

위성통신 서비스별 증계기 할당을 위한 cost 설정 방법

고성찬, 박세경, 김재명
 正會員 高晟燦*, 朴世耕*, 金在明*

A New Cost Calculation Scheme for the Service Allocation to Transponders in the Satellite Communication Systems

Sung-Chan Ko*, Se-Kyoung Park*, Jae-Moung Kim* Regular Members

要 約

위성통신 증계기의 한정된 자원 (대역/전력 등)의 사용 효율을 극대화하기 위하여는 위성통신 시스템간 또는 시스템 내에서 발생하는 동일채널간섭 효과를 최소화하도록 서비스를 할당하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 위성통신 서비스별 증계기 할당 목적에 최적이라 생각되는 cost 설정 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 제안한 방식의 효율성을 보였다. 서비스 할당문제 자체보다는, 특히 서비스 할당을 위한 cost 설정문제 (BER 성능을 최적화하는 기준의 cost 설정 방식)에 국한하여 cost 설정을 위한조건 및 이를 만족하는 cost 함수에 대해 연구하였다. 제안한 cost 설정 방식은 위성통신 서비스의 할당문제에 매우 효과적으로 적용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Service allocation to satellite transponders under consideration of interference caused by inter-satellite and intra-satellite systems is one of the most important issue in terms of optimal usage of satellite network resources. In this paper, we present a new and show several simulation results to verify the proposed method. Especially, our concerns are concentrated on the cost (interference) matrix which is believed to be optimal in obtaining the service allocation plan. The method and concepts presented in this paper may be well applicable to making a plan for service assignment of the satellite communication systems.

* 한국전자통신연구소 위성망연구실
 論文番號 : 95394-1117
 接受日字 : 1995年 11月 17日

I. 서 론

위성통신 시스템의 주어진 전송제원하에서 시스템의 성능을 최적화할 수 있는 방법으로 대표적인 것은 중계기내에서의 반송파 주파수 배치에 의한 간섭효과와 절감⁽¹⁾⁽²⁾, 중계기 증폭기의 동작점 최적화를 통한 성능향상⁽³⁾, 모든 간섭을 고려한 반송파들의 최적 전력 할당을 통한 성능향상⁽⁴⁾⁽⁵⁾등을 들 수 있다. 이러한 방법들은 위성통신 서비스가 중계기에 이미 할당된 환경에서 중계기내의 자원 (대역, 전력)을 최적화하여 시스템의 성능을 향상시키는 방법이다. 이보다 상위레벨에서 수행되는 최적화 방법이 본 논문에서 고려하는 위성통신 서비스별 중계기 할당이다. 위성통신 서비스의 할당문제는, 어떤 서비스를 어느 중계기에 할당하여 사용하는 것이 주어진 시스템의 제원하에서 최적의 성능을 보장하느냐를 찾는 비선형계획 (nonlinear programming) 문제이다. 희망 위성망의 서비스들은 전체적으로 동일채널간섭효과를 가장 적게 받도록 할당되어야 하므로 서비스 할당문제에서 가장 중요한 것은 인접 위성망들이 희망 위성망에 미치는 동일채널간섭량이다⁽⁶⁾⁽⁷⁾.

[7]에서는 서비스 배치를 위한 알고리즘 그 자체에 중점을 두고 있으나, 서비스 배치만을 위한 알고리즘으로는 이외에 Min-Max, Hungarian method 등 이미 잘 알려진 알고리즘들이 있다⁽⁸⁾. 따라서 배치 알고리즘 그 자체보다는 서비스 할당 최적화에 대한 기준설정이 더 큰 의미를 지닐 수 있다. 왜냐하면 일단 최적화에 대한 기준이 설정되면 최적 서비스 할당 방안은 기존의 알고리즘들을 적용하여 쉽게 구할 수 있으므로, 동일채널 간섭을 고려하여 희망 위성망의 서비스 할당을 최적화하는 문제는 결국 "최적화에 대한 기준을 어떻게 설정하느냐?" 하는 것에 귀결되기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 서비스 할당을 위한 새로운 알고리즘의 개발보다는 최적화에 대한 기준설정문제에 주안을 두고 기술적인 배경에서부터 새로운 방법의 제안까지를 언급하도록 한다.

Ⅱ장에서는 간단한 예를 통해서 기준설정에 따른 서비스 할당 방안을 비교검토하며 Ⅲ장에서는 BER을 성능 평가기준으로 할 경우, 적용할 수 있는 기준설정 방법 및 cost 산출법을 제안한다. Ⅳ장에서는 실제 시스템 환경에서 제안한 방식을 적용하여 시뮬레이션한 결과들을 제시하고 검토하도록 한다.

II. 기준설정 방법들에 대한 고찰

문헌[7]에서 알 수 있듯이 최적 서비스 할당을 위한 가장 전형적인 접근형태는 먼저 최적화 기준에 준하여 cost 행렬 (간섭행렬)을 작성하고 여기에 Min-Max 등의 할당 알고리즘을 적용하는 것이다. 기준설정의 중요성을 보다 명확히 보이기 위하여 서비스 할당 문제에서 적용 가능할 것으로 생각되는 몇몇 최적화 기준들을 다음의 예에서 고려하도록 한다.

동일채널간섭을 유발시키는 위성망간 간섭은 그림 1과 같은 구성에서 식(1)을 적용하여 계산할 수 있다⁽⁹⁾.

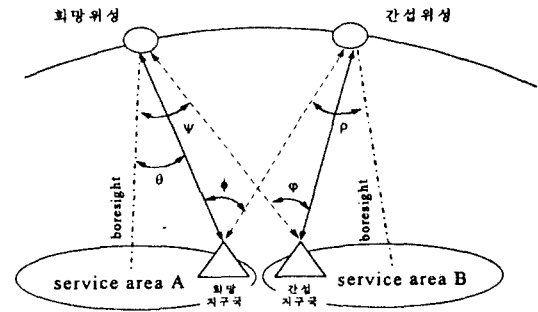


그림 1. 위성망간 간섭
Fig. 1. Interference caused by inter-satellite systems

$$C/I = -10 \log(10^{-(C/N)_p} + 10^{-(C/N)_d}) \text{ [dB]} \tag{1}$$

$$(C/N)_p = P_1 + g_1(\theta) - (P_2' + g_2'(\psi) + g_2(\rho) + F) - \Delta L_u + Y_u \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_d = P_3 + g_3(\theta) + g_4 - (P_3' + g_3'(\rho) + g_4(\phi) + F) - \Delta L_d + Y_d \text{ [dB]}$$

여기서 P, g는 송신 EIRP와 송/수신 안테나 이득을 표시하고, 아래첨자 1, 2, 3, 4는 각각 송신지구국, 수신 위성, 송신 위성, 수신지구국을 표시하며 prime(')은 간섭 위성망의 제원을 표시한다. 또한 L과 Y는 각각 경로손실차이와 편파분리 이득차를 의미한다. $F = 10 \log(BW_1/BW_2)$ 로 정의되며, BW_1 과 BW_2 는 각각 희망 및 간섭 위성망의 전송신호대역폭이다. 한편, 각 항목의 단위는 dB, dBW 또는 dBi로 주어진다.

실제 위성통신 서비스 할당을 위해서는 위에 나타낸 수식을 적용하여 서비스에 부과되는 간섭량을 계산하여야 하나 본 장에서는 기준설정 방법들에 대한 비교검토가 목적이기 때문에 다음의 예에서와 같이 가정한 수치를 이용하여 검토하기로 하고, 실제 시스템 환경에서의

서비스 할당은 IV장에서 검토하도록 한다.
 예) 그림 2와 같이 고려하는 시스템에는 4개의 서비스 및 중계기가 있다고 가정하고 적용 가능하다고 생각되는 기준을 적용하여 간섭행렬을 구하고 여기에 Hungarian Method를 적용하여 서비스 할당한 결과를 살펴본다.

여기서 각 서비스에 대한 채널코딩 방식이 표 1과 같이 서로 다르고 또 인접 위성망으로부터의 간섭량이 표 2와 같다고 가정한다. 이러한 가정하에서 서비스가 각각 1~4번까지의 중계기에서 운용될 경우, 오늘날능은 표 3과 같이 계산된다.

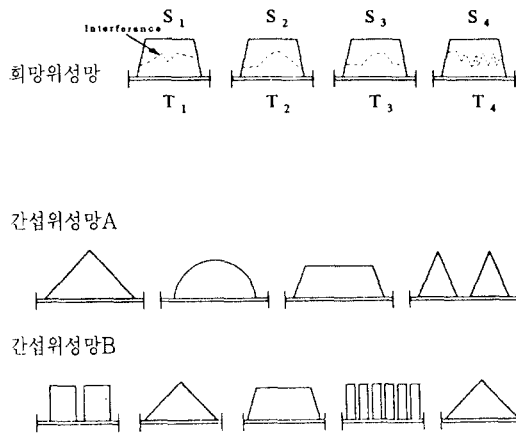


그림 2. 중계기 대역 단위에서의 인접 위성망의 간섭
 Fig. 2. Adjacent satellite interference by the unit of transponder bandwidth

오율계산을 위하여, 채널코딩 방식에 따른 BER 특성들을 다음과 같이 uncoded 시스템의 BER에 대한 2차 다항식으로 curve fitting하여 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 &= 8.8368 + 7.9380x + 0.56933x^2 \text{ for } R = 1/2 \\
 P_b &= 6.9629 + 5.8372x + 0.31666x^2 \text{ for } R = 3/4 \\
 &= 4.6616 + 3.7761x + 0.12238x^2 \text{ for } R = 7/8
 \end{aligned}$$

여기서 $x = \log(P_b \text{ for uncoded system})$ 이다. 그리고 RS 부호에 대해서는 식(2)를 적용하여 P_b 를 계산하였다¹⁰⁾.

$$\begin{aligned}
 P_b \cong & \frac{N+1}{2N^2} \left[d \sum_{i=1}^d \binom{N}{i} P_c^i (1-P_c)^{N-i} \right. \\
 & \left. + \sum_{i=d+1}^N i \binom{N}{i} P_c^i (1-P_c)^{N-i} \right] \quad (2)
 \end{aligned}$$

표 1. 서비스별 코딩방식(가정)

Table 1. Assumed coding scheme for each service

서비스 ID	서비스별 코딩방식
S ₁	RS code(n=255, t=5)+convolutional code(R=7/8)
S ₂	convolutional code(R=3/4)
S ₃	convolutional code(R=7/8)
S ₄	uncoded system

(주) 여기서 RS는 Reed-Solomon 부호를 의미하고, n과 t는 각각 RS 부호의 블록장 및 오류정정능력을 의미한다. 한편, 길썬부호(convolutional code)에서 R=입력비트수/출력비트수 이다.

표 2. 인접 위성망의 간섭량 및 링크마진(가정치)

Table 2. Assumed interference due to adjacent satellites and link margin for each service

서비스 ID	(C/N) _{Req} [dB]	(C/N) _{Act} [dB]	C/I [dB]				(C/N) _{Tot} [dB]				Margin [dB]			
			T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
S ₁	4.69	7	19	17	19	24	6.73	6.59	6.73	6.91	2.04	1.90	2.04	2.22
S ₂	6.44	9	16	18	20	24	8.21	8.49	8.67	8.86	1.77	2.05	2.23	2.42
S ₃	7.63	10	17	17	18	21	9.21	9.21	9.36	9.67	1.58	1.58	1.73	2.04
S ₄	11.31	14	16	19	19	22	12.8	12.8	12.8	13.4	0.57	1.50	1.50	2.05

여기서 (C/N)_{Req} : 10⁻³의 오율을 얻기 위한 C/N [dB]
 (C/N)_{Act} : 실제 링크에서의 C/N (간섭제외) [dB] -> 가정치
 (C/N)_[i] : [i]번째 중계기에 할당되었을 때의 신호대 간섭비 [dB] -> 가정치
 (C/N)_{Tot}[i] : 10log[10^{(C/N)_{Req}/10} + 10^{(C/N)_[i]/10}]⁻¹ [dB]
 Margin[i] : [i]번째 중계기에 할당되었을 때의 시스템 Margin [dB]

표 3. 서비스 배치에 따른 오율성능
Table 3. Resultant BER due to service allocation to satellite transponders

서비스 ID \ 증계기 ID	T1	T2	T3	T4
S ₁	10 ^{-22.9777}	10 ^{-21.8018}	10 ^{-22.9777}	10 ^{-24.6861}
S ₂	10 ^{-10.8643}	10 ^{-11.5306}	10 ^{-11.9814}	10 ^{-12.4717}
S ₃	10 ^{-10.2600}	10 ^{-10.2600}	10 ^{-10.6140}	10 ^{-11.3551}
S ₄	10 ^{-7.84410}	10 ^{-9.48790}	10 ^{-9.48790}	10 ^{-10.6415}

여기서 Pc는 채널상에서의 오류발생확률을 의미하고, N, d, t는 각각 부호의 블릭장, 해밍거리, 오류정정능력 을 의미한다.

표 3에서 최악의 BER을 향상시키는 기준으로 최적의 서비스 할당안을 구해보면, 서비스 S₁~S₄ 중에서 S₄의 오율성능이 최악이 되므로 S₄를 우선적으로 배치하여야 하는데 본 예에서는 증계기 T₄에 S₄를 배치하는 것이 바람직하다. 다음으로 오율성능이 최악이 되는 S₃를 고려하면, 이 역시 T₄에 배치하는 것이 바람직하나 T₄에는 먼저 S₄가 할당되어 있으므로 T₃에 S₃를 배치하는 것이 적절할 것이다. 이러한 방식으로 BER 기준의 시스템 성능을 고려하면, 서비스 4를 증계기 4에, 서비스 3을 증계기 3에, 서비스 2를 증계기 2에, 그리고 서비스 1을 증계기 1에 할당하는 것이 최악의 BER을 향상시키는 기준으로 서비스 할당을 고려하였을 때 최적의 됴를 알 수 있다.

다음은 최적화 기준에 따른 서비스 배치 결과를 살펴 본다. 기준으로는 최소 (C/I) 비를 최대로 하는 기준과 최소 Margin을 최대로 하는 기준을 각각 고려한다. 각 기준을 적용했을 때의 cost 행렬은 표 4와 같다. 여기서 c_{ij}는 i번째 서비스를 j번째 증계기에 할당했을 때의 cost를 의미한다. 그리고 cost는 C/I와 Margin에 반 비례하도록 책정되어야 하므로, 표 4-a에서는 c_{ij}=25-

(C/I)_{ij}로, 표 4-b에서는 c_{ij}=5-Margin_{ij}로 산출하였다. cost 계산에 사용된 25와 5라는 값은 cost와 C/I, Margin을 반비례 관계로 만들기 위해 사용된 임의의 값이다. 여기서 cost와 C/I 및 Margin 간에는 반비례 관계가 성립되므로 서비스 할당은 임의로 설정된 값 25, 5에 영향을 받지 않는다.

표 4의 cost 행렬에 다음의 목적함수를 풀기 위한 Hungarian Method를 적용하면

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} \\
 & \text{subject to} \quad \sum_j x_{ij} = 1 \text{ for all } i \\
 & \quad \quad \quad \sum_i x_{ij} = 1 \text{ for all } j \\
 & \quad \quad \quad x_{ij} \geq 0 \text{ for all } i \text{ and } j
 \end{aligned}$$

기준 (a)에 대해서는 [1→1, 2→4, 3→3, 4→2]의 할 당이, 기준 (b)에 대해서는 [1→1, 2→3, 3→2, 4→4]의 할당이 구해지므로 상기의 기준들은 BER 성능면에서 고려할 때 최적의 할당방안 [1→1, 2→2, 3→3, 4→4]을 보장하지 못한다. 사실 Margin을 이용한 방법은 가장 일반적으로 사용되고 또 다른 기준들에 비해 성능이 우수한 것으로 알려져 있으나, 각 반송파들에 채용된 변조/코딩 방식이 달라서 C/N 값의 변화에 따른

표 4. 최적화 기준에 따른 cost 행렬
Table 4. Cost matrix due to optimal criteria

(a) 최소 (C/I)비를 최대로 하는 기준

서비스 ID \ 증계기 ID	T1	T2	T3	T4
S ₁	6	8	6	1
S ₂	9	7	5	1
S ₃	8	8	7	4
S ₄	9	6	6	3

(주) 여기서 cost = 25 - (C/I)로 계산되었음

(b) 최소 Margin을 최대로 하는 기준

서비스 ID \ 증계기 ID	T1	T2	T3	T4
S ₁	2.956	3.104	2.956	2.776
S ₂	3.230	2.955	2.772	2.575
S ₃	3.420	3.420	3.269	2.962
S ₄	4.434	3.503	3.503	2.949

(주) 여기서 cost = 5 - Margin으로 계산되었음

BER 특성이 서로 다를 경우에는, 위의 예에서 알 수 있듯이 각 반송파들의 Margin이 상호비교되는 것은 실질적이지 못하다.

Ⅲ. 새로운 기준설정 방법

각 반송파들에 채용된 변조/코딩 방식이 달라서 BER 특성이 서로 다를 경우, Margin 자체가 큰 의미를 갖지 못한다. 따라서 이 경우에도 최적으로 서비스를 할당할 수 있는 일반적인 기준이 요구된다. 이러한 목적에 부합되는 "BER 기준의 cost 설정 방식"을 본 장에서 제안하고자 한다. 먼저 cost 설정에 적용될 수 있는 일반적인 규칙을 언급하면 다음과 같다.

- 1) Margin이 0이면 각 반송파들은 서로 같은 cost를 갖는다.
 - 각 반송파별로 목표하는 BER 즉 요구 Eb/No 값이 서로 다를 경우에도, 간섭을 고려한 운용 BER이 목표 BER과 동일할 경우 (즉, Margin=0)에는 각 반송파에 대한 cost는 당연히 동일하여야 한다.
- 2) 임의의 반송파에 대해서, Margin의 절대값이 같더라도 음(negative)의 Margin을 가질때의 cost가 양(positive)의 Margin을 가질때의 cost에 비해 상대적으로 높게 설정되어야 한다.
 - 반송파의 Margin이 양의 값을 가질 경우에는 일단 요구성능을 만족하는 상태이므로 Margin 값의 크고 작음이 큰 의미가 없을 것이다. 음의 Margin을 가질 경우에는 Margin 값의 크고 작음이 시스템의 성능에 막대한 영향을 미칠 것이다.
 - 따라서 cost를 설정할 때, 음의 Margin 변화량이 양의 Margin 변화량에 비해 상대적으로 높게 설정되어야 한다. 즉 Margin과 cost는 단순비례 관계로 설정되지 않아야 한다.
- 3) 반송파별로 채용하고 있는 변조/코딩 방식이 다를 경우, Margin 변화량에 대한 cost의 변화량은 서로 다르게 설정되어야 한다.
 - 반송파별로 사용하는 변조/코딩 방식이 서로 다를 경우에는 목표 BER이 동일하더라도 Eb/No 값의 변화에 대한 BER의 변화 형태가 서로 상이하게 나타나므로, 이러한 특성을 고려하여 cost를 설정하여야 보다 실질적인 cost 행렬이 작성될 것이다.

- 따라서 반송파별로 형평성이 보장되도록 cost를 설정하기 위해, 반송파의 요구 BER이 같을 경우 Margin이 양이면 급한 기율기의 BER 특성을 갖는 반송파의 cost가 낮고 또 Margin이 음이면 급한 기율기의 BER 특성을 갖는 반송파의 cost가 높게 설정되어야 한다.

- 4) 각 반송파들에 대한 목표치 BER이 동일한 상황에서, 간섭을 고려한 운용 BER이 동일하다면 각 반송파들에 대한 cost를 동일하게 설정하여야 한다.
 - 반송파별로 사용하는 변조/코딩 방식이 서로 상이하여도 목표 BER이 동일하고, 간섭을 고려한 운용 BER 역시 동일할 경우(물론 변조/코딩 방식이 상이하여 간섭을 고려하였을 때 각 반송파들이 갖는 Eb/No 값은 서로 다르겠지만)에는 각 반송파에 대해 동일한 cost를 설정하여야 형평성이 확보된다.

규칙 1), 2)를 만족하는 가장 대표적인 함수는 지수함수이므로 식(3)은 cost 설정을 위한 기본 수식이 된다.

$$c = \exp(-|a| M^b) \quad (3)$$

여기서 c : cost, M : Margin [dB]이고, a 와 b 는 cost 설정자에 의해 결정되는 임의의 실수이다.

인자 a , b 를 이용하여 목표치 BER 만족에 대한 조건을 조절할 수 있다. 본 논문에서는 $a=b=1$ 로 하여 cost를 설정하도록 한다.

그림 3을 이용하여 규칙 3)과 4)를 포함한 일반적인 규칙들을 고려하도록 한다. 여기서 시스템 a, 시스템 b, 그리고 시스템 r에 대한 목표성능 (BER)이 $P_b = 10^{-\gamma}$ 로 동일하다고 가정하고, 이러한 목표성능을 만족하기 위해 요구되는 각 시스템의 Eb/No [dB] 값을 각각 D_a , D_b , D_r 로 표기한다. BER 기준의 cost를 설정하는 경우, 각 시스템에 대한 Margin이 0이면 각 시스템에 대한 cost는 1 ($\exp(-0) = 1$)로 서로 같으므로 규칙 1)을 만족한다.

그리고 그림 3에서 시스템 a, b, r의 운용 BER이 모두 $P_b = 10^{-\gamma}$ 라면 각 시스템에 대한 Margin은 각각 M_a , M_b , M_r 이다. 여기서 각 시스템에 대한 cost를 설정하기 위하여 각 Margin을 식(3)에 대입하면 $c|_a = \exp(-\Delta M_a)$, $c|_b = \exp(-\Delta M_b)$, $c|_r = \exp(-\Delta M_r)$ 을 얻게되는데, $\Delta M_a \neq \Delta M_b \neq \Delta M_r$ 이어서 규칙 4)에 모순이 되므로, $P_b = 10^{-\gamma}$ 에서의 시스템 a, b에 대한 실제

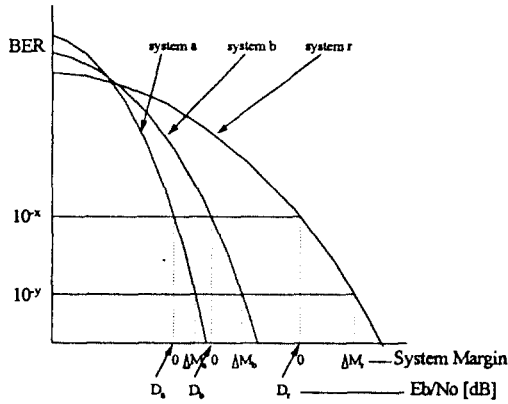


그림 3. cost 설정을 위한 시스템 BER과 Margin과의 관계
Fig. 3. Relation between BER and Margin for cost calculation

Margin ΔM_a , ΔM_b 은 ΔM_r 의 크기를 가질 수 있도록 변환($f(\Delta M_a) \rightarrow \Delta M_r$, $f(\Delta M_b) \rightarrow \Delta M_r$) 되어야 한다. 여기서 시스템 r을 기준 시스템으로 설정하고 또 임의의 시스템 x에 대한 Margin이 y일때 기준 시스템에 대한 시스템 x의 이득을 $C_{g_{x/r}}(y)$ 라 표기하면 ΔM_a 과 ΔM_x 간의 관계는 식(4)와 같다.

$$\Delta M_r = C_{g_{x/r}}(\Delta M_x) - C_{g_{x/r}}(0) + \Delta M_x \quad (4)$$

시스템 a, b에 대해서 식(4)를 적용하여 ΔM_r 를 얻고 이를 식(3)에 적용하면 $c|_a = c|_b = c|_r = \exp[-\Delta M_r]$ 인 cost를 얻을 수 있다. 따라서 식(4)를 적용하여 각 시스템에 대한 cost를 설정하면 위에서 언급한 일반적인 규칙 1), 2), 3), 4)를 모두 만족시킬 수 있다. 식(4)를 이용한 Margin 변환 절차는 다음과 같다.

- ① BER 수식의 적용이 용이한 uncoded BPSK 시스템을 기준 시스템으로 설정한다.
- ② 기준 시스템으로부터, 임의의 시스템 x의 목표치 BER에 해당하는 E_b/N_0 값을 구하고 이를 D_r 로 둔다.
- ③ 기준 시스템으로부터, 임의의 시스템 x의 Margin에서 얻을 수 있는 BER에 해당하는 E_b/N_0 값을 구하고 이를 D_x 로 둔다.
- ④ 변환 Margin $M_r = D_x - D_r$ 을 구한다.
- ⑤ 임의의 시스템 x에 대한 cost, $c|x = \exp[-\Delta M_r]$ 을 구한다.

이 절차를 적용하여 구한 cost와 Margin과의 관계를 그림 4에 나타내었다.

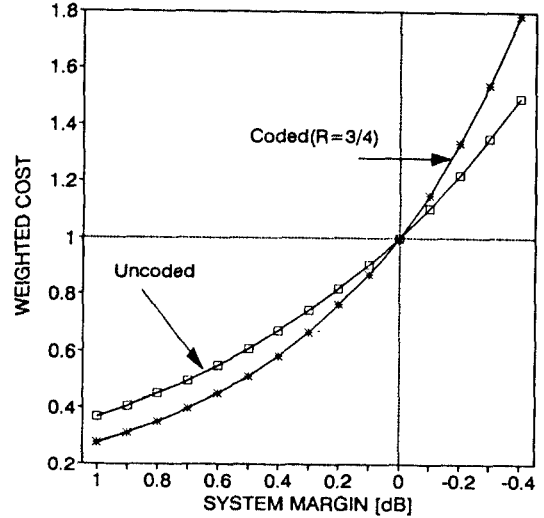


그림 4. 제안한 방식으로 설정한 cost와 Margin 간의 관계
Fig. 4. Relation between margin and cost calculated by proposed method

그림 4로부터 앞에서 언급한 규칙들을 살펴보면, Margin이 0일때 각 시스템의 cost는 1로 서로 동일하여 규칙 1)이 만족되고 또 각 시스템에 대한 cost는 Margin과 단순비례 관계가 아니고, 음의 Margin을 갖는 경우의 cost가 월등히 높게 설정되므로 규칙 2)가 만족된다. 그리고 Margin이 양일 경우 coded 시스템의 cost가 uncoded 시스템의 cost보다 낮고 Margin이 음일 경우에는 그 역으로 cost가 설정되므로 규칙 3)이 만족된다. 한편, 규칙 4)에 대해서는 그림 3을 고찰하면서 이미 언급하였다.

본 논문에서 제안한 방식은 각 시스템에 대한 BER을 최적으로 보장하는 기준으로 cost를 설정하는 방식이므로, 각 시스템이 채용하는 변조/코딩 방식 등이 달라서 Margin 자체가 큰 의미를 갖지 못하는 경우를 포함해서 매우 일반적인 경우에도 적용될 수 있는 cost 설정 방식이다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

본 장에서는 제안한 방식을 먼저 II장에서 고려한 예에 적용하여 성능을 평가해보고, 보다 실제적인 위성통

신 시스템 환경으로 확장하여 본 방식의 성능을 검증하도록 한다. 제안한 방식을 II 장의 예에 적용하여 cost 행렬을 구하면 표 5와 같다.

표 5. BER 기준으로 weight를 가한 경우의 cost 행렬
Table 5. Cost matrix obtained by proposed method

중계기 ID 서비스 ID	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
S ₁	2.280E-6	2.277E-6	2.277E-6	2.277E-6
S ₂	1.427E-6	1.068E-6	8.918E-7	7.375E-7
S ₃	1.869E-6	1.869E-6	1.593E-6	1.157E-6
S ₄	5.680E-1	2.239E-6	2.239E-1	1.286E-1

여기에 Hungarian method를 적용하면(1 → 1, 2 → 2, 3 → 3, 4 → 4)의 서비스 할당방안을 구할 수 있다. 이는 II 장의 예에서 고려했던 최적 서비스 할당방안과 일치하

는 것이다.

보다 실제적인 위성통신 시스템 환경에서 제안한 cost 설정방식을 고려하기 위하여 표 6에 나타난 희망 위성망과 간섭 위성망의 제원을 이용하여 서비스 할당을 수행해 본다.

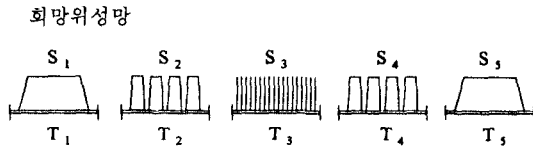
그림 5에 희망 및 간섭 위성망의 중계기별 서비스 할당을 나타내었다. 여기서 희망 위성망에 대한 서비스 할당은 임의로 설정한 초기할당이다.

서비스 할당에 대한 성능을 평가하기 위하여 표 6의 제원하에서 식(1)과 희망 위성망의 각 서비스들에 대한 링크계산 수식을 적용하여 C/N, C/I를 구하고 cost 설정에 필요한 파라메타들을 계산하였다. 여기서 각 서비스별 요구 C/N은 10(dB)+5(dB)로 설정하였다. 여기서 5(dB)는 시스템 손실에 대한 가정치이다. 표 7은 최적화 기준에 따른 서비스 할당을 보여준다.

표 6. 희망 위성망과 간섭 위성망의 제원
Table 6. Parameters of the desired satellite system and interfering satellite system

항 목	희망 위성망	간섭 위성망
위성의 위치	동경 116° ± 0.1°	동경 120° ± 0.05°
boresight, 송/수신 지구국	무주, 서울, 부산	- , 대마도, -
위성 송·수신 안테나 이득	42, 41.4	38.2, -
위성 수신 안테나 G/T	13.4	-
중계기의 상/하향 중심 주파수 [GHz]	14.018/12.29 14.058/12.33 14.098/12.37 14.138/12.41 14.178/12.45	14.02/12.29 14.06/12.33 14.06/12.37 14.14/12.41 14.18/12.45
서비스 유형 및 갯수	W.D(30.7M) 2개 N.D(9.0M) 2개 SCPC(30K) 1개	W.A(36.0M) 2개 W.D(35.9M) 1개 W.A(27.0M) 1개 N.D(14.0M) 1개
서비스별 지구국/위성 EIRP [dBW]	W.D:71.5/49.9 N.D:62.7/42.9 SCPC:40.9/18.8	W.A:86.4/47.9 W.D:80.2/51.0 W.A:80.2/50.9 N.D:75.8/46.0
서비스별 지구국 수신 안테나 이득 [dBi]	W.D:27.0 N.D:28.2 SCPC:22.8	- - -

(주) 희망 및 간섭 위성망의 편파는 서로 동일한 것으로 가정하였으며 W.D, N.D는 광대역, 협대역 디지털 반송파를 의미하고 W.A, N.A는 광대역, 협대역 아날로그 반송파를 의미한다. 그리고 -는 서비스 할당에 필요하지 않은 항목이다.



인접위성망



- S₁ : uncoded 광대역 디지털 방송파 (30.7MHz)1개
- S₂ : uncoded 협대역 디지털 방송파 (9.0MHz)14개
- S₃ : uncoded SCPC 방송파 (30.0MHz)1200개
- S₄ : uncoded 광대역 디지털 방송파 (9.0MHz)4개
- S₅ : uncoded 협대역 디지털 방송파 (30.7MHz)1개

그림 5. 희망 및 간섭 위성망의 중계기별 서비스 할당
Fig. 5. Service allocation of the desired and interfering satellite systems

표 7. 최적화 기준에 따른 서비스 할당
Table 7. Service allocation due to 4 different criteria

서비스	기준 A	기준 B	기준 C	기준 D
S ₁	T ₂	T ₁	T ₅	T ₁
S ₂	T ₃	T ₃	T ₄	T ₃
S ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
S ₄	T ₅	T ₄	T ₂	T ₂
S ₅	T ₄	T ₅	T ₁	T ₅

- 기준 A : 희망신호에 부과되는 절대 간섭량을 기준으로 한 경우
- 기준 B : 간섭신호에 희망신호의 전력비율 기준으로 한 경우
- 기준 C : -1*(희망신호의 요구 C/N 비에 대한 Margin)을 기준으로 한 경우
- 기준 D : Weighted Margin (Exp(-Margin))을 기준으로 한 경우

서비스 할당 결과를 검토하기 위하여 실제 각 서비스들을 중계기 1~5까지 배치하면서 BER을 평가하였고 그 결과는 다음과 같다.

S₁에 대한 중계기별 BER

중계기	BER
T ₁	10 ^{-15.24}
T ₂	10 ^{-24.45}
T ₃	10 ^{-23.46}
T ₄	10 ^{-26.06}
T ₅	10 ^{-15.41}

S₅에 대한 중계기별 BER

중계기	BER
T ₁	10 ^{-15.07}
T ₂	10 ^{-24.33}
T ₃	10 ^{-23.33}
T ₄	10 ^{-25.97}
T ₅	10 ^{-15.24}

S₂에 대한 중계기별 BER

중계기	BER			
	carrier 1	carrier 2	carrier 3	carrier 4
T ₁	10 ^{-19.29}	10 ^{-8.366}	10 ^{-6.456}	10 ^{-13.57}
T ₂	10 ^{-24.50}	10 ^{-16.51}	10 ^{-12.86}	10 ^{-23.11}
T ₃	10 ^{-23.58}	10 ^{-15.35}	10 ^{-12.49}	10 ^{-21.01}
T ₄	10 ^{-21.23}	10 ^{-17.91}	10 ^{-24.04}	10 ^{-16.34}
T ₅	10 ^{-19.43}	10 ^{-8.510}	10 ^{-6.540}	10 ^{-13.64}

S₄에 대한 중계기별 BER

중계기	BER			
	carrier 1	carrier 2	carrier 3	carrier 4
T ₁	10 ^{-19.24}	10 ^{-8.308}	10 ^{-6.408}	10 ^{-13.50}
T ₂	10 ^{-24.50}	10 ^{-16.45}	10 ^{-12.79}	10 ^{-23.09}
T ₃	10 ^{-23.57}	10 ^{-15.28}	10 ^{-12.42}	10 ^{-20.97}
T ₄	10 ^{-21.19}	10 ^{-17.86}	10 ^{-24.03}	10 ^{-16.28}
T ₅	10 ^{-19.38}	10 ^{-8.453}	10 ^{-6.495}	10 ^{-13.58}

그리고 S₃에 대한 중계기별 BER은 그림 6과 같다.

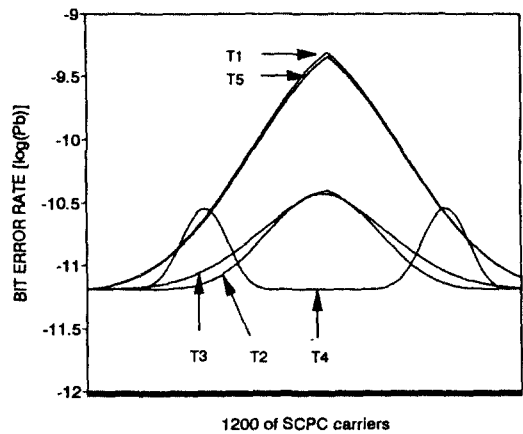


그림 6. 중계기 배치에 따른 S₃의 각 방송파별 BER
Fig. 6. BERs for each carriers of S₃ due to service allocation to transponders

한편 반송파별 BER 계산 과정은 다음과 같다. 식(1)을 적용해서 C/I 비를 구하고 각 서비스 또는 반송파에 대한 링크계산을 수행하여 서비스 또는 반송파별 $(C/N)_{up}$, $(C/N)_{dn}$, $C/N = 1 / [1/(C/I) + 1/(C/N)]$ 을 구하였다. 여기에서 타간섭, 기타손실 등을 고려한 총 손실 5(dB)를 빼서 $(C/N)_{act} = (C/N)_{tot} - 5$ 를 구하고, 이를 E_b/N_0 로 환산하여 $P_b = 0.5 \cdot \text{erfc}(\sqrt{E_b/N_0})$ 식에 적용하였다. 여기서 $\text{erfc}(\cdot)$ 는 complementary error function이고, 모든 서비스에는 FEC (Foward Error Correction)가 적용되지 않은 것으로 가정하였다.

기준설정에 따른 최악의 BER을 정리하면 표 8과 같다.

표 8. 기준설정에 따른 최악의 BER
Table 8. The worst BER due to 4 different criteria

중계기	BER			
	carrier 1	carrier 2	carrier 3	carrier 4
S ₁	10 ^{24.45}	10 ^{15.24}	10 ^{15.41}	10 ^{15.24}
S ₂	10 ^{12.49}	10 ^{12.49}	10 ^{16.34}	10 ^{12.49}
S ₃	10 ^{9.250}	10 ^{10.50}	10 ^{10.45}	10 ^{10.60}
S ₄	10 ^{5.495}	10 ^{16.28}	10 ^{12.79}	10 ^{12.79}
S ₅	10 ^{25.97}	10 ^{15.24}	10 ^{15.07}	10 ^{15.24}

본 예에서는 기준에 따른 서비스 할당안의 성능에 큰 차이는 없으나, 최악의 성능을 향상시키는 측면에서 표 8의 결과들을 비교/검토해 보면, 본 논문에서 제안한 방법으로 cost를 설정하여 서비스를 할당하는 것이 보다 효율적임을 알 수 있다. 본 논문에서는 시험해본 모든 결과들을 제시하지는 않았지만, 시험해본 모든 경우에서 제안한 방법으로 cost를 설정했을 때, 항상 최적의 서비스 할당 방안을 얻을 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 인접 위성망 혹은 자체 위성망으로부터 유입되는 동일채널간섭 효과를 고려하여 위성통신 서비스를 할당하는 방법에 대해서 검토하였고, 위성통신 서비스 할당 결과는 서비스 할당시 적용하는 최적화에 대한 기준설정 방법에 따라 크게 달라짐을 보였다. 결국 시스템의 성능은 BER로 평가되고 또 서비스별로 변조/코딩 방식이 차이가 있기 때문에, 시스템의 Margin 등

의 기준들 보다 BER 성능을 최적으로 보장할 수 있는 기준을 설정하기 위하여 새로운 cost 설정 방식을 제안하였고, 또 제안한 방식을 다른 방식들과 비교함으로써 본 방식의 우수성을 확인해 보았다. 이를 위해 서비스 할당에 따른 BER 결과들을 계산하여 제시하였다. 본 논문에서 제안한 cost 설정방식은 위성통신 서비스를 할당하는 문제에 효과적으로 적용될 수 있는 방식이라 사료된다. 차후, cost 함수내의 인자 a, b의 영향에 대해서도 좀더 연구해볼 계획이며, 복수 인접 위성망으로부터의 간섭과 중계기내에서의 신호열화 요인들을 고려하고 뿐만아니라 반송파별 최적 전력할당 문제 등을 포함하여 보다 완벽하게 서비스를 할당할 수 있는 통합 알고리즘을 개발해 볼 계획이다.

Reference

1. Sung Chan Ko, et.al., "A New Frequency Allocation Algorithm for Reducing IMPs in One-Level SCPC Satellite Systems," IEEE Trans. on Comm., Vol. 43, No. 2/3/4, Feb./Mar./April, 1995, pp 1046-1054
2. R.Fang and W.Sandrin, "Carrier Frequency Assignment for Nonlinear Repeaters," COMSAT Tech. Rev., Vol. 7, No. 1, 1977, pp.227-245.
3. Tri.T.Ha, *Digital Satellite Communications*, Macmillian Publishing Company, 1986.
4. L.N.Nguyen and O.Shimbo, "A Method for Transponder Capacity and Link Performance Optimization in Preassigned Multilevel SCPC systems," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-29, No. 3, March, 1981, pp.314-328.
5. M.P.Brown, et. al., "INTELSAT VI Transmission Design and Compurt System Models for FDMA Services," COMSAT Tech. Rev., Vol. 20, No. 2, Aug., 1990, pp.373-399.
6. T. Mizuike, et. al., "Optimization of Frequency Assignment," ICC'84, Conf. Rec. Vol. 2, 1984, pp.599-602
7. T. Mizuike and Y. Ito, "Optimization of Frequency Assignment," IEEE Trans. on

Comm., Vol. 37, No. 10, Oct. 1989, pp.1031-1041.

8. M. S. Bazarra and C. M. Shetty, *Nonlinear Programming : theory and algorithms*, New York John Wiley & Sons, 1979.

9. ITU, ITU-R Rec. 740, *Technical Coordination Methods for Fixed-Satellite Networks*.

10. D.J.Torrieri, "The Information Bit Error Rate for Block Codes," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-32, No. 4, April, 1984, pp.474-476.



高 晨 燦(Sung-Chan Ko) 정회원

1964년 7월 26일생

1987년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(학사)

1989년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(석사)

1993년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(박사)

1993년 3월~현재 : 한국전자통신연구소 위성망연구실 선임연구원

※주관심 분야 : 위성통신망 최적 설계, 채널성능분석 등임



朴 世 耕(Se-Kyoung Park) 정회원

1960년 1월 14일생

1984년 8월 : 경북대학교 전자공학과(학사)

1992년 3월~1994년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정 중퇴

1984년 7월~1985년 8월 : (주)금성사 근무

1985년 9월~현재 : 한국전자통신연구소 위성망연구실 과제책임자(선임연구원)

※주관심 분야 : 위성통신망 설계, 위성망간 간섭분석, 위성망 성능 예측 등임.

金 在 明(Jae-Moung Kim)

정회원

1951년 12월 17일생

1970년 2월 : 한양대학교 전자공학과(학사)

1982년 2월 : 미국 남가주대학교 전자공학과(석사)

1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과(박사)

1974년~1979년 : KIST, KTRI 근무

1982년~현재 : 한국전자통신연구소 위성통신시스템연구부장(책임연구원)

※주관심 분야 : 위성통신시스템, 이동통신시스템 등임.