

선택성 주파수 호핑 시스템의 실험에 관한 연구

정용주\*

김원후\*\*

\*,\*\* 한국 항공대학 전자공학과

A Study on the Experiment of Selective Frequency Hopping System

Yong Ju JUNG\*

Won Hoo KIM\*\*

ABSTRACT : In FH-SS systems, when the hopping band is enough wide to overlap with conventional band limited communication method(CBM), the portion of such acts as an interfering signal. Thus it is hard to use them all together. This paper presents how the frequency hopping system can simultaneously share the same band with CBM. The proposed method is that the frequency hopping band can arbitrarily controlled by setting the specific input bit of digital frequency synthesizer to logical zero state. We realized this by putting the hopping band Controller between pseudo random generator and frequency synthesizer.

1. 서론

대역 확산 통신 방식은 협대역 지향적인 기존의 통신 방식과는 달리 정보원 신호를 가급적이면 넓은 대역으로 확산시켜 전송하는 방식으로서 처음에는 주로 군사 목적으로 사용[1] 되었으나, 1978년 일본에서 열렸던 제14차 CCIR 총회에서 과밀화한 주파수 대역의 해소 방안으로 제기된 것을 계기로 현재에는 위성 통신이나 이동 통신, 다원 접속 등 민간 통신에서의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 대역 확산 통신 방식 중에서 주파수 호핑 방식 [2], [3] 은 반송파 주파수를 의사 잡음 코드 (PN Code) 의 패턴에 따라서 차례 불연속적으로 변화시킴으로써 대역 확산 효과를 갖는 방식이다.

호핑 시스템에 사용되는 주파수 합성기는 직접 방식, 간접방식 및 디지털 방식으로 분류[4] 할 수 있는데 디지털 방식은 스퍼리어스 억압 능력은 다소 떨어지지만 발생 주파수가 안정되고 해상도를 극도로 높일 수 있으며 주파수 전이 시간이 소자에서의 처리 시간으로 나타나므로 고속 호핑 시스템에 적합하다.

그런데 주파수 호핑 시스템을 기존의 통신 방식과 동일한 대역에서 사용할 때 서로 대역이 겹치는 경우가 발생되고 이것이 상호 간섭으로 나타나기 때문에 시스템의 성능이 떨어지는 결점이 지적되고 있다[5]. 따라서 이러한 영향을 해소하고 상호 공존하기 위해서는 기존의 통신 대역을 제외한 나머지에만 호핑을 발생시키는 방법이 필요하다.

본 논문은 호핑 대역을 임의로 조절할 수 있는 시

시스템에 관한 것으로 주파수 천이 시간이 매우 빠른 디지털 주파수 합성기를 이용하여 고속 주파수 호핑 시스템[2] 을 실현하고 주파수 합성기와 PNG 사이에 호핑 대역 제어부를 부가함으로써 선택성 호핑을 얻었다.

## 2. 호핑 시스템의 구성.

일반적인 호핑 시스템은 그림 1.에 나타낸것과 같이 정보원 신호를 변조하기 위한 1차 변조기와 대역 확산을 위한 2차 변조부로 구성된다. 호핑 시스템의 성능은 2차 변조부에 의하여 좌우되는데 2차 변조부는 의사 잡음 코드 발생기(PNG) 와 주파수 합성기(FS) 로 이루어 지며 PNG 에서 발생된 코드 패턴에 따라서 호핑 주파수를 결정한다. 이 때 PNG 를 이루는 각 시프트 레지스터의 출력을 병렬로 사용함으로써 호핑 주파수 간격이 일정하게 나타나는 특징이 있다.

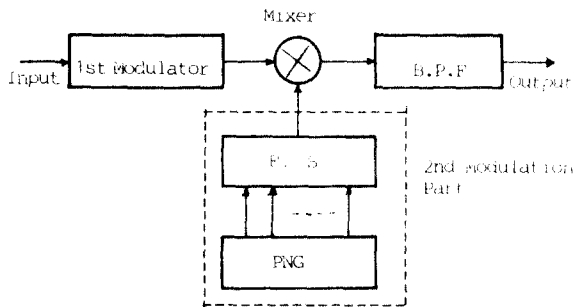


그림 1. 일반적인 호핑 시스템의 구성도  
Block diagram of general hopping system.

이러한 호핑 시스템을 기존의 협대역 통신 방식과 같은 대역에서 사용하고자 할 때 서로간의 간섭 영향을 제거하기 위하여는 간섭을 일으키는 대역에는 호핑이 발생되지 않도록 조절할 필요가 있다. 호핑 시스템의 출력에 대역 저지 필터를 두면 이를 실현할 수 있는데 이 경우에 호핑 시스템의 처리 이득이 떨어지는 단점이 있다[5].

본 논문에서 구성한 호핑 시스템은 PNG 와 FS 사이에 호핑 대역 제어부(HBC) 를 부가함으로써 간섭

을 일으키는 대역에는 근본적으로 호핑이 발생되지 않도록 조절하였다. PNG는 선형 최장 코드(Linear Maximal Code) 를 발생하도록 구성하였고, 주파수 합성기는 디지털 주파수 합성기를 구성하여 주파수 해상도를 높여 효과적인 호핑 대역 조절이 되도록 하였다. HBC 는 PNG 의 직렬 출력을 디지털 주파수 합성기의 입력 비트 수 만큼 병렬로 변환하는 직렬/병렬 변환기와 병렬 변환된 PN 코드를 제어하는 스위치로 구성하였다. 이렇게 하면 호핑 주파수 간격이 비선형으로 나타나며 PNG 단수가 적더라도 호핑 대역을 넓힐 수 있다. 또한 주파수 합성기의 입력 비트 수보다 많은 단(stage) 수를 갖는 PNG 를 이용할 수 있는 잇점이 있다. 다음 그림 2.에 본 논문에서 구성한 호핑 시스템의 구성도를 나타내었다.

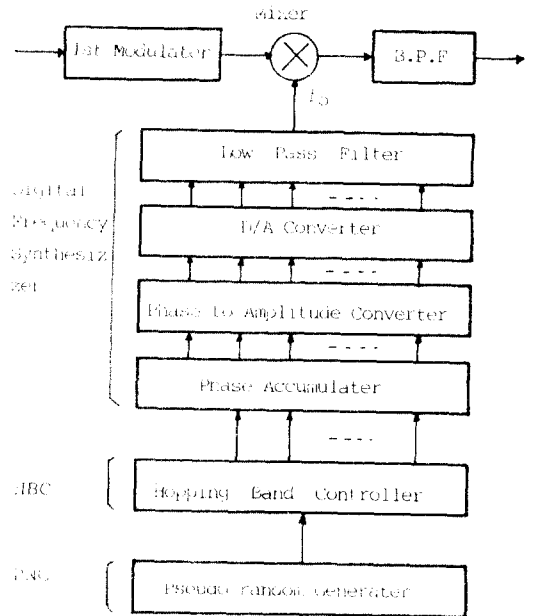


그림 2. 선택성 호핑을 위한 시스템 구성도  
Block diagram of the system for selective hopping.

디지털 주파수 합성기는 Look-up Table 방식으로서 각 입력 비트는 위상각 스텝을 나타내고 출력 호핑 주파수 ( $f_0$ ) 는  $d\phi/dt$  이므로 결국 각 입력 비트마다 출력 주파수가 weighting 된 셈이다. 디지털 주파수 합성기의 주파수 해상도(R)는 식(1) 과 같이 나타난다.

$$R = f_{ck} / 2N \quad \text{----- (1)}$$

여기서  $f_{ck}$ 는 주파수 합성기에 가해주는 클럭 주파수이고  $N$ 은 위상 어큐뮬레이터의 출력 데이터 수이다. 따라서 각 비트의 Weighting은  $2^k \cdot f_{ck} / 2N$ 이며 저역 통과 필터를 거쳐 나타나는 주파수는 Weighting된 주파수의 합으로서 식 (2)와 같이 나타난다.

$$f_o = \sum_{k=0}^{N-3} 2^k \cdot f_{ck} / 2N \quad \text{----- (2)}$$

한편 PN 코드를 FS에 인가하여 호핑시킬 때 호핑 주파수의 유지시간(Hd)는 식 (3)으로 나타나며 호핑 주파수와 PNG에 가해주는 클럭 주파수( $f_{PNG}$ )는 식 (4)와 같은 조건을 만족해야 한다.

$$Hd = 1 / f_{PNG} \quad \text{----- (3)}$$

$$f_{PNG} \leq f_{o,ms} \quad \text{----- (4)}$$

여기서  $f_{o,ms}$ 는 PN 코드에 따른 호핑 주파수 중 최소 주파수이다.

### 3. 선택성 호핑 패턴의 설계

HBC에서 호핑 대역을 조절할 때 다음과 같은 행렬 식 (5)를 사용한다.

$$[f_o] = [B] \cdot [I] \quad \text{----- (5)}$$

여기서  $[f_o]$ 는 호핑 주파수이고

$[B]$ 는 주파수 합성기의 복잡

Matrix이며

$[I]$ 는 입력 비트의 Weighting

을 나타낸다.

주파수 해상도를 1Hz로 할 때 식 (5)를 다시 쓰면 식 (6)과 같다.

$$[f_o] = [2^k, K] \cdot [K, 1] \quad \text{----- (6)}$$

$$= \begin{bmatrix} 000 & \text{-----} & 0 \\ 100 & & 0 \\ 010 & & 0 \\ 110 & & 0 \\ \vdots & & \vdots \\ 001 & & 1 \\ 101 & & 1 \\ 011 & & 1 \\ 111 & \text{-----} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2^0 \\ 2^1 \\ 2^2 \\ \vdots \\ 2^k \end{bmatrix}$$

식 (5)에서 행렬  $[I]$ 에 발생된 PN 코드를 대입하면 호핑 주파수를 얻게 된다. 여기서 복잡 대역을 제외한 나머지만 호핑을 시키고자 할 때  $[I]$ 의 행 중에서 제외시키려는 대역에 해당하는 행을 '0'으로 치환하면 된다. 표 1.은 4단 시프트 레지스터로 PNG를 구성하고 호핑 대역을 조절하지 않았을 경우, 매 클럭 ( $1/f_{PNG}$ )마다 HBC의 출력으로 나타나는 PN 코드 패턴의 상태와 그 때 발생하는 호핑 주파수를 나타낸 것이고 표 2.는 호핑 대역 조절의 한 예로서 HBC에서 216비트를 '0'으로 세팅할 경우를 나타낸 것이다.

표 1. 호핑 대역을 조절하지 않았을 경우

	$f_{PNG} \rightarrow$	Weighting	$f_o$ (Hz) ↓
PN Code pattern at each $f_{PNG}$	0100110101111000100	$2^{17}$	31436
	0010011010111100010	$2^{16}$	146786
	0001001101011110001	$2^{15}$	73393
	1000100110101111000	$2^{14}$	36700
	1100010011010111100	$2^{13}$	149422
	1110001001101011110	$2^{12}$	205779
	1111000100110101111	$2^{11}$	102893
	0111100010011010111	$2^{10}$	182514
	1011110001001101011	$2^9$	91261
	0101111000100110101	$2^8$	176702
	1010111100010011010	$2^7$	219423
	1101011110001001101	$2^6$	240783
	0110101111000100110	$2^5$	251459
	0011010111100010011	$2^4$	125729
	1001101011110001001	$2^3$	62864
	1001101011110001001	$2^2$	31436
	0100110101111000100	$2^1$	146786
	0010011010111100010	$2^0$	73393

표 2. 호핑 대역을 조절했을 경우

(2<sup>16</sup>비트를 '0'으로 세팅)

	$f_{PNG} \rightarrow$	Weighting	$f_o$ (Hz) ↓
PN Code pattern at each $f_{PNG}$	0100110101111000100	$2^{17}$	31436
	0000000000000000000	$2^{16}$	146786
	0001001101011110001	$2^{15}$	7857
	1000100110101111000	$2^{14}$	36700
	1100010011010111100	$2^{13}$	149422
	1110001001101011110	$2^{12}$	140243
	1111000100110101111	$2^{11}$	37357
	0111100010011010111	$2^{10}$	182514
	1011110001001101011	$2^9$	25725
	0101111000100110101	$2^8$	176702
	1010111100010011010	$2^7$	153887
	1101011110001001101	$2^6$	175247
	0110101111000100110	$2^5$	185923
	0011010111100010011	$2^4$	60193
	1001101011110001001	$2^3$	62864
	1001101011110001001	$2^2$	31436
	0100110101111000100	$2^1$	146786
	0010011010111100010	$2^0$	73393

#### 4. 실험 및 검토

다음의 그림 3.에는 실험에 사용한 시스템의 세부 구성도를 나타내었다. 주파수 합성기는 클럭 주파수를 1.048576MHz 해상도를 1Hz, 발생 주파수 범위를 1Hz-262.143KHz 까지로 설계하였고 출력 사인 파형이 0°와 180°측 그리고 90°와 270°측에서 서로 대칭인 성질을 이용하여 위상 어큐뮬레이터의 상위 2비트를 1의 보수 회로에 가함으로써 0°-90°까지의 위상 값 만으로 출력 주파수를 얻도록 회로를 간단히 하였다.

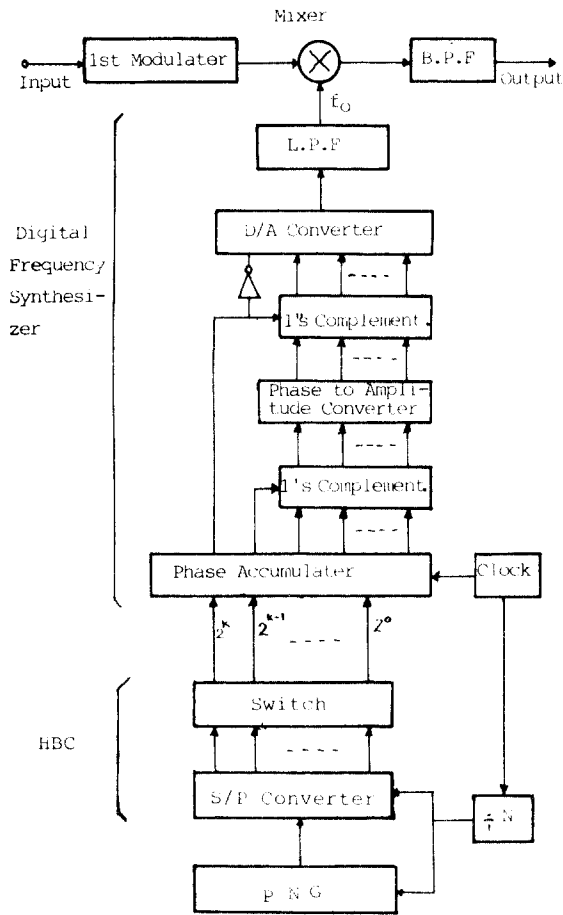


그림 3. 실험 시스템의 세부 구성도  
Block diagram of experimental system in detail.

그림 4.에는 PN 코드와 호핑 주파수를 나타낸 것으로 호핑 주파수의 유지 시간(Hd)이 PN 코드의 클럭 주기로

나타나고 호핑 주파수 천이가 연속위상이며 천이시간이 PN코드의 입상 시간으로 나타남을 알 수 있다. 그림 5.는 4MHz 의 단일 주파수로 변조된 1차 변조파와 호핑 주파수를 2차 변조시켰을 때의 출력 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 6은 그림 5의 경우에서 2<sup>16</sup>비트를 "0"으로 세팅함으로써 호핑 대역이 조정됨을 나타낸 것이다. 이 때 호핑 주파수의 갯수는 변함이 없고 따라서 처리 이득이 떨어지지 않음을 알 수 있다. 그림 7.은 선택성 호핑으로 제거된 대역에 협대역 통신 방식인 30% AM신호와 40KHz의 주파수 편이를 갖는 FM신호를 동시에 가했을 경우의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 호핑 주파수의 스퓨리어스 성분만이 협대역 통신에 간섭 현상을 일으키는 것으로 나타나고 있는데 이는 필터의 특성을 개선하면 제거될 것이다. 그림 8.에는 실험에 사용한 전체 시스템을 나타낸 것이다.

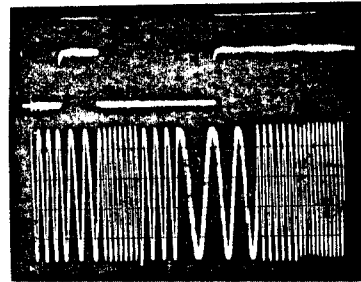


그림 4. 역상 삼중 코드와 호핑 주파수  
PN Code and hopping frequency.

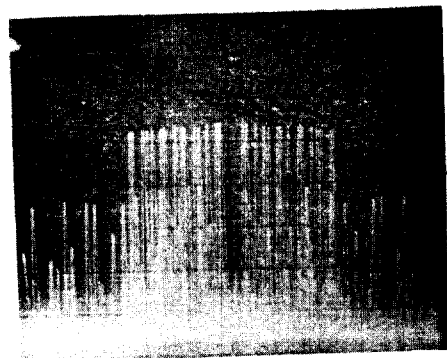


그림 5. 구성된 시스템의 출력 스펙트럼  
Output spectrum of implemented hopping system.

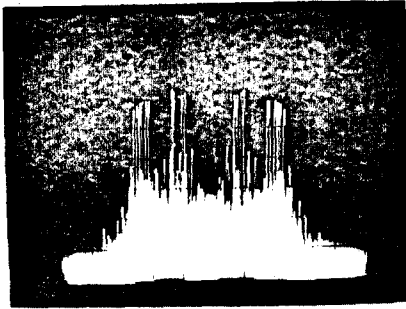


그림 6.  $2^{16}$  비트를 "0"으로 세팅했을 때의 출력 스펙트럼  
Output spectrum distribution when  
 $2^{16}$  bit is set to zero.  
(HOR.: 100KHz/DIV., VER.: 10dB/DIV.)

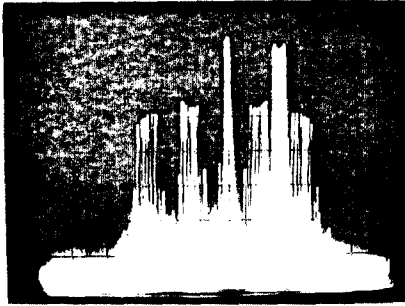


그림 7. 호핑 제어 대역에 기존 통신 방식을 가했을 때  
spectrum distribution when conven-  
tional communication method is added  
to the case fig. 6.  
(HOR.: 100KHz/DIV., VER.: 10dB/DIV.)

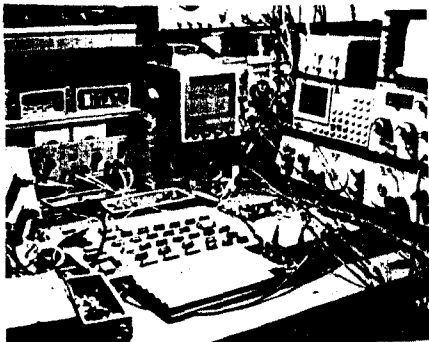


그림 8. 실험에 사용한 전체 시스템  
Over all view of experimental system.

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존의 협대역 통신 방식과 주파수 호핑 시스템이 서로 공존할 수 있는 방법으로서 FNG와 FS 사이에 HBC를 두어 기존 통신 방식의 대역과 호핑 대역이 겹치는 부분에는 호핑이 발생되지 않게 하였다.

디지털 주파수 합성기의 특징 입력 비트를 "0"으로 세팅함으로써 호핑 대역을 임의로 선택할 수 있었으며 이 때 호핑 시스템의 처리 이득이 감소하지 않는 결과를 얻었다. 또한 기존 통신 방식으로서 30% AM 신호와 40KHz 주파수 편이폭 갖는 FM신호를 인가하여 봄으로써 호핑 시스템과 기존의 통신 방식이 공존할 수 있음을 확인하였다.

호핑 대역 제어부에 마이크로 프로세서를 이용한다면 좀 더 효율적인 대역 조절이 가능하며 본 논문에서의 결과 만으로도 Partial Band Jamming을 피할 수 있음은 물론 ECM이나 ECCM 분야에 유용하게 적용될 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] C.E.Cook, F.W.Ellersick, L.B.Milstein, D.L. Schilling, "Spread-Spectrum Communications," IEEE Press, pp. 1-56, 1983.
- [2] D.J.Torrieri, "Principles of Military Communication Systems," ARTECH HOUSE, INC., pp.65 ~ 124, 1981.
- [3] R.C.Dixon, "Spread spectrum systems," John Wiley & Sons, Inc. : New York, pp. 28-42, 1984.
- [4] J.Gorski-Popiel, "Frequency Synthesis : Techniques and Applications," IEEE Press, 1975.
- [5] I.R.Smith, "Tradeoff Between Processing Gain & Interference Immunity in Co-Site Multichannel Spread-Spectrum Communications," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-30, No.5, May 1982.