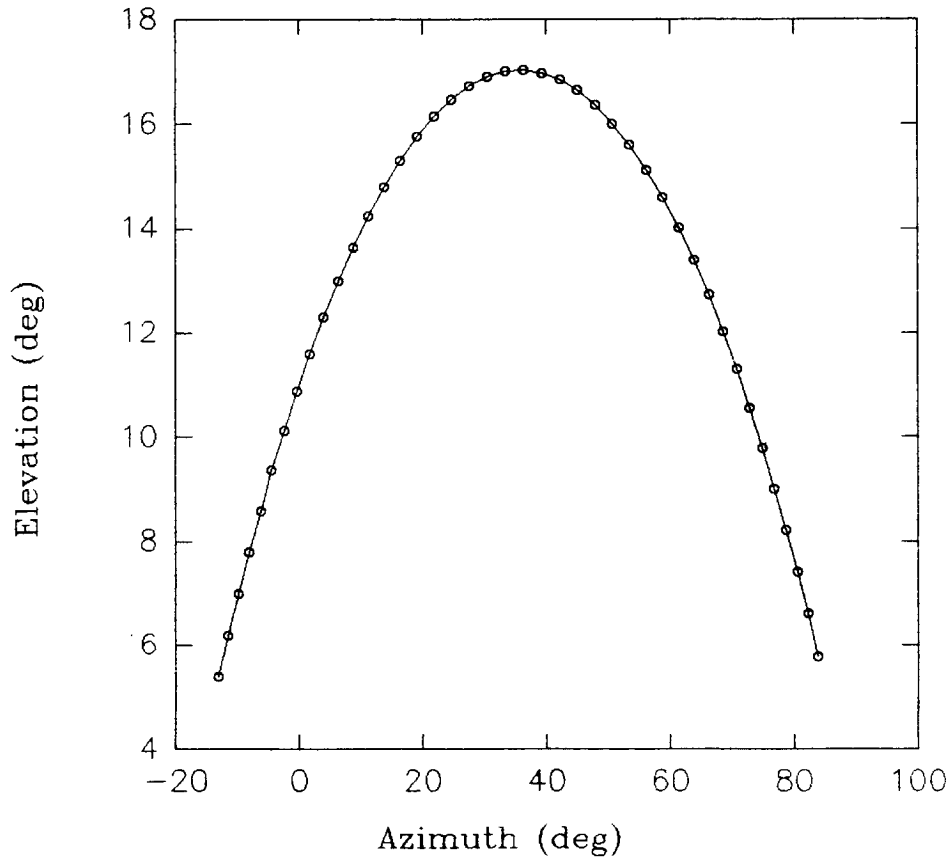


그림 1. 방위각과 고도각에 대한 우리별 1호의 궤적 (궤적의 시간 간격은 20초)

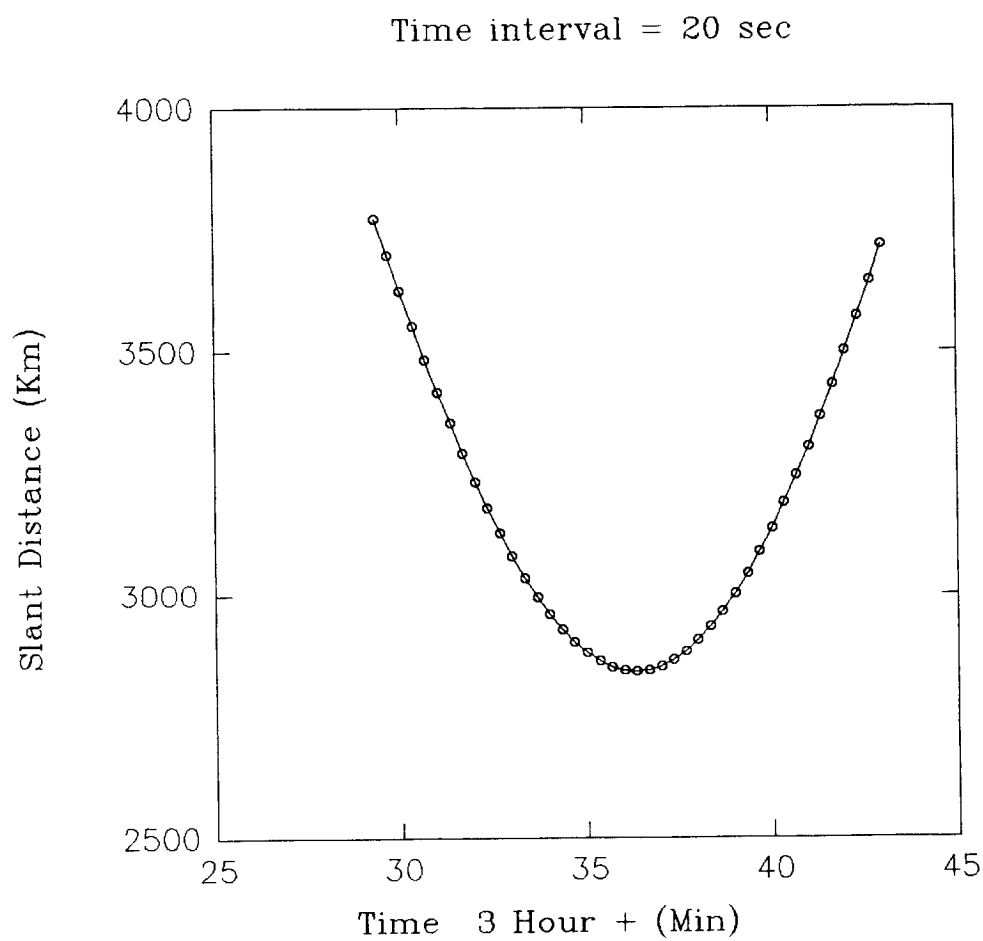


그림 2. 1993년 8월 1일 03시 29분 ~ 03시 43분(한국시간)동안 우리별 1호의 시선거리 변화

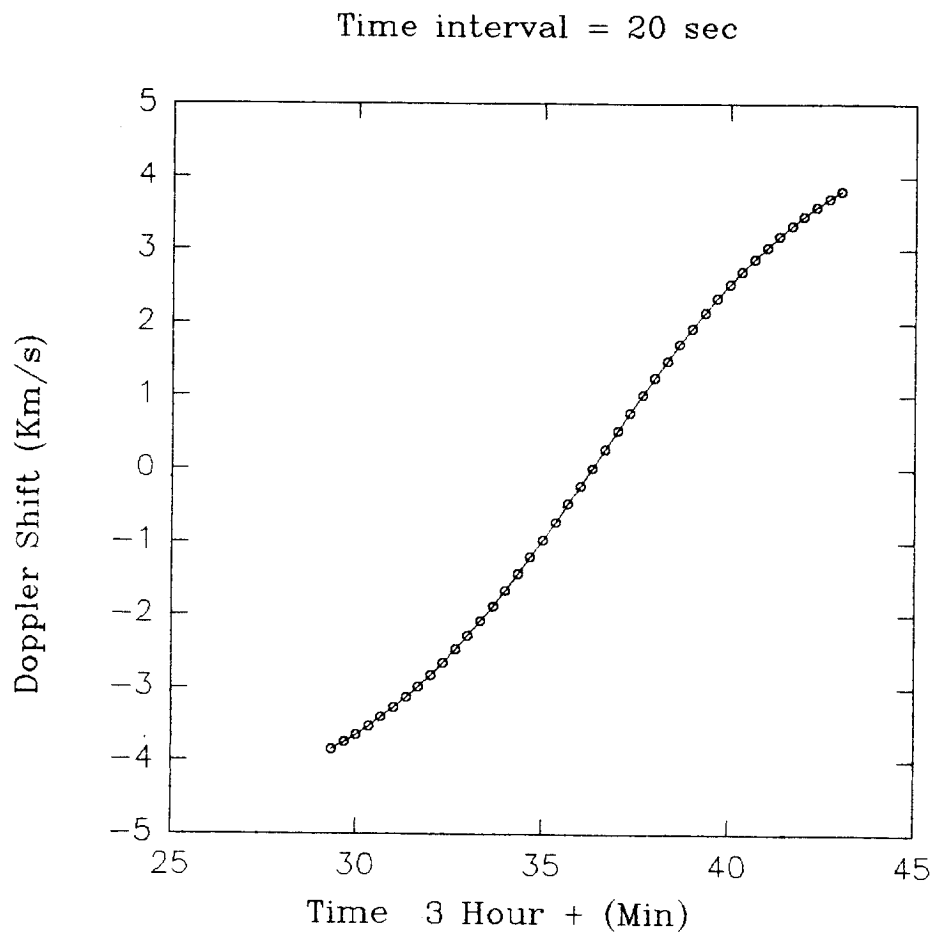


그림 3. 그림 2와 같은 시각에 우리별 1호의
도플러 편이 변화.

2. 위성 주파수의 도플러 편이

그림 4는 연세대 과학관 옥상에서 직접 잡은 위성의 송신 주파수 값인데, 수신기의 주파수 다이알을 돌리면서 가장 최적 조건일때의 디지털 수신 주파수를 직접 읽었기 때문에 주파수의 변화량이 매끄러운 곡선이 아니고, zigzag한 모양을 보이고 있다. 수동으로 읽은 주파수 변화량은 435180.0 kHz에서 435167.2 kHz까지의 변화량을 보이지만 frequency counter로 자동으로 주파수를 읽게 되면 매끄러운 곡선을 얻을 수 있게 된다.

그림 5에서는 수동으로 관측된 주파수 변화량(o로 표시)을 이론적으로 얻은 주파수 변화량(실선으로 표시)과 비교하여 볼 수 있는데 엉성하지만 수동으로 주파수 변화량을 얻을 수 있다는 것을 보이고 있다.

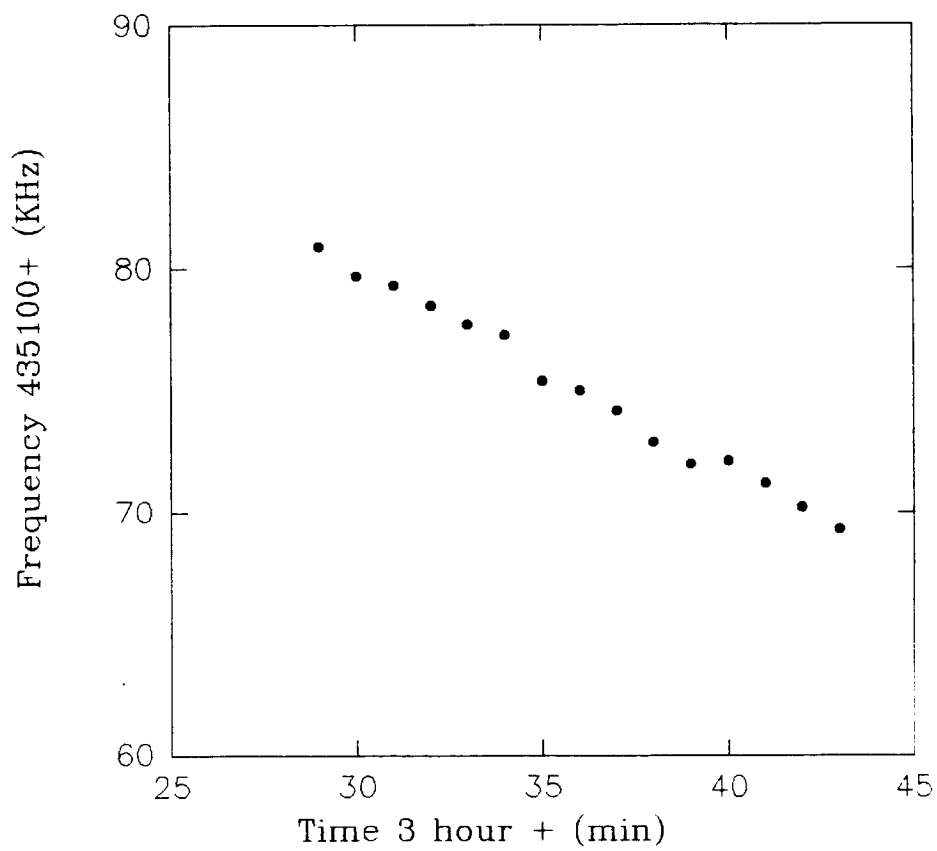


그림 4. 그림 2와 같은 시각에 수동으로
직접 관측한 우리별 1호의 주파수

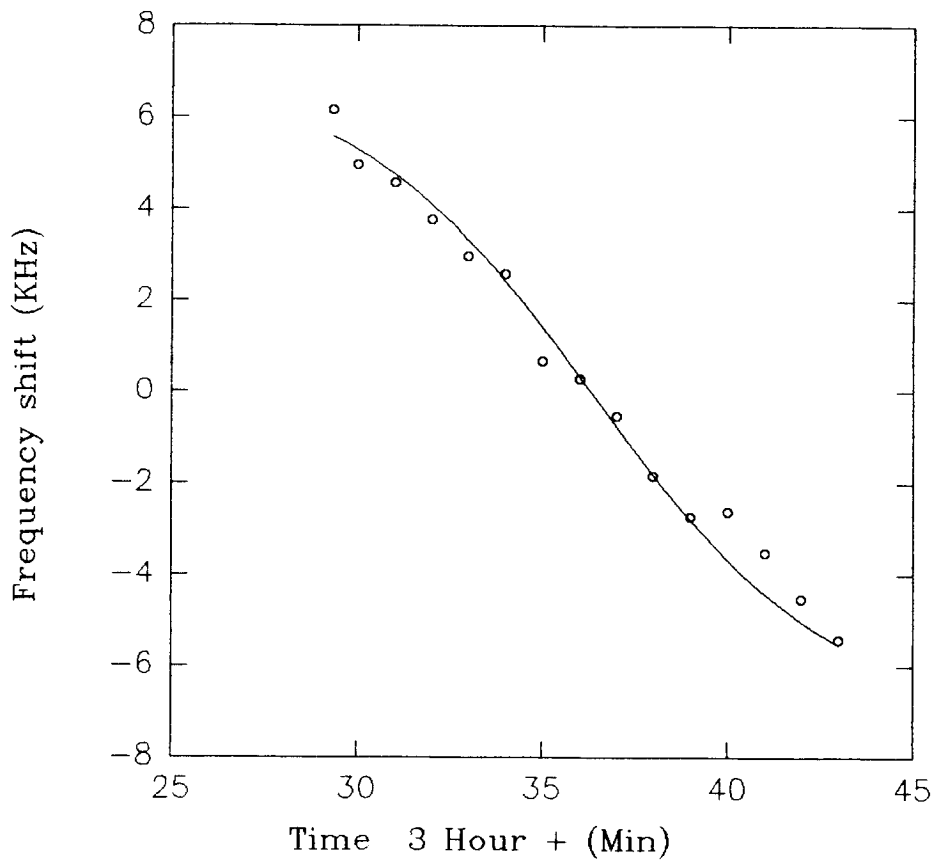


그림 5. 수동으로 직접 관측한 주파수(o표)
와 컴퓨터 모의실험으로 얻은 주파수(실선)
와의 비교

제 2 절 궤도 요소의 변화에 따른 주파수의 도플러 편이

그림 6부터 그림 11까지는 궤도 요소의 변화가 주파수의 도플러 편이에 미치는 영향을 살펴보기 위해 컴퓨터 모의실험은 한 예이다.

즉, 궤도 장반경은 $\pm 1\%$, 이심률은 ± 0.01 , 궤도 경사각은 $\pm 2^\circ$, 근지점 인수는 $\pm 5^\circ$, 승교점 적경은 $\pm 5^\circ$, 기산점 시각은 $\pm 5^\circ$ 분의 변화를 주었을 때의 도플러 편이 변화를 보여주는데, 이 정도의 궤도 요소값의 오차로는 충분히 미분보정으로 궤도추적을 할 수 있지만, 이 변화량 이상의 궤도 요소의 값을 초기치로 주었을 때는 위성추적이 불가능함을 알 수 있다.

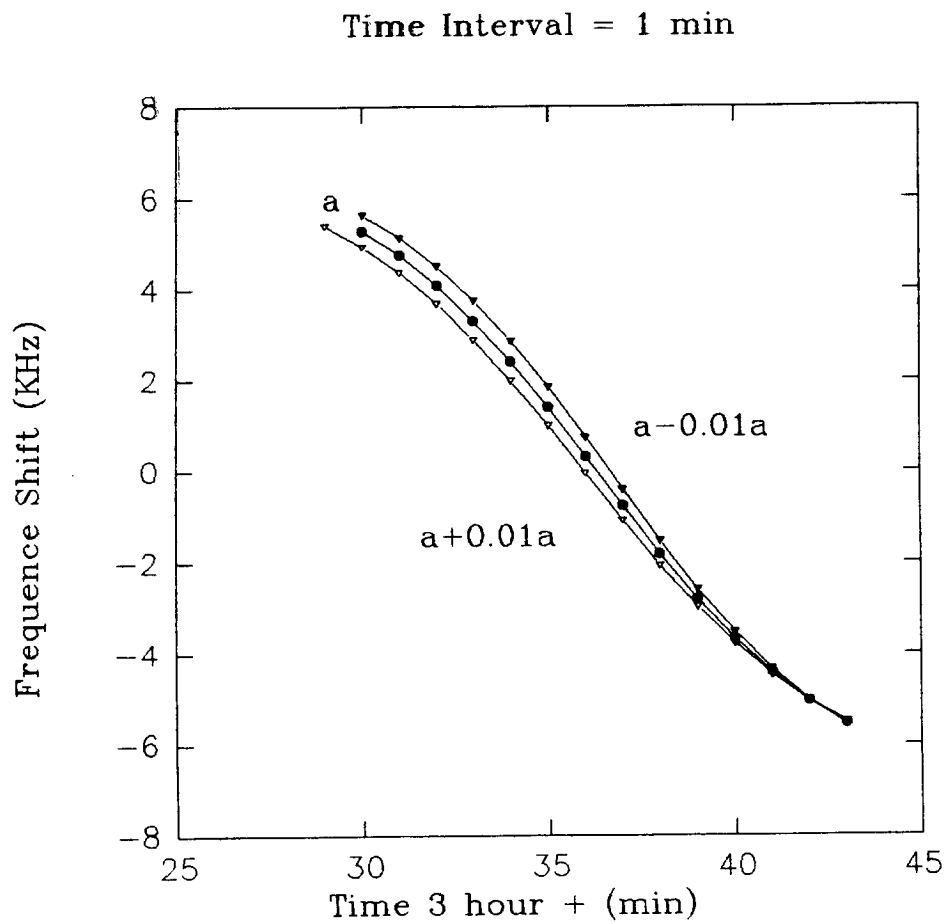


그림 6. 우리별 1호의 궤도 장반경 변화에
따른 주파수 변화(1993년 8월 1일
한국시간)

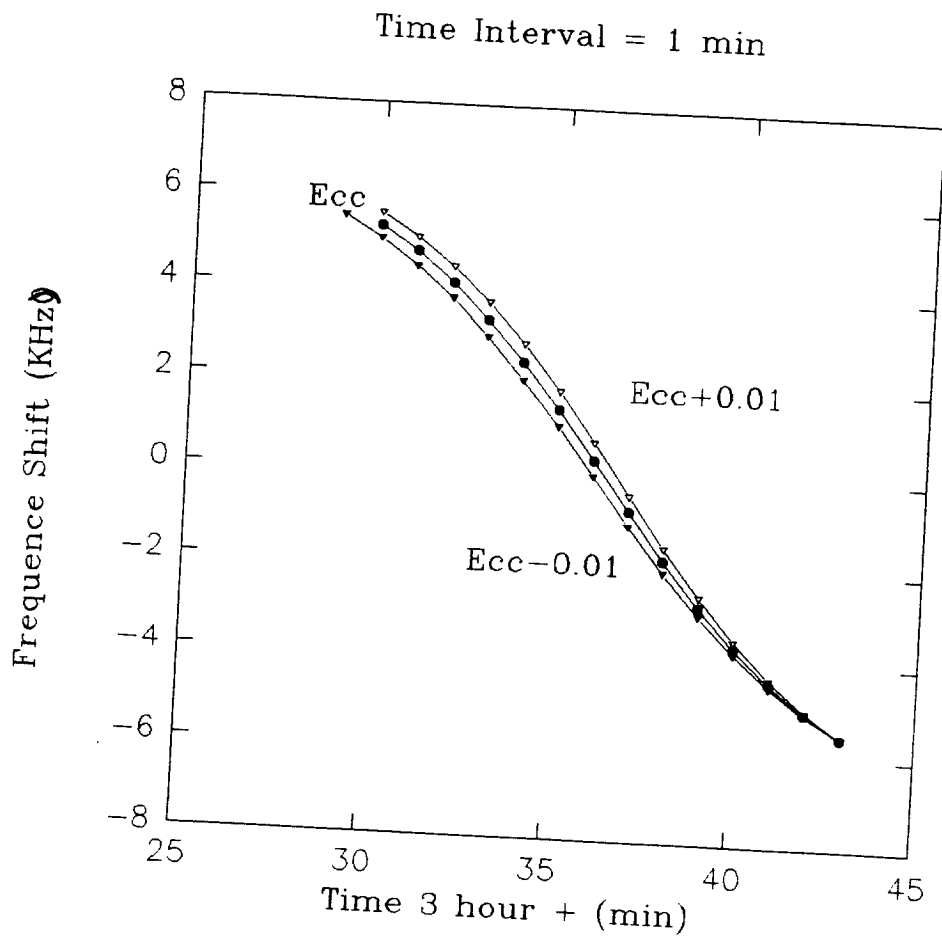


그림 7. 우리별 1호의 궤도 이심률 변화에 따른 주파수 변화 (1993년 8월 1일 한국시간)

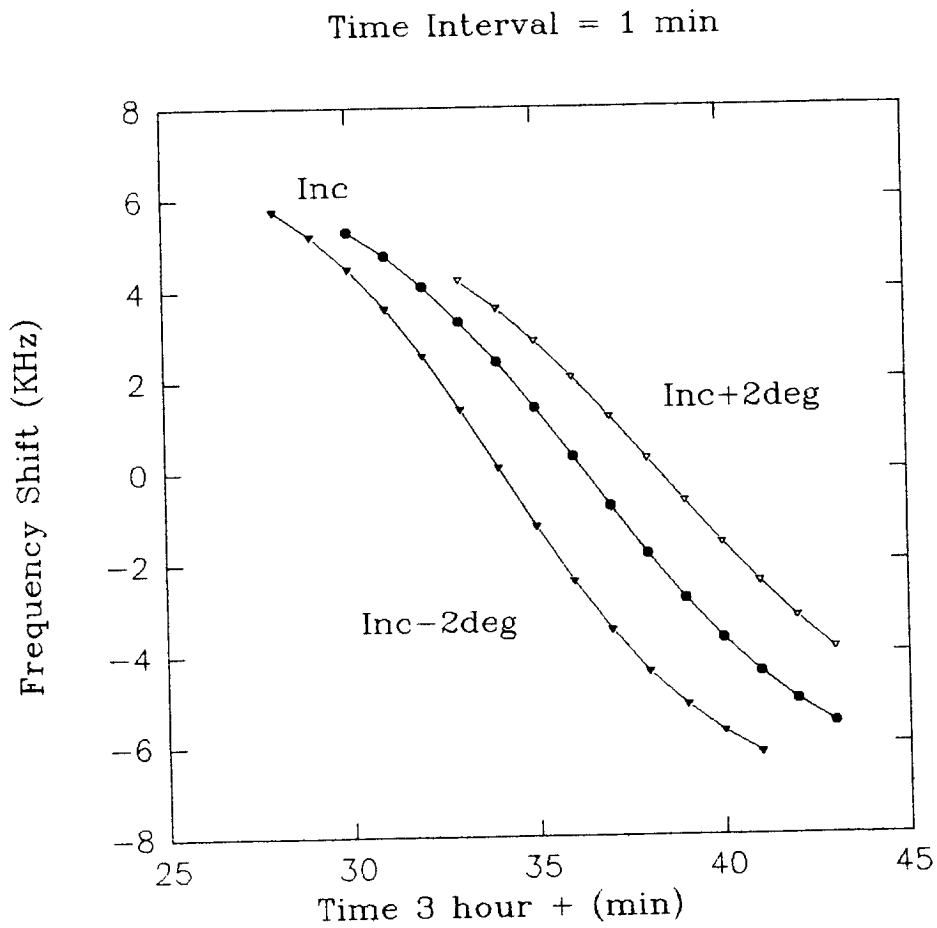


그림 8. 우리별 1호의 궤도 경사각 변화에
따른 주파수 변화 (1993년 8월 1일
한국시간)

Time Interval = 1 min

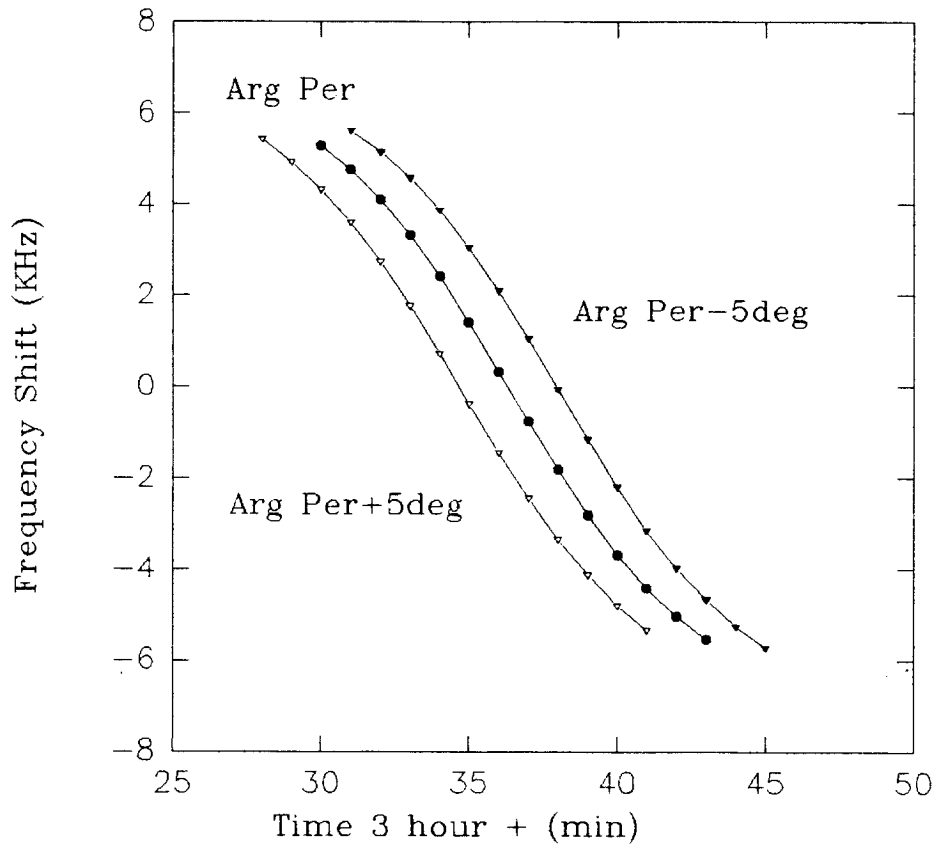


그림 9. 우리별 1호의 근지점 인수 변화에
따른 주파수 변화 (1993년 8월 1일
한국시간)

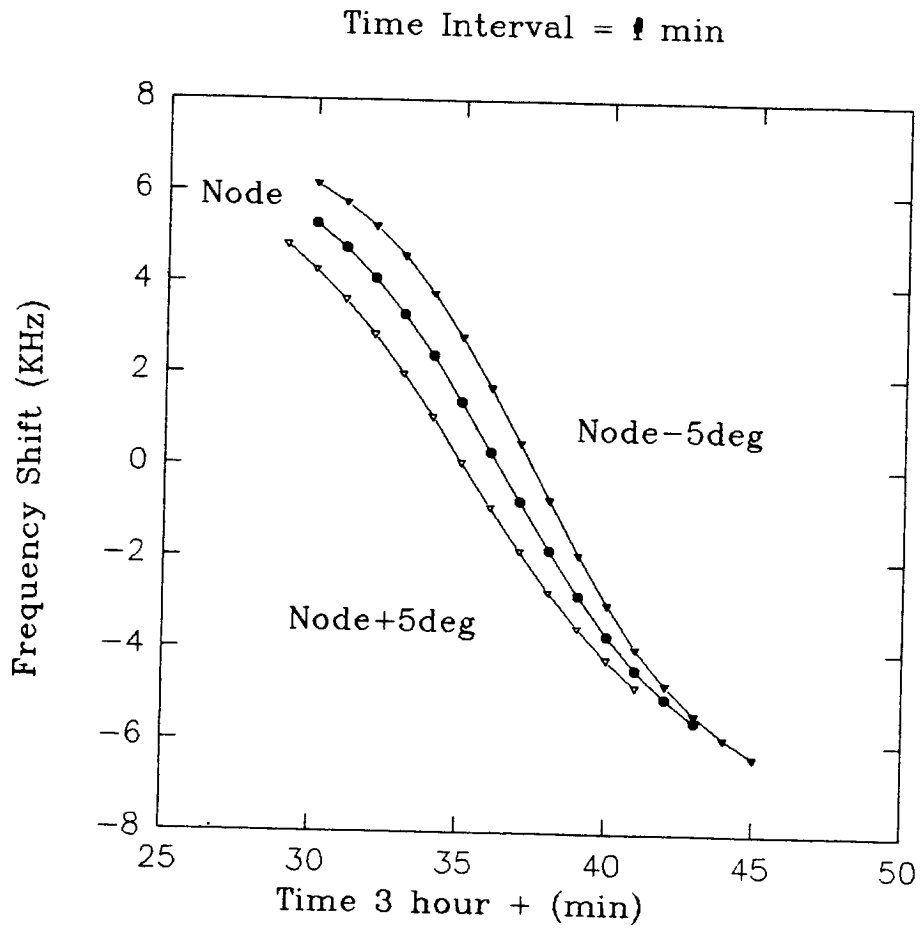


그림 10. 우리별 1호의 승교점 적경 변화에
따른 주파수 변화 (1993년 8월 1일
한국시간)

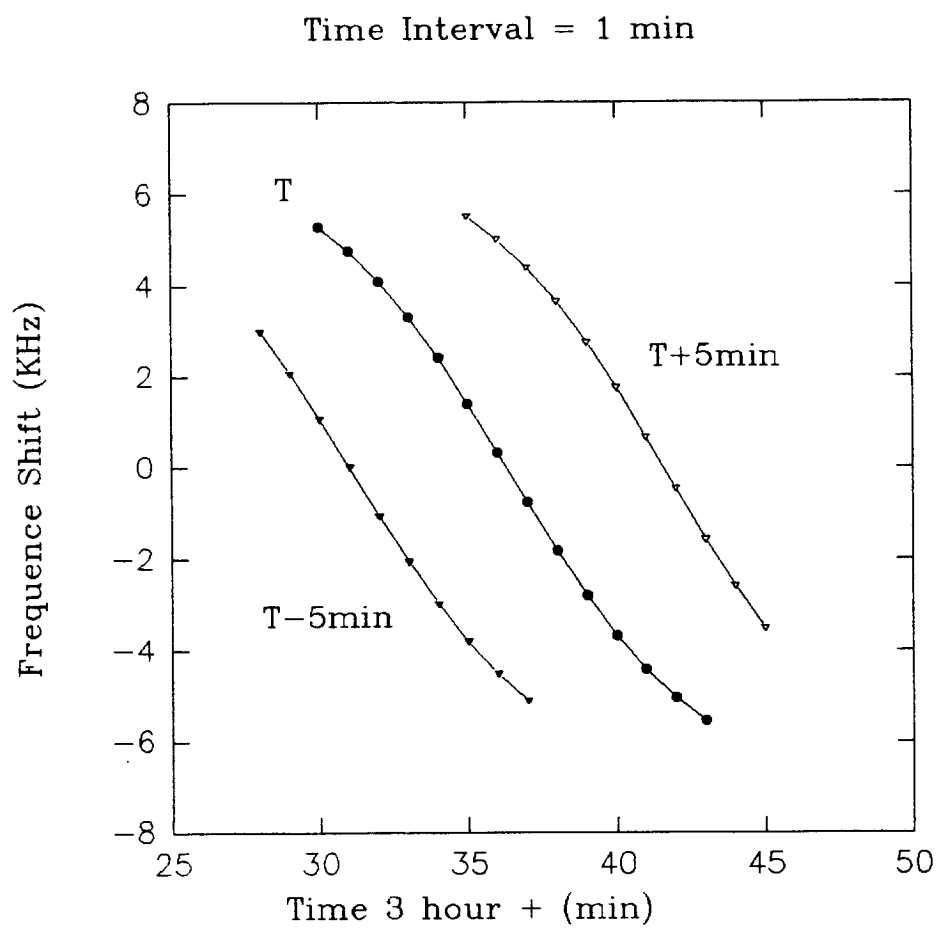


그림 11. 우리별 1호의 기산점 시각 변화에
따른 주파수 변화 (1993년 8월 1일
한국시간)

제 4 장 기상위성 NOAA-11호의 Doppler편이 관측

제 1 절 기상위성 NOAA-11호의 추적 자료

기상위성 NOAA-11호 주파수의 도플러 변화를 관측하기 위해서 1993년 10월 20일 16시

16분에서 16시 30분(한국 시간)사이엔 전파연구소의 직경 5m 추적 안테나를 사용하여 주파

수 변화를 측정하였다. 프로그램 추적을 위해 사용된 궤도요소는 다음과 같다.

기산점 시각 : 1993년 10월 17.89200958일 U.T.

궤도 경사각 : 99.1481°

승교점 적경 : 269.2092°

이심률 : 0.00112760

근지점 인수 : 92.8710°

평균근점이각 : 267.3840°

평균 운동 : 14.12923624 rev/day

궤도감쇄속도 : 1.8×10^{-6} rev/day²

발사후 지구를 공전한 횟수 : 26100

그림 12는 방위각 180° 부터 330° 까지, 고도각은 10° 부터 50° 까지 움직인 위성의 궤적을 10초 간격으로 도시한 것이다. 높은 고도각에서 위성의 빠른 움직임을 볼 수 있다.

그림 13은 10월 20일 16시 16분부터 16시 30분(한국 시간)사이의 전파연구소 직경 5m 추적 안테나와 위성과의 시선거리를 보이고 있다. 가장 가깝게 접근할 때는 1200km이고 위성 궤적은 10초 간격으로 표시하였다.

그림 14는 그림 13과 같은 시간에 시선속도가 -6.4km/s 에서 $+6.50\text{km/s}$ 까지의 변화량을 보이고 있다.

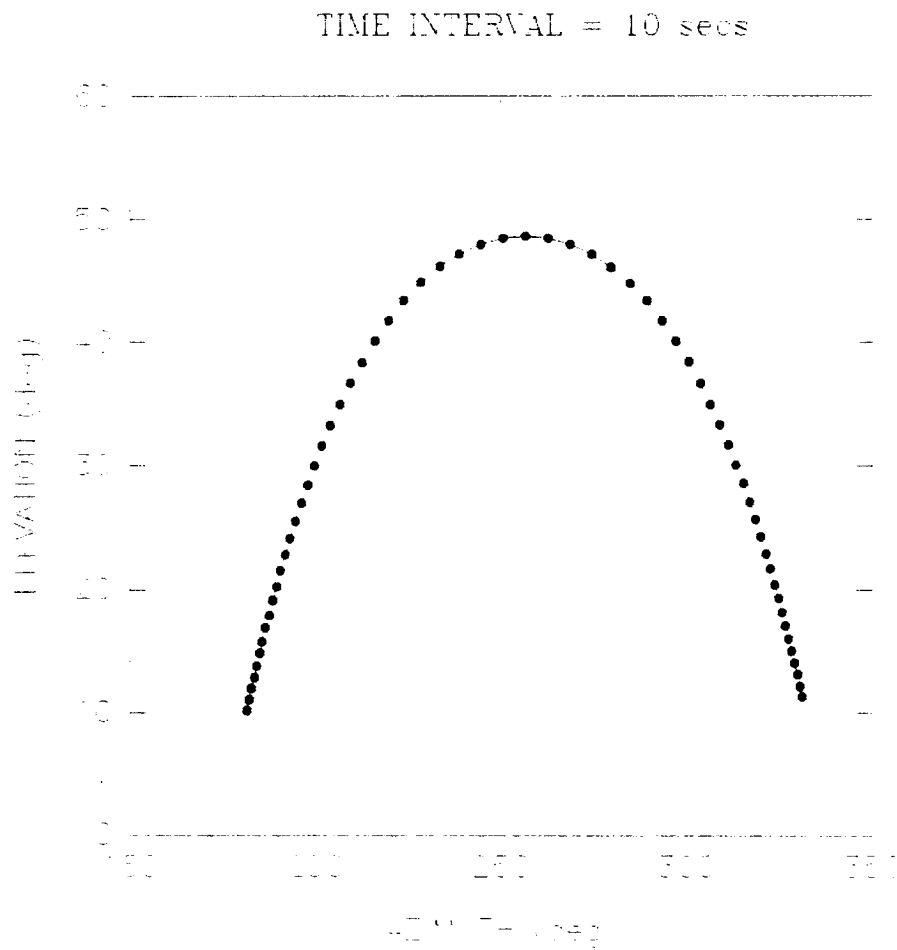


그림 12. 1993년 10월 20일 16시 16분에서
16시 30분(한국시간)까지 방위각과
고도각에 대한 기상위성 NOAA-11호의
궤적(시간간격 10초)

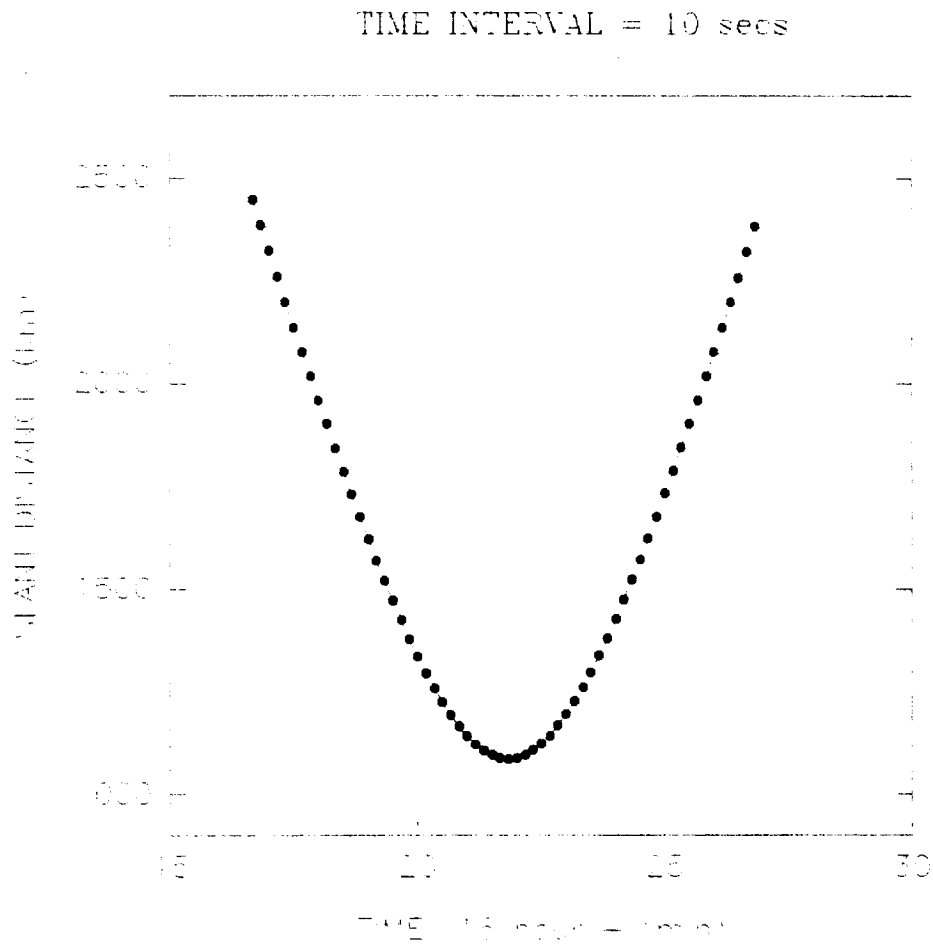


그림 13. 그림 12와 같은 시각에 기상위성
NOAA-11호의 시선거리 변화

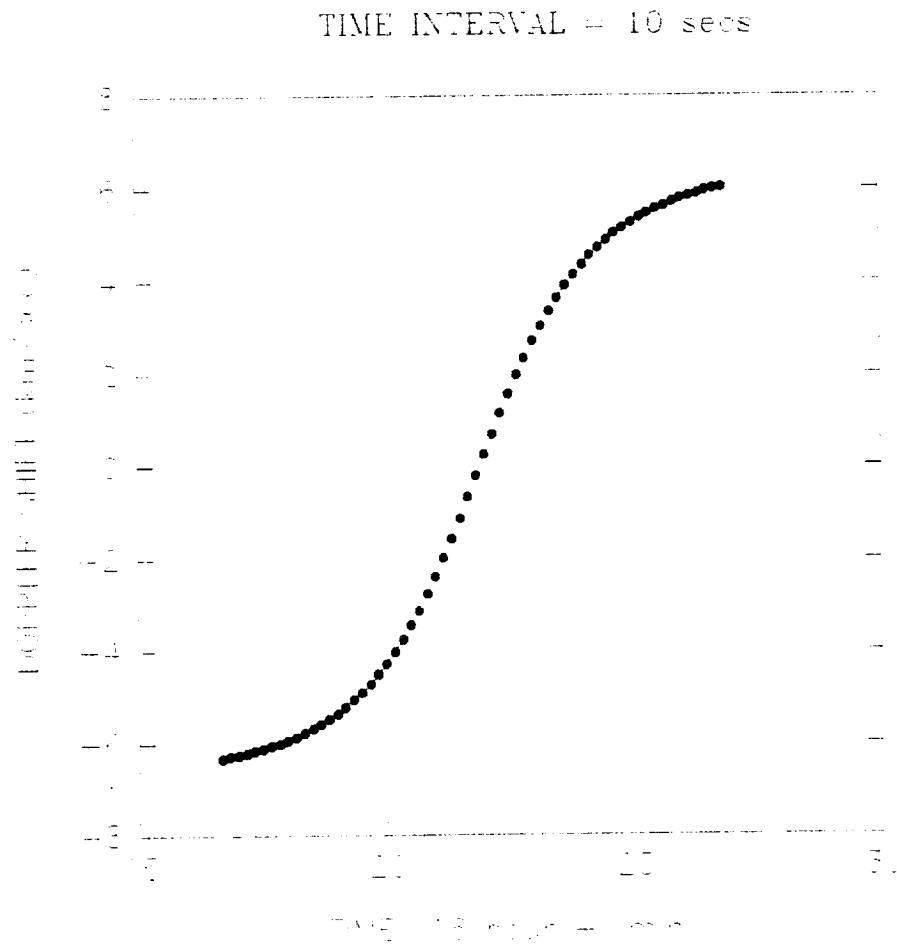


그림 14. 그림 12와 같은 시각에 기상위성
NOAA-11호의 도플러 편이 변화

제 2 절 위성 주파수의 도플러 변이

표 2는 전파연구소의 직경 5m 추적 안테나로부터 기상위성 NOAA 11호의 송신을 수신한 주파수중 중간 주파수인데 70.061MHz - 69.983MHz의 값을 가지고 있다.

주파수 카운터로 읽었지만 noise를 포함한 관측자료가 있어서, 예정된 값에 크게 벗어난 자료는 제외시켰다.

기상위성 NOAA-11호는 1687.1MHz의 VISSR신호를 보내는데 추적안테나로 수신된 신호는 Down Converter로 70MHz로 낮추어 주파수 카운터로 읽게 된다. 표 2는 NOAA-11호 위성의 추적자료의 Raw Data이고, Column 1-4는 관측 시간을 나타내고 Column 6-7은 관측된 수신 주파수를 나타낸다.

미분보정법 S/W에서는 Column 4와 Column 6-7을 읽어 계산하게 된다.

표 2. 위성추적자료의 Raw Data

20 Oct 1993 16:16:45	-91.20	70.061	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:16:50	-92.10	70.061	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:16:55	-90.80	70.061	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:01	-91.10	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:06	-91.20	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:11	-90.60	70.061	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:16	-91.80	70.062	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:22	-90.80	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:27	-90.30	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:32	-92.00	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:38	-90.20	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:43	-90.70	70.061	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:48	-90.00	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:53	-90.10	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:17:58	-90.70	70.061	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:04	-90.60	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:09	-89.50	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:14	-88.50	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:20	-90.20	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:25	-89.70	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:30	-88.90	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:35	-89.10	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:41	-88.70	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:46	-89.10	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:51	-89.50	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:18:56	-88.50	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:02	-88.80	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:07	-88.90	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:12	-90.10	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:17	-89.40	70.060	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:23	-88.50	70.058	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:28	-87.90	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:33	-89.50	70.059	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:39	-88.80	70.058	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:44	-89.40	70.057	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:49	-88.60	70.057	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:19:54	-89.00	70.057	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:00	-87.90	70.058	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:05	-87.00	70.057	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:10	-88.60	70.057	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:16	-87.10	70.057	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:21	-89.30	70.055	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:26	-88.80	70.055	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:32	-87.50	70.056	69.900	70.100	3.000	3.000	.100

20 Oct 1993 16:20:37	-86.10	70.055	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:42	-86.20	70.055	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:47	-86.50	70.054	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:53	-86.80	70.054	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:20:58	-85.90	70.053	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:03	-86.80	70.053	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:09	-87.20	70.052	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:14	-87.10	70.052	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:19	-87.50	70.051	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:25	-87.90	70.051	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:30	-90.10	70.050	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:35	-90.10	70.049	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:40	-90.80	70.048	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:46	-90.20	70.047	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:51	-91.10	70.048	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:21:56	-90.10	70.047	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:01	-89.40	70.045	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:07	-90.80	70.044	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:12	-90.70	70.043	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:17	-89.90	70.042	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:23	-88.70	70.041	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:28	-90.90	70.040	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:33	-90.80	70.038	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:38	-92.60	70.035	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:43	-93.90	70.036	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:49	-91.80	70.035	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:54	-93.20	70.032	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:22:59	-88.00	70.030	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:05	-94.00	70.028	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:10	-84.50	70.028	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:15	-93.70	70.028	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:20	-79.60	70.024	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:25	-77.50	70.022	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:31	-85.50	70.020	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:36	-84.20	70.018	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:41	-89.00	70.016	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:46	-88.20	70.014	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:52	-89.40	70.015	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:23:57	-91.80	70.013	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:02	-92.10	70.011	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:08	-89.20	70.009	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:13	-87.30	70.008	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:18	-88.10	70.007	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:23	-90.10	70.005	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:29	-93.30	70.004	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:34	-91.50	70.002	69.900	70.100	3.000	3.000	.100

20 Oct 1993 16:24:39	-89.40	70.002	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:44	-94.60	70.002	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:50	-90.00	70.000	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:24:55	-90.20	69.999	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:00	-92.40	69.996	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:06	-88.10	69.996	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:11	-94.10	69.969	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:16	-94.60	70.016	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:21	-86.80	69.996	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:27	-88.60	69.994	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:32	-83.70	69.994	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:37	-87.40	69.993	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:43	-84.60	69.993	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:48	-82.50	69.992	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:53	-83.80	69.991	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:25:58	-84.90	69.991	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:04	-83.70	69.991	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:09	-84.10	69.991	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:14	-83.70	69.990	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:20	-83.80	69.989	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:25	-83.20	69.989	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:30	-84.50	69.990	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:35	-84.80	69.989	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:41	-84.80	69.989	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:46	-84.60	69.989	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:51	-86.20	69.988	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:26:57	-85.90	69.988	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:02	-85.70	69.988	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:07	-86.10	69.988	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:13	-85.30	69.988	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:18	-87.50	69.988	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:23	-87.50	69.988	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:28	-86.80	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:34	-86.70	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:39	-87.70	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:44	-87.30	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:50	-88.00	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:27:55	-87.50	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:00	-89.00	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:05	-87.70	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:11	-86.40	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:16	-86.90	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:22	-87.60	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:27	-89.30	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:32	-88.70	69.987	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:37	-88.50	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100

20 Oct 1993 16:28:43	-87.60	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:48	-87.70	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:53	-89.00	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:28:58	-88.60	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:04	-88.10	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:09	-89.40	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:14	-88.20	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:20	-89.00	69.986	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:25	-89.40	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:30	-89.00	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:36	-88.90	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:41	-89.10	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:46	-88.80	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:51	-89.10	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:29:56	-90.50	69.984	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:02	-91.20	69.985	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:07	-94.70	69.983	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:12	-94.50	70.057	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:18	-94.90	69.953	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:23	-94.40	69.936	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:28	-94.90	70.093	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:33	-94.90	69.914	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:39	-94.90	69.997	69.900	70.100	3.000	3.000	.100
20 Oct 1993 16:30:44	-94.90	70.001	69.900	70.100	3.000	3.000	.100

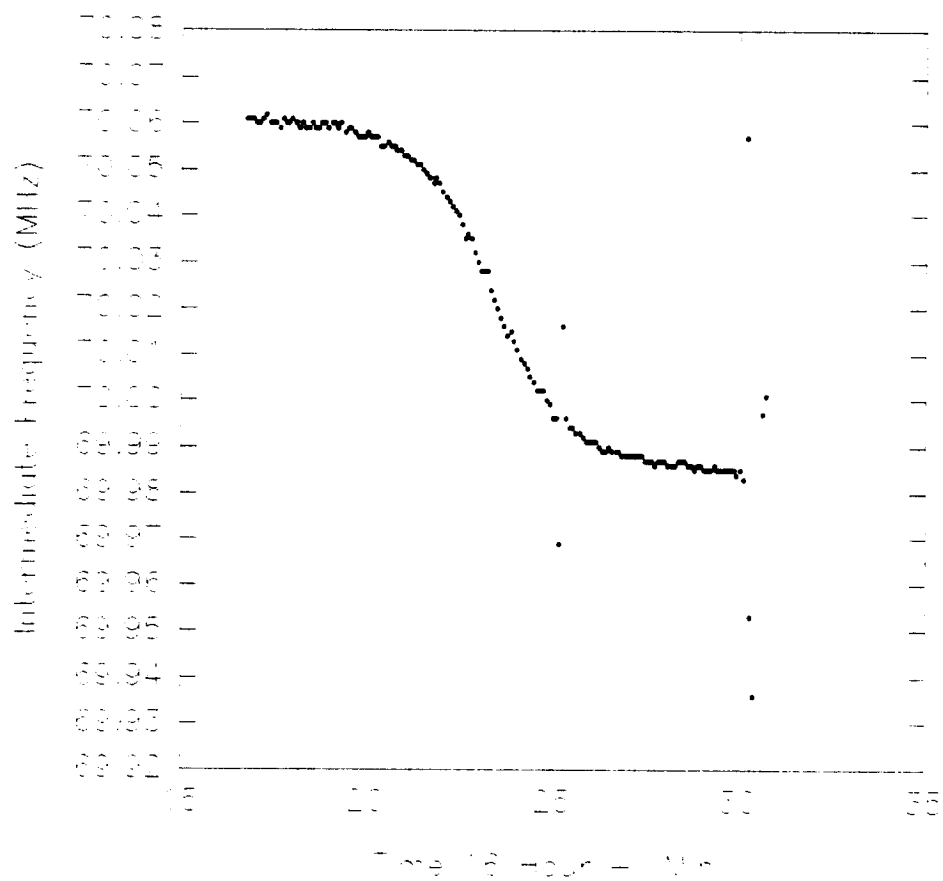


그림 15. 그림 12와 같은 시각에 직접 관측한
기상위성 NOAA-11호의 주파수 변화

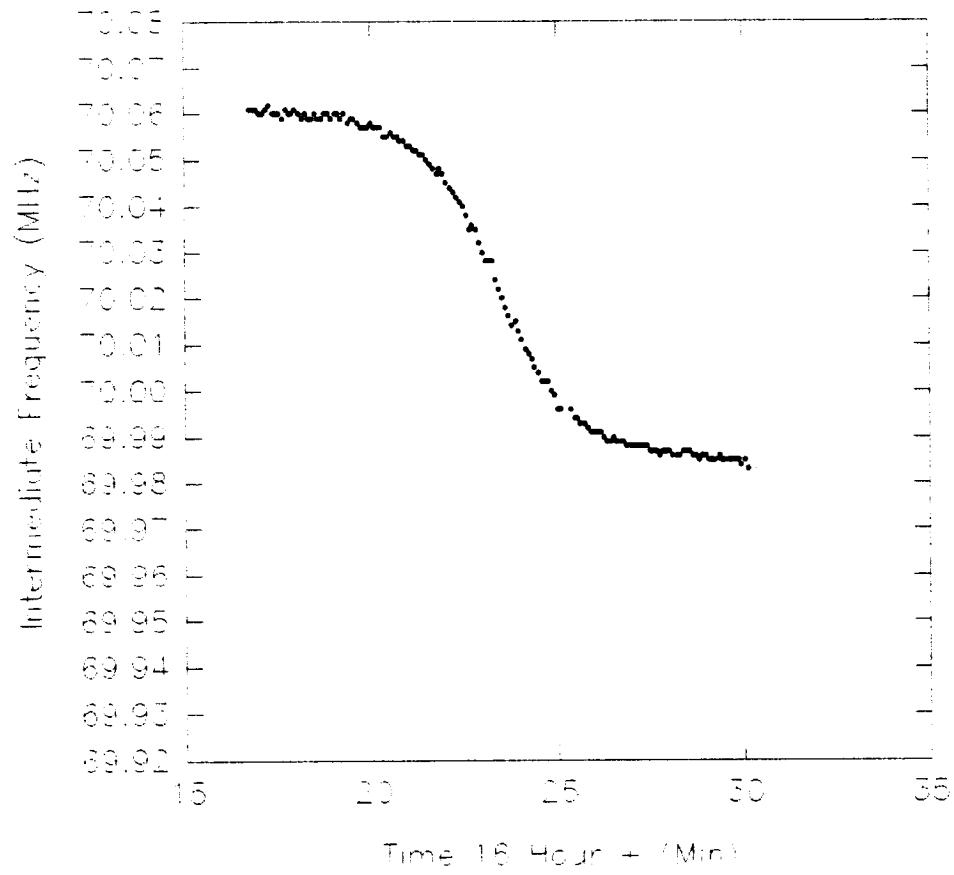


그림 16. 그림 15에서 관측치에 대한 잡음을 제거한 주파수 변화

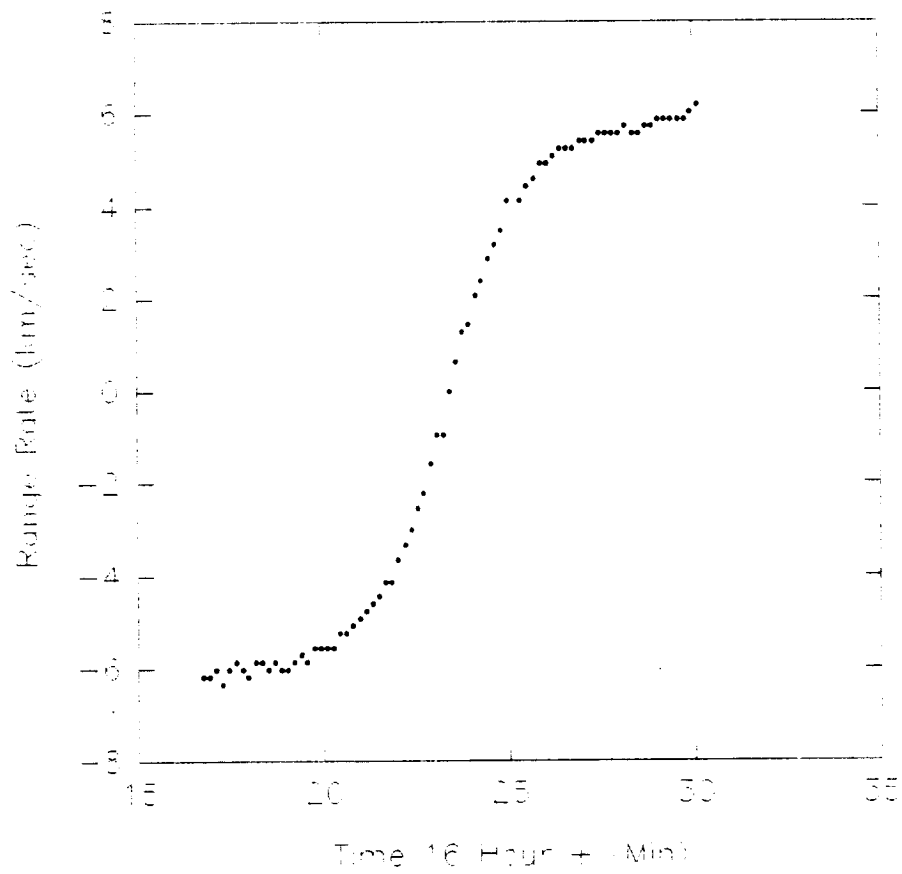


그림 17. 그림 16의 주파수 변화를 시선속도로
환산한 그림

제 5 장 미분보정에 의한 S/W에의 응용

제 1 절 미분보정법

1. Minimum Variance Method

인공위성의 현재 상태를 추정할 때 비선형 역학계를 적용하는데, 이 때 사용되는 관측치는 연속적인 관측에 의한 것이 아니라 임의오차(random error)를 포함하는 이산관측치(discrete observation)를 사용한다. 이산관측을 이용하여 비선형 운동계의 상태를 추정하는 문제는 우주 개발이 본격화되면서 위성의 궤도 결정문제와 연관되어 주목받아 왔다.

이러한 문제의 고전적 해는 비선형 운동계의 비선형방정식을 공칭해(nominal solution)에 대해 선형화한 뒤에 선형추정기법을 이용하는 것이고, 이렇게 해서 구한 해의 정확도를 알아보기 위해서 기준해와의 편차의 추정을 하게 되는데, 이 때 사용되는 방법으로는 최소자승법과 최소분산법등이 있다. (Tapley (1973), Tapley et al.(1993))

1) 상태 벡터와 상태 방정식

상태벡터(state vector)는 위성체 운동상태의 시간에 따른 변화를 정의하는데 필요한 모든 시간 종속 변수들과 위성운동을 유일하게 결정하는 상수 매개변수들이다. 예를 들어 n 차원의 상태벡터는

$$X^T = [\zeta^T : \alpha^T] \quad : \quad \zeta \text{는 변수, } \alpha \text{는 상수} \quad (1)$$

의 형태를 갖는다.

상태벡터에 기본적으로 포함되는 변수들은 위성의 관성좌표계 위치, 위성의 관성 좌표계 속도, 위성의 운동방정식을 구성하는 불확실한 매개변수가 있다. 이 보고서에서 사용한 상태 변수는 위성의 6개의 궤도요소를 이용한 $a, e \cos \omega, e \sin \omega, \Omega, i, M, T$ 이다.

상태벡터의 시간에 따른 변화를 나타내는 식이 상태방정식이다. 상태방정식의 형태는 아래와 같다.

$$\dot{X} = F(X, t) : X(t_0) = X_0 \quad (2)$$

$$\text{단,} \quad F^T(X, t) = [f^T(\zeta, \alpha, t) : 0^T] \quad (3)$$

식 (2)에 의해 역학계의 운동은 유일하게 결정된다. 이 때 해의 형태는

$$X(t) = \theta(X_0, t_0, t) \quad (4)$$

이다. 즉, 임의의 시간 t_0 에서의 위성의 상태 $X(t)$ 는 초기상태인 X_0, t_0 의 함수이다. 그

러나 실제 궤도 결정시에는 X_0 를 완벽하게 알 수 없으므로, 실제 궤도(true orbit)에 대한 실제해 $X(t)$ 는 공칭궤도(nominal orbit)에 의한 공칭해(nominal solution)와는 차이가 있다. 결국 상태방정식을 풀기 위해서는 X_0 를 가능한한 정확히 구해야 하고, X_0 를 구하기 위해서는 관측

을 해야 한다. 그러므로 오차를 포함하고 있는 관측치와 실제 상태가 어떤 관계를 갖는가를 알게 되면, 이 둘 사이의 관계를 이용하여 관측치로부터 실제 상태를 추정할 수 있다.

(2) 관측과 상태와의 관계

일반적으로 상태 벡터 $X(t)$ 는 직접 관측되지 않으므로, 궤도 결정 문제는 위성의 운동을 관측함으로써 해결할 수 있다. 위성의 궤도 결정을 위한 추적장치로 사용되는 것은 도플러 추적장치, 거리 및 거리변화율 장치 등이 있다.

관측치는 실제상태에 대한 비선형 함수라는 것과 관측치는 관측과정에서 발생하는 임의의 오차(random error)의 영향을 받는다는 것이 중요한 문제가 된다. 이 때 실제 상태와 관측치 사이에는

$$Y_i = G(X_i, t_i) + \varepsilon_i, \quad (5)$$

이 성립한다. Doppler shift data로부터는 위성과 관측자와의 시선거리 변화율(slant range rate) \dot{p} 를 구할수 있는데, 이것이 식(5)의 Y_i 에 해당하는 것이다. 시선거리 변화율과 상태벡터로 사용한 궤도요소와의 관계를 식(5)와 같은 형식으로 나타내면 아래와 같다.

(Escobal(1976))

$$\dot{p} = \dot{p}(a, e \cos \omega, e \sin \omega, \Omega, i, M, T) \quad (5-1)$$

관측의 횟수가 l 번이라면 식(5)는

$$Y_i = G(X_i, t_i) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, l \quad l \text{ 은 관측횟수} \quad (6)$$

이 된다. 즉 l 번의 이산관측을 행해서 p 개의 변수를 갖는 관측치쌍을 l 개 얻었다는 것이다.

만약 X_0 가 정확히 정의되었다면 특정시간 t_i 에서의 해는

$$X_i = f(X_0, t_0, t_i) \quad (7)$$

이다. 식(6)과 식(7)에서 알고 있는 방정식의 수는 실제 관측에 의해 구한 $l \times p(Y_i)$, 모르는 것은 구하고자 하는 상태벡터로 한 번의 관측치마다 n 개의 상태벡터가 포함되어 있으므로 모두 $l \times p$ 번의 관측에 대해서는 $l \times p \times n$ 이므로, X_0 를 구하기 위해 추가적인 조건을 도입해야 하는데, 일반적으로 관측치와 추정치 사이의 추정오차를 최소화하는 것으로 선택되며, 최소자승법이나, 최소분산법을 이용해야 하는데 이런 방법들은 사용하기 위해서는 우선 비선형 방정식을 풀어야 하는데, 비선형이기 때문에 생기는 문제를 선형화를 가정하여 해결해야 한다.

(3) 비선형문제의 선형화

실제상태 $X(t)$ 와 공칭상태 $X^*(t)$ 가 특정 시간간격 $t_0 \leq t \leq t_1$ 사이에서 충분히 근접하다면

Taylor expansion을 이용하여 공칭상태에 대한 선형화한 방정식을 구할 수 있다.

$$\dot{X} = F(X, t); \quad X(t_0) = X_0$$

$$Y_i = G(X_i, t_i) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, l$$

을 Taylor expansion시키면,

$$\begin{aligned} \dot{X} &= \dot{X}^* + \left[\frac{\partial F}{\partial X} \right]^* [X - X^*] + \dots \\ Y_i &= G(X_i^*, t_i) + \left[\frac{\partial G}{\partial X} \right] [X_i - X_i^*] + \dots + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (8)$$

이 된다. 이 때

$$\begin{aligned} x(t) &= X(t) - X^*(t); \quad t_0 \leq t \leq t_1 \\ y_i &= Y_i - G(X_i^*, t_i); \quad i = 1 \dots l \end{aligned} \quad (9)$$

라고 정의하고, $X(t)$ 와 $X^*(t)$ 가 충분히 가까이 있다면 2차 이상의 항은 무시할 수 있고 다

음과 같이 정의하면,

$$A(t) = \left[-\frac{\partial F}{\partial X} \right]^* , \quad \tilde{H}(t_i) = \left[-\frac{\partial G}{\partial X} \right]^* \quad (10)$$

식(8)은 아래와 같이 된다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x , \quad x(t_0) = x_0 \\ y_i &= \tilde{H}_i x_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (11)$$

이로서 미지의 상태 X_0 는 실제 상태와 공칭 상태의 차 x_0 로 대체되었고, 비선형의 문제는 관측치가 선형화상태와 관계있는 추정 방법으로 바뀌었다. 그리고 상태벡터는 시간에 대해서 선형방정식의 계에 의해 전이된다. 식(11)에서 상태변수 x_i 를 한 순간의 상태변수 x_k 로 나타내면 식(11)의 첫번째 식은

$$x_i = \Phi(t_i, t_k) x_k \quad (13)$$

으로 나타낼 수 있다. 식(13)의 $\Phi(t_i, t_k)$ 를 상태전이행렬이라고 한다. 상태전이 행렬의 특성은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{i)} \quad & \Phi(t_0, t_0) = I = \Phi(t_k, t_k) \\ \text{ii)} \quad & \Phi(t_2, t_0) = \Phi(t_2, t_1) \Phi(t_1, t_0) \\ \text{iii)} \quad & \Phi(t_2, t_1) = \Phi^{-1}(t_1, t_2) \end{aligned} \quad (14)$$

이 상태전이행렬에 의해 식(11)은

$$\begin{aligned}x_i &= \phi(t_i, t_k) x_k \\ y_i &= \widetilde{H}_i x_i + \varepsilon_i\end{aligned}\tag{15}$$

가 된다. 식(15)의 첫번째식을 둘째식에 대입하고 l 번의 관측을 모두 표시하면

$$\begin{aligned}y_1 &= \widetilde{H}_1 \phi(t_1, t_k) x_k + \varepsilon_1 \\ y_2 &= \widetilde{H}_2 \phi(t_2, t_k) x_k + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ y_l &= \widetilde{H}_l \phi(t_l, t_k) x_k + \varepsilon_l\end{aligned}\tag{16}$$

이 된다. 이때

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_l \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} \widetilde{H}_1 \phi(t_1, t_k) \\ \widetilde{H}_2 \phi(t_2, t_k) \\ \vdots \\ \widetilde{H}_l \phi(t_l, t_k) \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_l \end{bmatrix}\tag{17}$$

로 치환하면, 식 (16)은

$$y = Hx_k + \varepsilon \quad (18)$$

이 된다. 이렇게 하여 비선형방정식을 최소자승법 또는 최소분산법을 사용할 수 있는 선형의 방정식으로 바꾸었다. 이와같은 방법으로 식(5-1)을 선형화 하기 위해서는 먼저 식(5-1)을 기준 시각에 대한 궤도요소로 Taylor급수 전개 시켜서 다음과 같이 1차항까지만 표시하면

$$\begin{aligned} d\dot{\rho}_i = & \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial e \cos \omega} \Delta e \cos \omega + \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial e \sin \omega} \Delta e \sin \omega \quad (18-1) \\ & + \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial \Omega} \Delta \Omega + \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial i} \Delta i + \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial M} \Delta M + \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial T} \Delta T \end{aligned}$$

이 된다. 식(19)는 식(8)과 같은 형식이다. i번째의 관측치와 계산치와의 차를 아래와 같이 표시하고

$$\Delta \dot{\rho}_i = (\dot{\rho}_o)_i - (\dot{\rho}_c)_i \quad (18-2)$$

(16), (17)식을 이용하여 n번의 Doppler shift data에 대해서 식(18)과 같이 선형화된 방정식은 구해보면 아래와 같이 나타내진다.

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{\rho}_1 \\ \Delta \dot{\rho}_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta \dot{\rho}_n \end{bmatrix} = N_D \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta e \cos \omega \\ \Delta e \sin \omega \\ \Delta \Omega \\ \Delta i \\ \Delta M \\ \Delta T \end{bmatrix} \quad (18-3)$$

식(18-3)에서 N_D 는 식(18)에서 H 와 같은 의미를 갖는 미분 보정 행렬이며, 그 전치행렬

N_D^T 는 다음과 같다.

$$N_D^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial \dot{\rho}_1}{\partial a} \Delta a & \dots & \dots & \frac{\partial \dot{\rho}_n}{\partial a} \Delta a \\ \frac{\partial \dot{\rho}_1}{\partial e \cos \omega} \Delta e \cos \omega & \dots & \dots & \frac{\partial \dot{\rho}_n}{\partial e \cos \omega} \Delta e \cos \omega \\ \frac{\partial \dot{\rho}_1}{\partial e \sin \omega} \Delta e \sin \omega & \dots & \dots & \frac{\partial \dot{\rho}_n}{\partial e \sin \omega} \Delta e \sin \omega \\ \frac{\partial \dot{\rho}_1}{\partial \Omega} \Delta \Omega & \dots & \dots & \frac{\partial \dot{\rho}_n}{\partial \Omega} \Delta \Omega \\ \frac{\partial \dot{\rho}_1}{\partial i} \Delta i & \dots & \dots & \frac{\partial \dot{\rho}_n}{\partial i} \Delta i \\ \frac{\partial \dot{\rho}_1}{\partial M} \Delta M & \dots & \dots & \frac{\partial \dot{\rho}_n}{\partial M} \Delta M \\ \frac{\partial \dot{\rho}_1}{\partial T} \Delta T & \dots & \dots & \frac{\partial \dot{\rho}_n}{\partial T} \Delta T \end{bmatrix} \quad (18-4)$$

우선 식(18)에서 $\varepsilon=0$ 인 경우, x_k 를 결정할 수 있다. 그러나 대개의 경우 $\varepsilon \neq 0$ 이므로 최소자승법이나 maximum likelihood 또는 minimum variance를 사용해서 x_k 를 구해야 한다.

(5) Minimum Variance Estimate

사용상의 간편함과 임의 오차에 관한 완벽한 통계학적 표현이 필요하지 않으므로 최소분산추정법을 추정해를 구하는데 광범위하게 사용된다. 일반적인 경우 관측오차 ε_i 가 다음 통계학적인 조건을 만족한다고 가정한다.

$$E[\varepsilon_i] = 0, \quad E[\varepsilon_i \varepsilon_j^T] = R_i \delta_{ij}, \quad E[(x_k - \hat{x}_k) \varepsilon_j^T] = 0 \quad (19)$$

이 때 $x_i = \Phi(t_i, t_k) x_k$ 를 이용하여 상태변수 x_k 의 best linear unbiased minimum

variance estimate인 \hat{x}_k 를 구해보자.

우선 상태전이행렬을 이용하여 식(18)과 같이 치환하면, 식(19)는

$$E[\varepsilon] = \begin{bmatrix} E[\varepsilon_1] \\ E[\varepsilon_2] \\ \vdots \\ E[\varepsilon_l] \end{bmatrix}, \quad E[\varepsilon \varepsilon^T] = \begin{bmatrix} R_1 & & & 0 \\ & R_2 & & \\ & & R_3 & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & R_l \end{bmatrix} \quad (20)$$

이 된다. 일반적인 경우 $R_1=R_2= \dots =R_l$ 이 성립하지만 문제를 해결하는데 필요조건은 아니

다. 그러나 $E[\varepsilon_i \varepsilon_j^T]=R_{ij}$ 이고, R행렬의 정의에서 off-diagonal이 non-zero인 관측오차의 경우

는 The best linear unbiased minimum variance에 입각하여 다음과 같은 방법으로 다루어야 한다.

a) 선형화

선형추정이 요구하는 사항은 추정과 관측의 관계가 선형결합으로 이루어져 있음을 의미한

다. 즉

$$\hat{x}_k = My \quad (21)$$

으로 표현된다. 식(21)에서 M은 최적의 추정을 얻기 위해 결정될 $(n \times n)$ 행렬로 관측치로부터 최적의 추정치를 구해내는 선형사상 행렬(linear mapping matrix)라고 한다. 식(21)의 선형사상 행렬은 아래의 가정(unbiased)과 조건(minimum variance)를 이용하여 구할 수 있다.

b) unbiased

추정치 \hat{x}_k 의 평균값이 실제값의 평균값과 같은 경우에 추정치가 언바이어스 되었다고

한다. 추정치가 언바이어스되었다는 가정을 하면

$$E[\hat{x}] = x \quad (22)$$

이 되고, 식(21)은

$$E[My] = E[MHx_k + \varepsilon_k] = x_k \quad (23)$$

가 된다. 이 때 가정에서 $E[\varepsilon_k] = 0$ 이므로, $MHx_k = x_k$ 가 되고 M에 대한 구속조건식이 다음과 같이 얻어진다.

$$MH = I \quad (24)$$

식(24)는 선형사상행렬 M과 H의 관계를 나타내는 식으로 추정치가 unbiased라고 가정한 경우 반드시 선형사상 행렬 M은 식(24)를 만족해야 한다. 이 조건을 이용하여 최소 분산법을 적용해 보자.

c) 최소 분산(minimum variance)

분산행렬(covariance matrix)을 추정치가 unbiased하다는 가정에서 구한 식(24)를 이용하여 표현하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} P_k &= E[(\hat{x}_k - E[\hat{x}_k])(\hat{x}_k - E[\hat{x}_k])^T] \\ &= E[(\hat{x}_k - x_k)(\hat{x}_k - x_k)^T] \end{aligned} \quad (25)$$

이제 식(23)과 식(24)를 동시에 만족하고 최소 분산법에 의해 분산행렬인 식(25)를 최소화

하는 \hat{x}_k 를 구하기 위해 식(23)을 식(25)에 대입하고 정리하면,

$$P_k = MRM^T \cdot R = E[\varepsilon\varepsilon^T] \quad (26)$$

이 된다. 이 때 분산행렬 P_k 는 대칭행렬이므로 성능지수 (performance index)를 다음과 같이 정의한다.

$$P_k = MRM^T + \Lambda^T(I - MH)^T + (I - MH)\Lambda \quad (27)$$

식(27)에서 Λ 는 $n \times n$ 의 라그랑지 미정계수(Langrange multiplier)행렬이다. 식 (27)에서 최소 분산법의 의미 그대로 분산행렬 P_k 가 최소이기 위한 필요조건은

$$\delta P_k = (MR - \Lambda^T H^T) \delta M^T + \delta M [{}^T - H\Lambda + \delta \Lambda^T [I - MH]^T + (I - MH) \delta \Lambda = 0 \quad (28)$$

임을 알 수 있다. 그리고 식(28)은 임의의 δM , $\delta \Lambda$ 에 대해서 성립해야 하므로,

$$MH - I = 0, \quad MR - \Lambda^T H^T = 0 \quad (29)$$

가 된다. 식(29)로부터 unbiased하고 동시에 최소분산을 만족하는 선형사상행렬을 구할 수

가 있는데,

$$M = (H^T R H^{-1})^{-1} H^T R^{-1} \quad (30)$$

이 된다. 식(30)을 식(26)에 대입하면 최소분산행렬은

$$P_K = (H^T R^{-1} H)^{-1} \quad (31)$$

이 되고, 식(21)의 선형사상행렬 $M = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1}$ 을 식(21) $\hat{x}_k = M y$ 에 대입하여

분산을 최소화하는 관점에서 최적추정(best estimate)을 구하면 아래와 같이 표시된다.

$$\hat{x}_k = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} y \quad (32)$$

이 식은 관측때 마다 noise값을 알 수는 없으므로 관측소의 관측 noise평균값에 대한 분산을 고려하여 처리한 점이 특징이라 할 수 있고, $R^{-1} = W$ 로 보면, 가중 행렬이 W 인 가중 최소자승법과 일치하며, 관측오차가 0인 평균과 분산 R 을 갖고 분포한다면, maximum likelihood estimate와 일치한다.

(6) 추정의 전파

식(32)에 의해 t_j 에서의 추정이 결정되었다면, 그 이후의 관측순간에서의 추정치는 다음

과 같이 구할 수 있다. 우선

$$\hat{x}_j = E[x_j | y_1, y_2, \dots, y_j] \quad (33)$$

로 놓으면 t_j 에서의 관측치에 기초한, t_k 에서의 예측추정치는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{x}_k = E[x_k | y_1, y_2, \dots, y_j] \quad (34)$$

식(34)에서 \bar{x}_k 의 의미는 최적화된 추정치가 아닌 관측치에 근거한 단순한 예측 추정치라는 것이고, 시간 t_k 에서의 관측치를 이용하여 최적화시켜야만 하는 값이다. 이제 상태전이행렬을 이용하여 식(33)과 식(34)를 동시에 표현하면

$$E[x_k | y_1, y_2, \dots, y_j] = \Phi(t_k, t_j) E[x_j | y_1, y_2, \dots, y_j] \quad (35)$$

이 된다. 그러므로 x_k 의 이전추정(priori estimate) \bar{x}_k 는 다음식으로 주어진다.

$$\bar{x}_k = \Phi(t_k, t_j) \hat{x}_j \quad (36)$$

분산행렬 \bar{P}_k 의 전파식도 같은 방법으로 유도할 수 있다.

$$\bar{P}_k = E[(x_k - \bar{x}_k)(x_k - \bar{x}_k)^T | y_1, \dots, y_l] \quad (37)$$

식(36)을 식(37)에 대입하면

$$\begin{aligned} \bar{P}_k &= E[\phi(t_k, t_j)(x_j - \hat{x}_j)(x_j - \hat{x}_j)^T \phi^T(t_k, t_j) | y_1, \dots, y_l] \\ &= \phi(t_k, t_j) P_j \phi^T(t_k, t_j) \end{aligned} \quad (38)$$

이 되며, 식(38)에서 P_j 는

$$P_j = E[(x_j - \hat{x}_j)(x_j - \hat{x}_j)^T | y_1, \dots, y_l] \quad (39)$$

이다. 식 (36)과 식(38)을 이용하여 t_j 에서의 추정에 입각한 t_k 에서의 상태추정을 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{x}_k &= \phi(t_k, t_j) \hat{x}_j \\ \bar{P}_k &= \phi(t_k, t_j) P_j \phi^T(t_k, t_j) \end{aligned} \quad (40)$$

(7) 이전 정보(priori information)하에서의 최소분산추정

지금까지 시간 t_j 에서 추정치와 분산행렬을 구했고, t_k 에서 관측수열(observation sequence)이 얻어졌다면 추정과 관측은 t_k 에서의 새로운 추정 \hat{x}_k 를 산출하기 위해서 직접적

으로 결합될 수 있다. 식(40)

$$\bar{x}_k = \Phi(t_k, t_j) \hat{x}_j$$

$$\bar{P}_k = \Phi(t_k, t_j) P_j \Phi^T(t_k, t_j)$$

을 사용하면 추정 \hat{x}_j 와 P_j 는 시간 t_k 의 이전 추정치와 분산행렬로 전파된다. 이와같이

이전정보 \bar{x}_k , \bar{P}_k 가 구해졌고 t_k 에서 관측수열 $y_k = H_k x_k + \varepsilon_k$ 가 주어졌다면 \bar{x}_k 를 t_k 에

서의 또 다른 하나의 관측으로 가정하여

$$\begin{aligned} y_k &= H_k x_k + \varepsilon_k \\ x_k &= \bar{x}_k + \eta_k \end{aligned} \quad (41)$$

로 표시할 수 있다. 단, 식(41)의 오차 ε_k , η_k 는 각각 최소분산법을 사용하기 위해 가정

한 식(19)에 의해서 다음의 관계식이 성립한다.

$$\begin{aligned} E[\varepsilon_k] &= 0 \\ E[\varepsilon_k \varepsilon_k^T] &= R_k \\ E[\eta_k] &= 0 \\ E[\eta_k \eta_k^T] &= \bar{P}_k \end{aligned} \quad (42)$$

이제, 다음과 같이 정의하면

$$y = \begin{bmatrix} y_k \\ \bar{x}_k \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} H_k \\ I \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_k \\ \eta_k \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} R_k & 0 \\ 0 & \bar{P}_k \end{bmatrix} \quad (43)$$

식(41)은 $y = Hx + \varepsilon$ 이 되고 앞에서 구한 해가 \hat{x}_k 를 결정하기 위해서 사용며 이제 시간

t_k 에서 최적화된 추정치 \hat{x}_k 와 분산행렬 P_k 는 다음과 같이 정리된다.

$$\hat{x}_k = (H_k R_k^{-1} H_k + \bar{P}_k^{-1})^{-1} (H_k^T R_k^{-1} y_k + \bar{P}_k^{-1} \bar{x}_k) \quad (44)$$

$$P_k = (H_k^T R_k^{-1} H_k + \bar{P}_k^{-1})^{-1} \quad (45)$$

식(43)에서 y_k 는 유일한 관측이거나 여러번의 관측데이터를 모은 배치(batch)이다. 그리

고 시간 t_k 에서의 이전추정 \bar{x}_k 는 이전의 초기값에 입각한 추정이거나 t_k 인 관측시점 이전

의 관측데이터의 배치를 처리하여 추정한 값이다. 이 방법의 전체적인 장점은 입력되는 궤도

요소가 정확한 값이 아니므로 입력 궤도 요소에 대한 오차 범위를 예상하여 계산하였을 때

S/W의 수렴속도가 빠르고, 발산하는 경우가 적다는 것이다.

제 2 절 S/W의 구조

1. S/W의 설치

Doppler 위성 추적 감시 S/W는 Layhey Computer System회사가 개발한 Fortran 언어인 “F77L3 - EM/32” version 2.0이 설치된 컴퓨터에서 작동하게 하였다.

“F77L3 - EM/32” S/W는 MS - DOS version 3.0이상과 OS/386이상의 기종에서만 작동한다. 기존의 RM Fortran 이나 MS Fortran은 Memory관리능력이 크지 않고 Double Precision을 사용할 수 없기 때문에 Lahey Fortran을 택하게 되었다.

S/W를 작동하기 전에 다음 변수의 초기값을 배당하여 입력하여야 한다.

즉, 기산점 시각 (EPOCHY, EPOCHM, EPOCHD)

관측시작시간 (STARTY, STARTM, STARTD)

예상궤도요소 (a, e, i, ω , Ω , M, Rev.)

예상되는 관측 noise ($\sigma_a = \Delta a/a$, $\sigma_{ec} = \Delta ec/ec$, $\sigma_{es} = \Delta es/es$, $\sigma_\Omega = \Delta \Omega/\Omega$,

$$\sigma_i = \Delta i/i, \sigma_M = \Delta M/M, \sigma_T = \Delta T/T)$$

관측자료가중치 (W)

FLOW CHART

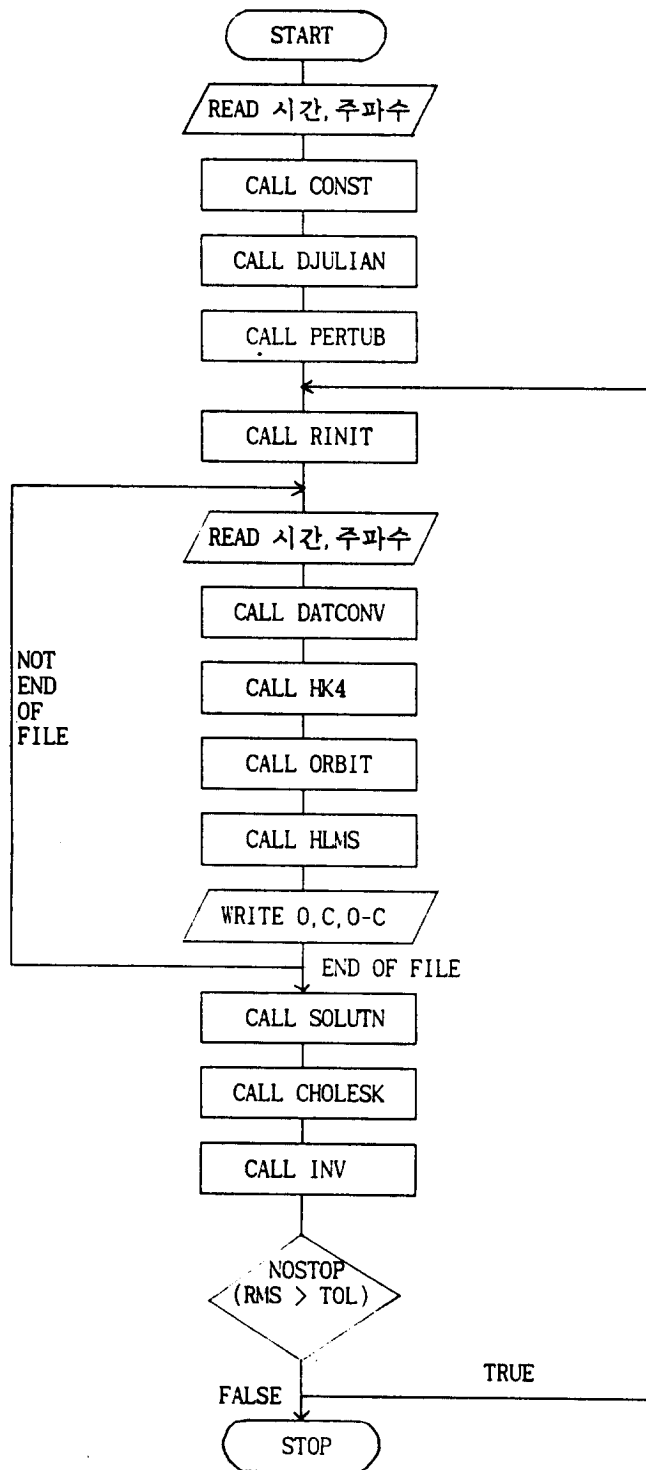


그림 18. 도플러 편이 추적 감시 s/w의 흐름도

RDOT5.FOR 에서 사용한 변수 설명.

EPOCHY : 기산점 시각의 년도

EPOCHM : 기산점 시각의 월

EPOCHD : 기산점 시각의 일

STARTY : 관측 시작 시각의 년도

STARTM : 관측 시작 시각의 월

STARTD : 관측 시작 시각의 일

A : 궤도 장반경

EC : $e \cos \omega$

ES : $e \sin \omega$

ECC : 궤도 이심율

AP0 : 초기 근지점 인수

ON0 : 초기 승교점 적경

OI : 궤도 경사각

AM : 평균근점이각

AP : J2섭동을 고려한 근지점 인수

ON : J2섭동을 고려한 승교점 적경

REV : 하루동안 위성이 지구 주위를 회전한 횟수

P : 공전 주기

XNI : 궤도요소를 저장하는 배열변수

T1 : 관측시각을 DAY단위로 고친 값

DJST0 : 관측 시각과 기산점 시각과의 시간차를 JULIAN DAY로 나타낸 것

DOBS : 관측자료로부터 구한 속도를 원궤도 속도 단위로 고친 값

HK : 행렬 H

THK : 행렬 H의 전치행렬

DDO : RANGE RATE(RRATE)

RMSY : CHOLESKEY 평방근 Y

DELD : DOBS - DCAL

NOSTOP : 프로그램을 중지할 것인가를 결정하는 논리변수

RDOT5.FOR의 부프로그램 설명.

MAIN

자료 파일로부터 관측일의 관측 시간, 분, 초, 관측 주파수를 알고 이로부터 시선속도(DCAL)를 추정 계산다. 관측치로 계산한 속도(DOBS)를 앞서 구한 속도와 비교하여 어느정도 수렴하면 궤도요소 결과치를 출력하고 프로그램을 종료한다.

CONST

GET VAR. : T1

SEND VAR. : A, EC, ES, ON, OI, DJST0, XNI

MAIN에서 받은 T1값을 이용하여 궤도요소값, 시간점시각, 관측시작시각과 그외 모든 상수값을 초기화 한다. 또한 J2항에 의한 궤도요소의 변화값을 보정하여 다시 초기화한다.

DJULIAN

GET VAR. : YR, AMON, DAY

SEND VAR. : DJ

부프로그램 CONST에서 받은 시간을 이용하여 JULIAN DAY를 계산한다.

PERTUB

GET VAR. : TT, DJ, A, ECC, OI, AP0, ON0

SEND VAR. : AP, ON

부프로그램 CONST에서 받은 값들을 이용하여 J2항에 의한 근지점인수와 승교점 적경의
변화량을 보정 계산한다.

RINIT

GET VAR. : XNI

SEND VAR. : RL, RM, A, EC, ES, ON, OI, DJST0

최소분산법을 이용하여 COVARIANCE 행렬을 초기화 한다.

DATCONV

GET VAR. : HR, RMIN, SEC, RDOT

SEND VAR. : T, DOBS

MAIN으로부터 관측시간과 속도를 받아 시간은 분단위로 바꾸고, 속도는 원궤도속도 단위
로 바꾸어 준다.

HK4

GET VAR. : A, EC, ES, ON, OI, T0, AP, T

SEND VAR. : HK, THK, DD0

MAIN에서 받은 값을 이용하여 수치적분의 형태로 행렬 H와 H의 전치행렬의 요소들을 구한다.

ORBIT

GET VAR. : A, EC, ES, ON, OI, DJST0, AP, TT

SEND VAR. : RRATE

부프로그램 HK4에서 받은 값을 이용하여 RANGE RATE을 구한다.

HLMS

GET VAR. : HK, THK, DOBS, DCAL, RMSY, RL, RM

SEND VAR. : DELD, RL, RM, RMSY

MAIN으로부터 받은 값을 이용하여 $H^T * W * H$ 와 $H^T * W * DELD$ 을 계산한다.

SOLUTN

GET VAR. : NITR, KITR, A, EC, ES, ON, OI, AP, RL, RM, DJST0, RMSY

SEND VAR. : XNI, NOSTOP

MAIN으로부터 받은 값들을 이용하여 ITERATION당 CORRECTION VECTOR를 구해 궤도요소를 보정하고 RMS가 TOL보다 작게 되기 전까지 반복계산한다. RMS가 TOL보다 작게 되는 경우에 궤도요소의 총변화량과 최종해를 출력한다. 그리고 논리변수 NOSTOP을 "FALSE"로 바꾸어 프로그램을 종료한다.

CHOLESK

GET VAR. : RMAT, X, ND

SEND VAR. : Y

부프로그램 SOLUTN으로부터 받은 대칭정방행렬을 이용하여 UPPER TRIANGULAR 행렬을 구한다.(일명 CHOKESKEY 평방근)

INV

GET VAR. : A, N

SEND VAR. : Q

부프로그램 SOLUTN으로부터 받은 정방행렬 A의 역행렬 Q를 구한다.

제 3 절 우리별 1호에 응용

그림 12부터 그림 17까지는 미분보정의 S/W에 의해 산출된 우리별 1호의 궤도요소들이 수렴하는 과정을 보여주고 있다.

그림 12는 궤도 장반경 값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에는 7704.4km에서, 2번째는 7697.9km로, 3번째 계산은 7694.97km로 수렴하여 9번째 계산에서 7694.92km가 얻어진다.

그림 13은 궤도 이심률값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 4.04×10^{-4} 에서, 2번째에서 8번째까지는 4.00×10^{-4} 으로, 그리고 11번째는 3.98×10^{-4} 으로 수렴하고 있다.

그림 14는 궤도 경사각 값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 66.18° 에서, 2번째는 65.74° 로, 3번째는 66.07° 로, 4번째부터는 66.07° 로 수렴하고 있다.

그림 15는 근지점 인수값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 169.37° 에서, 2번째는 169.22° 로, 3번째는 169.26° 로 수렴하고 있다.

그림 16은 승교점 적경값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 231.02° 에서, 2번째는 230.89° 로, 3번째는 230.93° 로 수렴하고 있는 과정을 보여주고 있다.

그림 17은 기산점 시각의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 0.00803^d 에서, 2번째는 0.00796^d , 3번째는 0.00798^d 로 수렴하는 과정을 보여주고 있다.

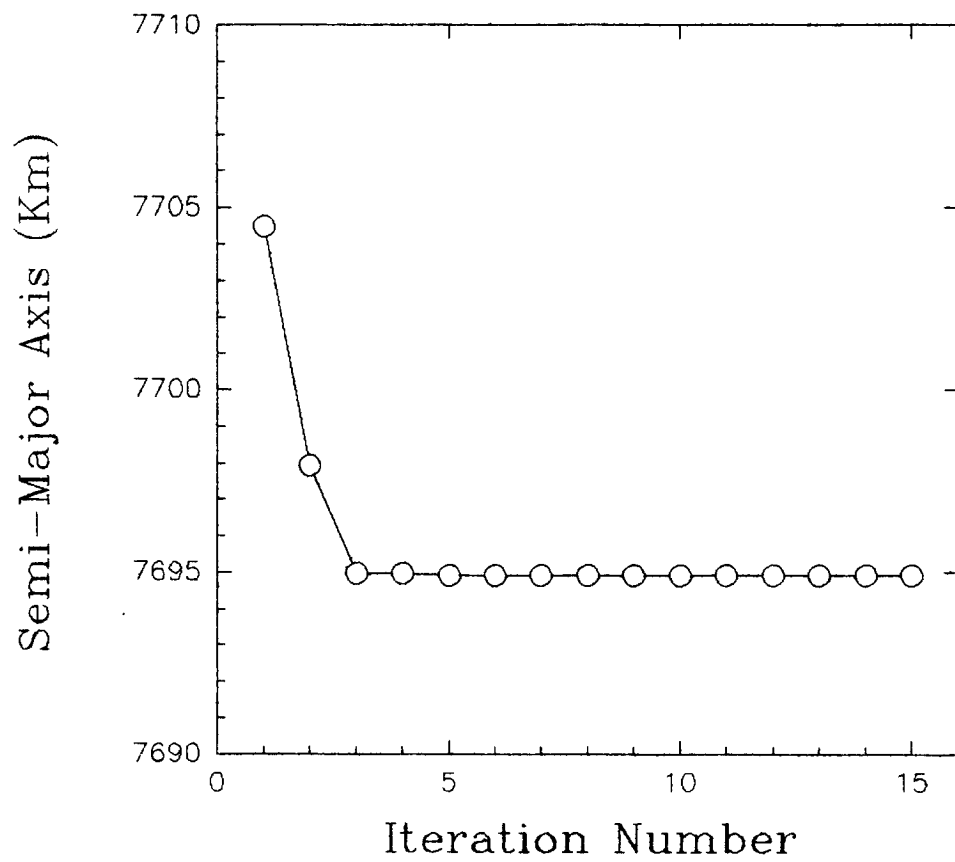


그림 19. 우리별 1호에 대한 궤도장반경의
수렴과정

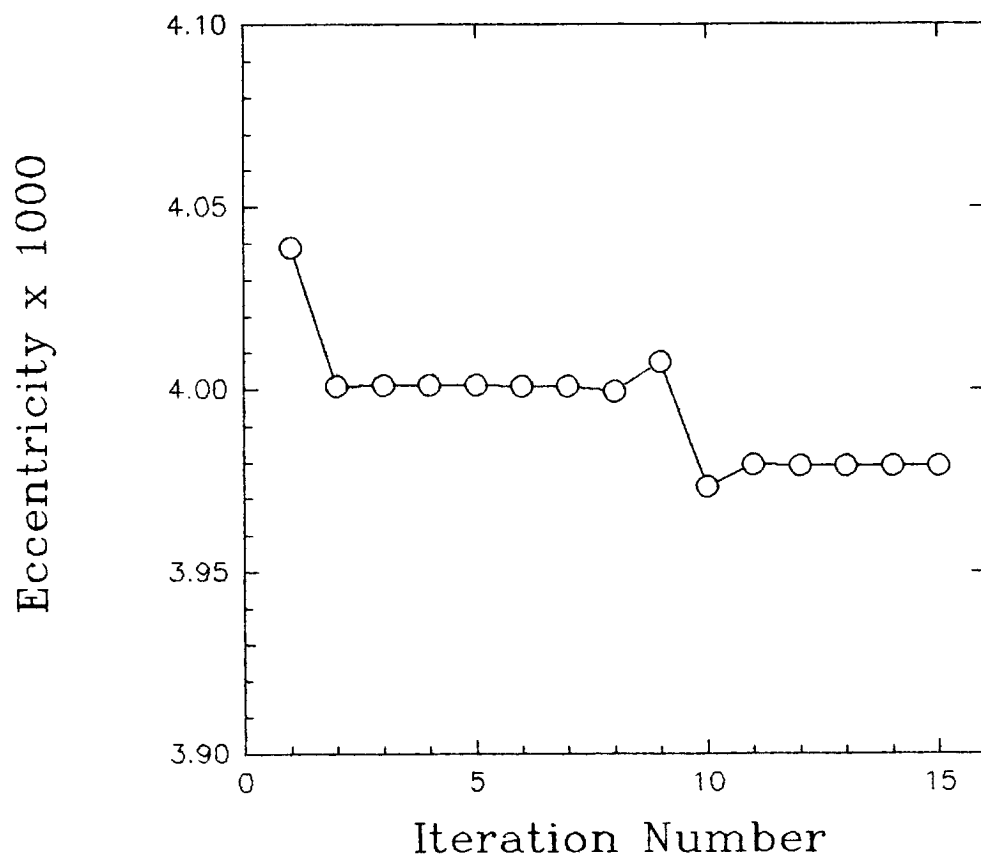


그림 20. 우리별 1호에 대한 궤도이심률의 수렴과정

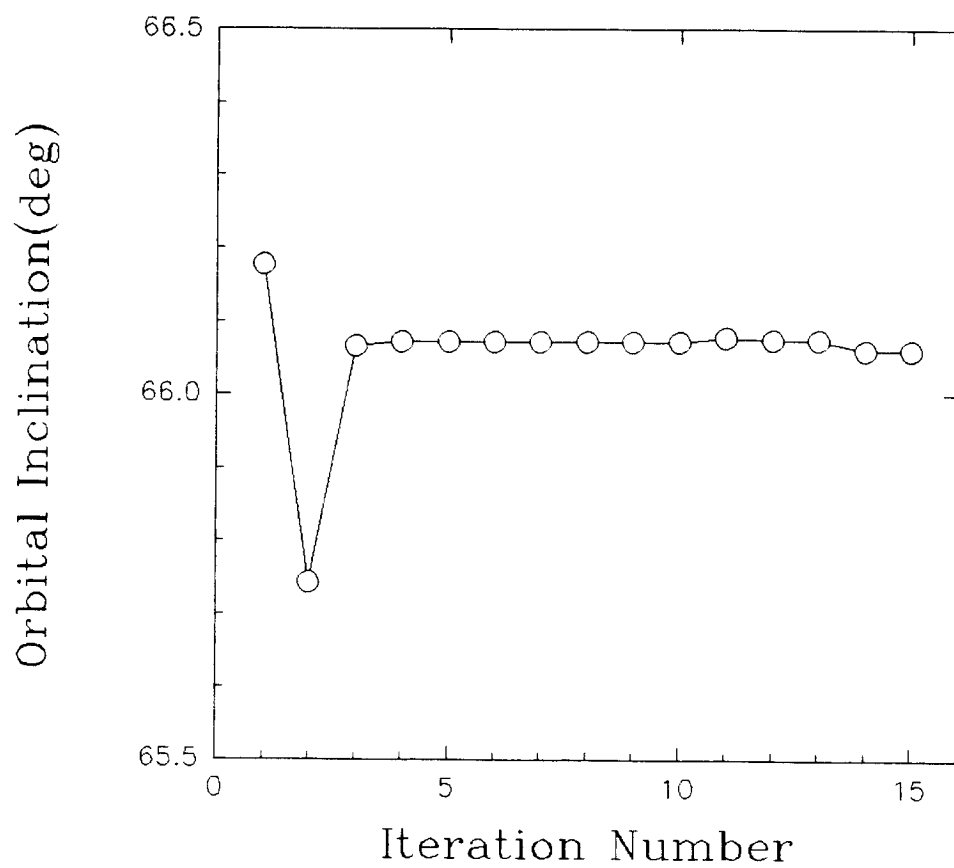


그림 21. 우리별 1호에 대한 궤도경사각의
수렴과정

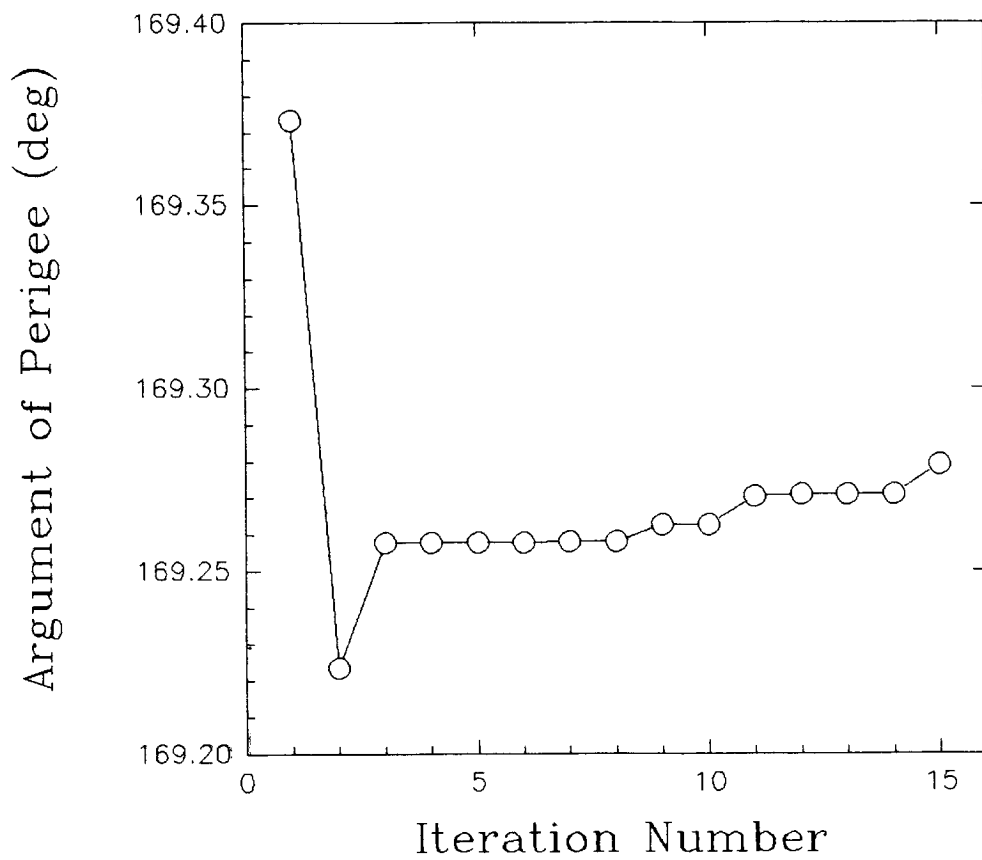


그림 22. 우리별 1호에 대한 근지점인수의 수렴과정

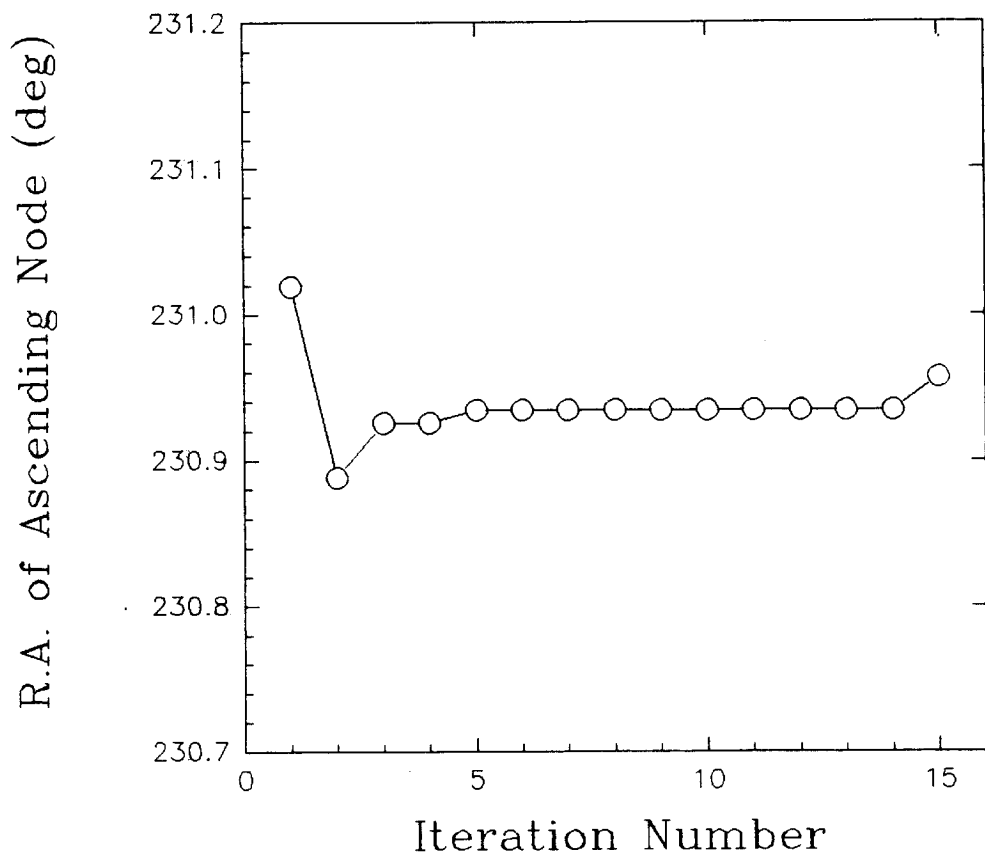


그림 23. 우리별 1호에 대한 승교점적경의
수렴과정

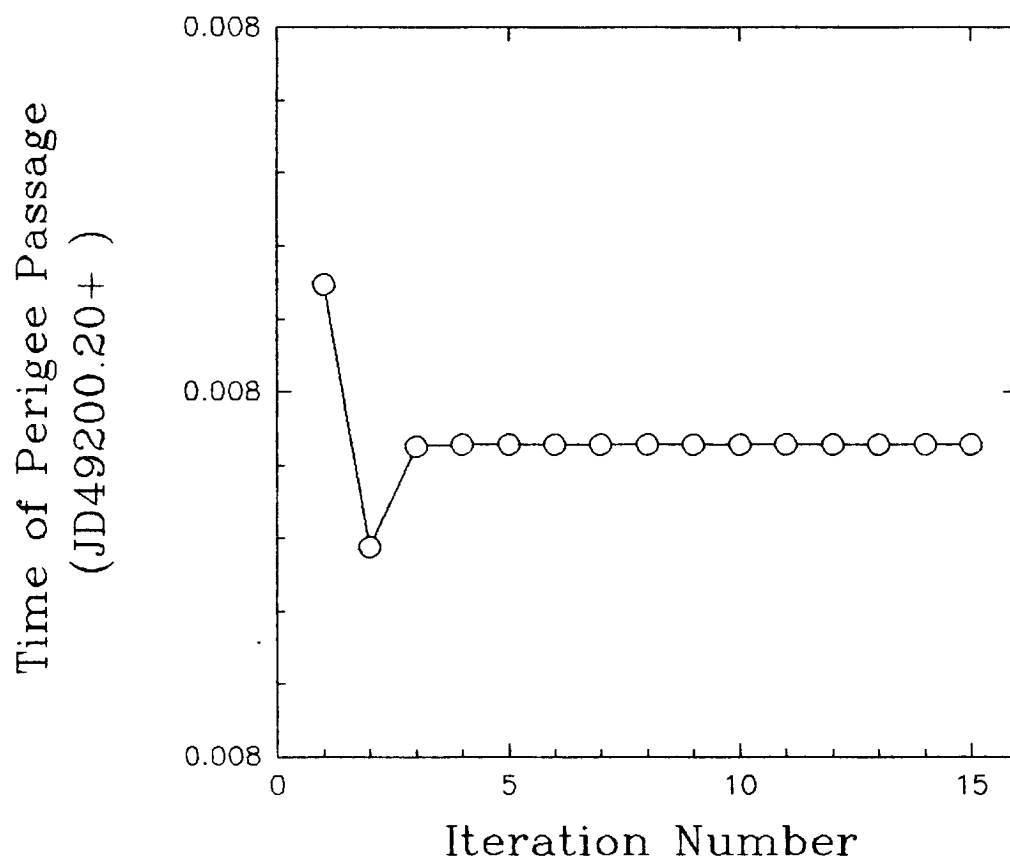


그림 24. 우리별 1호에 대한 기산점시각의 수렴과정

제 4 절 기상위성 NOAA에 응용

그림 25부터 그림 31까지는 미분보정의 S/W에 의해 산출된 기상위성 NOAA 11호의 궤도 요소들이 수렴하는 과정을 보여주고 있다.

그림 25는 궤도 장반경 값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 7227.54km에서, 2번째에는 7227.537km, 3번째에는 7227.532km, 그리고 9번째는 7227.498km가 얻어진다.

그림 26은 이심률 값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 1.2761×10^{-3} 에서, 2번째는 1.2761×10^{-3} 으로 그리고 9번째는 1.2764×10^{-3} 이 얻어진다.

그림 27은 근지점 인수 값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 92.87° 에서, 2번째는 85.05° 로, 3번째는 85.00° 로 수렴하고 있다.

그림 28은 승교점 적경 값의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 269.209° 에서, 2번째는 272.07° , 3번째는 272.11° 로 수렴하고 있다.

그림 29는 궤도 경사각의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 99.148° 에서, 2번째는 99.132° 로, 3번째는 99.125° 가 얻어진다.

그림 30은 평균근점이각의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 267.384° 에서, 2번째는 274.75° 로, 3번째는 274.64° 로 수렴하고 있는 과정을 보여주고 있다.

그림 31은 승교점 통과시각의 변화량을 보여주고 있는데, 1번째 계산에서는 49278.39201^d 에서, 2번째는 49281.15254^d 로, 3번째는 49281.15277^d 로 수렴하는 과정을 보여주고 있다.

그림 32는 NOAA-11호 위성의 주파수 관측자료와 미분보정을 하여 계산된 궤도요소로 만들어진 도플러 편이 값과의 비교를 보이고 있다. 관측치와 계산치가 잘 맞는 것을 알 수 있다.

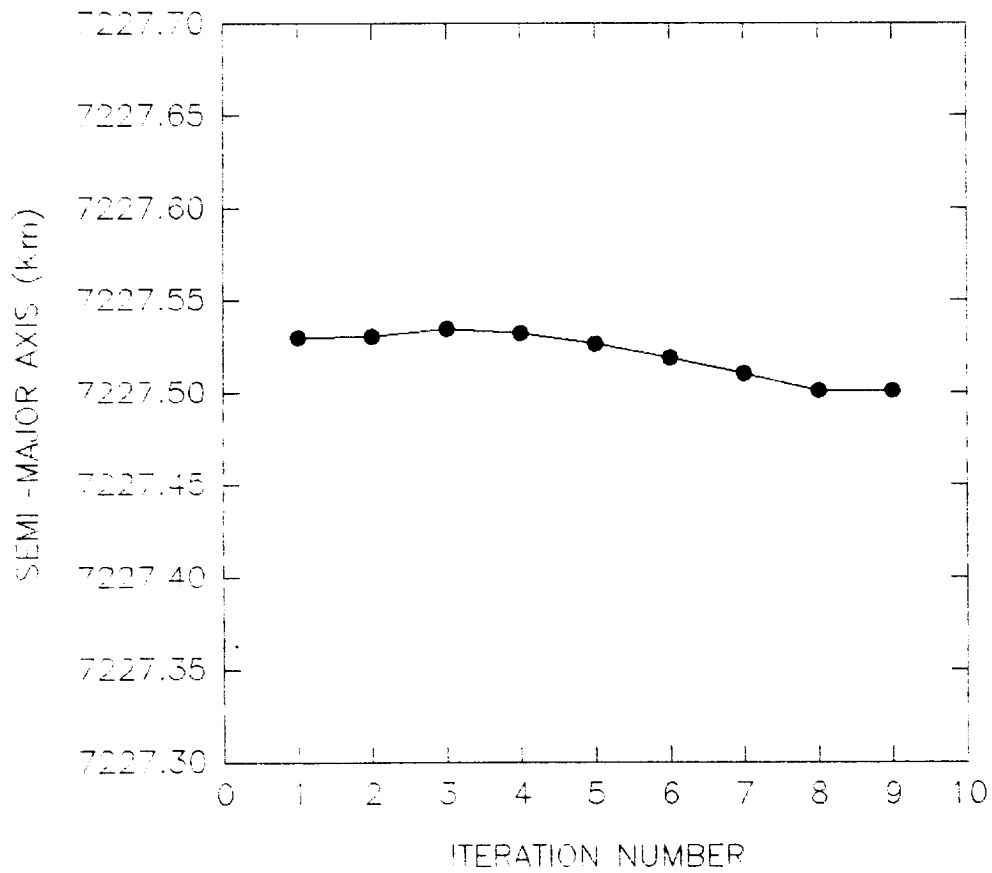


그림 25 기상위성 NOAA-11호에 대한
궤도장반경의 수렴과정

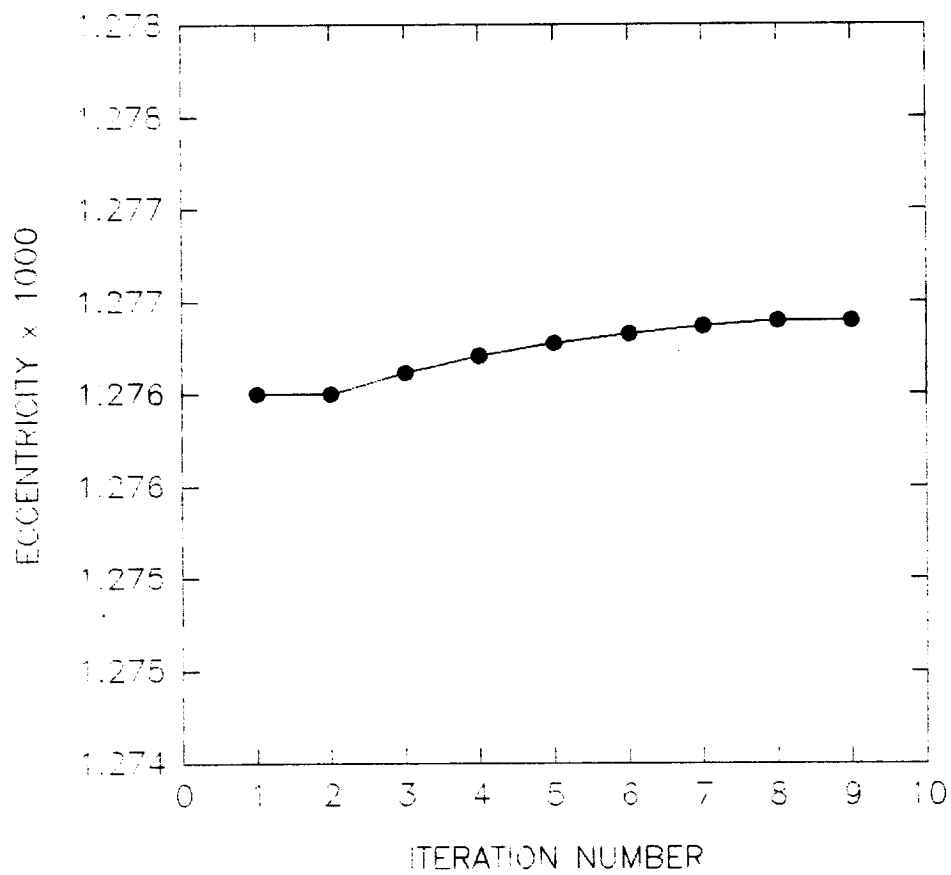


그림 26 기상위성 NOAA-11호에 대한
궤도이심율의 수렴과정

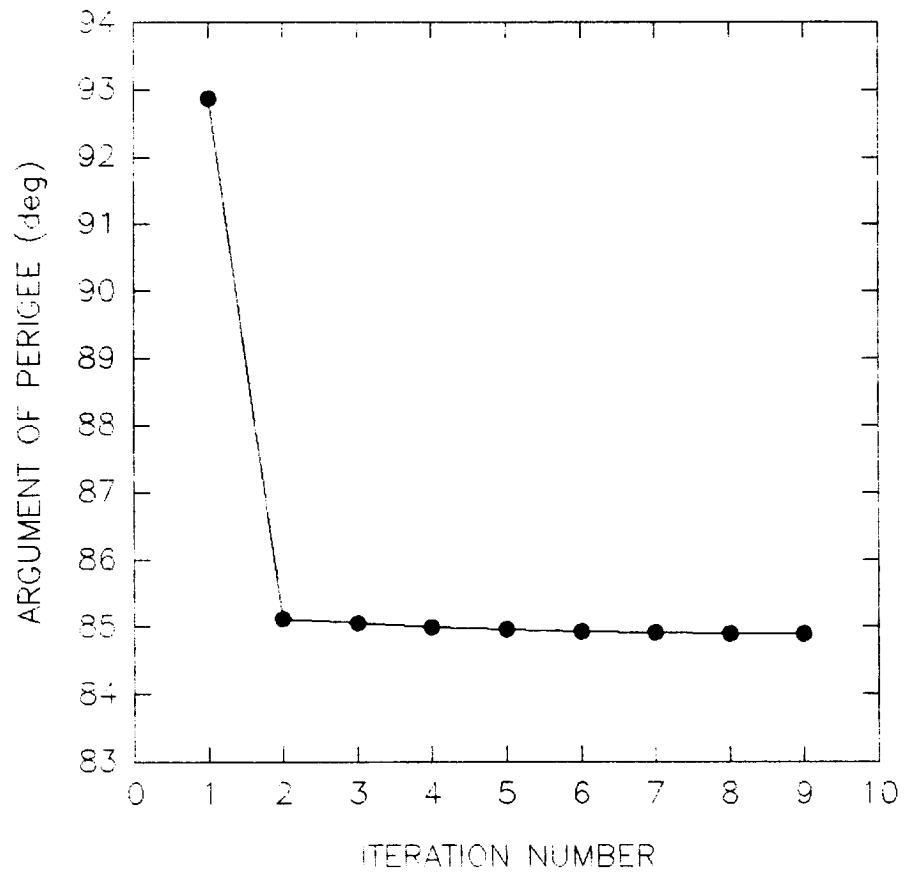


그림 27 기상위성 NOAA-11호에 대한
근지점인수의 수렴과정

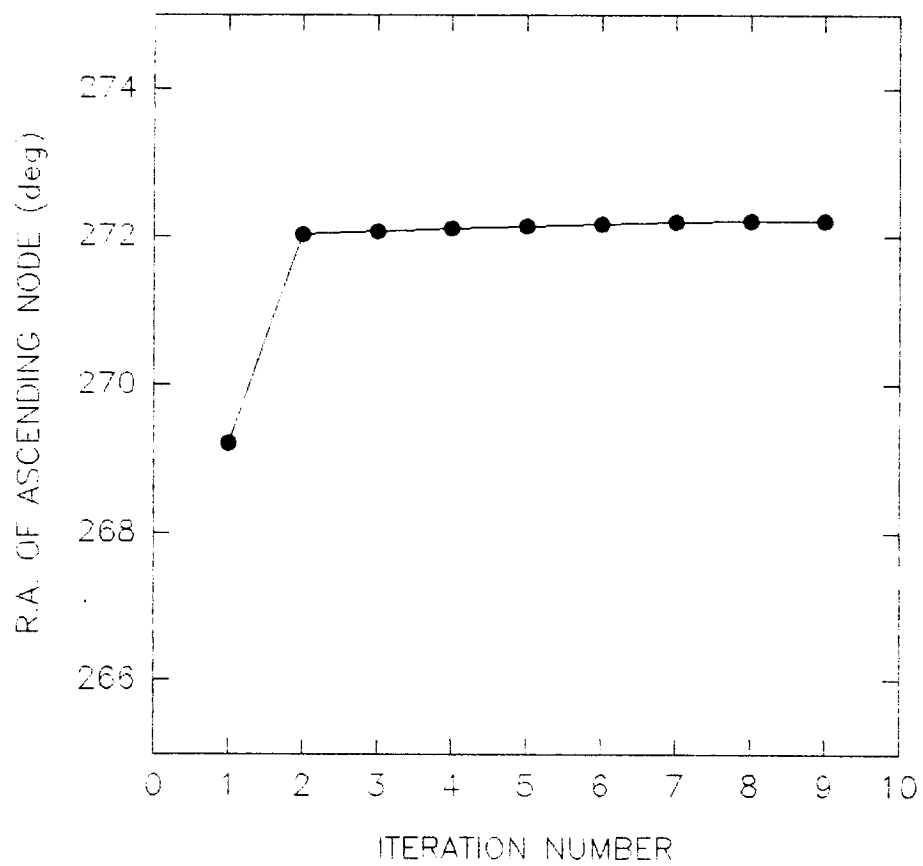


그림 28 기상위성 NOAA-11호에 대한
승교점적경의 수렴과정

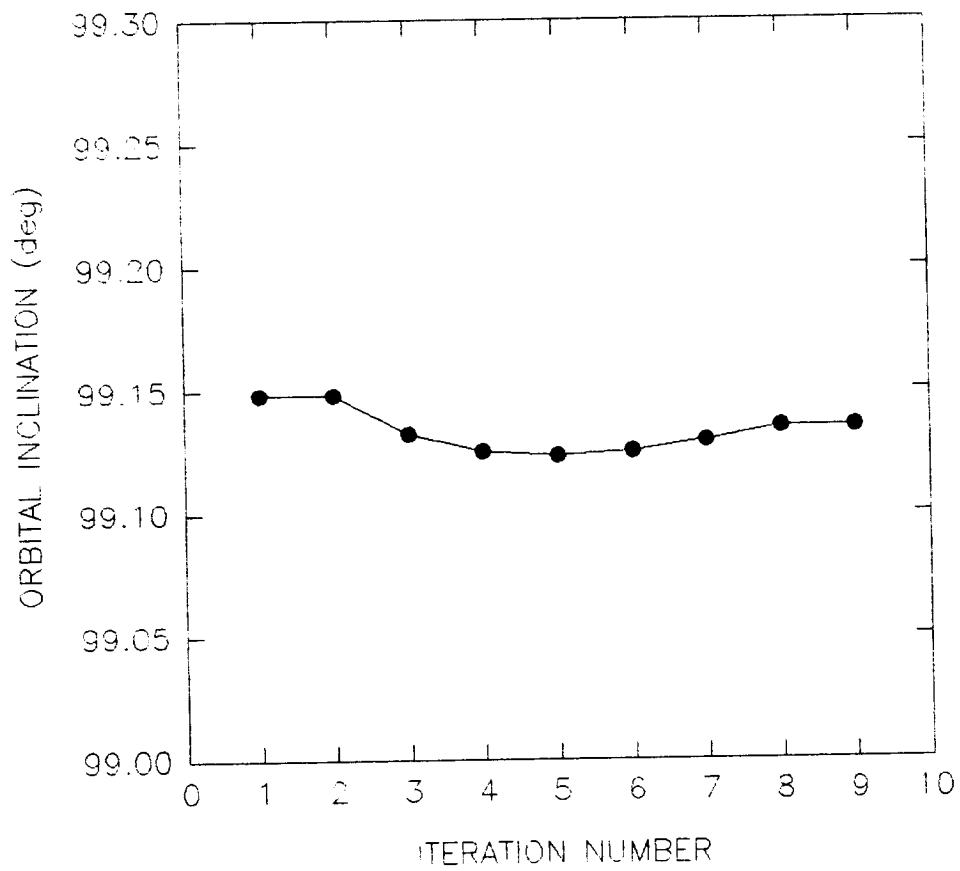


그림 29 기상위성 NOAA-11호에 대한
궤도경사각의 수렴과정

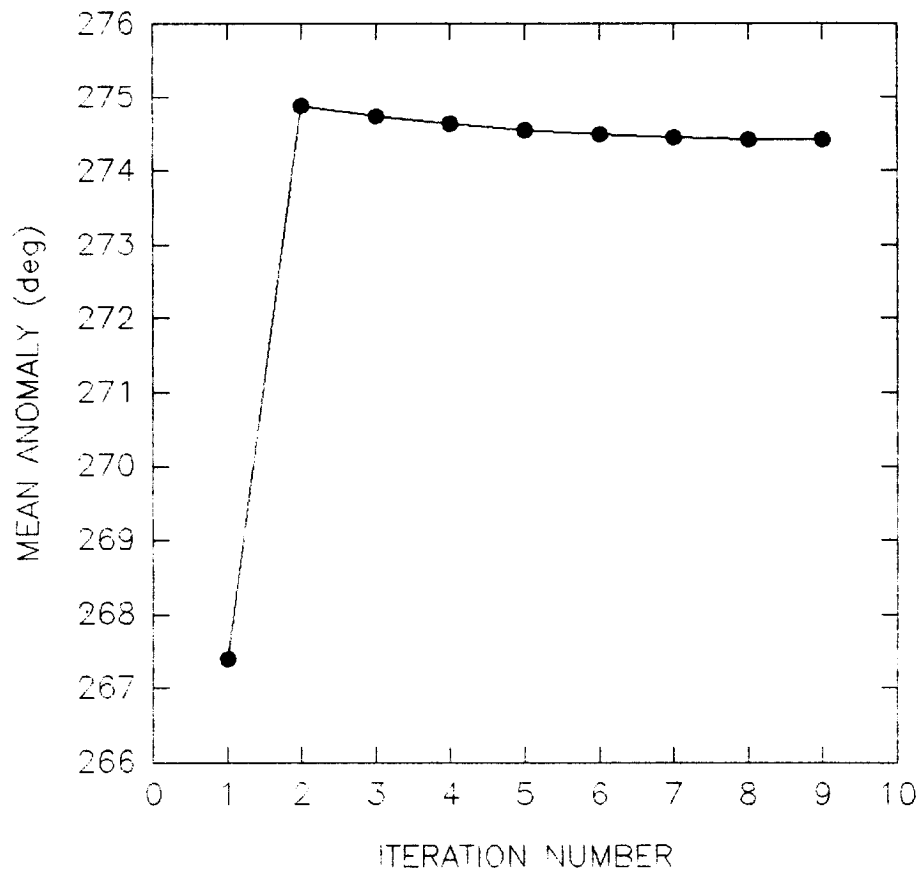


그림 30 기상위성 NOAA-11호에 대한
평균근점이각의 수렴과정

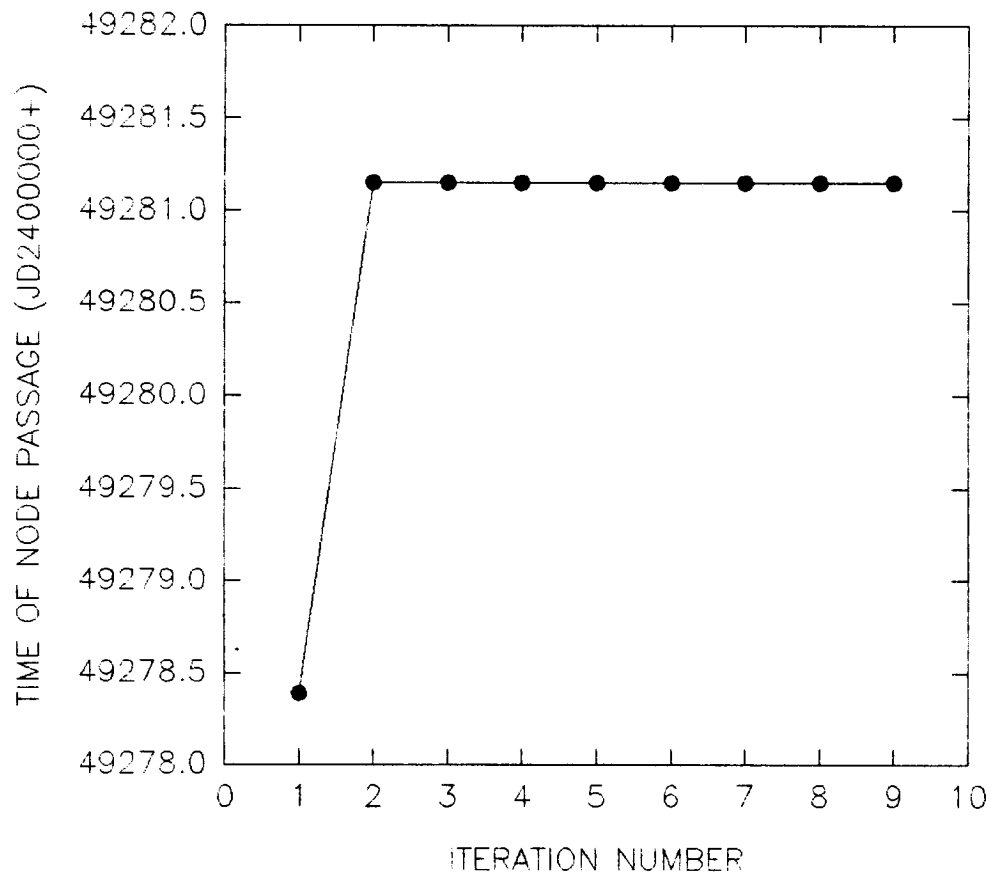


그림 31 기상위성 NOAA-11호에 대한
승교점 통과 시각의 수렴과정

--최종 계산 결과--

```
#####
  This program finds the best estimate of the initial
  states for a satellite motion. (Batch Algorithm).
#####
X(1)          : SEMI-MAJOR AXIS
X(2)          : ECC*DCOS(AP)
X(3)          : ECC*DSIN(AP)
X(4)          : R.A. of ASCENDING NODE
X(5)          : ORBITAL INCLINATION
X(6)          : MEAN ANOMALY
X(7)          : PASSAGE TIME of NODE
#####
```

< ITERATION : 1 > RMS = 7.6868337477E-03

```
*****
STATE      CORRECTION VECTOR      ESTIMATED STATE
*****
X( 1)      6.2019906167E-07        1.133173614
X( 2)      1.4974265380E-06        1.1016773593E-04
X( 3)     -1.1976916344E-08        1.2713521581E-03
X( 4)      6.7397882639E-04        4.748534499
X( 5)     -2.7646281292E-04        1.730184329
X( 6)     -2.4387397652E-03        4.795218348
X( 7)      2.9856339963E-04        49281.15254
*****
```

< ITERATION : 2 > RMS = 6.4073149825E-03

```
*****
STATE      CORRECTION VECTOR      ESTIMATED STATE
*****
X( 1)     -3.4094690275E-07        1.133173273
X( 2)      1.1506667472E-06        1.1131840267E-04
X( 3)     -9.3146961479E-09        1.2713428434E-03
X( 4)      6.4084795087E-04        4.749175347
X( 5)     -1.2868983850E-04        1.730055639
X( 6)     -1.8746518016E-03        4.793343696
X( 7)      2.2950362867E-04        49281.15277
*****
```

< ITERATION : 3 > RMS = 5.1737301229E-03

STATE	CORRECTION VECTOR	ESTIMATED STATE
X(1)	-8.9221000996E-07	1.133172381
X(2)	8.6830516151E-07	1.1218670783E-04
X(3)	-7.0908171258E-09	1.2713357526E-03
X(4)	5.8090665027E-04	4.749756253
X(5)	-3.0295189616E-05	1.730025344
X(6)	-1.4150656541E-03	4.791928631
X(7)	1.7323886445E-04	49281.15295

< ITERATION : 4 > RMS = 4.0845673161E-03

STATE	CORRECTION VECTOR	ESTIMATED STATE
X(1)	-1.1914028049E-06	1.133171189
X(2)	6.4843469602E-07	1.1283514253E-04
X(3)	-5.3274319956E-09	1.2713304252E-03
X(4)	5.1495164689E-04	4.750271205
X(5)	3.3434185359E-05	1.730058778
X(6)	-1.0570498212E-03	4.790871581
X(7)	1.2940933611E-04	49281.15307

< ITERATION : 5 > RMS = 3.1783896204E-03

STATE	CORRECTION VECTOR	ESTIMATED STATE
X(1)	-1.3460539409E-06	1.133169843
X(2)	4.8152700022E-07	1.1331666953E-04
X(3)	-3.9712080944E-09	1.2713264540E-03
X(4)	4.5389006968E-04	4.750725095
X(5)	7.4426783164E-05	1.730133205
X(6)	-7.8519203089E-04	4.790086389
X(7)	9.6127765744E-05	49281.15317

< ITERATION : 6 > RMS = 2.4554029707E-03

STATE	CORRECTION VECTOR	ESTIMATED STATE
X(1)	-1.4214624714E-06	1.133168422
X(2)	3.5651245429E-07	1.1367318198E-04
X(3)	-2.9457131011E-09	1.2713235083E-03
X(4)	4.0194245236E-04	4.751127038
X(5)	1.0093460542E-04	1.730234140
X(6)	-5.8152299340E-04	4.789504866
X(7)	7.1194111771E-05	49281.15324

< ITERATION : 7 > RMS = 1.8964294989E-03

STATE	CORRECTION VECTOR	ESTIMATED STATE
X(1)	-1.4547846130E-06	1.133166967
X(2)	2.6348820708E-07	1.1393667019E-04
X(3)	-2.1773422023E-09	1.2713213309E-03
X(4)	3.5976081437E-04	4.751486798
X(5)	1.1826134792E-04	1.730352401
X(6)	-4.2994664482E-04	4.789074919
X(7)	5.2637786055E-05	49281.15329

< Final Solutions : A, EC, ES, OMEGA, I, M, T >

STATE	INITIAL STATE	ERROR COV. [P]	VAR. [SIGMA]
X(1)	1.133167	1.9142912E-06	1.3835791E-03
X(2)	1.1393667E-04	2.7303890E-10	1.6523889E-05
X(3)	1.2713213E-03	2.5108192E-11	5.0108075E-06
X(4)	4.751487	3.4333902E-04	1.8529410E-02
X(5)	1.730352	2.5378458E-04	1.5930618E-02
X(6)	4.789075	3.4330321E-04	1.8528443E-02
X(7)	49281.15	3.8669426E-07	6.2184745E-04

< Final Solutions : A, ECC, AP, OMEGA, I, M, T >

STATE	INITIAL STATE
A (KM)	: 7227.501172
ECC (Degree)	: 1.2763953365E-03
AP (Degree)	: 84.89058469
OMEGA (Degree)	: 272.2195272
I (Degree)	: 99.13511378
M (Degree)	: 274.4184148
T (+ 2400000JD)	: 49281.15324

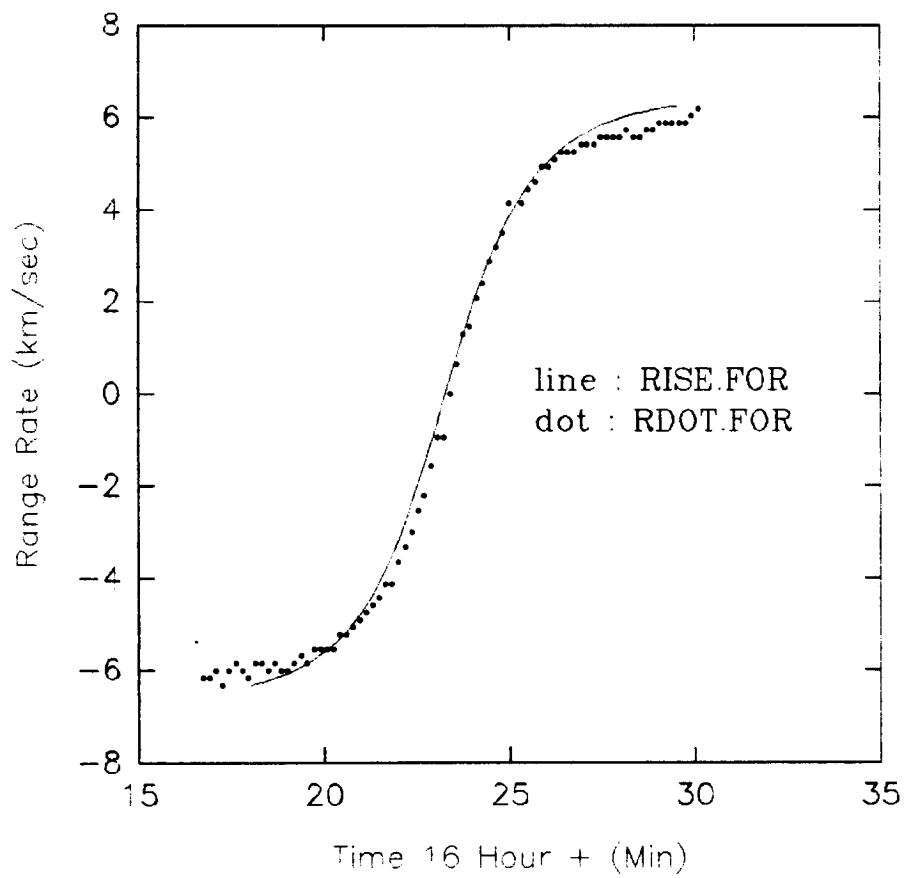


그림 32. NOAA-11호 위성의 주파수 관측자료
(점)와 미분보정에의해 계산된 값
(실선)과 비교

제 6 장 결론

극궤도 인공위성의 추적 감시를 위해 필요한 도플러 추적기술은 국내에서 실용화시키기 위한 기술을 개발하는데 본 연구의 목적이 있다.

본 연구에서는 우리별 1호와 UOSAT-22 위성의 Micro satellite에 대한 궤도요소 자료를 1992년 8월 25일부터 1993년 12월 29일까지 수집하였다.

우리별 1호 주파수의 도플러 변화를 관측하기 위해 1993년 8월 1일 03시 29분부터 03시 45분(한국시간) 사이에 연세대학교 과학관 6층에서 주파수 변화를 관측하였다. 수동으로 관측한 주파수의 변화량은 435180.0kHz에서 435167.2kHz까지의 변화량을 보인다.

기상위성 NOAA-11호의 주파수에 대한 도플러 변화를 1993년 10월 20일 16시 16분에서 16시 30분(한국시간) 사이에 전파연구소의 직경 5m 추적안테나를 사용하여 측정하였다.

궤도요소의 변화가 주파수의 도플러 편이에 미치는 영향을 살펴보기 위해 컴퓨터 모의 실험을 하였다.

작성한 도플러 추적 감시 S/W가 임의의 궤도요소값에 의해 잘 수행되는 과정을 보이므로 도플러 추적감시 S/W의 정확성이 입증되었다.

참 고 문 헌

- Escobal, P. R. 1976, Method of Orbital Determination (John Wiley & Sons : New York).
- Moulton, F. R. 1914, An Introduction to Celestial Mechanics (Macmillan : New York).
- Taff, L. G. 1985, Celestial Mechanics (John Wiley & Sons : New York).
- Tapley, B. D., Schultz, B. E. and Born, G. H. 1993, Satellite Orbit Determination,
Center for Space Research, Univ. of Texas at Austin.
- Tapley, B. D. 1973,
Statistical Orbit Determination Theory in Recent Advances in Dynamical Astronomy,
ed. Tapley and Szebehely (Reidel : Holland).

부 록

List of Program


```

READ(1,33,ERR=500) HR, RMIN, SEC, F, FU, FL
RMIN = RMIN - 3.18D0
AF = (FU + FL)/2. + 0.022
DELF = F - AF
C = 2.9979250D+05
RDOT = (-C*(DELF/F))/28.0D0

C -----
CALL DATCONV(HR,RMIN,SEC,T,RDOT,DOBS)

CALL HK4(A,EC,ES,ON,OLAM,DJST0,AP,T,HK,THK,DD0)

CALL HLMS(HK,THK,RMSY,DOBS,DD0,DELD,RL,RM)

WRITE(6,30) RDOT,DD0*csu,DELD*csu

17  CONTINUE

      GOTO 400

500  CLOSE(1)

C -----
CALL SOLUTN(NITR,A,EC,ES,ON,OLAM,DJST0,AP,RL,RM,XNI,RMSY,
* NOSTOP)
C -----
WRITE(6,40)

IF(NOSTOP) GOTO 300

10  FORMAT(//,
&' #####',
&' This program finds the best estimate of the initial',
&' states for a satellite motion. (Batch Algorithm).',
&' #####',
&' X(1) : SEMI-MAJOR AXIS',
&' X(2) : ECC*DCOS(AP)',
&' X(3) : ECC*DSIN(AP)',
&' X(4) : R.A. of ASCENDING NODE',
&' X(5) : ORBITAL INCLINATION',
&' X(6) : MEAN ANOMALY',
&' X(7) : PASSAGE TIME of NODE',
&' #####'),

20  FORMAT(//,' < ITERATION NUMBER : ', I2, ' > ',
&' #####',
&' Dobs Dcal O -C',
&' _____'),

30  FORMAT(4X, 3(1X,1PG14.6))
40  FORMAT(1X,58('*'))

STOP
END

```

```

C=====
C   This subroutine initializes the variables.
C=====
      SUBROUTINE CONST(A,EC,ES,ON,OI,AM,DJST0,T1,XNI)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION XNI(7)
      COMMON/CONST3/RND,EK,EM,DT,DTH,AE,NUM,STP,EPS,PI,FJ2,ELONG
      *   ,G1,G2,REV,DJSTART,GST,GLAT,CSU

      PI = 3.1415926535897932385D0
      RND = 57.29577952D0

c NOAA 11
      ECC = 0.001276D0
      AP0 = 92.8710D0/RND
      ON0 = 269.2092D0/RND
      OI = 99.1481D0/RND
      AM = 267.3840D0/RND
      REV = 14.12923624D0

      P = (1./REV)*3600.*24
      A3 = (3.986011999D+20*P*P)/(4.*PI*PI)
      A = A3**(1./3.)/1.D+05

      EPOCHY= 1993.D0
      EPOCHM= 10.D0
      EPOCHD= 17.89200958D0

      CALL DJULIAN(EPOCHY,EPOCHM,EPOCHD,DJEPOCH)

      STARTY=1993.D0
      STARTM=10.D0
      STARTD=20.0D0

      CALL DJULIAN(STARTY,STARTM,STARTD,DJSTART)

      DJST1=DJSTART+T1
      DJST0=DINT((DJST1-DJEPOCH)*REV)/REV+DJEPOCH
      TU=(DJSTART-15020.D0)/36525.D0
C      GST=99.6909833D0+36000.7689D0*TU+0.00038708D0*TU*TU
      GST=100.4606184D0+360000.77005D0*TU+0.00003879333D0*TU*TU
      GST=GST/RND
      GST=GST-DINT(GST/(2.D0*PI))*2.D0*PI
      FJ2=1.0827D-03
      AE = 6378.135D0
      A = A/AE

      CALL PERTUB(DJST0,DJEPOCH,A,ECC,OI,AP0,ON0,AP,ON)

      AM = 2.0D0*PI - AP
      EK = 0.07436680D0
      EM = 1.0D0

```

```

CSU = 7.9053644D0
F   = 1.D0/299.152813D0
DT  = 0.25068447D0
DTH = 4.3752695D-03
GLAT = 37.3883D0/RND
ELONG= 126.94306D0/RND
G1  = 1.D0/DSQRT(1.D0-(2.D0*F-F*F)*DSIN(GLAT)*DSIN(GLAT))
G2  = G1*(1.D0-F)*(1.D0-F)
NUM = 16
STP = 1.D-6
EPS = 1.D0

```

```

EC = ECC*DCOS(AP)
ES = ECC*DSIN(AP)

```

```

XNI(1) = A
XNI(2) = EC
XNI(3) = ES
XNI(4) = ON
XNI(5) = OI
XNI(6) = AM
XNI(7) = DJST0

```

```

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DJULIAN(YR,AMON,DAY,DJ)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IF (AMON.LE.2.) THEN
  AMON=AMON+12.D0
  YR=YR-1.D0
END IF
DJ=15078.5D0+DAY+DINT((YR-1900.D0)*1461.D0/4.D0)+DINT((AMON
*   *153.D0-457.D0)/5.D0)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PERTUB(TT,DJ,A,ECC,OI,AP0,ON0,AP,ON)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON/CONST3/RND,EK,EM,DT,DTH,AE,NUM,STP,EPS,PI,FJ2,ELONG
*   ,G1,G2,REV,DJSTART,GST,GLAT,CSU

PP=(A*(1.D0-ECC*ECC))*2
AP=AP0+1.5D0*FJ2*(2.D0-2.5D0*DSIN(OI)*DSIN(OI))*2.D0*PI*
*   REV*(TT-DJ)/PP
print*, 'pertub',ap
ON=ON0-1.5D0*FJ2*DCOS(OI)*2.D0*PI*REV*(TT-DJ)/PP
AP=AP-DINT(AP/(2.D0*PI))*2.D0*PI
ON=ON-DINT(ON/(2.D0*PI))*2.D0*PI
RETURN
END

```

```

C =====
C   This subroutine sets up the covariance vector to be calculated
C =====

```

```

      SUBROUTINE RINIT(XNI,RL,RM,A,EC,ES,ON,OI,AM,DJST0)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION RL(7,7),RM(7)
      DIMENSION XNI(7),COV(7,7)

      DO 7 I = 1,7
      DO 7 J = 1,7
7      COV(I,J) = 0.D0

      DO 500 I=1,7
      RM(I) = 0.0
500    CONTINUE

      DO 1000 I=1,7
      DO 1000 J=1,7
      RL(I,J) = 0.0
1000  CONTINUE

      COV(1,1) = 522371.8992D0
      COV(2,2) = 3.630568775D9
      COV(3,3) = 3.982737319D10
      COV(4,4) = 2898.943734D0
      COV(5,5) = 3932.13829293D0
      COV(6,6) = 2859.768139D0
      COV(7,7) = 2073600D0

      DO 90 I = 1,7
      DO 90 J = 1,7
90    RL(I,J) = COV(I,J)

      A   = XNI(1)
      EC  = XNI(2)
      ES  = XNI(3)
      ON  = XNI(4)
      OI  = XNI(5)
      AM  = XNI(6)
      DJST0= XNI(7)

      RETURN
      END

```

```

C =====
C   This subroutine processes the observation or finds the best
C   initial estimate.
C =====

```

```

      SUBROUTINE SOLUTN(NITR,A,EC,ES,ON,OI,AM,DJST0,AP,RL,RM,XNI,
*      RMSY,NOSTOP)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)

```

```

        DIMENSION XK(7),XB(7),RL(7,7),RM(7)
        DIMENSION RLINV(7,7),INDX(7),XNI(7),
*          CINV(7,7),XNIG(7)
        CHARACTER*25 NCH(7)
        COMMON/CONST3/RND,EK,EM,DT,DTH,AE,NUM,STP,EPS,PI,FJ2,ELONG
*          ,G1,G2,REV,DJSTART,GST,GLAT,CSU
        LOGICAL NOSTOP

        TOL = 1.D-3
        KTR = 16

C -----
        CALL CHOLESK(RL,RM,7,XK)
C -----

        SUM = 0.D0

        XNI(1) = A
        XNI(2) = EC
        XNI(3) = ES
        XNI(4) = ON
        XNI(5) = OI
        XNI(6) = AM
        XNI(7) = DJST0

        DO 1000 I=1,7
1000    XB(I) = 0.D0

        DO 2000 I=1,7
        DSS = (XK(I)-XB(I))*(XK(I)-XB(I))
2000    SUM = SUM + DSQRT(DSS)
        RMS = DSQRT(RMSY/(KTR-1))

C -----
        CALL INV(RL,CINV,7)
C -----

C      /* CONVERT RADIAN TO DEGREE */

        XNIG(1)=XNI(1)*AE
        XNIG(2)=DSQRT( XNI(2)**2 + XNI(3)**2 )
        XNIG(3)=AP*RND
        XNIG(4)=XNI(4)*RND
        XNIG(5)=XNI(5)*RND
        XNIG(6)=XNI(6)*RND
        XNIG(7)=XNI(7)

        NCH(1) = 'A      (KM)      :'
        NCH(2) = 'ECC      :'
        NCH(3) = 'AP      (Degree)  :'
        NCH(4) = 'OMEGA (Degree)  :'
        NCH(5) = 'I      (Degree)  :'
        NCH(6) = 'M      (Degree)  :'
        NCH(7) = 'T      (+ 240000JD)  :'

```

```

WRITE(2,20) NITR,RMS
DO 3000 I=1,7
  XNI(I) = XNI(I) + XK(I)
3000 WRITE(2,30) I,XK(I),XNI(I)
  WRITE(2,31)

  IF(SUM.GE.TOL .AND. RMS.GE.TOL) THEN
    NOSTOP = .TRUE.
    DO 4000 I=1,7
      XB(I) = XK(I)
4000 ELSE
      NOSTOP = .FALSE.
      DO 4500 I=1,7
        INDX(I) = 0.D0
        DO 4500 J=1,7
          RLINV(I,J) = 0.D0
4500 C -----
          CALL INVERSE(RL,7,RLINV,INDX)
          C -----
          WRITE(2,40)
          DO 9500 I=1,7
            SIGMA = DSQRT( DABS(RLINV(I,I)) )
9500 WRITE(2,50) I,XNI(I),RLINV(I,I),SIGMA
            WRITE(2,51)

            WRITE(2,60)
            DO 9600 I=1,7
              SIGMA = DSQRT( DABS(RLINV(I,I)) )
9600 WRITE(2,70) NCH(I),XNIG(I)
            WRITE(2,71)

          ENDIF

20  FORMAT(/,
&' < ITERATION : 'I2,' >          RMS = '1PE18.10/,
&' *****'/,
&' STATE CORRECTION VECTOR ESTIMATED STATE '/,
&' *****')
30  FORMAT(' X('I2,')',1X,2(3X,1PG20.10))
31  FORMAT(1X,58('#'))
40  FORMAT(/,' < Final Solutions : A,EC,ES,OMEGA,I,M,T > '/,
&' *****'/,
&' STATE INITIAL STATE ERROR COV.[P] VAR. [SIGMA] '/,
&' *****')
50  FORMAT(' X('I2,')',1X,3(2X,1PG14.7))
51  FORMAT(1X,60('#'))

60  FORMAT(/,' < Final Solutions : A,ECC,AP,OMEGA,I,M,T > '/,
&' *****'/,
&' STATE INITIAL STATE '/,
&' *****')

```



```

70  FORMAT(3X,A25,3X,1PG17.10)
71  FORMAT(1X,60('#'))

```

```

      RETURN
      END

```

```

C =====
C  This subroutine is to calculate [HT*W*H]&[HT*W*DELD] vectors
C =====

```

```

      SUBROUTINE HLMS(HK,THK,RMSY,DOBS,DCAL,DELD,RL,RM)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION RL(7,7),RM(7)
      DIMENSION HK(1,7),THK(7,1)
      COMMON/CONST3/RND,EK,EM,DT,DTH,AE,NUM,STP,EPS,PI,FJ2,ELONG
      *      ,G1,G2,REV,DJSTART,GST,GLAT,CSU

      W=0.1D0
      RMSY = 0.D0
      DELD = DOBS - DCAL

      RMSY = RMSY + DELD*DELD

      DO 999 I=1,7
         RM(I) = RM(I) + THK(I,1)*W*DELD
999    CONTINUE

      DO 1000 I=1,7
         DO 1000 J=1,7
            RL(I,J) = RL(I,J) + THK(I,1)*W*HK(I,J)
1000   CONTINUE

      RETURN
      END

```

```

C =====
C  This subroutine is to find each element of [H] & [HT] matrix
C  with numerical derivitive method.
C =====

```

```

      SUBROUTINE HK4(A,EC,ES,ON,OI,AM,T0,AP,T,HK,THK,DD0)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION HK(1,7),THK(7,1)
      COMMON/CONST3/RND,EK,EM,DT,DTH,AE,NUM,STP,EPS,PI,FJ2,ELONG
      *      ,G1,G2,REV,DJSTART,GST,GLAT,CSU

      CALL ORBIT(A,EC,ES,ON,OI,AM,T0,AP,T,DD0)

      CALL ORBIT(A+A*STP,EC,ES,ON,OI,AM,T0,AP,T,DD1)
      CALL ORBIT(A-A*STP,EC,ES,ON,OI,AM,T0,AP,T,DD11)
      HK(1,1) = (DD1-DD11)/(2.D0*A*STP)
      THK(1,1) = HK(1,1)

```

```

CALL ORBIT(A,EC+EC*STP*0.001,ES,ON,OI,AM,T0,AP,T,DD2)
CALL ORBIT(A,EC-EC*STP*0.001,ES,ON,OI,AM,T0,AP,T,DD21)
  HK(1,2) = (DD2-DD21)/(2.D0*EC*STP*0.001)
  THK(2,1) = HK(1,2)

CALL ORBIT(A,EC,ES+ES*STP*0.001,ON,OI,AM,T0,AP,T,DD3)
CALL ORBIT(A,EC,ES-ES*STP*0.001,ON,OI,AM,T0,AP,T,DD31)
  HK(1,3) = (DD3-DD31)/(2.D0*ES*STP*0.001)
  THK(3,1) = HK(1,3)

CALL ORBIT(A,EC,ES,ON+ON*STP,OI,AM,T0,AP,T,DD4)
CALL ORBIT(A,EC,ES,ON-ON*STP,OI,AM,T0,AP,T,DD41)
  HK(1,4) = (DD4-DD41)/(2.D0*ON*STP)
  THK(4,1) = HK(1,4)

CALL ORBIT(A,EC,ES,ON,OI+OI*STP,AM,T0,AP,T,DD5)
CALL ORBIT(A,EC,ES,ON,OI-OI*STP,AM,T0,AP,T,DD51)
  HK(1,5) = (DD5-DD51)/(2.D0*OI*STP)
  THK(5,1) = HK(1,5)

CALL ORBIT(A,EC,ES,ON,OI,AM+AM*STP,T0,AP,T,DD6)
CALL ORBIT(A,EC,ES,ON,OI,AM-AM*STP,T0,AP,T,DD61)
  HK(1,6) = (DD6-DD61)/(2.D0*AM*STP)
  THK(6,1) = HK(1,6)

CALL ORBIT(A,EC,ES,ON,OI,AM,T0+T0*STP*0.001D0,AP,T,DD7)
CALL ORBIT(A,EC,ES,ON,OI,AM,T0-T0*STP*0.001D0,AP,T,DD71)
  HK(1,7) = (DD7-DD71)/(2.D0*T0*STP*0.001D0)
  THK(7,1) = HK(1,7)

```

```

RETURN
END

```

```

C =====
C      << Cholesky Decomposition >>
C=====

```

```

SUBROUTINE CHOLESK(RMAT,Y,ND,X)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DIMENSION RMAT(7,7),SMAT(7,7),X(7),Y(7),Z(7)

DO 2000 I=1,ND
DO 2000 J=1,ND
  IF( LEQJ ) THEN
    SUM = 0.D0
    DO 2500 K=1,I-1
2500    SUM = SUM + SMAT(K,I)*SMAT(K,I)
    SMAT(I,J) = DSQRT( RMAT(I,J) - SUM )
  ELSE
    SUM = 0.D0
    DO 2600 K=1,I-1
2600    SUM = SUM + SMAT(K,I)*SMAT(K,J)
    SMAT(I,J) = ( RMAT(I,J) - SUM ) / SMAT(I,I)
  ENDIF
2000 CONTINUE

```

```

DO 3000 I=1,ND
  SUM = 0.D0
  DO 3500 J=1,I-1
3500    SUM = SUM + SMAT(J,I)*Z(J)
        Z(I) = ( Y(I) - SUM ) / SMAT(I,I)
3000  CONTINUE

X(ND) = Z(ND) / SMAT(ND,ND)
DO 3700 I=ND-1,1,-1
  SUM = 0.D0
  DO 3800 J=ND,I+1,-1
3800    SUM = SUM + SMAT(I,J)*X(J)
        X(I) = ( Z(I) - SUM ) / SMAT(I,I)
3700  CONTINUE

RETURN
END

C =====
C  THIS SUBROUTINE ACCEPTS A MATRIX A OF DIMENSION N * N AND
C  RETURNS THE INVERSE OF THE MATRIX, Y.  THE INVERSE IS
C  PERFORMED USING THE LU DECOMPOSITION.
C =====

SUBROUTINE INVERSE (AA, N, YY, INDX)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DIMENSION AA(7,7),YY(7,7),INDX(7)

NP = N
DO 12 I=1,N
DO 11 J=1,N
11  YY(I,J) = 0.D0
12  YY(I,I) = 1.D0

C  -----
C  CALL LUDCMP (AA, N, NP, INDX, D)
C  -----
DO 13 J=1,N

C  -----
13  CALL LUBKSB (AA, N, NP, INDX, YY(1,J))
C  -----

RETURN
END

C =====
C =====

SUBROUTINE LUDCMP (AA, N, NP, INDX, D)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
PARAMETER (NMAX=100,TINY=1.D-20)
DIMENSION AA(7,7), INDX(7), VV(NMAX)

```

```

D = 1.D0
DO 12 I=1,N
AAMAX = 0.D0
NP=7

DO 11 J=1,N
11 IF (DABS (AA(I,J)) .GT. AAMAX) AAMAX = DABS (AA(I,J))

IF (AAMAX .EQ. 0.D0) THEN
WRITE (6,1000)
1000 FORMAT (/39HPREMATURE TERMINATION: SINGULAR MATRIX )
END IF

12 VV(I) = 1.D0 / AAMAX

DO 19 J=1,N
DO 14 I=1,J-1
SUM = AA(I,J)
DO 13 K=1,I-1
13 SUM = SUM - AA(I,K)*AA(K,J)
14 AA(I,J) = SUM

AAMAX = 0.D0
DO 16 I=J,N
SUM = AA(I,J)

DO 15 K=1,J-1
15 SUM = SUM - AA(I,K)*AA(K,J)
AA(I,J) = SUM
DUM = VV(I)*DABS (SUM)
IF (DUM .GE. AAMAX) THEN
IMAX = I
AAMAX = DUM
ENDIF
16 CONTINUE

IF (J .NE. IMAX) THEN
DO 17 K=1,N
DUM = AA(IMAX,K)
AA(IMAX,K) = AA(J,K)
17 AA(J,K) = DUM
D = - D
VV(IMAX) = VV(J)
ENDIF

INDX(J) = IMAX
IF (AA(J,J) .EQ. 0.D0) AA(J,J) = TINY

IF (J .NE. N) THEN
DUM = 1.D0/AA(J,J)
DO 18 I=J+1,N
18 AA(I,J) = AA(I,J)*DUM
ENDIF

```

19 CONTINUE

RETURN
END

C =====
C =====

SUBROUTINE LUBKSB (AA, N, NP, INDX, B)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DIMENSION AA(7,7), INDX(7), B(7)

II = 0
DO 12 I=1,N
LL = INDX(I)
SUM = B(LL)
B(LL) = B(I)
NP=1

IF (II .NE. 0) THEN
DO 11 J = II, I-1
11 SUM = SUM - AA(I,J)*B(J)
ELSE IF (SUM .NE. 0.D0) THEN
II = I
ENDIF
12 B(I) = SUM

DO 14 I=N,1,-1
SUM = B(I)

DO 13 J=I+1,N
13 SUM = SUM - AA(I,J)*B(J)
14 B(I) = SUM / AA(I,I)

RETURN
END

C =====
C =====

SUBROUTINE ORBIT(A,EC,ES,ON,OI,AM,DJST0,AP,TT,RRATE)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
COMMON/CONST3/RND,EK,EM,DT,DTH,AE,NUM,STP,EPS,PI,FJ2,ELONG
* ,G1,G2,REV,DJSTART,GST,GLAT,CSU

AMM=(DJSTART+TT/(60.D0*24.D0)-DJST0)*REV*2.D0*PI+AM
AMM=AMM-DINT(AMM/(2.D0*PI))*2.D0*PI
ST=GST+DTH*TT+ELONG
ST=ST-DINT(ST/(2.D0*PI))*2.D0*PI
RX=-G1*DCOS(GLAT)*DCOS(ST)
RY=-G1*DCOS(GLAT)*DSIN(ST)
RZ=-G2*DSIN(GLAT)
RXDOT=-RY*DTH/EK
RYDOT=+RX*DTH/EK
RZDOT=0.D0
ECC=DSQRT(EC*EC+ES*ES)

```

      AP=DATAN(ES/EC)
      IF (ES) 1,2,2
2     IF (EC) 3,4,4
3     AP=AP+PI
      GO TO 4
1     IF (EC) 3,5,5
5     AP=AP+2.D0*PI
4     E0=AMM
8     E1=E0-(E0-ECC*DSIN(E0)-AMM)/(1.D0-ECC*DCOS(E0))
      IF (DABS(E1-E0)-1.D-6) 6,7,7
7     E0=E1
      GO TO 8
6     PX=DCOS(ON)*DCOS(AP)-DSIN(ON)*DSIN(AP)*DCOS(OI)
      PY=DSIN(ON)*DCOS(AP)+DCOS(ON)*DSIN(AP)*DCOS(OI)
      PZ=DSIN(AP)*DSIN(OI)
      QX=-DCOS(ON)*DSIN(AP)-DSIN(ON)*DCOS(AP)*DCOS(OI)
      QY=-DSIN(ON)*DSIN(AP)+DCOS(ON)*DCOS(AP)*DCOS(OI)
      QZ=DCOS(AP)*DSIN(OI)
      B=A*DSQRT(1.D0-ECC*ECC)

      X=A*PX*(DCOS(E1)-ECC)+B*QX*DSIN(E1)
      Y=A*PY*(DCOS(E1)-ECC)+B*QY*DSIN(E1)
      Z=A*PZ*(DCOS(E1)-ECC)+B*QZ*DSIN(E1)
      R=DSQRT(X*X+Y*Y+Z*Z)

      VX=(B*QX*DCOS(E1)-A*PX*DSIN(E1))/(R*DSQRT(A))
      VY=(B*QY*DCOS(E1)-A*PY*DSIN(E1))/(R*DSQRT(A))
      VZ=(B*QZ*DCOS(E1)-A*PZ*DSIN(E1))/(R*DSQRT(A))

      RHOX=RX+X
      RHOY=RY+Y
      RHOZ=RZ+Z

      RHO=DSQRT(RHOX*RHOX+RHOY*RHOY+RHOZ*RHOZ)

      RHODOT=X*VX+Y*VY+Z*VZ+X*RXDOT+VX*RX+Y*RYDOT+VY*RY+
      * Z*RZDOT+VZ*RZ
      RRATE=RHODOT/RHO

      RETURN
      END
C =====
C =====
      SUBROUTINE DATCONV(HR,RMIN,SEC,T,RDOT,DOBS)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      COMMON/CONST3/RND,EK,EM,DT,DTH,AE,NUM,STP,EPS,PI,FJ2,ELONG
      * ,G1,G2,REV,DJSTART,GST,GLAT,CSU

      T = HR*60.0 + RMIN + SEC/60.0
      DOBS = RDOT/CSU

      RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE INV(A,Q,N)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
REAL L(7,7)
DIMENSION A(7,7),Q(7,7),P(7,7)

L(1,1)=DSQRT(A(1,1))
DO 10 J=2,N
    L(1,J) = A(1,J)/L(1,1)
10  CONTINUE

    DO 20 I = 2,N
        D = 0.D0
        DO 30 K = 1,I-1
            D = D+L(K,I)**2
30  CONTINUE
        YY = A(I,I) - D
        L(I,I) = DSQRT(ABS(YY))

        IF (I.LT.N) THEN
            DO 40 J = I+1
                D = 0.D0
                DO 50 K = 1,I-1
                    D = D+L(K,I)*L(K,J)
50  CONTINUE
                L(I,J) = (A(I,J)-D)/L(I,I)
40  CONTINUE
            ELSE
                ENDIF
20  CONTINUE
        DO 60 I = 1,N
            P(I,I) = 1/L(I,I)
            IF (I.LT.N) THEN
                DO 70 J = I+1,N
                    D = 0.D0
                    DO 80 K = 1,J-1
                        D = D+L(K,J)*P(I,K)
80  CONTINUE
                    P(I,J)=-D/L(I,J)
                    P(J,I)=0.D0
70  CONTINUE
                ELSE
                    ENDIF
60  CONTINUE
            DO 90 I = 1,N
                DO 95 J = 1,N
                    D = 0.D0
                    DO 100 K = 1,N
                        D = D+P(I,K)*P(J,K)
100  CONTINUE
                    Q(I,J)=D
95  CONTINUE
90  CONTINUE

        RETURN
    END

```