

Two-Level SCPC 시스템에 대한 주파수배치 알고리즘

正會員 李 相 文* 正會員 高 晟 燦* 正會員 崔 炯 辰*

A New Frequency Assignment Algorithm for Increasing C /IM in Two-Level SCPC Systems

Sang Moon Lee,* Sung Chan Ko,* Hyung Jin Choi* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 Hub와 Remote 지구국들이 위성중계기를 통해 교신하는 방식의 Two-Level SCPC 시스템에서의 혼변조적을 최소화하는 효과적인 주파수배치 방법론을 제시하였으며, 아울러 Two-Level SCPC 시스템에서의 혼변조적을 산출하는데에 소요되는 계산시간을 줄일 수 있는 방법론을 새로이 소개하였다. Okinaka가 One-Level SCPC 시스템에 적용하였던 Deletion과 Insertion 동작을 Two-Level SCPC 시스템에 확장·적용할때 고려할 수 있는 여러 방법론들을 연구분석한 후 이들 중 최적이라 사료되는 방법론을 체계화하여 Two-Level SCPC 시스템에서의 주파수배치 알고리즘으로 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 기존의 주파수배치 방법들에 비해, 우수한 성능을 보일뿐만 아니라 특히 융통성의 측면에서는 매우 뛰어난 특성을 보이고 있다. 현재까지 발표된 Two-Level SCPC 시스템의 주파수배치 방법론들은 일반성이 매우 결여되어 있기 때문에 실제의 위성시스템에 효과적으로 적용할 수 없는 점을 감안하면, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 매우 큰 의미를 지닌다고 할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient method to allocate carrier frequencies so as to minimize intermodulation products in two-level SCPC systems in which Hub station and many Remote stations communicate each other through the satellite transponder. Also we present a very efficient method to evaluate intermodulation products with highly reduced CPU time in two-level SCPC systems. We study and analyze the performance of some possible methods to extend the Deletion and Insertion operation, which is proposed by Okinaka and applied to only one-level SCPC systems, to two-level SCPC systems. The proposed algorithm is carefully selected out of these methods and is optimized, which shows superior performance to any other published strategies, especially in that it has very excellent characteristics in terms of generality for practical application. Considering the fact that most published strategies are seldom applicable to actual two-level SCPC systems, we can say that the proposed algorithm in this paper is quite meaningful.

*成均館大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, Sung Kyun Kwan
Univ.
論文番號 : 93 - 58

I. 서론

2개 이상의 반송파들이 TWTA(Travelling Wave Tube Amplifier)와 같은 비선형소자에 의해 증폭될 때 혼변조적(InterModulation Product : IMP)이 발생된다[1]. 혼변조적은 하향링크시 신호에 대한 잡음이 작용하여 전송품질의 기준이 되는 C/IM(Carrier to Intermodulation Power Ratio)비를 열화시키게 된다[1]. 이러한 혼변조적의 효과는 입력 반송파신호들을 증계기의 선형영역에서 증폭시키거나 또는 반송파의 주파수를 적절히 배치함으로써 최소화할 수 있다. 전자는 가용위성전력을 낭비할 뿐만 아니라 신호의 증폭률을 낮추기 때문에 극히 비효율적인 방법이라 할 수 있다. 한편, 후자는 위성전력을 최대한 이용하면서 단지 반송파의 주파수위치만을 조절 배치하는 방법이므로 주파수배치에 의한 혼변조적 효과의 최소화가 바람직하다 할 수 있다. 현재까지 제안된 주파수배치 알고리즘들은 거의 대부분이 One-Level SCPC(Single Channel Per Carrier)시스템에 국한되어 있는 실정이다[2,3,4,5]. 문헌 [2,3]에서는 주로 IMP-Free 상태로 주파수를 배치하는 방법론을 언급하였으나, IMP-Free 배치를 위하여 요구되는 위성증계기의 대역은 반송파의 수가 증가할수록 기하급수적으로 증가하기 때문에 대역제한된 실제의 위성시스템을 고려하면 IMP-Free 배치법은 매우 비현실적인 방법론이라 할 수 있다. 1984년, Okinaka는 대역의 제한성을 고려하여 IMP-Free가 아닌 IMP-Minimum 상태로, 즉 준최적적(quasi-optimal)으로 주파수를 배치할 수 있는 DELINS-INSDEL 알고리즘을 제안하였다[4]. 이 DELINS-INSDEL 알고리즘은 1988년 Vuong에 의해 보다 체계화되었으나 이 알고리즘 역시 One-Level SCPC에만 적용이 가능하다는 제한성을 가지고 있다[5]. 따라서 현재 활성화되고 있는 VSAT(Very Small Aperture Terminal)과 같이 큰 G/T(수신성능지수)를 가진 Hub와 작은 G/T를 가진 Remote들로 구성되는 성형망 (Star Network) 구조의 Two-Level SCPC 시스템에 효과적으로 적용할 수 있는 주파수배치 방법론이 절실히 요구되는 실정이라 할 수 있다. Two-Level SCPC 시스템에서의 주파수배치 문제를 다룬 문헌[6,7]에서는 Large Carrier와 Small Carrier를 교번적으로 위치시키는 방법론이 제안되어 있고, 문헌[8]에서는 위성증계기의 대역이 반송파들에 의해 완전히 점유되는 경우 즉, $K=N$ (K =반송

파의 수, N =전체 채널슬롯의 수)일 경우에 국한하여 Two-level SCPC 시스템에서의 주파수배치에 대한 지침을 제시하였다. 그러나 몇몇 특정의 경우를 제외하고는 교번적 배치가 최선의 방법론이 될 수가 없고, 또 Vuong의 연구결과는 $K \neq N$ 인 실제적인 시스템에 적용하기에는 일반성이 결여되어 있으므로, 본 논문에서는 무엇보다도 적용이 유연성을 지닌 DIRIC (DELINS-INSDEL[Reference carrier]-INSDEL[Complement carrier]) 알고리즘을 제안하도록 한다. 본 논문에서 제안하는 DIRIC 알고리즘은 Okinaka의 Deletion 동작과 Insertion 동작의 기본개념을 수정·확장한 방법으로서 실제의 Two-Level SCPC 시스템에 쉽게 적용할 수 있을뿐만 아니라 성능면에서도 매우 우수한 특성을 지니고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

2장에서는 Two-level SCPC 시스템에 대한 주파수배치의 문제점과 혼변조적을 산출하는데 소요되는 계산시간을 줄일 수 있는 방법을 소개하였고, 3장에서는 제안된 주파수배치 알고리즘을 체계적으로 설명하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘과 기존의 방법들의 성능을 비교검토하였고, 주파수배치에 수반되는 제반의 영향들을 분석·언급하였다. 마지막으로 5장에서는 간단한 결론을 덧붙였다.

II. 일반적인 고려사항

2.1 INSDEL 동작의 문제점

Okinaka가 One-Level SCPC 시스템의 주파수배치 알고리즘으로 제안하였던 DELINS-INSDEL 알고리즘은 Deletion(DEL) 동작과 Insertion(INS) 동작에 기초를 두고있다. DELINS 과정에서는 Deletion 동작을 우선적으로 수행하여 K 개의 반송파들 중에서 C/IM 비를 가장 크게 열화시키는 반송파를 제거하고 이후에, 반송파의 수를 $(K-1)$ 개에서 K 개로 복원하기 위하여 Insertion 동작을 수행한다. 따라서 DELINS 과정에서의 Insertion 동작은, 제거되었던 반송파를 C/IM 비를 가장 작게 열화시키는 위치에 삽입하는 동작을 의미한다. 한편, INSDEL 과정에서는 Insertion 동작이 우선적으로 수행되는데, 이때에는 K 개의 반송파들 이외에 다른 하나의 반송파가 더 있다라는 가정이 전제되어야 한다. 이러한 가정하에 C/IM 비를 가장 작게 열화시키는 위치에 가상의 반송파를 삽입시키고 이후에, 반송파의 수를 $(K+1)$ 개에서 K 개로 복원하기 위하여 다시 De-

letion 동작이 수행되어 (K+1)개의 반송파들 중에서 C/IM 비를 가장 크게 열화시키는 반송파가 제거된다. 이렇게 DELINS 과정과 INSDEL 과정을 반복해서 수행함으로써 준최적의 주파수배치안을 얻도록 한것이 DELINS-INSDEL 알고리즘의 기본원리이다.

One-Level SCPC 시스템에서는 모든 반송파들의 전력이 일정하기 때문에 가상의 반송파를 도입해야 하는 INSDEL 과정이 가능하였지만, Two-Level SCPC 시스템에서는 두 가지의 전력레벨이 존재하기 때문에 가상의 반송파를 설정하는 기준이 애매해진다. 그러나 가상의 반송파를 도입하는 기준만 제대로 설정할 수 있다면 Two-Level SCPC 시스템에서의 주파수배치 문제에도 INSDEL 과정을 응용할 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 Two-Level SCPC 시스템에서 두 가지의 반송파 즉, Large Carrier와 Small Carrier를 가상의 반송파로 도입하여 INSDEL 과정을 수행하기로 한다. 이때 혼변조적의 산출에 요구되는 시간을 단축하기 위한 방법론을 다음절에서 소개하며, Two-Level SCPC 시스템에 INSDEL 과정을 응용하는 구체적인 방법론들은 3장에서 자세히 언급하기로 한다.

2.2 혼변조적의 개념 및 산출법

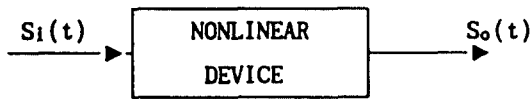


그림 1. 비선형소자의 모델
Fig. 1. Model for nonlinear device

M 개의 신호들이 그림 (1)과 같은 비선형소자에 입력된 경우를 고려하면 입력신호, Si(t)는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$S_i(t) = \sum_{j=1}^M A_j(t) \cos [(\omega_0 + \omega_j)t + \theta_j(t)] \quad (1)$$

여기서 Aj(t), ω0+ωj, θj(t)는 각각 j 번째 반송파의 진폭, 주파수, 위상을 의미한다.

비선형소자의 진폭(AM/AM), 위상(AM/PM)

특성을 각각 G(ρ), F(ρ)라 하면 비선형소자의 전달 특성, G(ρ)exp[jF(ρ)]는 식(2)와 같이 제 1종 1차 Bessel 함수들로 근사화할 수 있다[9].

$$G(\rho)\exp[jF(\rho)] = \sum_{s=1}^L b_s J_1(\alpha_s \rho) \quad (2)$$

여기서 ρ는 비선형소자의 입력진폭을 의미하고, bs와 L은 비선형소자의 전달특성을 근사화하는데 필요한 복소계수와 그 갯수를 각각 의미한다. 그리고 α는 비선형소자의 전달특성을 가장 잘 근사화하기 위하여 도입하는 파라메타이다.

식(2)로 비선형소자의 전달특성을 근사화하면 비선형소자의 출력신호 S0(t)는 식(3)으로 주어진다 [9].

$$S_0(t) = \text{Re} \left[\cdot M(k_1, k_2, \dots, k_M) \exp[j\omega_0 t] \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} \dots \sum_{k_M=-\infty}^{\infty} \exp \left[j \sum_{j=1}^M (\omega_j t + k_j \theta_j) \right] \right] \quad (3)$$

(k1+k2+...+kN=1)

여기서 M(k1, k2, ..., kM)은 식(4)로 규정된다[9].

$$M(k_1, k_2, \dots, k_M) = \sum_{s=1}^L b_s \prod_{j=1}^M J_{k_j}(\alpha_s A_j) \quad (4)$$

Jkj(·)는 kj 차 1종 Bessel 함수를, Aj는 j번째 반송파의 진폭을 의미한다.

식(5)에 나타난 혼변조적의 차수가 증가함에 따라 혼변조적의 전력이 급격히 감소하므로, 실제로 3차 이상의 고차성분에 의한 혼변조적 효과는 무시할 수 있다[10]. 따라서 3차 혼변조적들만을 고려하여 Two-Level SCPC 시스템에서의 주파수배치 방법론을 언급하기로 한다.

$$\text{혼변조적의 차수} = \sum_{j=1}^M |k_j| \quad (5)$$

3차 혼변조적은 다시 dominant 성분(f1+fj-fk 형)과 specific 성분(2f1-fj 형)으로 분류되므로[9], Two-Level SCPC 시스템에서 발생가능한 모든 3차 혼변조적들을 각 분류형태별로 정리하여 표(1)에 나타내었다.

여기서 fs, fL는 각각 Small Carrier, Large Car-

표 1. Two-Level SCPC 시스템에서의 발생 가능한 혼변조적

Table. 1. All types of the 3rd order IMPs in two-level SCPC systems

분류번호	3차 혼변조적	
	Dominant 성분	Specific 성분
1	$f_s + f_s - f_s$	$2f_s - f_s$
2	$f_s + f_s - f_L$ or $f_s + f_L - f_s$	$2f_s - f_L$
3	$f_s + f_L - f_L$ or $f_L + f_L - f_s$	$2f_L - f_s$
4	$f_L + f_L - f_L$	$2f_L - f_L$

rier의 주파수를 의미한다. 이상에서 기술한 수식을 근거로하여 혼변조적의 전력 및 주파수를 결정해야만, Two-Level SCPC 시스템에 대한 준최적 주파수배치안을 얻을 수 있다. 반송파의 수가 많은 경우에는 한 주파수배치에 대한 혼변조적을 산출하는데에만 해도 매우 긴 계산시간이 소요되기 때문에 효과적인 산출방법을 적용하지 않는한, 매우 긴 계산시간이 소요되기 때문에 효과적인 산출방법을 적용하지 않는한, 매우 우수한 알고리즘이 있다해도 시간적 제한성 때문에 준최적의 주파수배치안을 얻을 수 없게 된다. 본 논문에서 제안하는 주파수배치 방법론을 적용하고 486 PC를 이용한 경우 한 예를 들면, 총 채널슬롯의 수가 40, 반송파의 수가 20인 Two-Level SCPC 시스템에 대하여 직접 혼변조적을 산출하면서 주파수배치안을 얻은 경우에는 약 12 시간이 소요되었다. 그러나 아래에서 언급하는 Look-Up Table 참조방식을 이용하여 혼변조적을 산출한 경우에는 소요되는 시간이 약 1 분대로 단축되었다. 따라서 Look-Up Table 작성에 의한 혼변조적의 산출이 바람직할 수 있으므로, 아래에서는 Two-Level SCPC 시스템에 대한 Look-Up Table 작성법을 제시한다. Large Carrier의 진폭을 C_L , Small Carrier의 진폭을 C_S 라 하고, N_L 과 N_S 를 각각 Large Carrier와 Small Carrier의 개수라 하면, 표(1)과 식(4)에 의해서 Dominant 성분의 진폭 M_{Di} 와 Specific 성분의 진폭 M_{Si} 는 각각 식(6)과 식(7)로 주어진다.

$$M_{Di} = \sum_{i=1}^L b_s \left[\prod_{j=1}^3 J_1(asD_{ij}) \right] [J_0(asC_S)]^{N_s+d1} [J_0(asC_L)]^{N_L+d2} \quad (6)$$

$$M_{Si} = \sum_{i=1}^L bs [J_2(asS_{i1}) \cdot J_1(asS_{i2})] \cdot [J_0(asC_S)]^{N_s+S1}$$

$$[J_0(asC_L)]^{N_L+S2}$$

(7)

여기서 $i=1, 2, 3, 4$ 이며, 표(1)의 분류번호에 해당한다. 그리고 D_{ij} 와 S_{ij} 는 각각 다음과 같다.

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} C_S & C_S & C_S \\ C_S & C_S & C_L \\ C_S & C_L & C_L \\ C_L & C_L & C_L \end{bmatrix} \quad S_{ij} = \begin{bmatrix} C_S & C_S \\ C_S & C_L \\ C_L & C_S \\ C_L & C_L \end{bmatrix}$$

주로 Deletion 동작과 Insertion 동작으로 구성되어 있는 주파수배치 방법론에서는 각 동작시 마다 반송파의 수가 달라지기 때문에 식(6), 식(7)에서 $d1$, $d2$ 및 $s1$, $s2$ 는 동작형태에 따라 달리 규정되는 파라메타이다. 각 동작형태에 따른 파라메타들의 값은 표(2)에 주어져 있다.

표 2. 각 동작에 따른 $d1$, $d2$, $s1$, $s2$ 파라메타의 결정

Table. 2. Determination of $d1$, $d2$, $s1$, $s2$ parameters for each operation

분류번호 (i)	기 준 반송파	DELINS 에서 INS 동작 및 INSDDEL 에서 DEL 동작시	DELINS 에서 DEL 동작시	INSDDEL 에서 INS 동작시
		$d1$ $d2$ $s1$ $s2$	$d1$ $d2$ $s1$ $s2$	$d1$ $d2$ $s1$ $s2$
1	Small	$i-4 \ -i+1 \ i-3 \ -i+1$	$i-5 \ -i+1 \ i-4 \ -i+1$	$i-3 \ -i+1 \ i-2 \ -i+1$
	Large	$i-4 \ -i+1 \ i-3 \ -i+1$	$i-4 \ -i \ i-3 \ -i$	$i-4 \ -i+2 \ i-3 \ -i+2$
2	Small	$i-4 \ -i+1 \ i-3 \ -i+1$	$i-5 \ -i+1 \ i-4 \ -i+1$	$i-3 \ -i+1 \ i-2 \ -i+1$
	Large	$i-4 \ -i+1 \ i-3 \ -i+1$	$i-4 \ -i \ i-3 \ -i$	$i-4 \ -i+2 \ i-3 \ -i+2$
3	Small	$i-4 \ -i+1 \ i-4 \ -i+2$	$i-5 \ -i+1 \ i-5 \ -i+2$	$i-3 \ -i+1 \ i-3 \ -i+2$
	Large	$i-4 \ -i+1 \ i-4 \ -i+2$	$i-4 \ -i \ i-4 \ -i+1$	$i-4 \ -i+2 \ i-4 \ -i+3$
4	Small	$i-4 \ -i+1 \ i-4 \ -i+2$	$i-5 \ -i+1 \ i-5 \ -i+2$	$i-3 \ -i+1 \ i-3 \ -i+2$
	Large	$i-4 \ -i+1 \ i-4 \ -i+2$	$i-4 \ -i \ i-4 \ -i+1$	$i-4 \ -i+2 \ i-4 \ -i+3$

식(6), 식(7) 및 표(2)를 이용하여 Deletion 이나 Insertion의 각 동작에 대한 혼변조적의 진폭값을 사전에 Look-Up Table로 작성한 경우에는, 표(1)에 준하여 혼변조적의 주파수 위치를 결정하고 Look-Up Table을 참조만 하더라도 혼변조적 산출이 가능하다. 따라서 직접 혼변조적을 산출하는 경우에 비하여 계산에 소요되는 시간이 상당히 단축될 수 있다.

III. 주파수배치 방법론

2장 1절에서 언급하였던 바와 같이 Two-Level SCPC 시스템에 INSDEL 과정을 응용하기 위하여는 가상의 반송파를 적절히 설정할 수 있어야 한다. Two-Level 시스템에서는 Large Carrier와 Small Carrier들 중에서 어느 하나를 가상의 반송파로 설정할 수 있다. 지금부터는 설정되는 가상의 반송파를 기준반송파(Reference Carrier)로 언급하고 Large Carrier와 Small Carrier를 각각 L, S로 표기한다. INSDEL 과정을 Two-Level SCPC 시스템에 확장하여 적용할때 다음과 같은 방법을 생각할 수 있다.

- 1) DELINS-INSDEL(L)
- 2) DELINS-INSDEL(S)

여기서 INSDEL(A)는 A Carrier가 INSDEL 과정에서 기준반송파로 작용함을 의미한다.

먼저, Two-Level SCPC 시스템에서의 초기채널배치가 그림(2.a)와 같다고 가정하면 DELINS 과정의 절차는 다음과 같다.

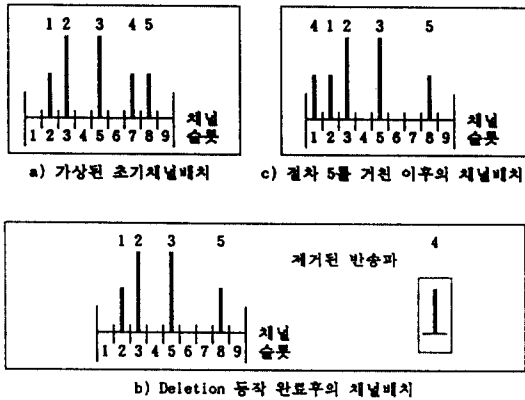


그림 2. DELINS 과정의 개념도
Fig. 2. Conceptual description of DELINS operation

절차 1). 주어진 채널배치에 의한 혼변조적을 계산하여 $R_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 를 결정하고 R_i 들 중에서 최소가 되는 값 Q, 즉 $Q = \text{Min } R_i$ 를 결정한다. 여기서 R_i 는 i번 반송파의 C/IM 비를 의미한다.

절차 2). 1번 반송파를 제거한 나머지 반송파(2,3,

4,5)들에 의한 혼변조적을 계산하여 $R_i (i=2, 3, 4, 5) \leftarrow$ 결정한다. 1번 반송파에 대하여 Deletion 동작을 수행하고나서 구한 R_i 들 중에서 최소가 되는 값 MD_2 까지를 결정한다. 이러한 방식으로 5번 반송파에 대한 최소값 MD_5 까지를 결정한다.

절차 4). 제거된 4번 반송파를 빈 채널슬롯 1에 삽입시켜 $R_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 를 결정하고 R_i 들 중 최소가 되는 값 MI_1 을 결정한다. 이후에, 빈 채널슬롯 4에 삽입시켜 $R_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 를 결정하고 R_i 들 중 최소가 되는 값 MI_4 를 결정한다. 이러한 방식으로 비어있는 모든 채널슬롯에 대하여 $MI_i (i \in \text{빈채널슬롯})$ 를 결정한다.

절차 5). MI_i 들 중에서 최소가 되는 값을 MI_s 라 할 때, MI_s 가 절차 1에서 구한 Q값 보다 크면 S번 채널슬롯에 반송파를 삽입하고 절차 1 부터 다시 시작한다. MI_s 가 Q값 보다 작거나 같으면 DELINS 과정이 완료된다. 그림 (2.c)는 절차 5를 거치고 난후에 S를 2이라 가정하여 나타난 그림이다. 다음은 INSDEL 과정을 Two-Level SCPC 시스템에 확장하여 적용하는 방법으로서, 기준반송파를 L로 설정한 경우나 혹은 S로 설정한 경우나 거의 동일한 절차로 수행되기 때문에 여기서는 L을 기준반송파로 설정하여 INSDEL(L)과정을 개념적으로 설명한다. INSDEL(L) 수행전의 채널배치는 그림(3.a)와 같다고 가정한다

절차 1). 주어진 채널배치에 의한 혼변조적을 계산하여 $R_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 를 결정하고 R_i 들 중에서 최소가 되는 값 Q를 결정한다.

절차 2). 기준반송파로 설정된 Large Carrier를 빈

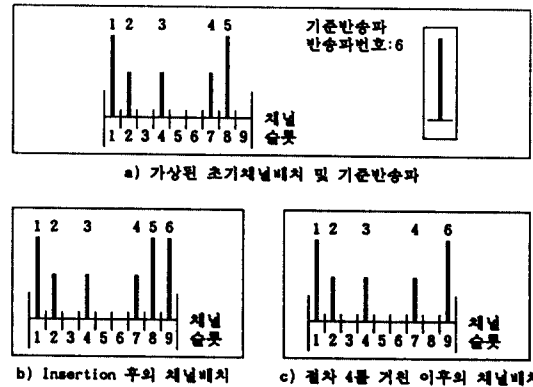


그림 3. INSDEL(A) 과정의 개념도
Fig. 3. Conceptual description of INSDEL(A) operation

채널슬롯 3에 삽입시켜 $R_i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 을 결정하고 R_i 들 중 최소가 되는 값 MI_3 을 결정한다. 이후에, 빈 채널슬롯 5에 삽입시켜 $R_i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 을 결정하고 R_i 들 중 최소가 되는 값 MI_5 를 결정한다. 이러한 방식으로 비어있는 모든 채널슬롯에 대한 $MI_i (i \in \text{빈 채널슬롯})$ 를 결정한다.

절차 3). $MI_i (i \in \text{빈 채널슬롯})$ 들 중에서 최소가 되는 값을 MD_s 라 하면, S번 채널슬롯에 기준반송파를 최종적으로 삽입한다. 절차 1), 2), 3)에 의하여 INSDEL(L) 과정의 Insertion 동작이 완료된다. 그림(3.b)은 Insertion 동작이 완료된 이후에 S를 9라 가정하여 나타낸 그림이다.

절차 4). 삽입된 반송파가 Large Carrier 이므로, Small Carrier를 제외한 나머지 Large Carrier들만이 Deletion 동작의 대상이 된다. 1번 반송파를 제거한 나머지 반송파(2, 3, 4, 5, 6)들에 의한 혼변조율을 계산하여 $R_i (i=2, 3, 4, 5, 6)$ 을 결정하고 R_i 들 중에서 최소가 되는 MI_1 을 결정한다. 이후에 5번 반송파를 제거하였을때의 최소값 MI_6 를 결정한다. 이러한 방식으로 모든 Large Carrier들을 제거하면서 $MI_i (i \in \text{Large Carrier})$ 를 결정한다.

절차 5). $MD_i (i \in \text{Large Carrier})$ 들 중에서 최소가 되는 값을 MD_s 라 하면, S번 반송파를 최종적으로 제거한다. MD_s 가 절차 1에서 구한 Q값 보다 크면 S번 채널슬롯에 반송파를 삽입하고 절차 1 부터 다시 시작한다. MD_s 가 Q값보다 작거나 같으면 INSDEL(L) 과정이 완료된다.

그림(3.c)는 절차 5를 거치고 난후에 S를 5라 가정하여 나타낸 그림이다. 상기의 두 방법론은 Large Carrier와 Small Carrier의 수가 서로 다를 경우 다음과 같은 일반적인 특성을 지닌다.

$N_L \gg N_s$ 일때는 INSDEL(L)의 기능이 INSDEL(S) 보다 대체로 강하다.

$N_L \ll N_s$ 일때는 INSDEL(S)의 기능이 INSDEL(L) 보다 대체로 강하다.

$N_L = N_s$ 일때는 INSDEL(S)과 INSDEL(L)의 기능이 대체로 비슷하다.

$N_L \neq N_s$ 인 시스템에 대해서도 적용의 일반성이 유지되기 위해서는, 두 방법론의 단점을 서로 보완하는 것이 바람직하다. 따라서 본 논문에서는 두 방법론의 단점을 보완하는 형태로 다음과 같은 DIRIC 알고리즘을 제안한다.

DIRIC : DELINS-INSDEL[A]-INSDEL[\hat{A}]

여기서 A, \hat{A} 는 각각 Reference Carrier와 Complement Carrier 로서, 서로 다른 반송파를 의미한다. 따라서 다음과 같은 방법론이 가능하다.

- 3) DELINS-INSDEL(S)-INSDEL(L)
- 4) DELINS-INSDEL(L)-INSDEL(S)

방법론 3), 4)에 대한 전체 흐름도는 그림(4)와 같다.

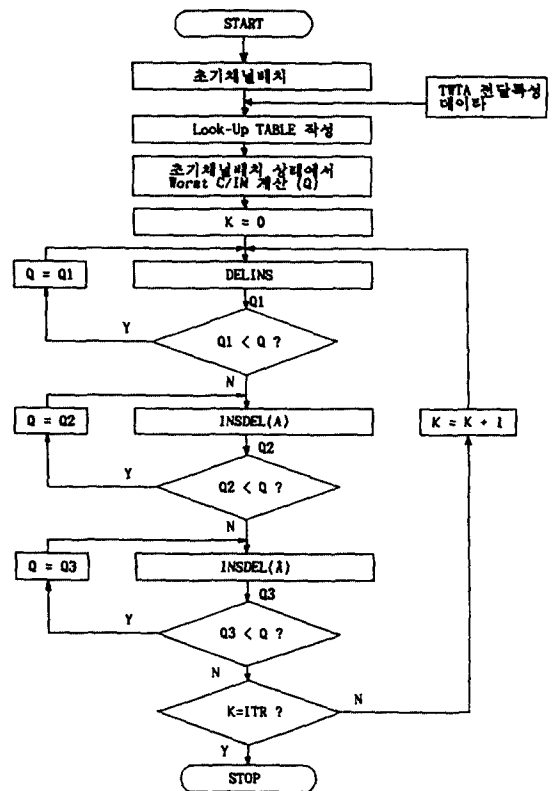


그림 4. DELINS-INSDEL(A)-INSDEL(\hat{A})의 전체흐름도
Fig. 4. Flow chart of the DELINS-INSDEL(A)-INSDEL(\hat{A})

표(3)과 그림(5)에 나타난 TWTA를 이용하여, 이 상에서 언급한 4가지 방법론에 대한 성능을 분석하였다. 분석자료들 중 일부를 그림(6)에 제시하였다.

표 3. TWTA 전달특성의 BESSEL 계수 ($\alpha=06.$)[10]
Table 3. Bessel coefficients for the characteristics of TWTA

실수부	1.6870	-0.1677	0.7344	0.9473	-0.9243
	0.5540	0.6071	-1.1450	0.9518	-0.3567
허수부	-0.5994	0.5256	-0.5307	0.2240	-0.1344
	2.6020	-0.9133	1.0270	-0.3274	0.1890

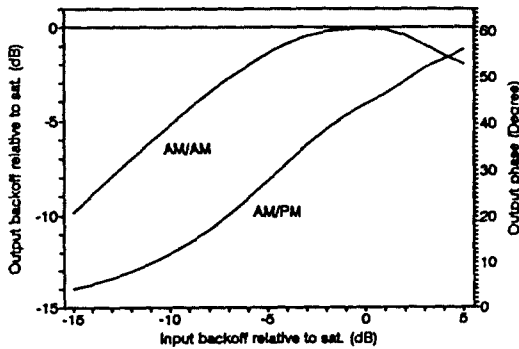
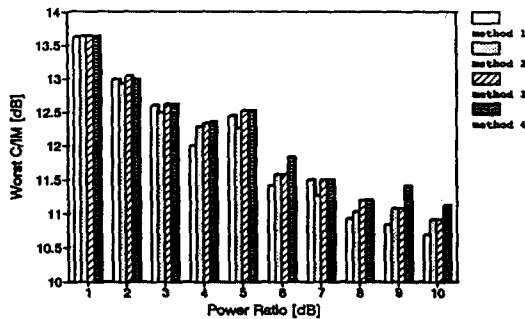
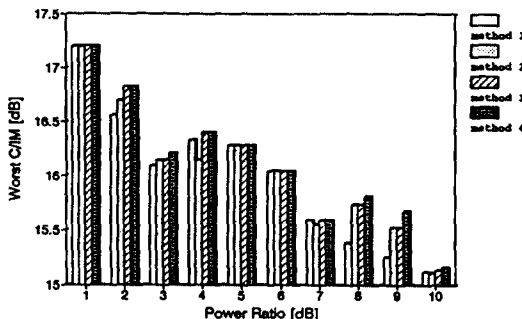


그림 5. 표(3)에 의한 TWTA 전달특성
Fig. 5. Plot of TWTA characterized by Table 3



a) 총 슬롯수 = 40, 반송파 수 = 20 인 경우



b) 총 슬롯수 = 80, 반송파 수 = 20 인 경우

그림 6. 각 방법론에 대한 전력비에 따른 최악의 C/IM 비
Fig. 6. Worst C/IM ratio versus power ratio for each method

그림(6)에서 $N_L=10, N_S=10$ 이면 TWTA의 동작점은 포화지점으로 설정하였다. 방법 1)과 2)의 성능에 비해 방법 3)과 4)의 성능이 우수함을 확인할 수 있다. 이는 방법 1), 2)의 단점을 보완하는 부가적인 INSDEL(A) 과정에 의한 것이므로 당연한 결과라고 사료된다. 그림(6)에서는 방법 4)의 성능이 다소 좋아보이나, 연구 경험에 의하면 방법 3)과 4)는 사실상 거의 대등한 성능을 보이므로, Two-Level SCPC 시스템에 대한 주파수배치 방법으로서 모두 적절하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 방법 4)를 위조로 하여 DIRIC 알고리즘을 검토하기로 한다.

IV. 결과 · 검토

DELINS-INSDEL(L)-INSDEL(S) 방법에 의한 성능의 만족여부를 분석하기 위하여 기준에 발표된 주파수배치방법들과 비교해 보도록 한다.

Okinaka의 dedicated zone method는 반송파들을 전력레벨별로 그룹화하고 총 채널슬롯을 단위대역으로 분할하여, Large Group 내의 반송파들에 의한 혼변조적이 Small Group 내에 떨어지지 않도록 계산하여 배치하는 방법으로서, 총 채널슬롯 수는 반송파수의 정수배가 되어야 하고, N_L 과 N_S 도 단위대역의 정수배가 되어야 한다. 이러한 경우에도 dedicated zone을 설정하는 구체적인 방법이 제시되지 않았기 때문에 실제 적용하여 사용할 수 있는 방법론이 되지 못한다. 한 특정의 경우에 대하여 Okinaka가 제시한 주파수배치안과 그 특정의 경우에 DELINS-INSDEL(L)-INSDEL(S) 방법을 적용하여 구한 주파수배치안을 도표화하여 표(4)에 나타내었다. 여기서 Large Carrier와 Small Carrier사이의 전력비는 10dB이며 TWTA의 동작점은 포화지점에서 설정하였다.

표(4)로부터 DELINS-INSDEL(L)-INSDEL(S) 방법의 성능을 확인할 수 있다. 그리고 DELINS-INSDEL(L)-INSDEL(S) 방법을 적용하여 주파수배치안을 얻는 과정에서 소요된 시간은 PC-486 기준으로 약 33초 정도이므로 성능뿐만 아니라 수행시간의 측면에서 매우 만족할만 하다.

표 4. Dedicated zone method 와 본 방법론에 의한 최악의 C/IM의 비교

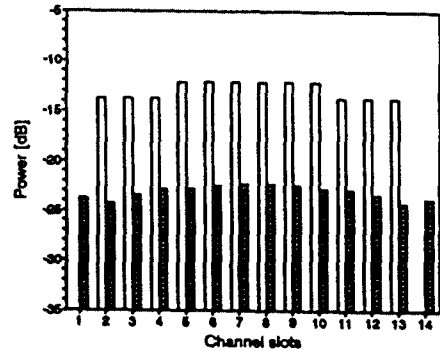
Table. 4. Comparison of the worst C/IM by Dedicated zone method and proposed method

Okinaka		방법론 4	
채널슬롯	전력	채널슬롯	전력
1	L	1	L
3	L	2	L
4	L	3	L
5	L	4	L
6	L	5	L
12	S	14	S
16	S	21	S
21	S	24	S
24	S	30	S
30	S	33	S
34	S	36	S
36	S	39	S
41	S	42	S
44	S	45	S
49	S	47	S
55	L	53	L
56	L	55	L
58	L	57	L
59	L	59	L
60	L	60	L
최악의 C/IM	13.70 dB	최악의 C/IM	13.90 dB

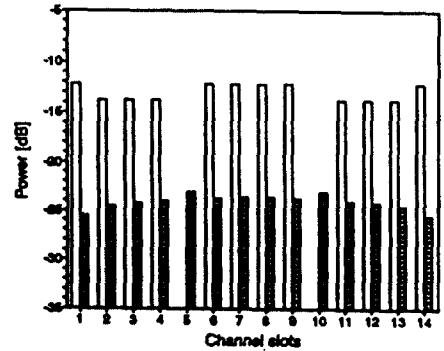
한편 Two-Level SCPC 시스템에 대한 주파수배치로서 *vuong*이 분석하여 제시한 결과들은 위성중계기 내에 반송파들이 완전히 점유될 경우에는 어느정도 일반성이 있겠으나, 보다 실제적인 상황 즉, 채널슬롯과 반송파의 수가 같지 않은 경우에는 이들 결과는 그 일반성을 상실하게 된다. *vuong*이 제시한 주파수배치 지침을 잠시 살펴보면 다음과 같다. 두 반송파의 전력비가 1.5dB 이하인 경우에는 SLLLLSS, 약 3 dB인 경우에는 LLSSSLL, 6 dB 이상인 경우에는 LSLSLSL로 배치하는 것으로 분석했다. 여기서 배치상태 SLLLLSS는 Large Carrier가 대역중앙으로 할당되며 Small Carrier는 대역 양끝으로 할당됨을 의미하며, LLSSSLL은 Large Carrier를 대역의 양끝으로 할당하고 Small Carrier가 대역중앙에 오도록 함을 의미한다. 그리고 LSLSLSL는 Large Carrier와 Small Carrier를 교번적으로 할당시킴을 의미한다.

그러나 만일 하나라도 빈 채널 슬롯이 있다면 이 배치 방법이 최적이라고는 할 수 없을 것이다. 가령 14개의 채널슬롯과 12개의 반송파가 있는 경우, 즉

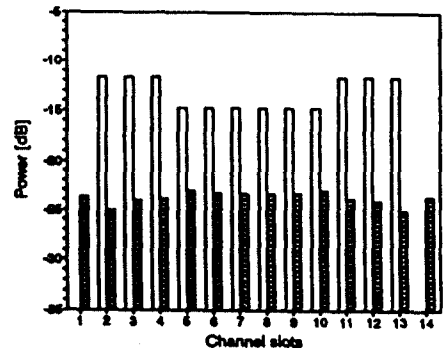
빈 채널슬롯이 2개 있는 경우에 *vuong*에 의한 배치와 본 주파수배치방법에 의한 결과를 살펴보기로 한다. 그림(7)에는 *vuong*이 제시한 결과에 의한 배치(그림 7.a, 7.c)와 본 방법론에 의한 배치(그림 7.b, 7.d)에 대한 최악의 C/IM을 비교한 것이다.



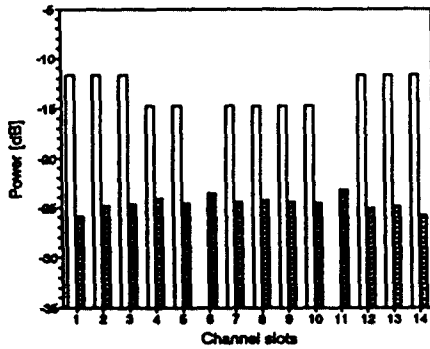
a) *vuong*의 지침에 의한 배치 상태(최악의 C/IM=9.07 dB)



b) 본 방법에 의한 배치상태 (최악의 C/IM=10.30 dB)



c) *vuong*의 지침에 의한 배치 상태(최악의 C/IM=8.31 dB)



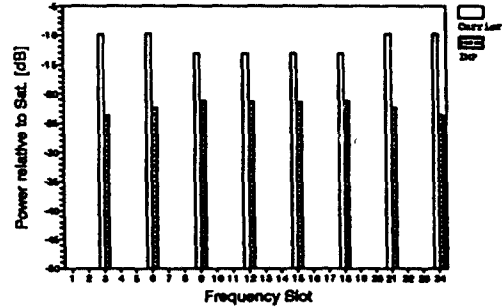
d) 본 방법에 의한 배치상태
상태(최악의 C/IM=9.39 dB)

그림 7. vuong의 결과에 의한 배치와 방법론에 의한 배치
Fig. 7. Comparison of assignments by vuong's results and proposed method

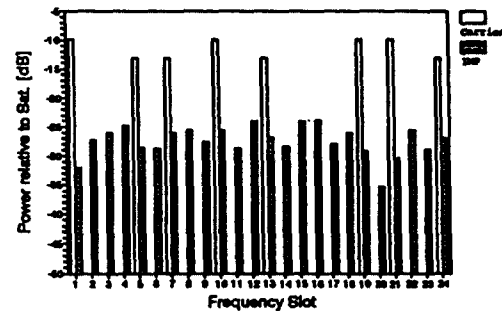
그림(7)을 보면 빈 채널슬롯이 하나라도 있는 경우에는 vuong에 의한 지침은 별 의미가 없다고 볼 수 있다.

이상의 검토로 부터, 본 방법론은 Two-Level SCPC 시스템에 있어서 그 성능 및 일반성이 기존의 어떠한 방법보다도 우수함을 알 수 있다.

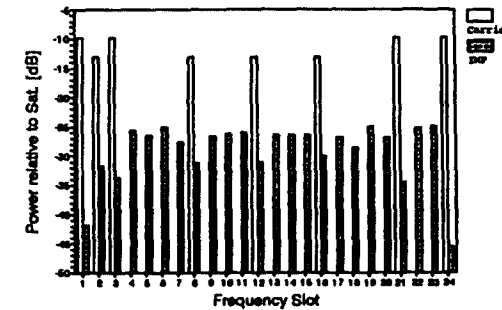
그림(8)은 채널 슬롯수가 24개이고 반송파의 수가 8개인 경우 여러 채널배치에 대한 반송파 및 혼변조적의 분포를 보인 것이다. 여기서 두 반송파간의 전력비는 3 dB이고, TWTA의 동작점은 포화지점에서 설정되었다. 그림에서 보듯이 반송파들의 주파수 위치에 따라 혼변조적의 분포는 두드러지게 변함을 알 수 있다. 그림(8.a)는 반송파들이 등간격으로 배치되어 있는 경우로서 이때 최악의 반송파 슬롯에서의 C/IM 은 8.23 dB 이고, 그림(8.b)는 반송파들이 임의로 배치되어 있는 것으로 최악의 C/IM 은 12.97 dB 이다. 그림(8.c)는 최적화 된 경우로서 최악의 C/IM 은 17.01 dB 로서 등간격 배치보다는 약 8 dB, 임의의 배치보다는 약 4 dB 의 이득을 적절한 주파수 배치를 통해 얻을 수 있음을 알 수 있다.



a) 등간격 배치(최악의 C/IM=8.23 dB)



b) 임의의 배치(최악의 C/IM=12.97 dB)



c) 최적 배치(최악의 C/IM=17.01 dB)

그림 8. 반송파의 위치에 따른 혼변조적의 분포
Fig. 8. Distribution of IMPs in terms of carrier positions

그림(9)는 입력 backoff를 달리했을때 임의의 채널배치와 최적화된 채널배치의 각각의 대한 최악의 C/IM를 나타낸 것이다. 이때 반송파들 간의 전력비는 3 dB이고 반송파수는 20개, 채널 슬롯 수는 60개인 경우이다.

그림에서 A는 입력 backoff를 3 dB로 할 경우 최적

화된 ; 배치상태가 임의의 배치상태보다 C/IM에 있어서 약 2 dB 개선됨을 보여주며, B는 C/IM을 17 dB로 유지하고자 할 때 최적화된 배치상태가 임의의 배치상태보다 입력 backoff를 약 2.5 dB 적게해도 되므로 가용 위성전력의 이용면에서 효율적임을 보여준다.

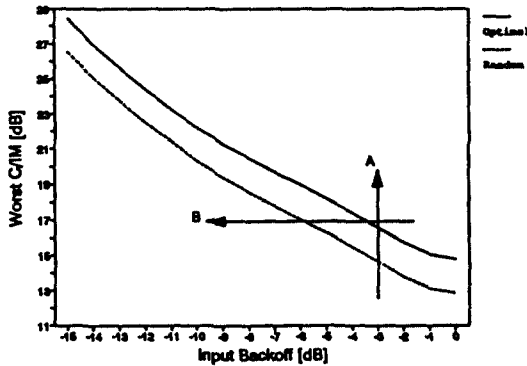
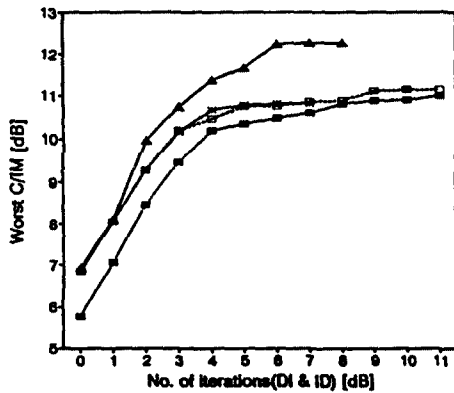


그림 9. 입력 backoff에 따른 C/IM의 변화
Fig. 9. Variation of C/IM versus input backoff

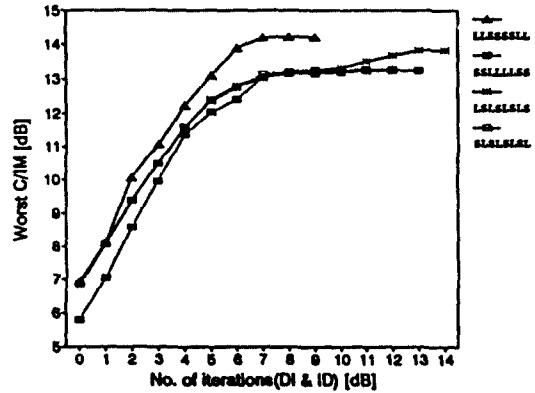
본 논문의 주파수배치 방법론은 초기에 임의로 반송파를 채널내에 할당 시켜야 하는데 초기채널배치에 따라 최적채널배치 결과는 다소 다르다. 따라서 초기채널배치가 최적배치에 미치는 영향을 살펴보기로 한다.

그림(10)은 반송파수가 20개이고 채널슬롯수를 달리했을 때 초기배치가 주실험수에 따른 최악의 C/IM의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 반송파들간의 간격은 등간격으로 설정하였다. 또한 Large Carrier를 L로 Small Carrier를 S로 표기한다. 그림에서 보면 전반적으로 초기채널배치가 LLSSSSLL인 경우가 수렴속도면이나 최악의 C/IM 면에서 볼때 어느정도 유리함을 알 수 있다.

예로서 표(5)는 Two-Level SCPC 시스템에 대해 본 방법론에 의한 주파수배치안을 나타낸 것이다. 여기서 반송파들간의 전력비는 5 dB로, TWTA의 동작점을 포화지점에서 설정하였다.



a) 반송파수=20, 채널수=40



b) 반송파수=20, 채널수=60

그림 10. 초기채널배치의 영향
Fig. 10. Effect of initial channel assignment

표 5. Two-Level SCPC 시스템에 대한 최적 주파수안

Table. 5. optimal frequency assignments for Two-level SCPC system

(K,N)	최악의 C/IM[dB]	반송파의 주파수배치							
(30,60)	11.65	1(L) 17(S) 33(S) 49(L) 59(L)	2(L) 19(S) 35(S) 53(L) 60(L)	3(L) 21(S) 37(S) 54(L)	4(L) 23(S) 39(S) 55(L)	5(L) 25(S) 41(S) 56(L)	6(L) 27(S) 43(S) 57(L)	10(S) 29(S) 46(S) 58(L)	
(40,80)	11.01	1(L) 8(S) 26(S) 44(L) 60(S) 74(L)	2(L) 9(S) 31(S) 46(L) 61(L) 76(L)	3(S) 10(S) 36(S) 51(L) 66(L) 78(L)	4(L) 12(S) 40(S) 53(L) 68(L) 79(S)	5(S) 14(S) 41(S) 54(L) 69(L) 80(L)	6(L) 19(S) 42(S) 57(L) 70(L)	7(S) 22(S) 43(S) 58(L) 72(L)	
(30,90)	14.12	1(L) 14(S) 48(S) 69(S) 89(L)	2(L) 25(S) 51(S) 74(L) 90(L)	3(L) 27(S) 54(S) 79(L)	4(L) 33(S) 57(S) 84(L)	5(L) 36(S) 60(S) 86(L)	6(L) 42(S) 63(S) 87(L)	8(L) 45(S) 66(S) 88(L)	
(40,120)	12.64	1(L) 18(L) 49(S) 69(S) 92(L) 115(L)	2(L) 21(L) 51(S) 73(S) 94(S) 116(L)	6(L) 22(L) 53(S) 78(S) 98(L) 117(L)	8(S) 33(S) 54(S) 81(S) 101(L) 119(S)	9(L) 39(S) 60(S) 84(S) 104(L) 120(L)	11(S) 42(S) 61(L) 86(L) 108(L)	12(L) 45(S) 66(S) 87(S) 111(L)	
(30,120)	15.50	1(L) 8(L) 56(S) 88(S) 113(L)	2(L) 25(S) 62(S) 92(S) 120(L)	3(L) 36(S) 68(S) 98(L)	4(L) 40(S) 72(S) 100(L)	5(L) 44(S) 76(S) 101(L)	6(L) 48(S) 77(S) 102(L)	7(L) 52(S) 84(S) 107(L)	
(40,160)	15.33	1(L) 8(L) 53(S) 84(S) 116(S) 145(L)	2(L) 9(L) 56(S) 88(S) 120(S) 147(L)	3(L) 12(L) 58(S) 92(S) 125(L) 156(L)	4(L) 30(S) 65(S) 96(S) 130(L) 158(L)	5(L) 31(S) 68(S) 100(S) 141(L) 160(L)	6(L) 38(S) 72(S) 108(S) 142(L)	7(L) 44(S) 82(S) 111(S) 143(L)	
(30,150)	16.18	1(L) 10(L) 65(S) 105(S) 148(L)	2(L) 23(S) 70(S) 110(S) 149(L)	3(L) 24(S) 75(S) 121(L)	4(L) 42(S) 80(S) 122(L)	5(L) 46(S) 88(S) 125(L)	6(L) 55(S) 90(S) 137(L)	7(L) 60(S) 95(S) 146(L)	
(40,200)	16.54	1(L) 8(L) 60(S) 100(S) 140(S) 176(L)	2(L) 9(L) 65(S) 105(S) 145(S) 187(L)	3(L) 10(L) 70(S) 110(S) 156(L) 189(L)	4(L) 31(S) 74(S) 115(S) 162(L) 193(L)	5(L) 38(S) 80(S) 125(S) 173(L) 200(L)	6(L) 44(S) 85(S) 130(S) 174(L)	7(L) 48(S) 95(S) 135(S) 175(L)	

*L : Large carrier
S : Small carrier

V. 결 론

본 논문에서는 Two-Level SCPC 시스템에 대한 주파수 배치 방법을 연구함에 있어 여러 방법론을 제시하였으며 이들을 비교하여 보았다. 그 결과로서 제안한 DIRIC 알고리즘이 지금까지 발표된 어떤 방법보다도 효율적이고 실제적인 방법론임을 알 수 있었다. DIRIC 알고리즘을 적용하여 Two-Level SCPC 시스템에 대한 주파수배치를 수행하여 기존의 배치 방법들과도 비교해 본 결과 성능 및 일반성에서 우수함을 확인하였다. 본 논문에서 분석한 주요 연구내용은 다음과 같다.

첫째, 특정 시스템에 국한되어 있는 기존의 배치 방법들의 지침은 일반적인 시스템에 그대로 적용될 수 없다.

둘째, 주파수를 임의로 배치시키는 것보다는 효율적인 어떤 방법에 의해 배치시켜 혼변조적의 효과를 최소화하는 것이 바람직하며, 이렇게 할 경우 같은 TWTA 동작점에서 더 나은 C/IM 비를 얻을 수 있었고 같은 C/IM 비를 유지하기 위해서 TWTA의 동작점에 대한 입력 backoff를 작게하여도 된다.

셋째, 본 방법론에 의한 주파수배치시 요구되는 초기채널배치는 무작위배치보다는 Large carrier 를 대역 양끝으로 하여, Small carrier 를 대역중앙으로 오게 한 등간격배치로 할 경우가 최적 주파수배치에 도달하는 데 유리하다. 본 연구는 위성중계기의 TWTA 동작점과 C/IM 비를 고려하는 위성링크설계에 있어서 매우 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. R. J. Westcott, "Investigation of Multiple f. m/f.d.m. Carrier through a Satellite t.w.t Operating near to Saturation," Proc. IEEE Vol. 11, No. 6, 1967.
2. R. J. F. Fang and W. A. Sandrin, "Carrier Frequency Assignment for Nonlinear Repeaters," COMSAT Technical Review, Spring 1977.
3. Y. Hirata, "A Bound on the Relationship between Intermodulation Noise and Carrier Frequency Assignment," COMSAT Tech. Rev., Vol.8, No.1, 1978.
4. H. Okinaka, Y. Yasuda and Y. Hirata, "Intermodulation Interference-Minimum Fre-

quency Assignment for Satellite SCPC System," IEEE Transactions on Communications April 1984.

5. X. T. Vuong, et.al., "Some Practical Strategies for Reducing Intermodulation in Satellite Communications," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, September, 1988.
6. M. Horstein and D. T. Laflame, "Intermodulation Spectra for Two SCPC Systems," IEEE Transactions on Communications, Sept. 1977.
7. M. Horstein and D. T. Laflame, "Multilevel SCPC System Design," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-27, Oct. 1979.
8. X. T. Vuong and R. J. Forsey, "Optimal carrier Frequency Assignments for a Two-Level SCPC System," IEEE Globacom, 8.6.1-5, 1985.
9. 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.
10. William W Wu, Elements of Digital Satellite Communication, Computer Science Press, 1984.
11. 고성찬, 이상문, 최형진, "One-level SCPC 시스템에서의 주파수 배치에 관한 연구," 전자공학회 논문지 심사중 1992.

본 논문은 한국전자통신연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었음을 밝히며 ETRI 위성망 연구실 관계자 분들께 감사드립니다.

$\langle I \rangle^n$

$$f(I) = 1/2 [1 + \text{erf}(\beta)],$$

$$\text{erf}(\beta) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\beta e^{-t^2} dt,$$

李相文(Sang Moon Lee)

正會員

1967년 2월 27일생

1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사)

1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)

1993년 3월~현재 : 주식회사 금성사 중앙연구소 근무

※주관심분야 : 디지털 통신, 위성통신 분야임.

高 晟 燦(Sung Chan Ko)

正會員

1964년 7월 26日生

1987년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사)

1989년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)

1992년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 박사과정 수료

1993년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학박사

1993년 3월~현재 : 한국전자통신연구소 근무

※주관심분야 : 디지털 통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 등임



崔 炯 辰(Hyung Jin Choi) 正會員

1952년 8월 30日生

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 근무(부교수)

※주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화이론을 포함한 Modem기술 등임