

論文94-31A-1-2

혼변조적 최소화를 위한 실제적인 주파수 배치 알고리즘의 제안

(A Proposal of Practical Frequency Assignment Algorithm to Minimize IMPs)

高 晟 燦*, 黃 寅 寬*, 崔 炯 辰**

(Sung Chan Ko, In Kwan Hwang and Hyung Jin Choi)

要 約

본 논문에서는 위성중계기의 비선형 증폭에 의하여 발생하는 혼변조 효과를 최소화하기 위한 주파수배치 알고리즘을 제안하였다. 현재까지 제안된 대부분의 알고리즘들은 단일레벨 SCPC(Single Channel Per Carrier) 시스템에만 적용 가능하므로 적용의 범위가 다소 국한되어 있는 실정이다. 본 논문에서는, Okinaka가 단일레벨 SCPC 시스템에 대한 주파수배치 알고리즘으로 제안한 DELINS-INSDEL 알고리즘의 기본개념을 다중레벨 시스템에 확장적용할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하여 제안하였다.

제안한 TDTI(Two-Carriers Deletion and Two-Carriers Insertion) 알고리즘은 단일레벨뿐만 아니라 다중레벨 및 다중대역 시스템에 까지 확장하여 적용할 수 있으므로 매우 실제적인 주파수배치 알고리즘이다. 제안한 TDTI 알고리즘은 성능면에서는 우수하지만 요구되는 수행시간이 길다는 단점을 지니고 있으므로, 이를 보완하기 위한 방안으로서 WTDI-SDELINS 알고리즘을 또한 제안하였다.

현재까지 다중레벨 및 다중대역 시스템에 적용할 수 있는 알고리즘이 거의 없다는 점을 감안하면 본 논문에서 제안한 알고리즘은 매우 중요한 의미를 지닌다 할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a frequency assignment algorithm to minimize intermodulation effect which is caused by nonlinear amplification of the satellite transponder. Allmost all of the published algorithms up to now are applicable to one-level SCPC systems, the application range of those algorithms is very restricted from the viewpoint of actual practice. In this paper, we develop and propose a new frequency assignment algorithm which utilize the basic concept of Okinaka's DELINS-INSDEL algorithm to extend its applicability from one-level SCPC systems to multi-level systems.

The proposed TDTI algorithm provides considerable generality in reducing intermodulation effect in practical satellite communication systems because of its applicability to multi-level and multi-bandwidth systems as well as one-level systems. Besides the TDTI algorithm which shows excellent characteristics in performance but requires somewhat long execution time, the WTDI-SDELINS algorithm is proposed in this paper to compensate TDTI's demerits in execution time.

Considering the fact that there are very little published strategies for multi-level and muti-bandwidth systems, the algorithm proposed in this paper is quite meaningful.

*正會員, 韓國電子通信研究所 衛星網研究室
(Satellite Network System Section, ETRI)

**正會員, 成均館大學校 電子工學校

(Dept. of Elec. Eng., Sungkyunkwan Univ.)

接受日字 : 1993年 6月 1日

1. 서론

다수의 반송파들이 위성중계기의 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)에 의하여 비선형 증폭되면, 위성링크의 성능에 심각한 영향을 초래하는 혼변조적이 발생한다. 혼변조 효과는 반송파들의 주파수 위치를 효과적으로 배치하여 최소화할 수 있다. 현재까지 혼변조 효과를 최소화하기 위한 주파수 배치방안들이 많이 발표되었지만^{1)~6)}, 실제의 운용시스템 전반에 걸쳐 적용할 수 있을 만큼 일반화된 주파수 배치 알고리즘은 제시된 적이 없다.

1984년 Okinaka에 의해 제안되고 1988년 Vuong에 의해서 체계화된 DELINS-INSDEL 알고리즘과 1992년 필자가 제안한 DIVINS 알고리즘은 우수한 성능을 보이지만 단일레벨 SCPC 시스템에만 적용할 수 있다는 제한점을 가지고 있다.^{1)~3)} 위성통신망의 각 지상국에서 전송하는 신호의 전력레벨과 전송속도는 실제로 매우 다양하기 때문에, 다중레벨 및 다중대역 시스템에 적용할 수 있는 보다 일반화된 주파수 배치 알고리즘이 필요한 실정이다. 단일레벨에서 다중레벨 시스템으로 확장하고자 하는 연구가 그 동안 활발히 진행되어왔다.^{1)~5,6)}

1979년 Horstein은 다중레벨 SCPC 시스템에 대한 교번적인 주파수 배치안을 권고하였고¹⁾, 1985년 Vuong은 신호의 출력레벨비에 따라 이중레벨 SCPC 시스템에 대한 주파수 배치안을 달리 권고하였다.²⁾ 그러나 이러한 권고사항은 위성중계기가 반송파들로 완전히 점유되고, 또 대전력 신호와 소전력 신호의 수가 같은 경우에만 적용될 수 있다. 1984년 Okinaka는, 대전력 신호들이 연루된 혼변조적이 소전력 신호군의 Zone내에 위치하지 않도록 Zone을 설정하여 배치하는 전략을 소개하였다.³⁾ 그러나 이러한 전략에 대한 구체적인 방법론을 제시하지는 못했다. 따라서 현재까지 단일레벨 이외의 시스템에 대하여 구체화된 알고리즘은 거의 없는 실정이라 할 수 있다.

최근에 VSAT(Very Small Aperture Terminal)과 같은 이중레벨 시스템에 적용할 수 있는 DIRIC 알고리즘을 체계화하여 제안하였지만 이 역시 다중레벨 시스템에는 적용할 수 없다.⁶⁾ 사실상 신호의 가변적인 대역폭과 전력레벨들을 모두 고려하여 주파수 배치 알고리즘을 구체화한다는 것은 매우 어려운 문제이다. 그러나 다중레벨과 다중대역 시스템이 실제의 운용환경이므로, 본 논문에서는 실제의 환경에 적용할 수 있는 보다 일반화된 알고리즘을 제안한다.

제안하는 TDTI 알고리즘은 DELINS 기능의 기본

개념을 다중레벨 시스템에 적용할 수 있도록 변형하여 확장시킨 알고리즘이다. 2장에서는 DELINS-INSDEL 알고리즘을 다중레벨 시스템에 적용할 수 없는 문제점들을 분석하였고 3장에서는 DELINS 기능의 기본 개념을 변형하여 다중레벨 시스템에 적용하는 방법론을 언급하였다. 4장에서는 TDTI 및 WTDI-SDELINS 알고리즘을 체계화 하였고 5장에서 이들을 적용하여 구한 주파수 배치안을 제시하여 그 결과들을 검토하였다.

II. 문제점 분석

문헌 [1] 에서 제안된 DEININS-INSDEL 알고리즘은 기본적으로 제거(Deletion)기능과 삽입(Insertion)기능으로 구성된다. 제거기능 후 삽입기능을 수행하는 과정이 DELINS 동작에 해당하고 이의 반대과정이 INSDEL 동작에 해당된다. DELINS 동작을 계속 반복하면 보다 전역에 가까운 국부적인 최소값에 수렴할 수 있으나 이 동작으로 수렴할 수 있는 최소값에는 한계가 있다. 이 한계를 극복하기 위하여 DELINS-INSDEL 알고리즘에서는 INSDEL 동작이 추가로 수행된다. 즉 DELINS 동작으로 구한 K개의 반송파들 배치에, 삽입기능을 적용하여 가상의 반송파를 하나더 삽입시킨다. 이후에 (K+1)개의 반송파들 중에서 여분의 반송파를 제거기능을 수행하여 제거시킴으로써, 보다 전역에 가까운 국부적인 최소값에 수렴할 수 있도록 하였다. 개념적으로 이상의 과정을 보이면 다음과 같다. 먼저 DELINS 동작 중에 있는 임의의 주파수 배치안을 그림(1)이라 가정한다.



그림 1. DELINS 동작중에 있는 가상 주파수 배치안

Fig. 1. Assumed frequency plan in DELINS operation.

IM_i 를 i 번째 반송파를 제거하거나 i 번째 빈 슬롯에 반송파를 삽입한 후 혼변조적을 계산하였을 때 최악의 반송파에 위치하는 혼변조적 값이라 정의하고, 그림(1)의 주파수 배치안에 대하여 제거, 삽입기능을 반복수행하는 과정을 설명하면 다음과 같다.

각 반송파들을 제거하면서 그때마다 매번 5개의 반송파들에 대한 $IM_i(i=1,3,5,7,10,16)$ 의 값들을 계

산한 결과, IM_i 의 값들 중에서 IM_7 의 값이 최소였다면 제거기능에 의해 제거될 슬롯의 번호는 7이 될 것이다. 그리고 제거된 반송파를 빈 슬롯들에 삽입시켜 보면서 $IM_i(i=2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23)$ 의 값들을 계산한 결과, IM_7 의 값이 최소였다면 삽입기능에 의해 삽입될 슬롯의 번호는 7이 될 것이다. 결국 슬롯 7에서 제거, 삽입이 반복될 것이므로 그림(1)의 배치에서 DELINS 동작이 완료될 것이다. 제거기능이 삽입기능에 우선되는 DELINS 동작에서는, 제거기능에 의하여 제거되었던 반송파가 삽입의 대상이 된다.

그러나 제거기능보다 삽입기능이 우선하는 INSDEL 동작에서는, 어떤 반송파가 삽입의 대상이 되는가에 대한 의문이 제기된다. 따라서 INSDEL 동작시에는 삽입시킬 반송파가 하나 더 있다는 가정이 전제되어야 한다. 이후 이 반송파를 가상의 반송파라 칭한다. DELINS 동작을 수행하여 구한 그림(1)의 주파수 배치안을 기초로하여, 가상의 반송파를 삽입하는 과정을 언급한다.

가상의 반송파를 슬롯 2에 삽입시킨후 7개의 반송파($i=1, 2, 3, 5, 7, 10, 16$)들에 의한 혼변조적을 계산하여 IM_2 를 결정한다. 다음에는 슬롯 4에 삽입시킨후 7개의 반송파($i=1, 3, 4, 5, 7, 10, 16$)들에 의한 혼변조적을 계산하여 IM_4 를 결정한다. 이러한 방식으로 $IM_i(i=2, 4, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23)$ 를 결정한후 IM_i 들 중에서 최소가 되는 슬롯에 최종적으로 가상의 반송파를 삽입하여 INSDEL 동작에서의 삽입기능을 완료한다. 그림(2)는 IM_{22} 가 최소라 가정하여 나타낸 그림이다.

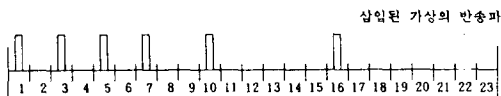


그림 2. INSDEL 동작의 삽입기능을 수행한 이후의 가상 주파수 배치안

Fig. 2. Assumed frequency plan after insertion of INSDEL operation.



그림 3. INSDEL 동작의 제거기능을 수행한 이후의 가상 주파수 배치안

Fig. 3. Assumed frequency plan after deletion of INSDEL operation.

가상의 반송파가 삽입된 후, 다시 제거기능을 수행하여 여분의 반송파를 제거하여야 한다. 그림(3)은 제거기능에 의하여 슬롯 3의 반송파가 제거됨을 가상하여 나타낸 그림이다. INSDEL 기능을 추가하면 보다 전역에 가까운 국부적인 최소값에 수렴할 수 있음을 그림(1)과 그림(3)의 비교를 통하여 알 수 있다.

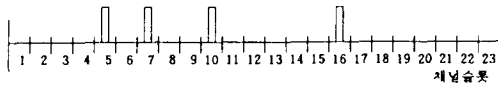
단일레벨 SCPC 시스템에 있어서 DELINS-INSDEL 알고리즘의 성능은 매우 우수하지만, 전술한 바와 같이 이 알고리즘은 다중레벨 및 다중대역 시스템에 적용될 수 없다. 왜냐하면 INSDEL 동작의 수행을 위하여는 가상의 반송파가 도입 되어야하기 때문이다. 즉, 단일레벨과 단일대역의 시스템에서는 반송파 신호들의 진폭과 대역이 서로 같기 때문에 가상의 반송파를 도입하는 데에 별 다른 문제가 따르지 않았지만 만약 반송파 신호의 진폭과 대역이 서로 다르다면 어느 반송파를 기준으로 하여 가상의 반송파를 설정하느냐하는 문제가 제기되기 때문에 DELINS-INSDEL 알고리즘을 다중레벨 및 다중대역 시스템에 적용할 수 없게 된다. 따라서 다중레벨 및 다중대역 시스템에 적용할 수 있는 알고리즘은 가상의 반송파를 도입해야하는 INSDEL 동작의 사용을 배제하여야 한다는 것을 알 수 있다.

III. TDTI 알고리즘의 기본 개념

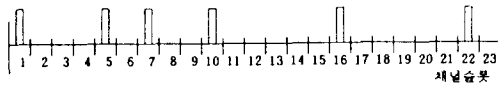
2장에서 언급한 바와같이 다중레벨 및 다중대역 시스템에서는 INSDEL 동작시의 삽입기능에 필요한 가상의 반송파를 도입할 수 없으므로, DELINS 동작의 기본 개념만을 이용하여 알고리즘을 개발하여야 한다. 이러한 제약하에서 필자가 발견한 사실은 다음과 같다. 반송파를 제거하고 삽입하는 DELINS 동작을 기본으로 하되 제거과정에서 두개의 반송파를 동시에 제거하고, 제거된 두개의 반송파를 삽입과정에서 동시에 삽입하게 되면 INSDEL 동작의 사용을 배제하고서도 DELINS-INSDEL 알고리즘의 기능을 충분히 수행할 수 있다는 것이다. 이러한 사실에 기초하여 제안하는 알고리즘을 TDTI(Two Carriers Delete and Two Carriers Insert)라 명명하였다. 아래에서는 INSDEL 기능의 사용을 배제한 TDTI의 기본개념을 적용하면 DELINS-INSDEL 알고리즘 이상의 성능을 수행할 수 있다는 것을 개념적으로 서술한다.

단일레벨 시스템에서 DELINS 동작만을 수행하여 구한 주파수 배치안과 INSDEL 동작을 추가하여 구한 주파수 배치안을 각각 그림(1), 그림(3)라 가정하자. TDTI의 기본 개념에서는 두개의 반송파를 동시

에 제거해야 하므로 그림(1)에서 1번과 3번 슬롯의 반송파를 제거하였다고 가정하면 그림(4-a)와 같다. 이후에 제거된 두 개의 반송파는 그림(4-a)의 빈 슬롯들 중의 두 슬롯에 다시 삽입되어야 한다. 삽입가능한 두 슬롯의 조합형태는 (1,2)에서 (22,23)까지 존재 가능하다. 이 모든 조합형태에 대하여 두 개의 반송파를 삽입하면서 그때마다 IM_{10} 를 계산한다. 먼저 (1,2)에 두 개의 반송파를 삽입하고난 후 6개의 반송파 ($i=1, 2, 5, 7, 10, 16$)들에 의한 혼변조적을 계산하여 IM_{12} 를 결정한다. 다음에 (1,3)에 두 개의 반송파를 삽입하고난 후 6개의 반송파($i=1, 3, 5, 7, 10, 16$)들에 의한 혼변조적을 계산하여 IM_{13} 를 결정한다. 이러한 방식으로 (22,23)에까지의 $IM_{22,23}$ 를 결정한다. 이렇게 하여 구한 IM_{10} 들 중에서 최소가 되는 조합형태에 최종적으로 두 개의 반송파를 삽입시키면 최소한 그림(4-b)에 나타낸 주파수 배치안을 얻을 수 있고, 또는 이보다 더 좋은 주파수 배치안을 얻는 것이 가능하다.



(a) 두 개의 반송파 제거
(TD : Two Carriers Delete)



(b) 두 개의 반송파 삽입
(TI : Two Carriers Insert)

그림 4. TDTI 기능의 개념도

Fig. 4. Conceptual diagram of TDTI function.

표 1. 최악의 반송파에 대한 C/IM 값과 주파수 배치안 (총슬롯수=40, 반송파수=20)

Table 1. Frequency assignment and the worst C/IM ratio.

구분	최악의 C/IM(dB)	계수된 IMP*	주파수 배치
동간격배치	8.11	128.25	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39
DELINS-INSDEL에 의한 배치	12.66	45.00	1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 16, 18, 19, 24, 28, 29, 32, 36, 37, 38, 39, 40
TDTI에 의한 배치	12.68	44.75	1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 13, 14, 18, 19, 25, 26, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 40

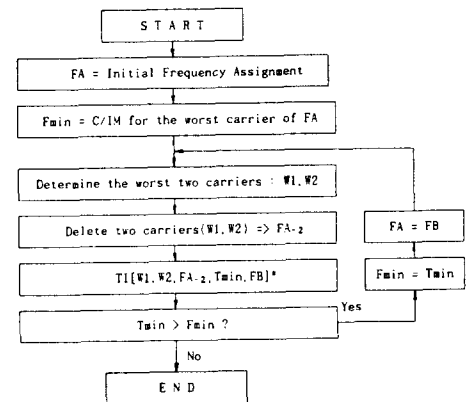
* : Dominat 3차는 1로, Specific 3차는 0.25로 계수되었다.

따라서 TDTI의 기본개념에 의하면, 다중레벨 및 다중대역 시스템으로의 확장적용에 장애요인이 되었던 INSDEL 동작의 사용을 완전히 배제하고서도 DELINS-INSDEL 알고리즘 이상의 성능을 충분히 발휘할 수 있다 하겠다. 표(1)은 다중레벨 및 다중대역 시스템의 주파수 배치 알고리즘으로 개발된 TDTI 알고리즘을 단일레벨 SCPC 시스템에 적용하여 구한 결과를 DELINS-INSDEL 알고리즘으로 구한 결과와 비교하여 나타낸 것이다.

다중레벨 및 다중대역 시스템에 적용할 목적으로 개발된 TDTI 알고리즘은, 단일레벨 SCPC 시스템에 대해서도 DELINS-INSDEL 알고리즘 보다 우수한 성능을 나타내고 있음을 표(1)로 부터 알 수 있다. 따라서 TDTI의 기본개념을 이용하면, 상기의 개념적 고찰에서 언급하였던 바와 같이 DELINS-INSDEL 알고리즘 이상의 성능이 보장된다 할 수 있다. 특히 단일레벨 SCPC 시스템에서 확인된 TDTI의 우수한 기능은 다중레벨 및 다중대역 시스템에도 아무런 제약없이 그대로 적용될 수 있으므로 일반성의 측면에서 매우 바람직하다 할 수 있다.

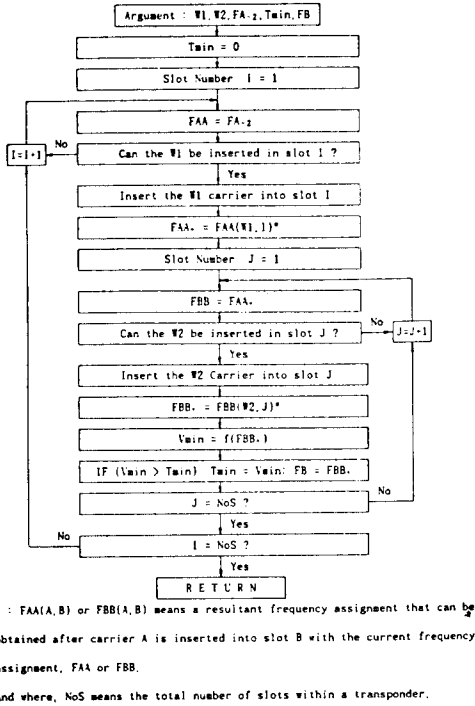
IV. TDTI 알고리즘

두 개의 반송파를 동시에 제거, 삽입하는 과정에서도 다음과 같은 두 가지의 방법론을 생각할 수 있다. 즉 최악이 되는 두 반송파를 제거하고 삽입하는 WTDI (Worst Two-Carriers Deletion and Insertion)와 순서대로 두 반송파를 제거하고 삽입하는 STDI(Sequentially Two-Carriers Deletion and Insertion)의 방법이다.

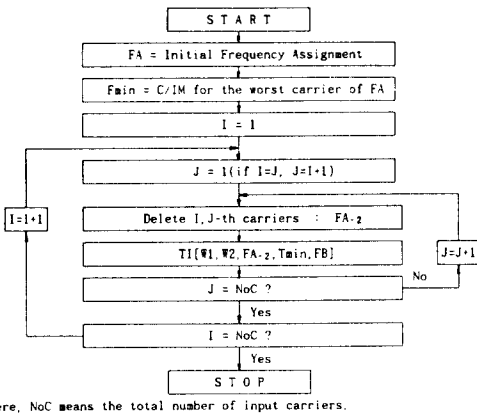


* : TI[] 기능에 대한 절차도는 (b)에 나타내었다.

(a) WTDI 기능에 대한 절차도



(b) TI [·] 기능에 대한 절차도



(c) STDI 기능에 procedure

그림 5. TDTI 알고리즘의 흐름도
 Fig. 5. Flow chart of TDTI algorithm.

본 논문에서 제안하는 TDTI 알고리즘은, 먼저 WTDI를 수행하고 난 이후에 STDI를 수행하는 형태로 구성되어 있다. 이들에 대한 흐름도를 그림(5)에 나타내었다.

표(2)는 다중레벨 및 다중대역 시스템에 대한 주파수 배치 전략들의 성능을 검토하기 위하여, 몇몇 배치 전략들에 의한 주파수 배치 성능을 도표화하여 나타낸 것이다. 표(2)의 결과들은 3-레벨 시스템에 대한 결과로서 총 슬롯수를 40, 반송파수를 15로 한 경우이다. Middle Carrier와 Small Carrier의 전력비는 5이고, Large Carrier와 Small Carrier의 전력비는 10이다. 그리고 Small, Middle, Large Carrier들의 갯수는 각각 5개씩이다. 그림(3)에 사용한 TWTA의 전달특성을 나타내었고 동작점은 포화지점에서 설정되어 있다.

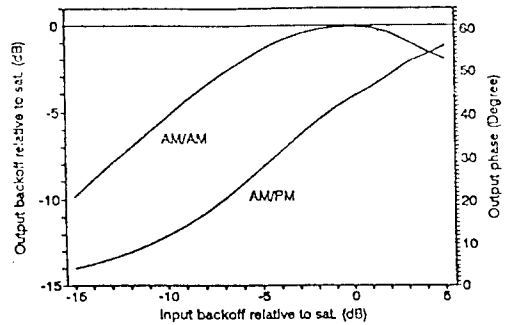


그림 6. 사용된 TWTA의 전달특성
 Fig. 6. Characteristic curve of TWTA.

표 2. 다중레벨 시스템의 주파수배치 전략들의 성능비교

Table 2. Frequency assignment performance of some strategies.

초기배치	DELINS	SDELINS	WTDI	WTDI-SDELINS	STDI	TDTI
L-Sequential	9.69	11.35	11.61	13.25	12.84	13.30
Center	9.65	11.93	9.71	9.97	12.52	13.04
R-Sequential	9.45	12.26	9.60	9.82	13.46	12.92
Symmetry	11.57	12.19	13.07	13.21	13.28	13.43

여기서 제시된 수치들은 최악의 슬롯에 대한 C/IM 비 [dB] 를 나타낸다.

여기서 DELINS는 최악이 되는 하나의 반송파를 제거하고 삽입하는 기능을 의미하며 SDELINS는 순서대로 하나의 반송파를 제거하고 삽입하는 기능을 의미한다. 그리고 WTDI-SDELINS는 WTDI를 수행하고나서 SDELINS를 수행하는 기능을 의미한다. 한편 초기배치에 대한 개략적인 형태는 그림(7)에 나타내었다.

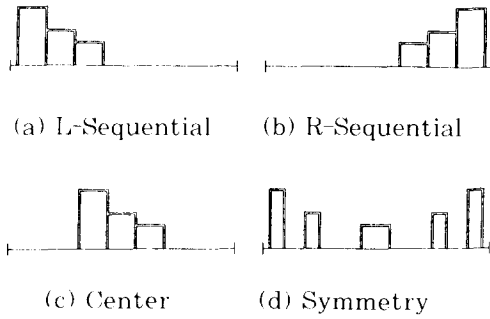


그림 7. 초기배치에 대한 개략도

Fig. 7. Schematic plot of initial frequency plans.

표(2)에서는 초기배치를 R-Sequential로 하여 STDI를 수행한 경우가 가장 우수한 성능을 보이는 것으로 제시되어 있지만, 이 결과는 특정 시스템에서만 얻을 수 있는 것이다. 즉 STDI 수행에 있어서는 입력 반송파들의 사양이 바뀔때 마다 R-Sequential로 초기배치한 경우의 결과가 심하게 변하기 때문에, 초기배치가 STDI의 결과에 미치는 영향은 매우 심각하다. 따라서 STDI에 대한 초기배치는 확정지을 수 없다하겠다.

표(2)에 제시된 다른 전략들에 대해서도 대칭적인 초기배치가 가장 바람직함을 알 수 있고 특히 TDTI에 대하여는 대칭적 초기배치에 의한 결과가 대체로 우수한 성능을 보이고 있음을 많은 시험으로 부터 확인할 수 있었다. 따라서 다중레벨 및 다중대역 시스템에 대하여는 대칭적인 초기배치를 이용하여 TDTI를 수행하는 것이 바람직하다할 수 있다.

5장에서 검토하겠지만 TDTI 알고리즘은 성능면에서는 매우 우수하나 수행시간이 다소 긴 단점이 있으므로, 성능이 다소 떨어지더라도 빠른 시간내에 준최적적인 배치안을 얻기 위해서는 WTDI-SDELINS 알고리즘이나 WTDI 알고리즘을 사용하는 것이 바람직하다. 이들 알고리즘들에 대한 성능 및 수행시간은 5장에서 검토하기로 한다.

V. 결과검토 및 고찰

문헌 [8]의 해석에 기초하여 혼변조적을 산출하였으며 최적의 주파수 배치안에 대한 척도는 최악의 반송파에 대한 C/IM 비(반송파 대 혼변조적의 전력비)를 최소화하는 것으로 하였다. 그리고 본 논문에서 성능평가를 위하여 사용한 TWTA의 전달특성은 4장

에서 제시한 와 같고 486-PC를 이용하여 알고리즘을 수행시켰다. 먼저 이중레벨 시스템에 대하여 Okinaka가 제시한 주파수 배치안과 DIRIC 알고리즘에 의한 주파수 배치안 그리고 TDTI 알고리즘에 의한 주파수 배치안에 대한 결과를 표(3)에 제시하고 검토한다.

표 3. 이중레벨 시스템에서의 주파수 배치안
Table 3. Frequency assignment plans for two-level system.

방 법	Okinaka		DIRIC		WTDI-SDELINS		TDTI	
	주파수 순	반송파 유형	주파수 순	반송파 유형	주파수 순	반송파 유형	주파수 순	반송파 유형
주	1	L	1	L	1	L	1	L
	2	L	2	L	2	L	2	L
	3	L	3	L	3	L	3	L
	4	L	4	L	4	L	4	L
	5	L	5	L	5	L	5	L
	6	L	6	L	6	L	6	L
파	12	S	7	S	11	S	13	S
	16	S	14	S	14	S	14	S
	21	S	16	S	17	S	21	S
	24	S	21	S	20	S	22	S
	30	S	24	S	23	S	27	S
	36	S	30	S	26	S	30	S
배	34	S	30	S	29	S	36	S
	36	S	33	S	39	S	42	S
	41	S	36	S	44	S	45	S
	44	S	39	S	48	S	48	S
	49	S	42	S	54	S	54	S
	55	S	47	S	55	S	55	S
치	56	L	53	L	56	L	56	L
	58	L	55	L	58	L	58	L
	59	L	59	L	59	L	59	L
	58	L	60	L	60	L	60	L
	59	L	59	L	59	L	59	L
	60	L	60	L	60	L	60	L
최악의 C/IM	13.70 [dB]		13.90 [dB]		13.70 [dB]		14.49 [dB]	
수행 시간	?		33초		3분		42분	

L은 Large, S는 Small Carrier를 의미하고, 이 둘간의 전력비는 10 [dB]이다.

주파수 배치 성능을 비교해보면 이중레벨 시스템에 대해서는 시간 및 성능의 측면에서 DIRIC 알고리즘이 우수한 특성을 보이고 있으나 전술한 바와같이 DIRIC 알고리즘의 사용은 이중레벨 시스템에만 국한된다. 성능의 측면만을 비교해보면 TDTI 알고리즘이 가장 우수함을 알 수 있다. 그러나 수행에 요구되는 시간이 가장 길다. WTDI-SDELINS 알고리즘의 결과를 살펴보면 TDTI 알고리즘에 비해 성능면에서는 다소 떨어지지만 수행시간이 매우 단축됨을 알 수 있다.

표(4)는 3-레벨 시스템에 대한 성능을 평가하기 위하여 제시한 도표이다.

WTDI-SDELINS 혹은 TDTI 알고리즘에 의한 주파수 배치안이 Okinaka가 제시한 것보다 우수함을 알수있다. WTDI-SDELINS 알고리즘에 의한 배치안은 TDTI 알고리즘에 의한 배치안보다 성능면에서는 다소 떨어지지만 WTDI-SDELINS 알고리즘을 수행하는데 소요되는 시간이 매우 단축되어 있음을 확인할 수 있다.

표 4. 3-레벨 시스템에 대한 주파수 배치안
Table 4. Frequency assignment plans for 3-level system.

(a) Okinaka의 배치안¹⁾

NO	1	2	3	5	6	9	12	13	14	15	31	32	33	34	36
TYPE	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	S	S	S	S	S
NO	38	39	41	43	45	76	77	80	84	85	86	87	88	89	90
TYPE	S	S	S	S	S	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

(b) WTDI-SDELINS

NO	1	2	3	4	7	10	11	14	15	29	30	34	38	44	46
TYPE	L	L	L	L	M	M	M	M	M	S	S	S	S	S	S
NO	50	52	56	62	68	76	77	79	81	85	86	87	88	89	90
TYPE	S	S	S	S	S	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L

(c) TDTI에 의한 배치안

NO	1	2	3	4	5	8	9	13	15	16	29	31	34	39	45
TYPE	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	S	S	S	S	S
NO	48	51	54	56	61	70	77	78	79	83	86	87	88	89	90
TYPE	S	S	S	S	S	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L

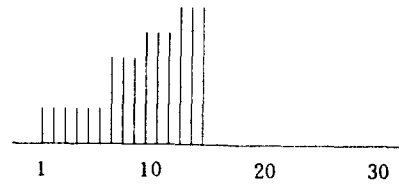
여기서 $P_L/P_S = 10$ [dB], $P_M/P_S = 7$ [dB] 이다.

다음은 하나의 예로서 5-레벨 SCPC 시스템에 TDTI 알고리즘을 적용하여 구한 주파수 배치안에 대한 사양과 배치도를 각각 표(5)와 그림(8)에 나타내었다.

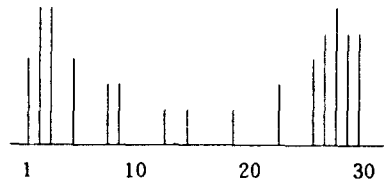
표 5. 5-레벨 시스템에 대한 채널배치안
[가용 슬롯수:30, 반송파의 수:15]

Table 5. Frequency assignment plan for 5-level system.

No.	SLOT No	Relative Power	Input B-Off[dB]	Output B-Off[dB]	C/IM[dB]
1	1	3.000	8.751	13.916	12.874
2	2	5.000	6.532	11.589	15.178
3	3	5.000	6.532	11.589	15.322
4	5	3.000	8.751	13.916	13.590
5	8	2.000	10.512	15.727	13.364
6	9	2.000	10.512	15.727	13.688
7	13	1.000	13.522	18.786	12.890
8	15	1.000	13.522	18.786	12.866
9	19	1.000	13.522	18.786	13.147
10	23	2.000	10.512	15.727	13.888
11	26	3.000	8.751	13.916	13.171
12	27	4.000	7.501	12.613	13.762
13	28	5.000	6.532	11.589	14.949
14	29	4.000	7.501	12.613	13.582
15	30	4.000	7.501	12.613	15.022



(a) 최악의 배치 [최악 C/IM=6.056]



(b) TDTI의 배치 [최악 C/IM=12.866]

그림 8. 5-레벨 시스템에 대한 주파수배치도

Fig. 8. Plot of frequency assignment for 5-level system.

그림(8)에서 알 수 있듯이 TDTI 알고리즘을 적용하여 주파수 배치하면 최악의 배치에 대하여 최악의 C/IM 비가 약 6.5 [dB] 이상 향상되므로 다중레벨 시스템에 대한 알고리즘의 필요성을 확인할 수 있다. 한편, 전술한바와 같이 본 논문에서 제안한 알고리즘에서는 가상의 반송파를 도입하지 않기 때문에 다중레벨은 물론 다중대역 시스템에 까지 쉽게 적용될 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 다중레벨 및 다중대역 시스템에 대해서 사용이 배제되어야 하는 INSDel 동작을 사용하지 않고 다중레벨 및 다중대역 시스템에도 쉽게 적용할 수 있는 TDTI 알고리즘과 WTDI-SDELINS 알고리즘을 새로 제안하였으며 성능을 분석하였다. MTMI(Multi-Carriers Deletion and Multi-Carriers Insertion)의 방법론에 대하여 검토해 본 결과 TDTI에 비하여 성능향상이 거의 없을 뿐더러 소요되는 시간만 기하급수적으로 증가하기 때문에 두 개의 반송파를 이용한 삽입제거 알고리즘이 바람직하였다.

성능분석 결과 TDTI 알고리즘은 프로그램 수행에 소요되는 시간이 다소 길다는 단점이 있지만 성능면에서는 매우 우수한 특성을 보였으며 WTDI-SDELINS 알고리즘은 성능면에서는 다소 떨어지지만

수행 시간이 빠르기 때문에, 반송파의 수가 많은 다중레벨 및 다중대역 시스템에서 매우 유효하게 사용될 수 있을 것이다.

현재까지 다중레벨 및 다중대역 시스템에 적용할 수 있는 알고리즘이 없다는 점을 감안하면 본 논문에서 제안한 TDTI 알고리즘과 WTDI-SDELINS 알고리즘은 매우 큰 의미를 지닌다 하겠다.

감사의 글

본 연구는 1991~1992년도 한국전자통신연구소 위성시스템부 위탁과제 연구비 지원에 의하여 수행되었음을 감사드립니다.

參考文獻

[1] H. Okinaka, et. al., "Intermodulation Interference-Minimum Frequency Assignment for satellite SCPC systems," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-32, April 1984.

[2] X.T. Vuong, et.al., "Some Practical Strategies for Reducing Inter-modulation in Satellite Communications," *IEEE Transactions on Aerospace and*

Electronic Systems, September, 1988.

[3] 고성찬, 이상문, 윤용중, 최형진, "One-Level SCPC 위성 시스템에서의 주파수 배치에 관한 연구," *전자공학회논문지 제 29권 A 편 제 12호* 1992년 12월

[4] M. Horstein, D. T. LaFlame, "Multi-level SCPC system design," *IEEE Transaction on Communication* vol. COM-27, Oct. 1979.

[5] X. T. Vuong and R. J. Forsey, "Optimal Carrier Frequency Assignments for A Two-Carrier-Level SCPC System," *IEEE International Conference on Communications*, June 1985.

[6] 이상문, 고성찬, 최형진, "Two-Level SCPC 시스템에 대한 주파수 배치 알고리즘," *통신학회논문지 제 18권 제 4호* 1993년 4월

[7] William W Wu, *Elements of Digital Satellite Communication*, Computer Science Press, 1984.

[8] 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.

著者紹介



高展燦(正會員)
 1964年 7月 26日生. 1987年 2月 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1989年 2月 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993年 2月 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1993年 3月 ~ 현재 한국전자통신연구소 선임연구원. 주관심분야는 위성망의 최적설계, 위성링크해석 등임.



黃寅寬(正會員)
 1955年 10月 9日生. 1979年 2月 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987年 2月 Polytechnic Univ.(New York) 전기공학과 졸업(공학석사). 1990年 2月 Polytechnic Univ.(New York) 전기공학과 졸업(공학박사). 1982年 3月 ~ 현재 한국전자통신연구소 위성망연구 실장. 주관심분야는 디지털통신시스템, 위성통신시스템의 최적설계 및 최적 운용계획 등임.

崔炯辰(正會員) 第 29卷 A編 第 12號 參照
 현재 성균관대학교 전자공학과 교수