

# 위성중계기 입력반송파군의 최적전력할당 및 주파수 배치에 따른 성능평가

正會員 金 炳 均\*, 崔 炯 辰\*

## Performance evaluation for optimal power assignment and frequency plan of carrier groups

Byung Kyun Kim\*, Hyung Jin Choi\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 위성통신에 있어 한정된 자원인 전력 및 주파수 자원의 효율적인 이용하기 위한 방안으로서 다중레벨(Multi-level) SCPC 시스템에서 입력반송파 그룹의 최적 전력할당을 제공할 수 있는 소프트웨어를 개발하고 다양한 위성링크에 환경에 대한 성능평가를 수행하였다. 또한 개발된 소프트웨어를 이용하여 반송파 그룹의 주파수 배치에 따른 성능평가를 수행하고 위성링크의 성능 향상을 위한 반송파그룹의 배치 방안을 제시하였다.

신뢰성 있는 성능평가를 위하여 다양한 위성링크에서 발생하는 잡음 및 간섭을 고려하였으며 성능평가를 위한 기준으로는 수신지구국에서의 CNR(Carrier to Noise Ratio)을 기준으로 2 가지 유형으로 설정하였다.

### ABSTRACT

As a method for effective utilization of the limited power and frequency resources in satellite communications, this paper develops software which can assigns the optimal power of input carrier groups in the multi-level SCPC systems and performs evaluation to a various satellite link environment. Using the developed software, the paper presents performance according to the frequency plan of carrier groups and suggest a frequency plan method for performance improvement of satellite link.

A various interference and noise caused by satellite link are analyzed for reliable performance evaluation. The performance criteria for evaluation is classified into 2 categories according to the CNR of destination receiver earth station.

\*성균관대학교 전자공학과  
論文番號:96143-0511  
接受日字:1996年 5月 11日

## I. 서 론

최초의 상업용 위성인 Intelsat I 기의 발사 이후 위성통신은 오늘날까지 고품질의 통신서비스를 제공하기 위해 다각적인 기술개발이 이루어져 왔다. 위성을 경유한 통신은 상하향링크의 특성 및 위성체의 제원에 따라 링크성능이 변화되므로 복합적인 해석이 요구된다. 또한 위성체는 정지궤도에 위치하므로 위성체의 발사 이후에 위성체의 보완 및 수정이 매우 어렵다. 복합적인 링크해석 및 원격지 제어의 어려움으로 인하여 위성통신의 기술개발에 있어 모의수행이 가능한 다양한 시뮬레이션 도구(tool)의 이용이 일반적으로 이용되고 있다. 그래서 전 세계 주요 위성통신업체들은 자체적으로 효율적인 위성통신서비스를 제공하기 위한 소프트웨어를 개발하여 사용하고 있다.

이와 같은 배경으로 본 논문에서는 다수 문헌들에서[1][2][3][4] 제시되고 있는 수학적해석 및 알고리즘을 기반으로 중계기 입력반송파그룹이 서로 다른 전력을 가지는 다중레벨(multi-level) SCPC에서 적용할 수 있는 입력반송파그룹의 최적전력할당 소프트웨어를 개발하고 이를 바탕으로 위성중계기 입력 반송파군의 최적전력할당 및 주파수 배치에 따른 성능평가를 수행하였다.

다수의 반송파들이 동시에 위성중계기를 경유하는 SCPC시스템에서 지구국의 지역적 특성 및 제원, 위성중계기의 특성에 따라 서로 다른 전력레벨을 가지는 반송파그룹으로 분류할 수 있다. 이러한 반송파그룹에 대한 성능평가를 위해서는 위성링크 및 중계기에 해석이 기본적으로 요구된다. 본 논문에서는 위성링크의 해석의 대상으로 적용한 간섭 및 잡음은 인접채널간섭(ACI: Adjacent Channel Interference), 공동채널간섭(CCI: CoChannel Interference), 혼변조적(IMP: InterModulation Product), 열잡음(Thermal noise) 및 강우에 의한 신호전력의 감쇠를 적용하였다. 위성중계기 입력반송파 그룹의 최적전력할당을 위한 성능기준으로는 상하향링크 및 중계기의 특성을 충분히 고려하기 위하여 수신지구국의 CNR(Carrier to Noise Ratio) 기준으로 설정하였으며 최적전력할당을 위한 알고리즘으로는 다수의 문헌에서 제시되고 있는 Fletcher-Powell 알고리즘[5]을 적용하였다. 이를 기반으로 개발한 소프트웨어를 이용하여 다양한 링

크환경에 따른 위성시스템의 성능을 다중레벨의 수 및 성능요구조건에 따라 요구되는 최적 입력반송파그룹의 전력할당을 제시하였다. 또한 주파수 배치에 따른 성능평가를 위하여 대칭적인 배치와 비대칭적인 반송파그룹의 배치에 따른 성능비교, 반송파그룹의 분할에 따른 성능비교, 반송파 그룹의 위치 변동에 따른 성능평가를 통하여 반송파그룹의 기본적인 배치전략을 제시하였다.

## II. 수학적 해석

### 1. 반송파그룹의 배치에 따른 해석

동일 전력을 가지는 반송파그룹의 스펙트럼 모양을 그림 1에서와 같이 일정대역폭내에서 동일전력을 가지는 모양으로 근사화 하였다. 이러한 근사화는 수학적 해석 및 소프트웨어의 시뮬레이션 시간 측면에서 매우 유리한 방안이다. 즉, 반송파의 갯수에 무관하게 주파수 대역폭의 넓이로서 반송파 그룹을 묘사하기 때문에 많은 시뮬레이션 시간을 요구하는 혼변조적의 계산에 있어 매우 유리하다. 수학적해석은 제 3 장에서 제시하고 있는 반송파그룹의 주파수 배치에 따른 성능평가의 이해를 돕기 위하여 대칭적인 배치와 비대칭적인 배치로 분류하여 제시하였다.

#### 1.1 비대칭적인 반송파그룹의 배치

비대칭적인 반송파 배치의 경우 중계기 전력스펙트럼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

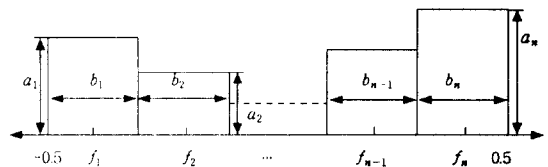


그림 1. 비대칭적인 반송파그룹의 주파수배치  
Fig. 1. Unsymmetrical frequency plan of carrier groups

위 그림에서 사용된 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

$a_i = P_i/b_i$ ,  $P_{IB} = P_{im}$ 에 대한  $i$ 번째 반송파 그룹의 상대적인 입력레벨

$b_i = i$ 번째 반송파 그룹에 해당되는 중계기 대역폭  
 $(0 < b_i < 1)$   
 $f_k = k$ 번째 반송파 그룹의 중심 주파수  
 $P_{IB} =$  전체 중계기 입력 Backoff

반송파그룹의 레벨, 반송파의 개수 및 반송파 그룹의 대역폭은 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{P_{IB}} \sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i = 1 \quad (2)$$

$$n_i = N b_i \quad (3)$$

전체전력은 중계기 입력반송파 backoff 전력에 정규화되며, 반송파의 수는 각 반송파 그룹의 대역폭에 비례한다.

주파수영역에서 위성중계기 입출력신호의 수학적 정의를 제시하면 다음과 같다.

$$W_{s_n}(f) = \sum_{i=1}^n a_i W\left(\frac{f-f_i}{b_i}\right) \quad (4)$$

$$W(f) = \begin{cases} 1, & -0.5 \leq f \leq 0.5 \\ 0, & f < -0.5, \text{ or } f \geq 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

중계기 출력단에서의 출력전력스펙트럼은 다음과 같이 정의된다.

$$W_0(f) = \alpha_1 W_s(f) + \alpha_3 [W_s(f) \cdot W_s(-f) \cdot W_s(f)] \quad (7)$$

여기서  $\alpha_1, \alpha_3$ 는 중계기의 비선형 진폭특성(AM/AM), 위상특성(AM/PM) 및 전체 입력 backoff에 의존하는 변수이다. 수식(7)의 두 번째 항은 중계기 출력단에서의 3차 혼변조적 성분을 나타내며, 중계기의 비선형 전달특성 및 입력 backoff에 의존하게 된다(세부적인 해석은 문헌 [1][2][3][5]를 참조).

### 1.2 대칭적인 반송파 그룹의 배치

대칭적인 반송파그룹의 배치는 다음의 그림과 같이 묘사할 수 있다.

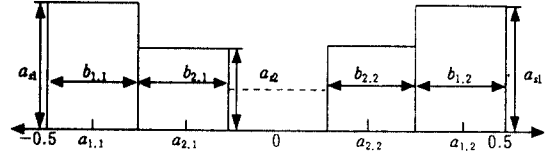


그림 2. 대칭적인 반송파그룹의 주파수배치  
 Fig. 2. Symmetrical frequency plan of carrier groups

위 그림에서 적용된 변수의 정의는 다음과 같다.

$b_{i,j} = i$ 번째 전력 레벨을 가지는 반송파그룹에서  $j$ 번째 반송파 블록

$n_{i,j} = i$ 번째 레벨을 가지는 반송파그룹에서  $j$ 번째 반송파 블록

$a_i = P_i / b_i, P_{IB} = P_{in}$ 에 대한  $i$ 번째 반송파그룹의 전력 레벨

$f_{i,j} = i$ 번째 전력 레벨을 가지는 반송파그룹에서  $j$ 번째 반송파 블록의 수

신호성분의 표현은 분할되어 있는 동일 레벨에 대해 반복적 수행되어야 한다. 그러므로 대칭적인 시스템에서는 이중 합산형태로 신호성분이 표현된다. 신호성분의 수학적 해석은 다음과 같다.

$$W_s(f) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{n_{k,j}} h_k W\left(f - \frac{a_{k,j}}{b_{k,j}}\right) \quad (8)$$

그림 2를 고려해 볼 때 동일진폭의 반송파 그룹이 분할되어 있다는 것을 제외하면 모든 해석이 동일하게 이루어진다.

## 2. 간섭 및 잡음 분석

### 2.1 인접채널간섭

반송파 단위로 정의되는 것이 아니라 반송파 그룹 단위로 신호표사가 이루어졌으므로 각 반송파에 따른 ACI의 묘사는 불가능하다. 그래서 본 논문에서의 ACI 해석은 사용자로부터 입력된 SCPC 반송파의 채널 대역폭 내에 할당된 전력과 채널대역폭 이외의 대역(out-of-band)에 할당된 전력비를 이용한다. 주파수 영역에서의 C/ACI는 다음과 같다.

$$\left(\frac{C}{I_{ACI}}\right) = \frac{W_{us}(f)}{W_{ACI}(f)} \quad (9)$$

여기서,  $W_{ACI}(f) = 10^{-AC/10} \cdot W_s(f)$

위 수식에서 ACI는 SCPC 반송파 채널 대역폭 내의 전력에 대한 대역폭을 제외한 영역(out-of-band)에 할당된 전력비(dB 단위)를 의미한다.

### 2.2 공동채널간섭

원하는 편파의 전력 대 유입된 성질이 다른 편파의 전력비인 XPD (Cross Polarization Discrimination)를 이용하여 주파수의 함수로서 C/CCI를 표현하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{C}{I_{CCI}}\right) = \frac{P_{IB} \times XPD}{P_{IB\_CCI}} \times \frac{W_{us}(f)}{W_{I_{in}}(f)} = \frac{W_{us}(f)}{W_{CCI}} \quad (10)$$

$$W_{CCI}(f) = \frac{P_{IB\_CCI}}{P_{IB} \cdot XPD} W_{I_{in}}(f) \quad (11)$$

여기서,  $P_{in\_CCI}$ 는 CCI를 일으키는 중계기의 전체 입력 Backoff를 나타낸다.

### 2.3 혼변조적

수식 (8)을 이용하여 C/IMP를 정의하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{C}{I_{IMP}}\right) = \frac{\alpha_1 P_{IB}}{\alpha_3 P_{IB}^3} \cdot \frac{W_{us}(f)}{W_{us}(f) \cdot W_{us}(-f) \cdot W_{us}(f)} = \frac{W_{us}(f)}{W_{IMP_3}(f)} \quad (12)$$

위 수식에서  $\alpha_1, \alpha_3$ 는 비선형중계기의 전달특성을 반영하는 계수이다[1].

### 2.4 상·하향 열잡음

$i$ 번째 반송파 그룹에서의 상·하향 열잡음에 의한 CNR은 다음과 같이 같이 정의된다.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{U_k+D_k} = \frac{W_{us}(f)}{W_N(f)} \quad (13)$$

$$W_N(f) = \left(P_{IB} \left(\frac{C_o}{N_o}\right)\right)_{U_k}^{-1} + \left(P_o \left(\frac{C_o}{N_o}\right)\right)_{D_k}^{-1} \quad (14)$$

여기서,  $\left(\frac{C_o}{N_o}\right)_U$  와  $\left(\frac{C_o}{N_o}\right)_{D_k}$ 는 각각 전체 입력전력이 포화상태라고 가정했을 때(0 dB backoff),  $k$  번째 반송파 그룹내의 각 반송파 전력대 상·하향 열잡음 전

력의 비를 나타낸다.

### 2.5 강우에 의한 신호전력의 감쇠

강우에 의한 파급효과로서는 신호전력의 감쇠, 편파의 성질을 변화시켜 간섭의 원인을 제공하는 편파의 depolarization 현상, 하향링크에서 발생하는 현상으로서 수신지구국의 시스템 잡음온도를 증가시킴으로서 G/T를 증가시켜 수신지구국의 수신성능저하 현상을 들 수 있다. 본 논문에서는 이들 중 가장 영향력이 큰 강우에 의한 신호전력의 직접적인 감쇠만을 고려하였으며 강우 모델로는 CCIR 모델을 이용하였다.

### 2.6 전체 CNR

2.1~2.5 절에서 해석된 각각의 잡음 및 간섭은 수신지구국에서의 전체 CNR로 묘사하면 다음과 같다.

$$CNR_t(f) = \left[ \left(\frac{C}{I_{ACI}}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{I_{CCI}}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{I_{IMP_3}}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_{U+D}^{-1} \right]^{-1} = \frac{W_{us}(f)}{W_{ACI}(f) + W_{CCI}(f) + W_{IMP_3}(f) + W_N(f)} \quad (15)$$

### 3. 성능기준 및 목적함수

본 논문에서는 최적 반송파그룹의 전력을 결정하기 위한 성능기준으로서 다수의 지구국이 동일한 링크성능을 가지는 경우와 상대적인 성능을 가지는 경우를 적용하였다. 최적전력할당을 위한 알고리즘으로 다수의 문헌에서 제시되고 있는 Fletcher-Powell 알고리즘을 적용하였다. 이 알고리즘을 적용하기 위한 성능기준에 따른 목적함수를 제시하면 다음과 같다.

▶ 수신지구국이 동일한 CNR을 요구하는 경우

$$F(a_1, a_2, \dots, a_{n-1}) = \sum_{p=1}^Q \sum_{q=1}^Q (CNR_t(f_p) - CNR_t(f_q))^2 \quad (16)$$

▶ 수신지구국이 상대적인 CNR을 요구하는 경우

$$F(a_1, a_2, \dots, a_{n-1}) = \sum_{p=1}^Q \sum_{q=1}^Q [G(f_p) (CNR_t(f_p) - G(f_p) CNR_t(f_q))^2] \quad (17)$$

위 수식에서 독립변수의 수는  $n-1$  이며,  $Q$ 는 전력 스펙트럼에서 샘플된 개수를 나타낸다.  $G(\cdot)$ 는 weighting 계수를 나타내며, 동일한  $C/N$ 이 요구되는 경우  $G(\cdot)$ 는 단위 값을 가진다. Fletcher-Powell 알고리즘을 적용하기 위해서는 목적함수의 편미분을 해석하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial F}{\partial a_k} = 2 \sum_{p=1}^Q \sum_{q=1}^Q [G(f_p)CNR(f_p) - G(f_q)CNR(f_q)] \cdot \left[ G(f_p) \frac{\partial CNR(f_p)}{\partial a_k} - G(f_q) \frac{\partial CNR(f_q)}{\partial a_k} \right] \quad (18)$$

수식(18) 편미분해석은 전체 CNR에 대한 세부적인 편미분 해석을 수행하여 Fletcher-Powell 알고리즘에 적용하게 된다[1][2][3][5].

### III. 모의수행 및 성능분석

#### 1. 반송파 전력레벨에 따른 최적 입력반송파 전력 할당

다양한 송수신지구국 및 링크환경의 특성을 고려한 입력반송파 그룹의 최적전력할당을 위한 모의수행은 다중레벨의 수 및 성능기준에 따라 수행하였다. 다음 각 절에서 제시하고 있는 모의수행 결과에 공통으로 적용된 파라메타는 다음과 같다.

표 1. 공통으로 적용된 파라메타의 설정치

Table 1. Common parameter values

파라메타	설정치
사용주파수대역	Ku-band(14/12 GHz)
각 반송파 BW	45 KHz
전체반송파의 개수	250
중계기 동작점	-5 dB
링크 가용도	99.95
전체 경로 손실	191.74 dB
XPD	30 dB
강우 모델 및 영역	CCIR (K 영역)

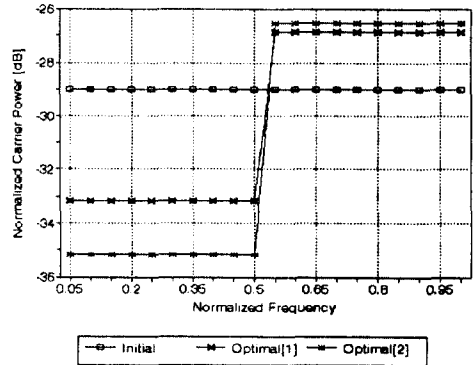
#### 1.1 2-level 시스템

중계기에서 반송파 그룹의 전력레벨이 2 가지인 경우에 대한 최적입력반송파 전력할당 결과를 대칭적

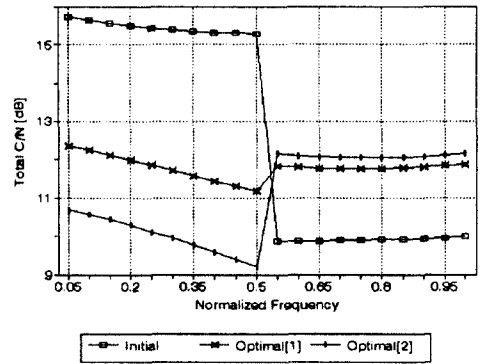
인 배치와 비대칭적인 배치로 분류하여 제시하였다.

#### 가. 비대칭적인 배치

비대칭적인 반송파그룹 배치에서 전력할당에 따른 수신지구국에서의 total C/N을 제시하면 다음과 같다.



(a) 전력할당



(b) 전체 C/N

그림 3. 비대칭적인 배치에서의 전력할당 및 total C/N (2-level 시스템)

Fig. 3. Power assignment and total C/N in unsymmetrical frequency plan(2-level system)

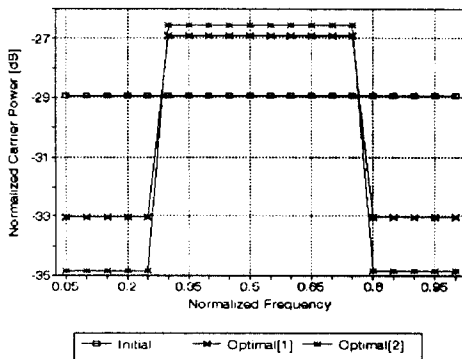
위 그림에서 Initial은 초기전력할당에서의 결과를 의미하고, Optimal[1]과 Optimal[2]는 수식 (16)과 수식(17)의 성능 기준을 적용한 결과이다. 반송파 그룹의 특성(차이점)은 수신지구국의 G/T에 따라 차별화 되는데 위 결과는 수신지구국의 G/T를 40.7 dB/K와

31.7 dB/K를 적용한 결과이다. 수식(16) 및 수식(17)에서의 Q 값인 주파수 영역에서의 샘플 수는 각 반송파 그룹당 10로 설정하였다. 초기전력할당에서는 전체 반송파 그룹이 동일한 전력을 가지는 것으로 입력하였다. 그 결과로 수신지구국의 G/T가 40.7 dB/K인 반송파 그룹이 수신지구국에서의 전체 C/N이 높게 나타났다. Optimal[1]의 경우, 전체 C/N이 높은 반송파 그룹의 전력을 낮춤으로서 전체 C/N이 동일한 값을 가짐을 보여준다. 여기서 완벽하게 동일한 전체 C/N을 가지지 못하는 근본적인 원인은 혼변조적에 의한 왜곡이 반송파 그룹 내에서 동일하게 나타나지 않기 때문이다. Optimal[2]에서는 반송파 그룹이 서로 상대적인 차이를 요구하는 경우로서, 두 번째 반송파 그룹을 기준으로 설정하고 첫 번째 반송파의 C/N이 2 dB 낮도록 입력한 경우의 결과이다. 즉, 수식(17)에서 weighting 함수  $G(\cdot)$ 를 [-2dB, 0dB]를 적용하였다. 그 결과 최적전력할당은 두 번째 반송파 그룹에 높은 C/N을 할당하기 위해 Optimal[1]에서 보다는 높은 전력이 할당됨을 알 수 있다.

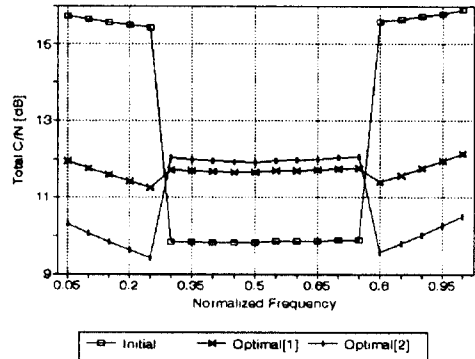
나. 대칭적인 배치

모든 입력 조건은 동일하게 적용하고 반송파 그룹의 주파수 배치만을 대칭적인 구조로 입력하였을 때의 결과이다.

초기전력할당에서는 수신지구국의 G/T가 큰 반송파 그룹을 중계기의 가장자리에 설정하였으므로 중계기의 가장자리에 있는 반송파 그룹의 C/N이 높게 나타났다. Optimal[1]의 경우, 가장자리의 반송파 그



(a) 전력할당



(b) total C/N

그림 4. 대칭적인배치에서의 전력할당 및 전체 C/N(2-level 시스템)

Fig. 4. Power assignment and total C/N in symmetrical frequency plan(2-level system)

룹의 전력이 낮게 할당됨을 알 수 있으며 Optimal[2]의 경우, 비대칭인 구조에서와 동일하게  $G(\cdot)$  함수를 [-2 dB, 0 dB]로 설정하였을 경우의 결과이다.

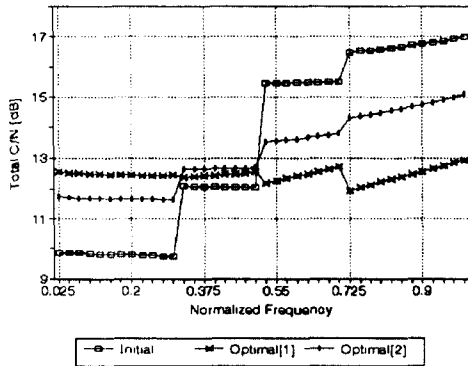
1.2 4-level 시스템

중계기 내의 반송파 그룹의 전력레벨이 4 가지인 경우에 대한 모의수행 결과를 비대칭적인 주파수 배치와 대칭적인 주파수 배치에 대해 수행하였다.

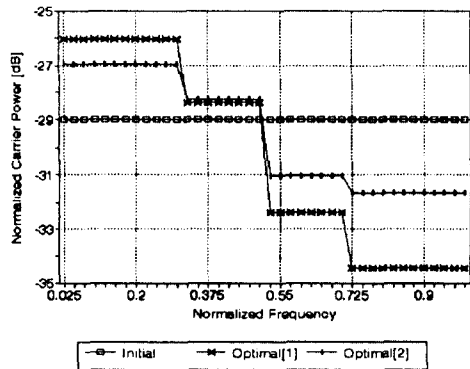
가. 비대칭적인 배치

비대칭적인 주파수배치를 가진 4-level 시스템에서의 전력할당 및 수신지구국에서의 전체 C/N은 다음과 같다.

4 가지 반송파 그룹은 수신지구국의 G/T 및 위성 중계기 EIRP에 따라서 특성화 될 수 있다. 위 그림에서 주파수 배치 순으로 중계기 EIRP는 23.5 dBW, 26.5 dBW, 23.5 dBW, 26.5 dBW이며 수신지구국의 G/T는 31.7 dB/K, 31.7 dB/K, 40.7 dB/K, 40.7 dB/K이다. 초기전력할당은 모든 반송파 그룹이 동일한 전력레벨을 가지는 것으로 설정하였다. 전체 C/N 측면에서 볼 때, 주파수 배치순으로 링크 성능이 우수하므로 순차적으로 수신지구국에서 전체 C/N이 증가함을 볼 수 있다. Optimal[1]의 경우, 성능요구조건에 따라 모든 반송파 그룹의 C/N이 거의 동일한 값을



(a) 전력할당



(b) 전체 C/N

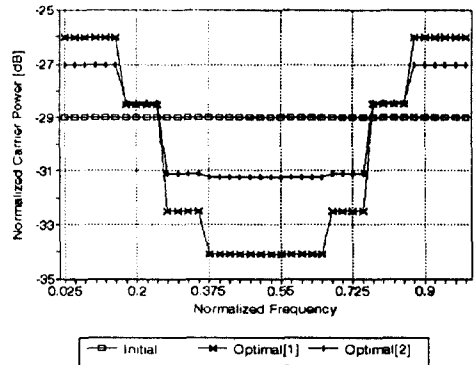
그림 5. 비대칭적인배치에서의 전력할당 및 전체 C/N (4-level 시스템)

Fig. 5. Power assignment and total C/N in unsymmetrical frequency plan(4-level system)

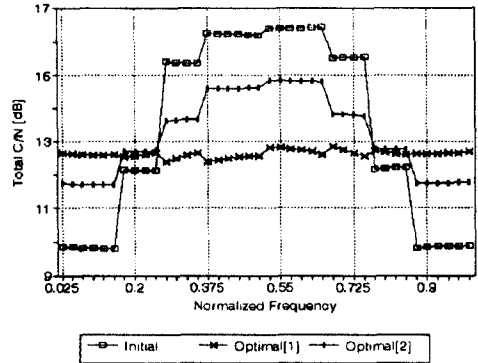
가지게 된다. 모든 반송파 그룹이 완전히 동일한 C/N 값을 가지지 못하는 주된 요인은 혼변조적 왜곡이 동일반송파 그룹내에서도 동일한 값을 가지지 못하기 때문이다. 전력할당 측면에서 보면 링크성능에 대한 역순으로 전력할당이 이루어짐을 알 수 있다. Optimal[2]는 주파수배치 순으로  $G(\cdot)$  함수를 [-2 dB, -1 dB, 0 dB, 1 dB] 순으로 할당하여 수행한 결과이다. 전체 C/N을 볼 때 주파수배치 순으로 전체 C/N이 1 dB 단위로 증가됨을 볼 수 있다.

나. 대칭적인 배치

모든 입력 파라메타는 비대칭적인 배치와 동일하게 설정하였고 단지 차이점은 반송파그룹의 주파수 배치가 대칭적인 형태를 띄고 있다. 대칭적인 주파수 배치를 가진 4-level 시스템에서의 전력할당과 전체 C/N은 다음과 같다.



(a) 전력할당



(b) 전체 C/N

그림 6. 대칭적인배치에서의 전력할당 및 전체 C/N(4-level 시스템)

Fig. 6. Power assignment and total C/N in symmetrical frequency plan(4-level system)

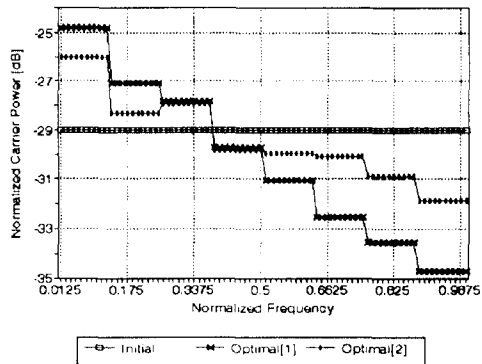
초기전력할당에서 전체 C/N은 위성링크의 성능 (수신지구국 G/T, 위성 EIRP)에 따라 중계기 가장자리에 위치한 반송파 그룹의 C/N이 가장 높게 나타났다. 주파수배치가 다른점을 제외하면 비대칭적인 배치에서와 유사한 유형의 결과가 나타남을 알 수 있

다. Optimal[1] 및 Optimal[2]에서의 최적전력할당도 주파수배치를 제외하면 비대칭적인 배치와 유사한 유형의 결과를 얻을 수 있다. 주파수배치에 따라 결과의 차이점의 주된 원인은 간섭요소 중에서 혼변조적 왜곡이 주파수배치에 따라 달리 나타나기 때문이며 또한 동일채널간섭을 일으키는 간섭중계기에서의 반송파 주파수배치에 따라서도 영향을 받게 된다.

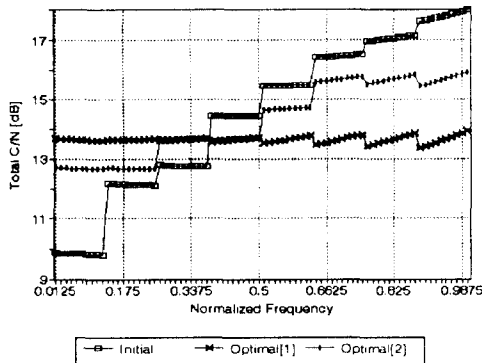
### 1.3 8-level 시스템

#### 가. 비대칭적인 배치

비대칭적인 배치에서의 8-level 시스템의 전력할당 및 전체 C/N은 다음과 같다.



(a) 전력할당



(b) 전체 C/N

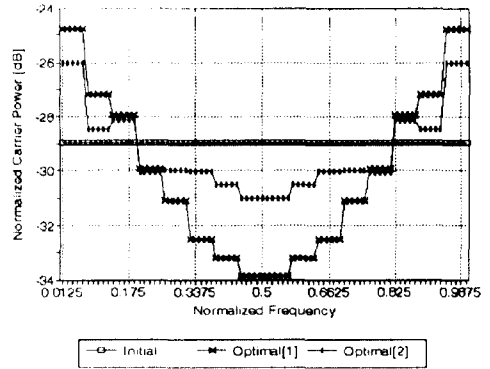
그림 7. 비대칭적인배치에서의 전력할당 및 total C/N (8-level 시스템)

Fig. 7. Power assignment and total C/N in unsymmetrical frequency plan(8-level system)

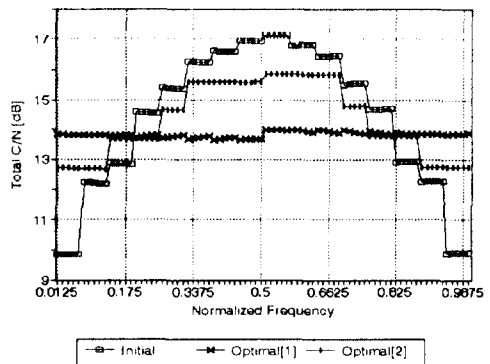
주파수 배치순으로 수신지구국의 G/T는 31.7 dB/K, 31.7 dB/K, 35.7 dB/K, 35.7 dB/K, 40.7 dB/K, 40.7 dB/K, 45.7 dB/K, 45.7 dB/K이며 위성 EIRP는 23.5 dB/K, 26.5 dB/K, 23.5 dB/K, 26.5 dB/K, 23.5 dB/K, 26.5 dB/K, 23.5 dB/K, 26.5 dB/K이다. Optimal [2]에서의 G(·)는 [-2 dB, -1 dB, -1 dB, -1 dB, 0 dB, 1 dB, 1 dB, 1 dB]이다. 초기전력할당 및 최적전력할당의 결과는 2-level 및 4-level에서 얻은 결과와 동일한 형태임을 알 수 있다.

#### 나. 대칭적인 배치

대칭적인 배치에서의 결과는 다음과 같다.



(a) 전력할당



(b) 전체 C/N

그림 8. 대칭적인배치에서의 전력할당 및 전체 C/N(8-level 시스템)

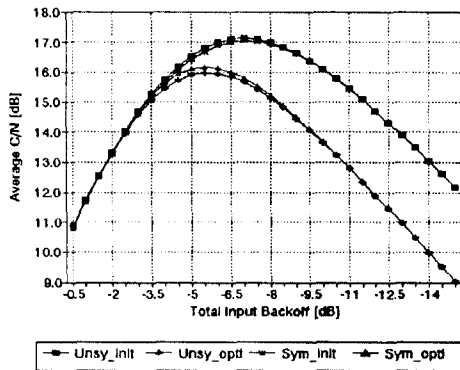
Fig. 8. Power assignment and total C/N in symmetrical frequency plan(8-level system)



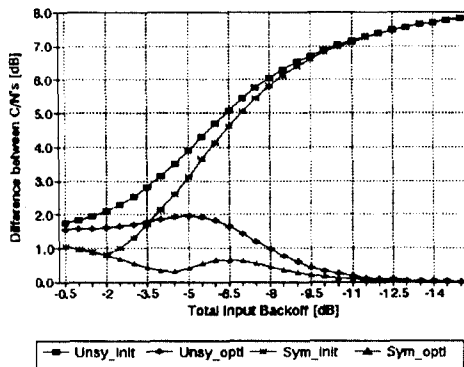
비대칭적인 배치에서와 동일한 파라메타를 설정한 결과이며, 결과의 해석은 2-level 및 4-level에서와 동일하게 수행할 수 있다.

2. 대칭적인 배치와 비대칭적인 배치간의 성능비교  
 대칭적인배치와 비대칭적인 배치에 있어 성능비교는 수식 (16), 수식(17)의 성능평가 기준 중에서 모든 반송파그룹이 동일한 C/N을 가지는 수식 (16)을 기준으로 평가한다. 성능비교를 위한 입력 파라메타로는 반송파의 개수 및 중계기의 동작점으로 설정하였으며, 비교되는 결과로서는 수신지구국에서의 모든 반송파 C/N에 대한 평균 C/N과, 최소, 최대 C/N 간의 차로 설정하였다.

전체 반송파의 개수를 140개로 설정하고 위성중계기의 입력 backoff에 따른 평균 C/N과 최대, 최소 C/N 차를 비교하면 다음과 같다.



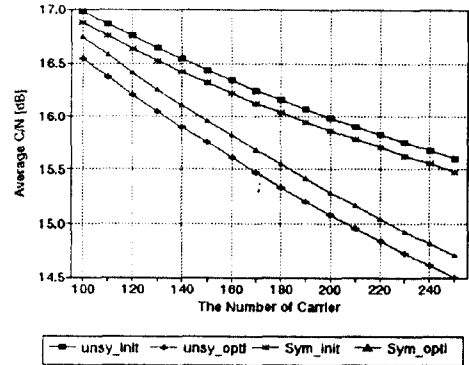
(a) 평균 C/N



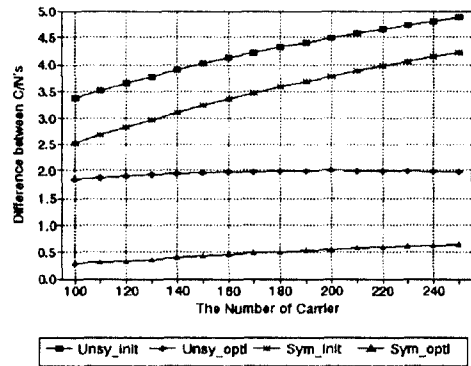
(b) 최소, 최대 C/N의 차

그림 9. 입력 backoff에 따른 성능 비교  
 Fig. 9. performance comparison according to the input backoff

전체 입력 backoff는 -5 dB로 유지하면서 반송파의 갯수를 달리하는 경우의 결과는 다음과 같다.



(a) 평균 C/N



(b) 최소, 최대 C/N의 차

그림 10. 반송파의 개수에 따른 성능비교  
 Fig. 10. Performance comparison according to the number of carries

위 그림에서 Unsy\_init는 비대칭적인 배치에서의 초기값, Unsy\_opt는 비대칭적인 배치에서의 최적값, Sym\_init는 대칭적인 배치에서의 초기값, Sym\_opt는 대칭적인 배치에서의 최적값을 나타낸다. 그림 9와 그림 10을 비교하여 보면 대칭적인 배치 방법론이 비대칭적인 방법론 보다 두가지 측면(평균 C/N, 최소·최대 C/N의 차)에서 모두 뛰어난 성능을 가짐을 알 수 있다.

3. 반송파 그룹의 분할에 따른 성능분석

기본적인 주파수 배치 전략을 비대칭적 배치와 대칭적인 배치를 설정하고, 각 배치 방법론에서 동일 레벨의 반송파 그룹을 분할함에 따른 성능비교를 수행하였다.

3.1 비대칭적인 배치를 기준으로 하는 경우

그룹의 분할 방법을 도식화하면 그림 11과 같다.

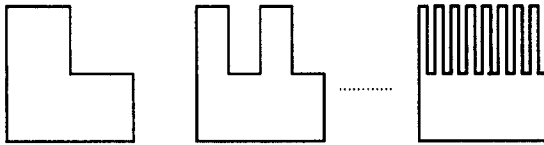


그림 11. 반송파 그룹의 분할(비대칭적인 주파수배치)

Fig. 11. Partition of carrier groups(unsymmetrical frequency plan)

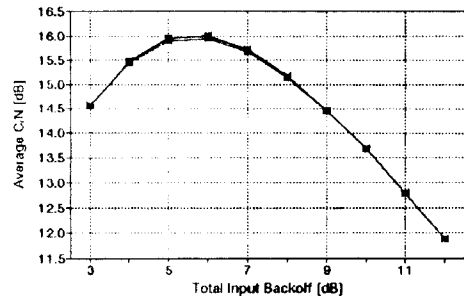
표 2. 반송파그룹의 분할에 따른 성능비교(비대칭적인 주파수배치)

Table 2. Performance Comparison according to partition of carrier groups(unsymmetrical frequency plan)

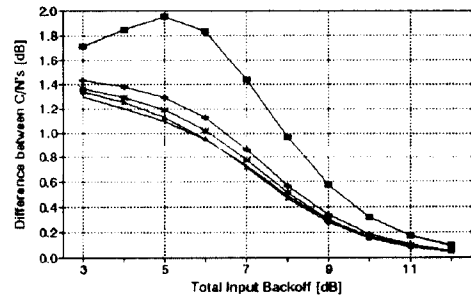
	반송파의 수	Block의 수	Level의 수	최소, 최대 C/N의 차 [dB]	평균 C/N [dB]	정규화된 반송파전력 [dB]
Initial	140	2	2	4.301	16.80	-26.96
Optimized	140	2	2	1.925	15.97	-25.08 -30.35
Initial	140	4	2	4.301	16.80	-26.96
Optimized	140	4	2	1.223	16.02	-25.18 -30.04
Initial	140	6	2	4.300	16.80	-26.96
Optimized	140	6	2	1.115	16.03	-25.20 -29.97
Initial	140	8	2	4.301	16.80	-26.96
Optimized	140	8	2	1.047	16.03	-25.21 -29.95
Initial	140	16	2	4.301	16.80	-26.96
Optimized	140	16	2	1.027	16.03	-25.22 -29.92

그림 11의 방식과 같이 반송파 그룹의 분할함으로써 얻어진 결과를 표 2에 제시하였다. 2-level 시스템을 가정하였으며 반송파그룹의 특성은 수신지구국의 G/T를 40.7 dB/K 및 31.7 dB/K로 설정하였다.

표 2는 중계기 입력 전력이 -5.5 dB이고, 반송파의 개수가 140인 경우의 결과이다. 비대칭적인 배치에서 동일 반송파 그룹의 분할은 최소·최대 C/N의 차 및 평균 C/N의 값을 증가시킴을 알 수 있다. 또한 고정된 중계기 입력 backoff가 아닌, 중계기 입력 backoff의 변화에 따른 평균 C/N, 최소·최대 C/N 차를 그림 12에 제시하였다.



(a) 평균 C/N



(b) 최소·최대 C/N의 차

그림 12. 입력 backoff에 따른 성능비교

Fig. 12. Performance Comparison according to the input backoff

그림 12를 비대칭적인 배치에서는 동일반송파 그룹을 분할함으로써 성능기준에 접근함을 알 수 있다. 그러나 분할의 수가 증가함에 따라 성능개선은 제한적임을 알 수 있다.

3.2 대칭적인 배치를 기준으로 하는 경우

대칭적인 시스템에서의 주파수 분할 방법을 도식화하면 그림 13과 같다.

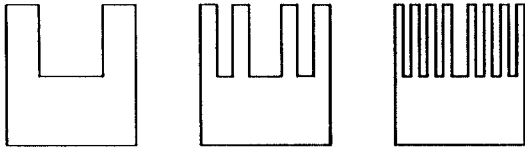


그림 13. 반송파그룹의 분할. (대칭적인 주파수배치)  
Fig. 13. Partition of carrier groups(symmetrical frequency plan)

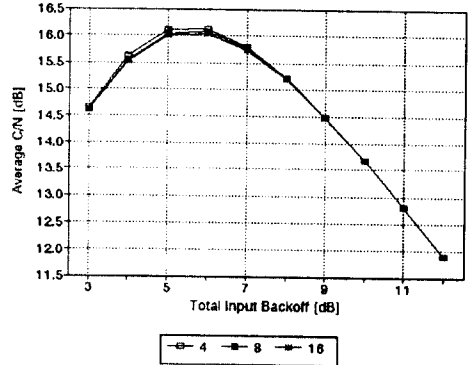
대칭적인 배치에서의 반송파 그룹 분할에 따른 결과는 다음과 같다.

표 3. 반송파그룹의 분할에 따른 성능비교(대칭적인 주파수배치)

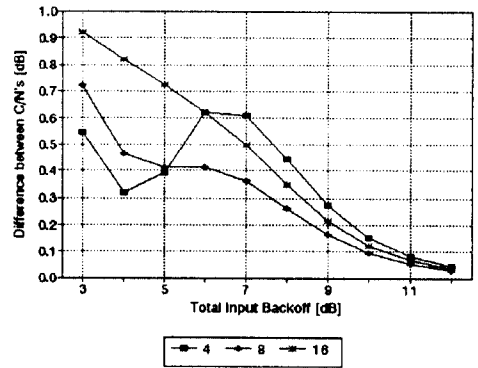
Table 3. Performance comparison according to the partition of carrier group(symmetrical frequency plan)

	반송파의 수	Block의 수	Level의 수	최소, 최대 C/N의 차 [dB]	평균 C/N [dB]	정규화된 반송파전력 [dB]
Initial	180	4	2	4.112	16.27	-28.05 -28.05
Optimized	180	4	2	0.621	15.53	-26.10 -31.69
Initial	180	8	2	4.383	16.32	-28.05 -28.05
Optimized	180	8	2	0.427	15.48	-26.19 -31.40
Initial	180	16	2	4.577	16.73	-28.05 -28.05
Optimized	180	16	2	0.656	15.44	-26.21 -31.33

비대칭적인 시스템과는 달리 대칭적인 시스템에서는 반송파 그룹의 분할이 반드시 성능 개선을 가져오는 것은 아니다. 8개의 block으로 분할하는 경우 최소·최대 C/N의 차에서 성능이 개선됨을 알 수 있다. 비대칭적인 배치에서와 같이 입력 backoff에 따른 결과를 비교하여 보면 그림 14와 같다.



(a) 평균 C/N



(b) 최소 · 최대 C/N의 차

그림 14. 입력 backoff에 따른 성능비교  
Fig. 14. Performance comparison according to the input backoff

위 그림을 분석하여 보면 미세한 차이지만 입력 backoff에 따라 평균 C/N 및 최소·최대 C/N의 차에 변화가 일어난다. Backoff에 따라 평균 C/N은 전반적으로 감소하지만 최소·최대 C/N의 차는 입력 Backoff에 따라 변화가 일어난다.

3. 그룹의 위치 변동에 따른 성능분석

반송파그룹의 위치변동은 대칭적인 배치와 비대칭적인 배치에서의 반송파 그룹의 위치를 서로 바꾸는 것으로 모의실험을 수행하였다. 표 4에서 그 결과를 제시하였는데 [A]는 수신지구국의 G/T가 40.7 dB/K 인 반송파 그룹이며, [B]는 수신지구국의 G/T가 31.7 dB/K인 반송파 그룹을 의미한다.

표 4. 그룹의 위치변동에 따른 성능비교  
Table 4. Performance comparison according to the position change of carrier groups

	반송파의 수	Block의 수	Level의 수	최소, 최대 C/N의 차 [dB]	평균 C/N [dB]	정규화된 반송파 전력 [dB]	비고
Initial	140	2	2	4.30	16.80	-26.96[dB] -26.96[A]	비대칭적인 배치
Optimized	140	2	2	1.93	15.97	-25.08[B] -30.35[A]	
Initial	140	2	2	4.30	16.80	-26.96[A] -26.96[B]	대칭적인 배치
Optimized	140	2	2	1.92	15.97	-30.34[A] -25.08[B]	
Initial	140	4	2	3.63	16.69	-26.96[B] -26.96[A]	대칭적인 배치
Optimized	140	4	2	0.53	16.17	-25.13[B] -30.19[A]	
Initial	140	4	2	4.30	16.91	-26.96[A] -26.96[B]	
Optimized	140	4	2	1.21	15.79	-30.13[A] -25.15[B]	

비대칭적인 배치에서는 그룹의 위치 이동이 위성 링크성능에 거의 영향을 미치지 않는다. 대칭적인 경우에는 그룹의 위치 이동이 성능에 미치는 영향은 아주 지대하다. 결론적으로 이득에 관련된 항(중계기의 EIRP, Total Loss, 수신 지구국의 G/T)의 이득이 작은 그룹을 중계기의 가장자리에 배치함으로써 성능향상을 가져올 수 있다.

5. 반송파 그룹의 배치 전략

앞 절에서 제시한 결과를 바탕으로 반송파 그룹의 배치에 따른 성능을 분석하고, 기본적인 배치전략을

제시하면 다음과 같다.

- ▶ 그룹 배치의 기본적인 전략은 하향링크의 이득에 관련된 항(중계기의 EIRP, Total Loss, 수신 지구국의 G/T)의 이득이 작은 그룹을 중계기의 가장자리에 배치하는 것이 유리하다.
- ▶ 위 항의 전략을 적용한 대칭적인 배치는 매우 뛰어난 성능을 나타낸다.
- ▶ 비대칭적인 배치에서는 반송파 그룹의 분할은 기본적으로 더욱 뛰어난 성능을 제시한다.
- ▶ 대칭적인 시스템에서는 동일 반송파 그룹의 분할은 입력 backoff에 따라 성능이 변화된다.

위의 배치에 따른 특성을 분석해 볼 때 이득에 관련된 항의 이득이 작은 반송파 그룹을 중계기의 가장자리에 배치하여야 하고, 중계기 전체적으로 볼 때 대칭적인 배치가 이루어져야 한다. 그리고 기본적인 배치전략이 이루어진 이후 사용자가 정의하는 시스템의 특성에 따라 분할에 의한 배치 전략을 적용하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 논문에서는 SCPC 시스템에서 링크성능을 최적화하기 위한 위성중계기 입력반송파그룹의 최적전력 할당에 대한 방안을 다수의 문헌을 토대로하여 제시하고 모의 수행가능한 소프트웨어를 개발하였다. 모의 수행을 통한 성능평가에서는 우선적으로 다양한 위성통신시스템에 대한 최적반송파 그룹의 전력할당 결과를 제시하였다. 또한 반송파그룹의 주파수배치에 따른 성능평가를 수행하기 위하여 비대칭적 배치와 대칭적인 배치, 반송파그룹의 분할, 반송파그룹의 위치 변동에 따른 성능평가를 수행하고 기본적인 반송파 그룹의 배치방안을 제시하였다.

향후 연구방향으로는 본 논문에서 제시한 기본적인 배치전략을 근거로한 반송파그룹 최적배치 알고리즘의 개발에 관한 연구가 요구된다.

참고 문헌

1. Lan N. Nguyen and Osamu Shimbo, "A Method

- for Transponder Capacity and Link Performance Optimization in Preassigned Multilevel SPCP Systems," IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-29, No 3, March. 1981.
2. Osamu Shimbo, *Transmission Analysis in Communication Systems*, Computer Science Press, Volume 1, 1988.
  3. Osamu Shimbo, *Transmission Analysis in Communication Systems*, Computer Science Press, Volume 2, 1988.
  4. M. J. Robusto, "INTELSAT V Transmission System Models Used for Analysis, Optimization, and Operational Control," Proc. AIAA Ninth Communications Satellite Systems Conf. Mar. 1982.
  5. R. Fletcher and M. J. D. Powell, "A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization," The Computer Journal, Vol. 6, 1963.-1964.
  6. J. C. Fuenzalida, O. Shimbo, and W. L. Cook, "Time-Domain Analysis of Intermodulation Effects by Nonlinear Amplifier," COMSAT Technical Review, Vol. 3, No. 1, Spring 1973.
  7. 최종연구보고서, 중계기의 최적반송파 전력할당 기법, 한국전자통신연구소, 1994.

金炳均(Byung Kyun Kim)

정회원



- 1992년 2월:성균관대학교 전자공학과 졸업(학사)  
 1994년 2월:성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)  
 1994년 3월~현재:성균관대학교 대학원 박사과정  
 ※주관심 분야: 위성통신, 이동통신, 디지털통신 기술 등임

崔炯辰(Hyung Jin Choi)

정회원



- 1974년 2월:서울대학교 전자공학과 졸업(학사)  
 1976년 2월:한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(석사)  
 1976년 3월~1979년 7월:주식회사 금성사 중앙연구소 근무(연구원)  
 1979년 9월~1982년 12월:미국 University of Southern California 전기공학과 박사(Ph.D)  
 1982년 10월~1989년 2월:미국 LinCom Corp. 연구원으로 근무  
 1989년 3월~현재:성균관대학교 전자공학과(부교수)  
 ※주관심 분야: 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 Modem 기술 등임