

# 직류 및 나이퀴스트 주파수에서 전력 스펙트럼 억제를 위한 새로운 선로 부호화 알고리즘

正會員 김 용 호\*, 김 대 영\*\*

## A New Line Coding Algorithm for Power Spectrum Suppression at DC and Nyquist Frequency

Yong Hoh Kim\*, Dae Young Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

심볼 동기나 반송파 복구를 용이하게 하기 위한 대역내 파일럿 추가 효과를 극대화하기 위하여 DC 및 나이퀴스트(Nyquist) 주파수에서 스펙트럼 notch를 갖는 새로운 부호화 알고리즘을 제안한다. 부호화기를 두 개 사용하는 기존의 OF00부호의 부호화기와는 달리 부호화기 하나로써 OF00부호와 유사한 스펙트럼 특성을 얻을 수 있음을 보여준다. 본 논문에서는 제시한 새로운 부호화 알고리즘을 설명하고 OF00와 스펙트럼 특성을 컴퓨터 모의 실험으로 비교한다.

### ABSTRACT

A new coding algorithm which has spectrum notches at the DC and Nyquist Frequency for maximizing the effect of the in-band pilot insertion in order to make the symbol timing or carrier recovery easy is proposed. It is shown that this algorithm uses one encoder and gives the similar spectrum characteristics to that of the existing OF00 code which uses two encoder. In this paper, the proposed new coding algorithm is explained and its spectrum characteristics is compared with that of OF00 code using computer simulation.

### I. 서 론

Costas 루프나 제곱 루프등과 같은 비선형 반송파

복구 회로를 이용하는 디지털 마이크로웨이브나 이동 라디오 시스템에서는 위상 잡음 환경하에서 동기를 잃어버리기 쉽고, hang-up현상에 의한 늦은 포착(acquisition) 시간, self-noise, 하드웨어 구현의 복잡으로 인하여 여러 가지의 심볼 동기 및 반송파 복구 방법들이 많이 제안되어 왔다<sup>1-4)</sup>. 대역내(in-band) 또는 대역외(out-of-band)에 파일럿(pilot)을 추가하여 심볼

\*충남대학교 전자공학과

\*\*충남대학교 정보통신공학과

論文番號:98042-0131

接受日字:1998年 1月 31日

동기 및 반송파 복구를 용이하게 하는 방법들이 그 중의 하나이다.

대역외에 추가하는 방법으로서 DPTCT(Dual Pilot Tone Calibration Technique)는 파일럿이 데이터의 전력 스펙트럼밖에 위치하므로 약간의 주파수 편이에도 아주 민감하며, 인접 채널과 간섭을 일으킬 수 있다<sup>2)</sup>. 또한 파일럿을 수용하기 위해 추가 대역폭이 필요하다. 이런 문제점들을 해결하기 위한 방법으로는 부호화에 의해서 대역내에서 원하는 파일럿 주파수 부근의 데이터 신호 전력을 감소시켜 심볼 및 반송파 복구를 쉽게 하기 위해 파일럿을 추가하는 것이다. 파일럿 추가의 효과를 극대화하기 위하여 DC부근의 데이터 전력을 감소시키는 OF01 부호, 나이퀴스트 주파수 부근의 데이터 전력을 감소시키는 KF10 부호 그리고 DC와 나이퀴스트 주파수 모두에 파일럿을 추가하기 쉽게 하는 방법으로 OF00 부호 등이 발표되었다<sup>3,4)</sup>. 이 부호들은 입력열을 받아 블록화한 후 부호화를 수행하는 블록부호라 할 수 있으며 각각 다른 형태의 부호화기를 이용하여 부호화를 수행한다.

다중 레벨 QAM을 사용하는 경우 OF00 부호는 1 및 Q 채널의 각 신호열을 분리(interleave)하고 부호화한 다음 다시 결합(de-interleave)하는 방법으로써 두 채널에서 총 4개의 부호화기가 쓰인다. 그러나 본 논문에서는 하나의 채널에 한 부호화기를 사용하여 OF00 부호와 유사한 스펙트럼을 발생하여 심볼 동기 및 반송파 복구를 동시에 용이하게 하기 위한 새로운 부호화 알고리즘을 제안하고자 한다. 따라서 제안된 부호의 부호화기는 기존 OF00 부호화기보다 절반정도의 메모리만을 사용하게 된다. 먼저 OF00의 부호화 법칙을 간단하게 알아보고 제안된 부호의 부호화 법칙을 보이고자 한다. 다음에 모의 실험 결과를 보이고 결론을 제시한다.

## II. 기존 OF00 부호의 부호화 법칙

대역내에 파일럿을 삽입하여 반송파 및 심볼 동기 복구를 보다 쉽게 하기 위한 부호로서 OF00, OF01, KF10 등이 제안되었다. 제안된 이들 부호기 입·출력은 L-레벨 PAM 심볼열이며 부호화에 있어서 입력의 데이터를 블록별로 나누는 블록 부호 구조를 사용하며 두 상태 중 하나의 상태를 가진다. 또한 각 블록은

독립적으로 수행되는 몇 개의 프레임으로 나뉜다.

L-레벨 PAM 심볼열에서 한 블록당 프레임수는 다음과 같다.

$$N = \log_2 L \quad (1)$$

부호화에 있어서 입력열이 L-레벨 PAM 심볼열 일 경우 (1)식 처럼 N개의 프레임으로된 하나의 블록을 구성하고 각 프레임은 W개의 심볼로 구성 되도록 한다. 출력열에서는 입력의 N개의 프레임과 하나의 플래그 심볼(redundancy)로 구성되는 하나의 블록으로 대응시킨다. 출력열의 프레임은 입력 프레임의 복제나 반전형태의 두개의 상태로 나타나며 플래그 심볼은 각각의 프레임들이 입력열을 복제하여 출력하는지 반전하여 출력하는지의 정보를 갖는 비트들로 구성된다. 그림 1은 L=16일 때 출력 블록을 나타낸다.

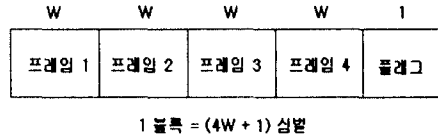


그림 1. L = 16일 때의 출력 블록 구조.  
Fig. 1. Block structure of output for L = 16.

플래그 심볼은 N개의 프레임들의 복제나 반전에 대한 정보를 하나의 심볼로 가지고 있으므로 추가되는 redundancy는 다음과 같다.

$$R = \frac{1}{NW} \quad (2)$$

여기서 N은 한 블록내에서 프레임의 개수이고 W는 각 프레임을 구성하는 심볼의 개수이다. 블록의 첫 번째 프레임의 정보가 플래그 심볼의 우선 순위 비트(MSB)가 되고 마지막 프레임의 정보가 낮은 순위 비트(LSB)가 된다. 예를 들어 그림 3의 하나의 블록에서 첫번째 프레임과 네번째 프레임이 반전되고 나머지 프레임은 복제가 되었다면 플래그 심볼은 1001의 네 비트를 하나의 심볼로 갖게 되는 것이다. 지금까지 살펴본 것은 기존 부호 OF00, OF01, KF10

의 부호화 원리의 기초이며 제안된 부호화에도 적용된다.

OF00 부호화 법칙은 입력을 I 및 Q 채널로 나눈 다음 각 채널 신호를 두 개의 병렬 열로 분리(interleave)하여 각각의 부호화기에 입력시켜 부호화한 다음 다시 결합(de-interleave)하여 최종 부호화된 출력을 낸다<sup>[34]</sup>. OF00에 사용되는 I 및 Q 채널 부호화기로는 OF01 부호화기가 쓰인다. OF01 부호화 법칙을 보면 다음과 같다.

OF01 부호화기에서는 입력을 블록화하여 현재 이전 프레임까지의 RDS(Running Digital Sum)

$$D_{j,k} = \sum_{i=1}^{(k-1)NW + (j-1)W} y_i \quad (3)$$

와 현재 프레임의 RDS(Running Digital Sum)

$$d_{j,k} = \sum_{i=1}^W x_{(k-1)NW + (j-1)W + i} \quad (4)$$

를 계산하여 두 값의 부호를 비교하여 같은 부호이면 현재 프레임은 반전되고 다른 부호이면 복제하여 출력된다<sup>[3-5]</sup>. (3)과 (4)식에서  $y_i$ 는 출력 심볼값,  $x_i$ 는 입력 심볼값을 나타내며  $k$ 와  $j$ 는 각각 현재의 블록번호와 현재의 프레임 번호를 나타낸다. 이 법칙은 유한한 DSV(Digital Sum Variation)를 가지도록 하여 DC 부근의 전력을 감소시켜 notch를 얻을 수 있다<sup>[6]</sup>. 이 법칙을 적용하여 DC부근에서 전력이 감소된 스펙트럼 notch를 얻을 수 있기 때문에 입력을 분리하여 부호화 할 경우 나이퀴스트 주파수에서도 전력이 감소된 스펙트럼 notch를 얻을 수 있다<sup>[34]</sup>.

다음으로 KF10 부호화기에 대한 부호화 법칙을 살펴보면 역시 현재 이전 프레임까지의 RAS (Running Alternating Sum)

$$A_{j,k} = \sum_{i=1}^{(k-1)NW + (j-1)W} (-1)^i y_i \quad (5)$$

와 현재 프레임의 RAS(Running Alternating Sum)

$$a_{j,k} = \sum_{i=1}^W (-1)^{(k-1)NW + (j-1)W + i} x_{(k-1)NW + (j-1)W + i} \quad (6)$$

의 부호를 비교하여 두 값이 같은 부호이면 현재 프

레이프는 반전하고 다른 부호이면 현재 프레임은 복제하여 출력한다<sup>[34]</sup>. 만일 최종 ASV(Alternating Sum Variation)값이 유한한 값을 가진다면 나이퀴스트 주파수 부근에서 전력 스펙트럼 notch를 얻을 수 있다<sup>[6]</sup>. (5), (6)식은 OF00의 부호화에서 RAS와 ASV를 구하는데 사용되어질 수 있으며 그 결과 OF00 부호가 유한한 ASV값을 가지며 나이퀴스트 주파수 부근에서 스펙트럼 notch를 가짐이 증명된다<sup>[34]</sup>. 이 두 법칙을 사용하여 다음 장에서 제안된 알고리즘의 부호화 법칙을 보여준다.

### III. 제안된 알고리즘의 부호화 법칙

본 논문에서 제안된 알고리즘의 부호화 법칙은 각 채널에서 하나의 부호화기를 이용하여 기존 OF00 부호화 같이 DC와 나이퀴스트 주파수 모두에서 notch를 발생하고자 하므로 이 부호의 DSV와 ASV가 모두 유한해야 한다. 이 두 값이 유한하기 위한 조건은 각 프레임들이 부호화기를 통과하면서 축적된 RDS와 RAS값이 기준값(zero)에 가까이 수렴해야 한다. 그러기 위해서는 이전 프레임까지의 RDS와 RAS값에 현재 프레임의 RDS와 RAS값을 복제하여 더한 경우나 또는 반전하여 더한 경우에서 현재 프레임까지의 RDS와 RAS값을 모두 유한하게 하는 경우를 찾아야 한다. 그러므로 프레임의 복제나 반전을 결정하기 위한 결정식은 다음과 같으며 II 장에서의 (3), (4), (5), (6) 식을 이용한다.

$$dec_{rep} = [D_{j,k} + d_{j,k}]^2 + [A_{j,k} + a_{j,k}]^2 \quad (7)$$

$$dec_{inv} = [D_{j,k} + (-d_{j,k})]^2 + [A_{j,k} + (-a_{j,k})]^2 \quad (8)$$

여기서  $dec_{rep}$ 는 현재 프레임의 RDS와 RAS값을 복제하였을 경우의 결정변수이고  $dec_{inv}$ 은 현재 프레임의 RDS와 RAS를 반전하였을 경우의 결정변수이다. 이 두 값을 비교하여  $dec_{rep}$ 의 값이  $dec_{inv}$ 값보다 작다면 현재 프레임은 입력열을 복제하여 출력하고, 크거나 같다면 현재 프레임은 입력열을 반전하여 출력한다. 이 부호화 법칙에 대한 식을 아래의 (9)식에 나타내었다.

OF00부호는 각 채널에서 입력을 분리한 다음 두 개의 OF01부호화기를 이용하여 부호화한 다음 출력

을 다시 결합하여 최종 출력을 낸다. 여기서 OF01 부호화 법칙은 현재 이전 프레임까지의 RDS값의 부호(sign)와 현재 프레임의 RDS값의 부호(sign)를 비교하여 RDS값이 유한하도록 현재 프레임의 복제나 반전을 결정하였다. 그러나 제안된 부호는 OF00의 부호화와는 달리 각 채널에서 하나의 부호화기를 사용하여 각 프레임의 RDS와 RAS를 동시에 계산하여 두 값들 모두 유한하도록 현재 프레임의 복제나 반전을 결정한다.

그러나 OF00부호화 방법과 제안된 부호화 방법에 서 모두 DC와 나이퀴스트 주파수에서 전력 스펙트럼 밀도 notch를 갖는 결과를 얻을 수 있다. 즉, 제안된 부호가 OF00부호화의 차이점은 각 채널에서 사용된 부호화기 개수이나 결과는 거의 같다는 것을 다음 모의 실험을 통하여 알 수 있다.

#### IV. 모의 실험 결과

OF00 부호에 대한 결과들이 이미 [4-5]에 제시되었다. 이 결과와 제안된 부호의 컴퓨터 모의 실험 결과를 비교 분석하여 제시한다. 그림 2는 모의실험을 위한 부호화기의 간단한 블록도를 나타낸다.

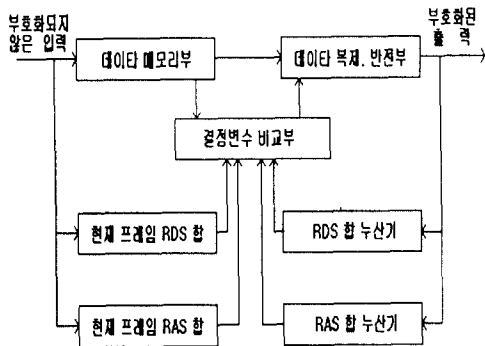


그림 2. 모의실험을 위해 제안된 부호화기 부분의 간단한 블록도.

Fig. 2. Simplified block diagram of the proposed encoder section for simulation.

$$y_{(k-1)(NW+1)+(j-1)W+i} = \begin{cases} x_{(k-1)NW+(j-1)W+i}, \\ -x_{(k-1)NW+(j-1)W+i}, \end{cases}$$

모의 실험은 I, Q채널이 모두 L-레벨 PAM인 기저 대역 M-ary QAM 등가를 가지고 하였다( $M=L^2$ ). 모든 모의실험은  $W=25$ 이고 redundancy는 1%인 256-QAM을 사용하였다. QAM 레벨수에 따른 전력 스펙트럼 밀도 notch의 변화는 없기 때문에 256-QAM을 사용하여 모든 모의실험을 수행하였다. 심볼속도는 2M baud이고 roll-off 값  $\beta=0.2$ 의 raised cosine filter가 사용되었다.

그림 3은 DC부근에서 제안된 부호와 OF00부호의 전력 스펙트럼 밀도 notch를 비교하여 나타냈다. OF00부호는 두 개의 OF01부호화기를 이용하기 때문에 각 부호화기에서 최종 DSV는 W로 유한하게 된다. DSV가 유한하다면 DC부근에서 전력 스펙트럼 밀도 notch를 얻을 수 있다. 그러므로 OF00의 최종 DSV는 2W로 역시 유한하게 되어 DC부근에서 전력 스펙트럼 밀도 notch를 얻게 된다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안된 부호는 OF00와 거의 비슷한 전력 스펙트럼 밀도 notch를 발생시키지만 약간 개선된 깊이와 폭을 가진다. 이는 제안된 부호의 DSV가 OF00의 DSV보다 더 작은 값( $DSV \leq 2W$ )을 가지기 때문이다.

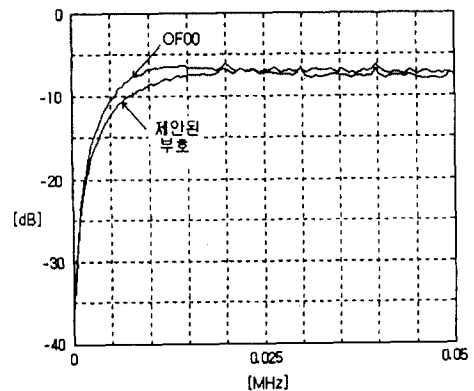


그림 3. DC에서 제안된 부호와 OF00부호의 전력 스펙트럼 비교.

Fig. 3. Comparison of power spectra for the proposed code and OF00 code at DC.

$$\begin{aligned} & \text{if } dec_{rep} < dec_{inv} && i = 1, 2, \dots, W \\ & && \text{for } j = 1, 2, \dots, N \\ & \text{if } dec_{rep} \geq dec_{inv} && k = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (9)$$

그림 4는 나이퀴스트 부근에서 역시 제안된 부호와 OF00부호의 전력 스펙트럼 밀도 notch를 비교하여 나타냈다. 비슷하게 각 부호화기에서 최종 ASV는  $W$ 로 근사화되어 유한하게 된다. 그러므로 OF00의 최종 ASV는  $2W$ 로 근사화되어 나이퀴스트 주파수 부근에서 전력 스펙트럼 밀도 notch를 얻을 수 있다. 그림에서도 볼 수 있듯이 제안된 부호는 OF00와 나이퀴스트 주파수 부근에서도 역시 거의 비슷한 전력 스펙트럼 밀도 notch를 발생시키지만 DC부근에서 결과와 마찬가지로 약간 개선된 깊이와 폭을 가짐을 볼 수 있다. 이도 역시 제안된 부호의 ASV가 OF00의 ASV보다 더 작은 값( $ASV \leq 2W$ )를 가지기 때문이다.

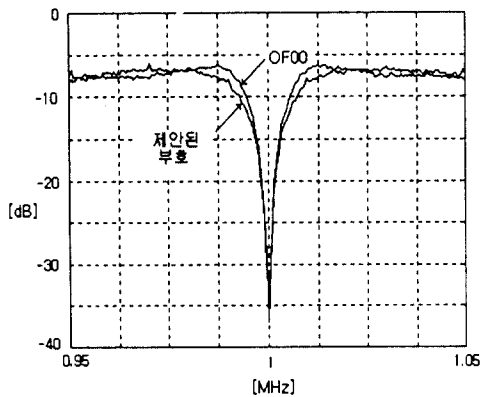


그림 4. 나이퀴스트 주파수에서 제안된 부호와 OF00부호의 전력 스펙트럼 비교.

Fig 4. Comparison of power spectra for the proposed code and OF00 code at Nyquist frequency.

위의 결과에서도 알 수 있듯이 데이터 스펙트럼 내 DC와 나이퀴스트 주파수에 파일럿을 추가하여 수신단에서 보다 간단한 방법으로 반송파 복구 및 심볼 동기를 수행할 수 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서 디지털 마이크로웨이브나 이동 라디오 시스템에서 심볼 동기 및 반송파 복구를 보다 쉽게 하기 위해 하나의 채널만을 사용하여 기존의 OF00부호의 전력 스펙트럼 notch특성과 유사한 특성

을 가질 수 있어 대역내 파일럿 추가를 효율적으로 할 수 있게 하는 새로운 부호화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 부호는 입력을 분리하여 두 개의 채널을 사용하는 OF00 부호와 같은 스펙트럼 특성을 보이며 이를 사용하면 대역내에 파일럿을 추가하여 협대역 여파기등을 통하여 보다 쉽게 반송파 복구 및 심볼 동기를 수행할 수, 있다. 또한 하나의 채널만을 사용하므로 부호화기 부분의 메모리를 절반으로 줄일 수 있게 한다.

## 참 고 문 헌

1. F. Davarian, "Mobile digital communications via tone calibration," IEEE Trans. Vehi. Technol., vol. VT-36, No. 2, pp. 55-62, May 1986.
2. M. K. Simon, "Dual-pilot tone calibration technique," IEEE Trans. Vehic. Technol., vol. VT-35, pp. 63-70, May 1986.
3. D. Y. Kim and K. Feher, "Power Suppression at the Nyquist Frequency for Pilot-Aided PAM and QAM Systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-37, No. 9, September 1989.
4. D. Y. Kim and K. Feher, "New carrier and symbol synchronization technique for digital mobile communication," in Rec. IEEE Vehic. Technol. Conf., Philadelphia, PA, pp. 371-376, June 1988.
5. James Orton and Kamilo Feher, "A New Channel coding Algorithm for in-band spectral suppression in PAM and QAM systems," in Rec. Int. Conf. Commun., Philadelphia, PA, pp. 21.5. 1-21.5.5.
6. D. Y. Kim and J. K. Kim, "A condition for stable minimum-bandwidth line codes," IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, NO. 2, pp. 152-157, Feb. 1985.
7. D. Y. Kim, "A Study on the Line Codes of Minimum Bandwidth," Ph. D Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Seoul, Dept. of Electrical Engineering, 1983.



김 옹 호(Yong Hoh Kim) 정회원

1975년 2월:연세대학교 물리학과 졸업(이학사)

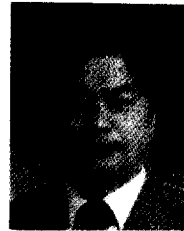
1985년 8월:미국 Univ. of Wyoming 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

1991년 8월~현재:충남대학교 대

학원 전자공학과 박사과정

1985년 12월~1990년 8월:한국전자통신연구소 연구원

1990년 8월~현재:배재대학교 공과대학 전자공학과 부교수



김 대 영(Dae Young Kim) 정회원

1975년 2월:서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1977년 2월:한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1983년 2월:한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1979년~1980년:독일 RWTH Aachen, UNI Hannover 공대 연구원

1987년~1988년:미국 UC Davis 객원연구원

1983년~1991년:충남대학교 공과대학 전자공학과 교수

1992년~현재:충남대학교 공과대학 정보통신공학과 교수

1993년 10월~현재:ISO/IEC JTC1/SC6/WG4 ECTS Editor

1996년~1997년:IEEE Communication Chapter of Korea, Chair IEEE Taejon Section, Chair

1996년 1월~현재:Internet KIG(Korea Internet Group), Chair