

궤도자원의 효율적인 활용을 위한 위성궤도 선정 기법에 관한 연구

권태곤, 박세경, 김재명
한국전자통신연구원 무선·방송기술연구소 위성통신시스템연구부
Tel: 042-860-5450, Fax: 042-860-6403, E-mail: tgkwon@etri.re.kr

A Study on the Satellite Orbital Positioning Method for Efficient Orbit Utilization

Tae Gon Kwon, Se Kyoung Park, Jae Moun Kim
Satellite Communications System Department, ETRI- Radio & Broadcasting Technology Laboratory
Tel: 042-860-5450, Fax: 042-860-6403, E-mail: tgkwon@etri.re.kr

Abstract

To determine the satellite orbital positions under consideration of interference caused by inter-satellite systems is one of the most important issues in terms of optimal usage of satellite network resources. In this paper, we present the orbital positioning method for a new satellite to minimize inter-satellite system interference effect in the fixed satellite communication using a new method. Through the computer simulation, it is clear that the proposed method is suitable to determine the satellite orbital positions.

1. 서론

최근 정지위성을 이용한 위성통신의 급성장으로 인하여, 한정된 정지위성궤도는 보다 더 많은 위성망을 수용해야 하고, 이를 위해서는 위성궤도자원을 효율적으로 이용할 수 있는 방법이 사용되어야 한다[1]. 관련되는 많은 타 위성망들의 서비스 지역 및 전송제한들을 고려하여 상호 간섭효과가 최소로 되는 최적의 궤도위치를 선정하기 위해서는 매우 긴 작업시간과 주관청의 많은 노력을 필요로 하게 되어 사실상 어렵다.

위성시스템간 간섭효과를 고려하여 위성의 궤도위치를 선정하는 방법이 여러 연구에서 다루어졌다[2-5]. 기존의 연구에서는, 정지위성궤도가 궤도위치를 가변시킬 수 있는 위성들로 구성되어 있는 경우, 위성망간의 절대 간섭허용기준하에서 모든 위성을 배치하는데 필요한 궤도범위가 최소가 되도록 각 위성의 궤도위치를 선정하는 데에 중점을 두고 있다.

그러나 신규위성 궤도선정시에는 주어진 신규 위성망 전송제한에서 기존의 타 위성망과의 간섭효과가 최소로 되는 궤도를 선정해야 하기 때문에, 절대 간섭허용기준을 만족하는 신규위성궤도를 선정하는 기존의 방법보다

는, 위성망간 간섭이 상대적으로 최소인 신규위성궤도를 선정하는 방법을 적용해야 할 것이다.

따라서 본 논문에서는, 신규위성망과 기존의 위성망간의 상호간섭효과를 최소로 하는 정지위성궤도상에서의 최적 위성궤도위치를 효율적으로 선정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 최적 궤도선정 방법

일반적으로 위성망간의 간섭을 평가하는 방법으로는 C/I (Carrier to Interference Power Ratio) 마진을 사용하며, 그림 1 과 같은 구성에서, 간섭위성망 j 가 피간섭 위성망 i 에 주는 단일 C/I 마진 M_{ij} 는 식(1)을 적용하여 계산할 수 있다[6].

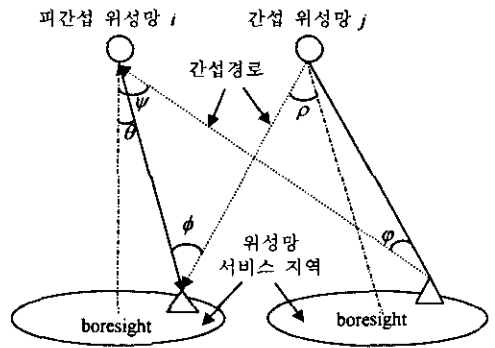


그림 1. 위성망간 간섭

$$M_{ij} = (C/I)_{ij} - (C/I)_{req}$$

$$(C/I)_{ij} = -10 \log \left[10^{-(C/I)_u/10} + 10^{-(C/I)_d/10} \right] \quad (1)$$

$$(C/I)_u = p_1 + g_1 + g_2(\theta) - (p'_1 + g'_1(\phi) + g_2(\psi) + F) - \Delta L_u + Y_u$$

$$(C/I)_d = p_3 + g_3 + g_4 - (p'_3 + g'_3(\rho) + g_2(\phi) + F) - \Delta L_d + Y_d$$

여기서 $(C/I)_{req}$ 는 요구 C/I 를 나타내고 p, g 는 송신전력과

송/수신 안테나 이득을 표시하며, 아래첨자 1, 2, 3, 4는 각각 송신지구국, 수신위성, 송신위성, 수신지구국을 표시하고 '은 간섭위성망의 제원을 표시한다. 또한 L과 Y는 각각 경로손실차와 편파분리이득차를 의미한다. $F=10\log(BW_1/BW_2)$ 로 정의되며, BW_1 과 BW_2 는 각각 회망 및 간섭위성망의 전송신호대역폭이다. 한편, 각 항목의 단위는, 전력은 dBW, 안테나이득은 dBi, 그 외는 dB를 사용한다.

최적 위성궤도 선정 기준은, 신규위성망이 타 위성망에 주는 최소 단일 C/I 마진을 최대로 하는 방안, 신규위성망이 타 위성망으로부터 받는 최소 단일 C/I 마진을 최대로 하는 방안 등의 두 가지로 구분할 수 있으나, 본 논문에서는 두 기준이 유사하므로 전자에 대해서만 기술하며, 이에 대한 목적함수는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Max } f(\theta), a \leq \theta \leq b \quad (2)$$

여기서 $f(\theta) = \min\{M_{ik}, i=1, \dots, n, i \neq k\}$

a, b: 신규위성 궤도범위의 하한 및 상한

n: 전체 위성 수, 위성망 k: 신규위성망

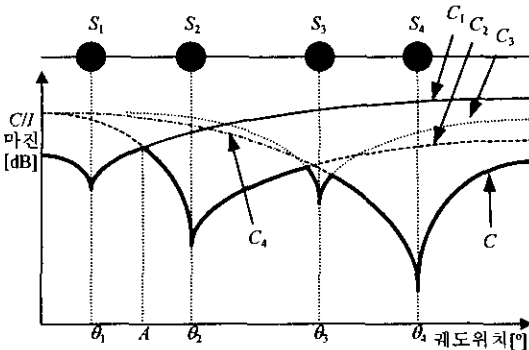


그림 2. 신규위성의 궤도위치 변화에 따른 타 위성과의 단일 C/I 마진

그림 2에서, 곡선 C_1, C_2, C_3 및 C_4 는 각각 신규위성의 궤도위치 변화에 따른 신규위성이 타 위성 S_1, S_2, S_3 , 및 S_4 에 주는 단일 C/I 마진을 나타내며, $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 및 θ_4 는 각각 위성 S_1, S_2, S_3 , 및 S_4 의 궤도위치를 나타낸다. 곡선 C(굵은 곡선)는 신규위성이 타 위성에 주는 단일 C/I 마진중 최소를 나타내며, 식 (2)에서의 $f(\theta)$ 는 그림 2의 곡선 C가 된다. 목적식을 달성하는 것은 $f(\theta)$ 가 최대일 때의 θ 를 찾는 것이고, 이는 곡선 C에서 C/I 마진값이 최대일 때의 궤도위치를 찾는 것이다.

곡선 C_1 은 S_1 의 궤도위치 θ_1 에서 극소점을 가지며, θ_1 에서 멀어지면서 단조증가하는 특성을 갖는다. 왜냐하면, 궤도이격각의 증가에 따라 위성간의 간섭량이 감소하기 때문이다. 그리고, 인접한 두 위성으로 구성되는 임의의 궤도구간내에서는 극소점이 존재하지 않는다. 이와 같은

특성은 곡선 C_2, C_3 및 C_4 에 대해서도 마찬가지이다. 따라서 임의의 궤도구간내에서, 복수개의 단일 C/I 마진 곡선중에서 최소값만을 연결하는 새로운 곡선(굵은 곡선)을 만들 경우, 그림 3의 (a)와 같은 1개의 단조 감소(또는 증가)하는 곡선이나 그림 3의 (b),(c) 등과 같은 단조증가 및 단조감소하는 곡선들의 연결선으로 나타나므로, 한 궤도구간내에서 최대값을 갖는 지점(그림 3에서 ■)은 항상 1개만 존재하게 된다.

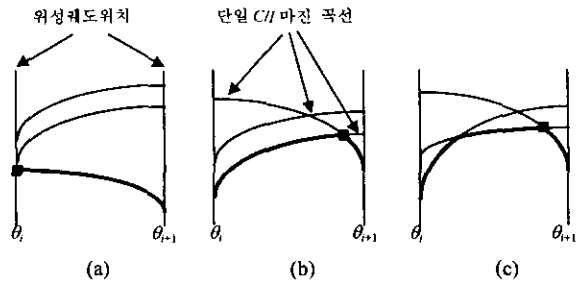
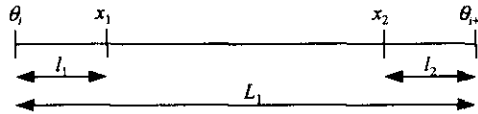


그림 3. 최소 단일 C/I 마진 곡선의 형태

그러므로 그림 2의 곡선 C는 위성궤도위치 사이의 구간마다 한 개의 최대값을 가지게 되고, 각 구간에 대해서 Fibonacci 알고리즘[7]을 적용하여 구간최대값을 구할 수 있다. 궤도구간 $[\theta_i, \theta_{i+1}]$ 에서 최소 단일 C/I 마진 곡선의 최대값은 다음과 같이 찾을 수 있다.



단계 1: L_k : k번째 사이클에서 구간 최대값이 존재하는 범위

$$\text{첫번째 사이클} : L_1 = [\theta_i, \theta_{i+1}]$$

단계 2: 두번째 사이클 : L_2

$$l_1 = (F_{N-2}/F_N) L_1$$

여기서 F_N : Fibonacci 수열

$$x_1 = \theta_i + l_1; x_2 = \theta_{i+1} - l_1$$

$$f(x_1) > f(x_2) : L_2 = [\theta_i, x_2]$$

$$f(x_1) < f(x_2) : L_2 = [x_1, \theta_{i+1}]$$

단계 3: k번째 사이클 : L_k

$$l_k = \frac{F_{N-(k+1)}}{F_{N-(k-1)}} L_k$$

최대값 존재구간 L_k 가 충분히 작아지면 그때의 궤도위치가 곡선에서 최대값을 나타내는 궤도위치가 된다.

상기 단계 1, 2, 3을 각 궤도구간에 대해서 반복하여 구간 최대값과 그때의 궤도위치를 찾은 후, 각 구간 최대값중 전체 최대값을 구한다. 이 전체 최대값에 해당하

는 궤도위치가 신규위성의 최적 궤도위치가 된다.(그림 2에서 궤도위치 A)

지금까지 설명한 방법에서는 최적화 알고리즘을 통하여 모든 궤도위치에서 위성망간의 간섭을 계산하지 않아도 정확한 궤도위치를 찾을 수 있으나, 각 궤도구간에서 신규 위성망과 모든 타 위성망간 간섭을 계산해야 하므로, 타 위성의 수가 매우 많은 경우에는 각 궤도구간에서 위성망간 간섭계산량이 급격하게 늘어나게 된다. 이를 해결하기 위해서, 그림 2의 각 궤도구간에서 신규 위성망과 모든 타 위성망간의 간섭을 계산하는 대신에, 모든 타 위성망중 곡선 C에 영향을 주는 간섭 위성망들만을 검색하여 그 위성망들과의 간섭을 계산함으로써 간섭계산 시간을 줄이는 방법을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 타 위성망이 5개인 경우에 대한 예를 들어 간섭 위성망 검색 방법을 설명하기로 한다. 그림 4에서 곡선 a, b, c, e, f는 각각 신규위성의 궤도위치에 따른 신규위성망이 위성망 a, b, c, e, f에 주는 C/I 마진을 나타내고, 곡선 G는 최소 C/I 마진을 나타낸다.

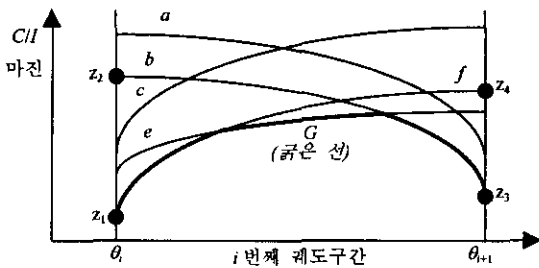


그림 4. 간섭 위성망 검색

그림 4에서 곡선 G에 영향을 주는 간섭 위성망을 검색하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

- 단계 1: 임의의 i번째 궤도구간의 궤도위치 θ_i 와 θ_{i+1} 에서 여러 C/I 마진값들 중 최소값을 나타내는 곡선을 선택한다.(곡선 f, 곡선 b)
- 단계 2: 궤도위치 θ_i 에서, 선택된 곡선 f의 C/I 마진 값 z_1 이상이고 선택된 곡선 b의 C/I 마진 값 z_2 이하인 곡선을 선택한다.(곡선 c, 곡선 e)
- 단계 3: 궤도위치 θ_{i+1} 에서, 선택된 곡선 b의 C/I 마진 값 z_3 이상이고 선택된 곡선 f의 C/I 마진 값 z_4 이하인 곡선을 선택한다.(곡선 a, 곡선 e)
- 단계 4: 단계 2와 단계3에서 공통적으로 선택된 곡선들만 추출한다.(곡선 e)
- 단계 5: i번째 궤도구간에서 곡선 G에 영향을 주는 곡선은 단계1에서 선택된 곡선 b, 곡선 f와 단계 5에서 추출된 곡선 e가 된다.

따라서 i번째 궤도구간에서, 모든 타 위성망중 곡선 G에 영향을 주는 위성망은 b, e, f이며, 나머지 타 위성망 a와 c는 곡선 G에 아무런 영향을 주지 않기 때문에 궤도 선정 알고리즘에서의 분석 대상 위성망에서 제외시킬 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서 제안된 방법을 이용하여 선정된 위성궤도위치 결과와 전수탐색방법을 이용하여 선정된 위성궤도위치 결과와의 비교를 통하여 제안된 방법을 검증하고자 한다.

본 논문의 시뮬레이션에서는, 전수탐색방법의 적용을 용이하게 하기 위하여 10개의 위성을 고려하였으며, 사용한 위성망 데이터를 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1. 위성망 데이터(I)

항 목	제 원
위성 수	타 위성 : 9개, 신규위성 : 1개
지구국 안테나 방사패턴 및 최대이득	$G = G_m$ [dB] for $\theta \leq 1^\circ$ $G = 32 - 25 \log \theta$ [dB] for $\theta > 1^\circ$ $G_m = 45.4$
위성 안테나 방사패턴	$g = g_m - 10 \cdot \log(1 + (\theta/\theta_0)^2)$ [dB] $a = 3.5, g_m = 44.61$

표 2. 위성망 데이터(II)

위성 No.	궤도[°]	borsight 경도[°]	borsight 위도[°]	반전력 빔폭각[°]	송신지구국 전력[dB]	송신우주국 전력[dB]
1	100.5	101.6	39.8	3.0	0.5	-22.7
2	102.0	130.2	11.2	2.2	3.6	-26.2
3	103.3	119.0	38.9	0.9	0.0	-29.4
4	105.1	96.7	8.5	1.3	-4.5	-22.1
5	-	121.4	36.0	0.8	-6.3	-25.4
6	108.3	106.5	46.8	0.9	0.5	-30.9
7	109.1	136.6	35.5	1.2	1.9	-27.8
8	110.9	99.2	10.1	1.4	5.2	-29.1
9	112.2	114.7	62.2	2.2	-2.4	-26.3
10	113.7	89.4	27.3	0.9	-3.9	-28.2

제안된 방법과 전수탐색방법을 이용하여 선정된 신규위성의 최적 궤도위치와 그 때의 단일 C/I 마진을 표 3에 나타내었으며, 위성 5의 가변 궤도범위의 하한과 상한은 각각 100.5°와 113.7°이고, 전수탐색방법에서의 최소탐색 간격은 0.001°로 하였다. 표 3에서 굵은 글씨체의 C/I 마진값은 단일 C/I 마진중 최소값을 나타낸다. 표 3에서, 제안된 방법과 전수탐색방법에서 위성 5의 최적 궤도위치는 106.282°로 동일함을 알 수 있다. 두 방법에서, 신규위성이 타 위성에 주는 단일 C/I 마진중 최소는 위성 5가 위성 4에 주는 단일 C/I 마진이며, C/I 마진값

은 각각 18.780[dB]와 18.799[dB]로 거의 같다.

표 3. 궤도선정 결과

위성 No.	궤도[°]	C/I 마진[dB]	
		제안된 방법	전수탐색방법
1	100.5	36.973	36.972
2	102.0	35.535	35.535
3	103.3	26.663	27.663
4	105.1	18.780	18.799
5	106.282	-	-
6	108.3	20.283	20.284
7	109.1	37.913	37.913
8	110.9	39.782	39.782
9	112.2	34.198	34.198
10	113.7	34.199	36.20

본 시뮬레이션의 경우, 표 4에서와 같이 각 궤도구간에서 고려되어야 할 분석 대상 위성의 수는 간섭 위성망 검색을 통하여 매우 크게 줄어든 것을 알 수 있다.

표 4. 각 궤도구간에서 고려되는 분석 대상 위성 수

궤도구간	간섭 위성망 검색 방법 적용여부	
	적용 함.	적용 않함
위성 1~위성 2	1	9
위성 2~위성 3	2	9
위성 3~위성 4	1	9
위성 4~위성 6	1	9
위성 6~위성 7	2	9
위성 7~위성 8	3	9
위성 8~위성 9	1	9
위성 9~위성 10	2	9

위성 5의 궤도위치를 선정하기 위해 필요한 계산량을 두 위성망간의 C/I 마진 계산 수로 개략적으로 표시하면 다음과 같으며, 표 5에 요약하여 나타내었다.

1) 제안된 방법

$$(궤도구간당 사이클 수) \times (각 궤도구간에서 고려되는 위성 수의 합)$$

$$= 16 \times (1+2+1+1+2+3+1+2) = 208$$

여기서, 궤도구간당 사이클 수는 한 궤도구간에 대해서 적용된 Fibonacci 알고리즘에서의 사이클 수이다.

2) 전수탐색방법

$$(위성 5의 궤도범위)/(탐색간격) \times (총 위성 수-1)$$

$$= (113.7^\circ - 100.5^\circ) / 0.001^\circ \times 9 = 118,800$$

표 5. 궤도선정에 필요한 계산량 비교

제안된 방법	전수탐색방법	감소율
208	118,800	11,8800/208 = 571.154

표 5에서, 계산량 감소율은 약 571정도이며, 이는 제안된 방법이 전수탐색방법보다 계산속도면에서 훨씬 효율적이라고 할 수 있으며, 고려하는 위성의 수가 증가할수록 두 방법간의 계산속도 차이는 급격하게 증가한다.

4. 결론

본 논문에서는 정지위성궤도 사용이 급속하게 증가하고 있어 한정된 정지궤도에서의 위성 밀도가 매우 높은 상황에서, 궤도상의 타 위성망과의 상호 간섭영향을 고려하여 신규위성망의 최적 궤도위치를 효율적으로 선정하는 방법에 대해서 기술하였다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 제안된 방법은 신규위성사업시 위성망간 간섭영향을 최소화 하는 신규궤도위치를 찾는 데 효과적으로 사용될 수 있으며, 한정된 자원인 위성궤도를 효율적으로 사용하는데 많은 기여를 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국통신의 지원으로 수행된 연구(과제번호: KS-97-001)의 일부이며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] ITU, ITU-R Rec. S.1002, Orbit Management Techniques for the Fixed-Satellite Service.
- [2] T. Mizuno, Y. Ito and T. Muratani, Computer Tools for Optimizing Orbit Use, *AIAA 10th Comm. Satellite Systems Conference*, 1984.
- [3] Y. Ito, T. Mizuno, and T. Muratani, Effective Utilization of Geostationary Orbit Through Optimization, *IEEE Trans. on Communications*, vol. COM-27, No. 10, Oct. 1979.
- [4] E. F. Miller, A. O. Heyward and D. S. Ponchak, An Allotment Planning Concept and Related Computer for Planning the Fixed Satellite Service at the 1988 Space WARC, *GLOBECOM87*, 1987.
- [5] T. Muratani, Y. Ito and H. Kobayasi, Study of Interference Models for Equitable and efficient Use of the Geostationary Orbit, *Space Communication and Broadcasting-an international journal*, Vol. 2, No. 4, Dec. 12, 1984.
- [6] ITU: Radio Regulations, Appendix 30B.
- [7] G.S.G.Beveridge and R.S.Schechter, *Optimization: Theory and Practice*, McGraw-Hill Ltd., 1970.