

# 등방 다차원 배열을 이용한 FH 무전기용 주파수 자원 할당 알고리즘

## A Frequency Resource Assignment Algorithm for FH Radio Using Isotropic Multi-Dimension Array

**이성민\***      **한주희\***  
Seong-Min, Lee      Joo-Hee, Han

### ABSTRACT

To reduce the interferences between the radio equipments which are operated in frequency hopping mode, the frequency resource should be assigned to each equipment without overlapping when several groups of radio equipments operate in the same area. If the radio equipments are in a different area, the partial frequency overlaying can be permitted. From the isotropic multi-dimensional array, several frequency assignment tables can be extracted for a same area. Also several tables can be extracted for different areas. Since there can be no overlapped frequencies between the tables for the same area, no interference between the radio equipments in an area is guaranteed. The frequencies overlapped between 2 tables for 2 different areas are pre-planned as required. The interference performance in frequency hopping radio can be controlled as desired using the proposed Frequency Resource Assignment Algorithm using Isotropic multi-dimensional Array.

주요기술용어(주제어) : Frequency Assignment(주파수 할당), Frequency Hopping(주파수 도약), Isotropic Multi-Dimensional Array(등방 다차원 배열)

### 1. 서론

1990년대 개발 보급된 신형 FM무전기는 국내 자체 기술로 최초로 주파수 도약 방식으로 개발된 무전기이다. 10여 년 전에는 상용의 무선 장비가 많지 않았으며, 군 통신용으로 선 주파수 자원을 일부 통제

주파수로 제외하고 별다른 제약 없이 사용할 수 있었다. 따라서 군 무전기를 운용하면서 주파수 자원 간섭이 거의 일어나지 않게 할당할 수 있었고, 무선 주파수 간섭 문제도 심각하지 않았다.

IT(Information Technology) 분야의 발전과 민간 무선통신의 발전으로 무선자원이 점점 부족한 상태에 이르러, 2000년경 전파관리법을 개정하게 되었으며, 군에서 운용하는 무선 통신 장비의 주파수 자원도 정통부의 통제를 받아 사용하게 되었다. 군 통신 장비는 이전보다 더 적은 주파수 자원을 활용하여 운용하

† 2006년 8월 1일 접수~2006년 11월 20일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : sunrise@add.re.kr

는 것이 불가피해 졌으나, 군 장비 측면에서는 기존의 장비와 유사한 대전자전 보호 능력을 갖도록 하면서, 인접하여 사용하는 우리 군 장비 간에는 서로 간섭이 최소화되도록 하는 방안을 강구하게 되었다.

신형 FM무전기는 대전자전 보호 기능으로서 주파수 도약을 위해 약 200개의 주파수를 사용한다.

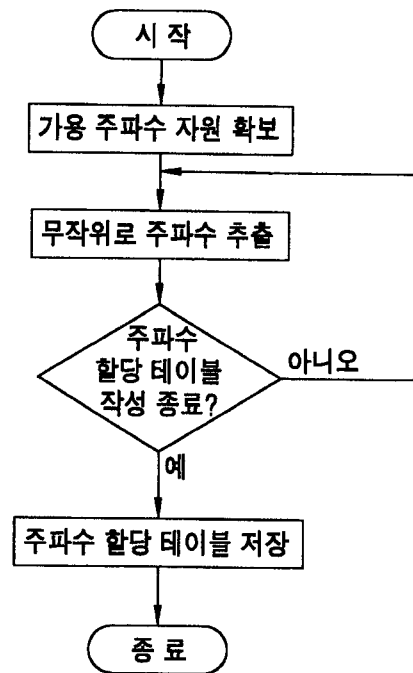
동일한 한 지역 내에서 운용하는 무선장비들은 주파수 자원을 중첩하여 사용하지 않도록 하여야 한다. 마찬가지로 다른 지역도 그 지역 내에서 운용하는 무선장비들은 역시 주파수 자원을 중첩하지 말도록 하여야 한다. 이유는 같은 지역에서 운용하는 무선장비는 근접해 있는 다른 무선장비에 직접적인 무선 주파수 충돌로 인한 전파 간섭을 줄 수 있기 때문이다.

하지만 두 지역 간 서로 어느 정도의 이격거리가 존재한다면 한 지역과 다른 지역에서 각각 운용하는 무선장비들은 어느 정도 주파수 겹침을 허용할 수 있다. 한 지역에서 송신한 무선 주파수 신호는 다른 지역으로 전달되면서 무선 경로 손실이 발생하여 전파 간섭이 미약한 상태가 된다고 기대할 수 있기 때문이다. 또한 부분적으로 간섭이 발생한 것은 통신 장비에서 에러를 정정 알고리즘으로 복원해낼 수 있는 능력도 도움이 된다.

본 논문에서는 이러한 특징을 고려하면서 한정된 주파수 자원을 이용하여 최대한 많은 장비에 주파수 할당을 하기 위하여 동일 지역 내에서는 주파수 자원이 중첩되지 않도록 주파수 할당을 하고, 원거리 지역 간의 무선 장비와는 일정비용 주파수 자원 중첩을 허용하도록 하는 등방 다차원 배열을 이용한 주파수 자원 할당 알고리즘을 제안하였다.

먼저 기존의 주파수 자원 할당 방식을 간단히 소개하고, 본 논문에서 제안한 등방 다차원 배열 알고리즘을 이용한 주파수 자원 할당 방식을 설명한 후, 기존의 방식과 본 알고리즘을 활용한 방식으로 주파수 자원을 할당한 결과를 비교하여 본 알고리즘의 우수성을 입증하고 결론을 맺는다.

의 주파수 자원 할당 방식은 랜덤 알고리즘을 이용하여 주파수 자원을 할당하는 방식과 수작업에 의한 방식을 사용하였다. FM무전기의 운용 주파수 대역인 30~88MHz 중 일부 통제 주파수를 사전에 지정한 후, 나머지 가용한 주파수 자원을 Seed값과 랜덤 함수를 사용하여 랜덤한 주파수 자원들을 선택하여 할당 테이블에 채워 넣음으로써 주파수 자원 할당이 된다. 여기서의 Seed값은 0~100의 범위 값이며 무작위 도약 패턴을 만드는 변수이다. 또다시 할당 테이블이 필요하면 동일 가용 주파수 자원을 같은 랜덤 함수를 사용하여 다른 Seed로 2번째 할당 테이블을 작성한다. 이런 방식을 반복하여 작성된 주파수 할당 테이블 2개 이상을 분석하여 테이블 간 주파수 자원의 충돌이 너무 심한 경우 수작업으로 주파수 자원 값을 편집하여 주파수 자원 할당 테이블을 완성한다. 그러나 수작업에 의한 방법은 할당 테이블의 수가 적어서 육안에 의한 분석이 가능하여야만 가능하다. 다음 그림 1에 기존 방식에 따른 주파수 자원 할당 순서도를 나타내었다.



[그림 1] 기존의 주파수 자원 할당 테이블 작성 순서도

## 2. 기존의 주파수 자원 할당 방식

무선 주파수 도약 방식의 FM무전기를 위한 기존

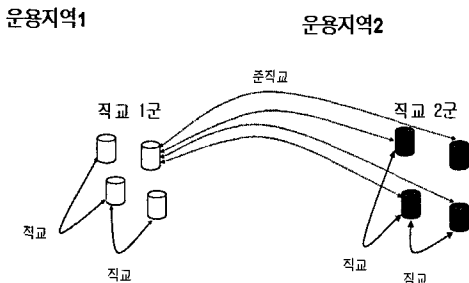
### 3. 등방 다차원 배열 알고리즘을 이용한 주파수 자원 할당 방식

다음은 등방 다차원 배열 알고리즘을 이용한 주파수 자원 할당 방식을 설명한다. 먼저 그림 2처럼 직교/준직교 관계를 정의한다. 앞서 언급한 것처럼 동일 지역에서 근접하여 운용될 두개 이상의 무선 장비들에 들어가는 각각의 주파수 할당 테이블 사이의 주파수 자원은 서로 겹치지 않아야 하는데, 이러한 두 할당 테이블의 관계를 '직교'한다고 정의한다. 반면 주파수 자원의 한정으로 서로 다른 두 지역에서 서로 이격하여 운용되는 두개 이상의 무선 장비들에 들어가는 주파수 할당 테이블은 서로 일부 겹침을 허용할 수 있는데, 이 겹침율이 모든 테이블에 대해 거의 일정하게 유지되는 관계를 갖는 두 할당 테이블 사이의 관계를 '준직교'한다고 정의한다.

준직교 관계의 두 할당 테이블에는 주파수 자원이 겹침은 있기는 하지만 그 주파수 겹침에 의한 무선 간섭은 운용지역이 다른데 따른 무선경로 손실 및 에러 정정 알고리즘을 이용한 에러 보정 등으로 통신에 거의 지장을 초래하지 않는다.

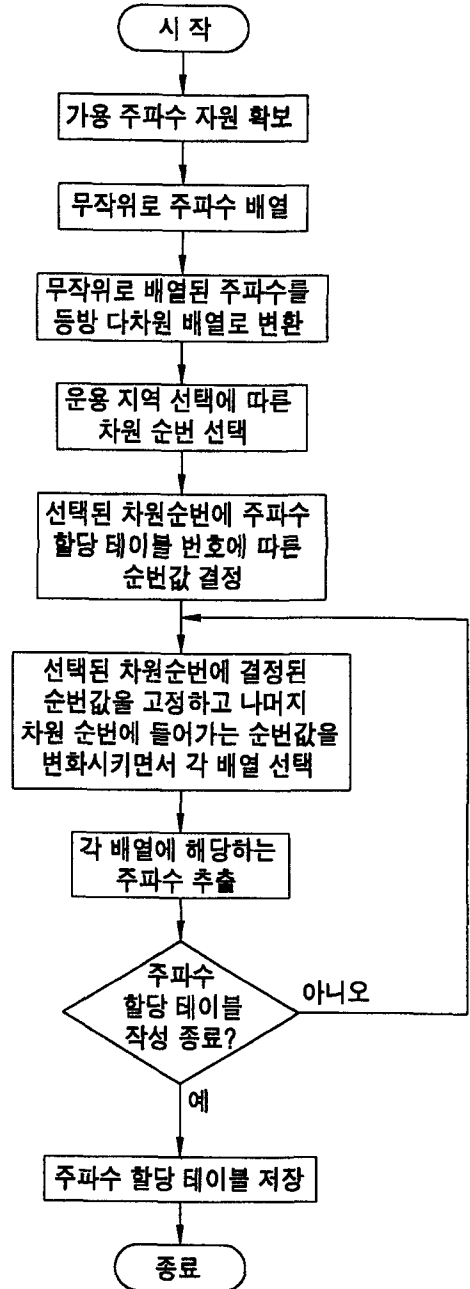
그림 3에 본 논문에서 제안한 주파수 자원 할당 테이블 작성 방법을 나타내었다.

먼저 가용한 주파수 자원을 식별한 후 랜덤하게 재배치하여 주파수 자원의 순서를 섞는다. 이를 1차원 배열 변수(A[X])로 하고, 이 변수들을 등방 다차원 배열로 변환한다. 여기서 등방 다차원 배열이라 함은 배열의 각 차원의 크기를 동일하게 맞춘 특수 배열을

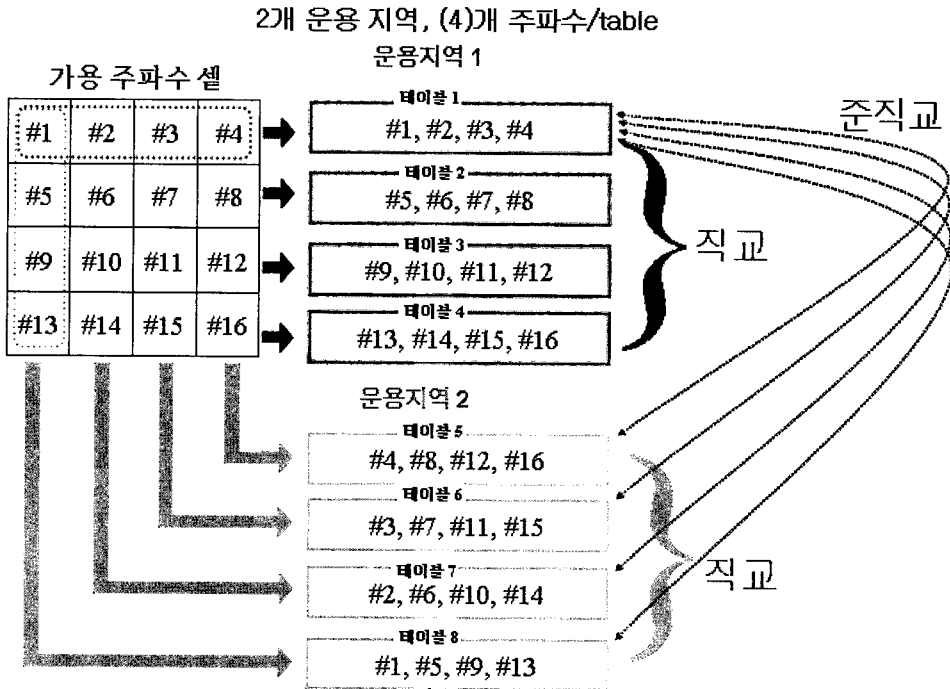


[그림 2] 운용지역과 테이블 간 직교/준직교 관계

의미한다. 차원 수의 결정은 운용 지역의 개수에 따라 정해진다. 즉, 3개의 운용지역에 해당 주파수 할당 테이블을 만들기 위해서는 3차원 등방 다차원 배열을



[그림 3] 제안의 주파수 자원 할당 테이블 작성 순서도



[그림 4] 등방 2차원 배열을 이용한 직교/준직교 주파수 할당 테이블 생성 방법

만들게 된다. 배열 변환이 끝나면 선택된 차원 순번에 결정된 차원 수를 고정하고 나머지 차원 순번들을 돌아가며 주파수를 선택한다.

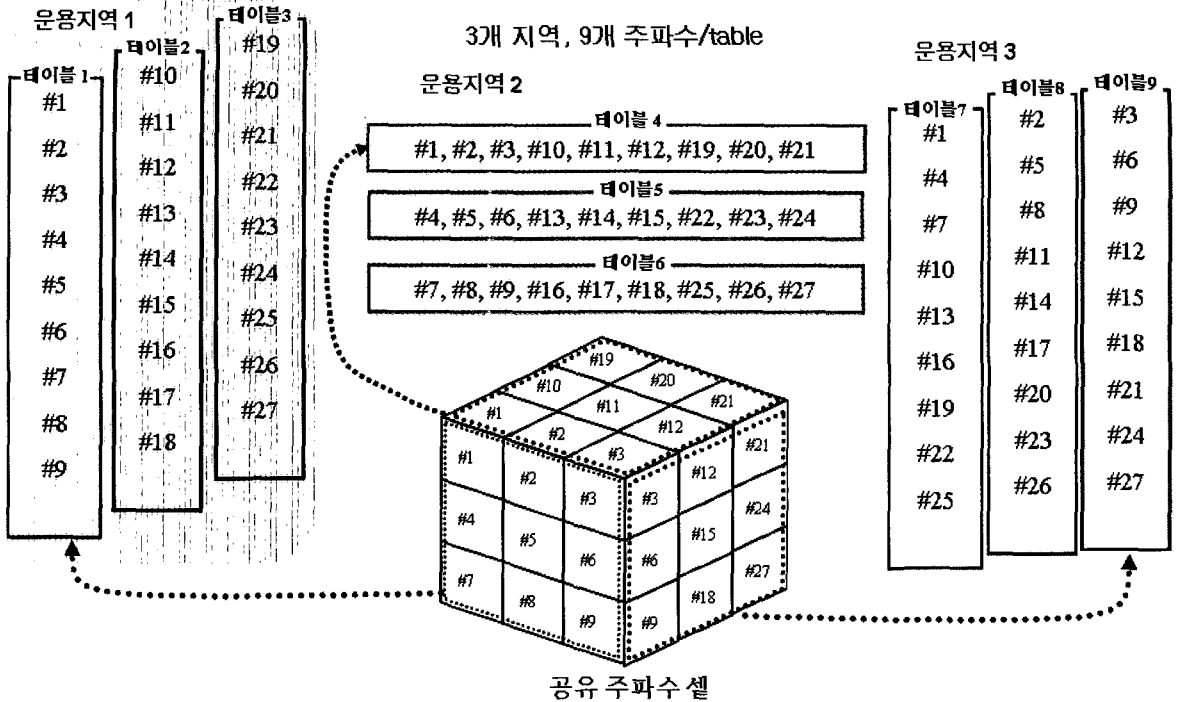
다음은 등방 다차원 배열을 이용한 주파수 할당 방법의 예를 설명한다. 그림 4에서 보는 것과 같이 등방 2차원 평면 배열을 이용한 주파수 할당 방법은 다음과 같다. 2개의 운용지역에서 각각 4개씩 총 8개의 주파수 테이블이 필요하다고 가정하자. 이때 가용 주파수는 총 16개이고 각 테이블은 4개의 주파수로 구성된다. 먼저 가용한 주파수 자원을 식별한 후 랜덤하게 재배치하여 주파수 자원의 순서를 섞는다. 이를 1차원 배열 변수(A[X])로 저장한 뒤, 이 변수들을 2개의 운용 지역에서 사용하는 주파수 테이블을 만들기 위해 2차원 배열(B[X,X])로 변환한다. 다음으로 제 1 지역에서 사용되는 4개의 할당 테이블을 작성하기 위하여 B[X,X]의 첫 번째 차원에 1을 대입하여 B[1,X], 2를 대입하여 B[2,X], 3을 대입하여 B[3,X], 4를 대입하여 B[4,X]의 변수 값을 취한다. 여기서 B[1,X]를 취한다는 의미는 첫 번째 차원을 1로 고정

하고, 2차원 값은 변화시키면서 원소를 취하여 주파수 테이블을 작성하는 것을 의미한다.

즉 제1지역의 1번째 주파수 할당테이블은 B[1,1], ~ B[1,4]의 주파수 값으로 이루어진다(그림 4의 #1, #2, #3, #4). 또한 제1지역의 2번째 주파수 할당테이블은 B[2,1], ~ B[2,4]의 주파수 값으로 이루어진다(그림 4의 #5, #6, #7, #8). 이와 유사하게 제 1지역의 3번째 주파수 테이블은 B[3,1]~B[3,4]의 주파수 값으로 이루어진다(그림 4의 #9, #10, #11, #12).

또한 제 2 지역에 4개의 할당 테이블은 B[X,X]의 두 번째 차원에 1을 대입하여 B[X,1], 2를 대입하여 B[X,2], 3을 대입하여 B[X,3], 4를 대입하여 B[X,4]의 값을 취하여 테이블을 작성하게 된다. 작성된 8개의 주파수 테이블을 그림 4에서 보면 B[1,X] 테이블과 B[2,X] 테이블은 직교 관계이며, B[X,1] 테이블과 B[X,2] 테이블은 역시 직교 관계인데, B[1,X]와 B[X,1] 또는 B[1,X]와 B[X,2] 테이블은 서로 준직교 관계임을 알 수 있다.

또 다른 주파수 테이블 생성 예로 가용한 주파수

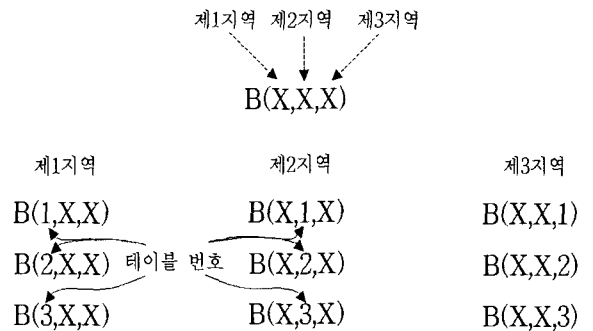


[그림 5] 등방 3차원 배열을 이용한 직교/준직교 주파수 할당 테이블 생성 방법

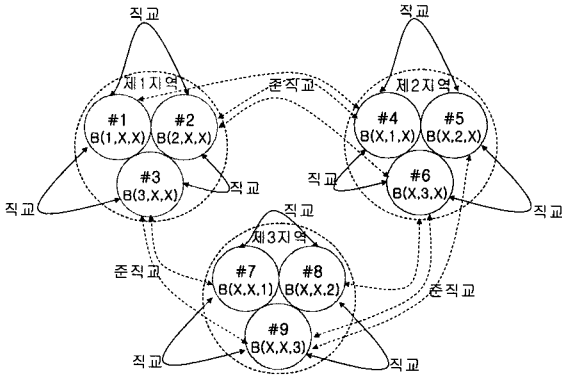
자원이 27개이고 3개 지역에 대해, 각각 3개의 주파수 할당 테이블을 작성하는 경우를 예로 들어 본다. 3차원 배열을  $B[X,X,X]$  라고 하자. 1차원 배열이었던  $A[X]$  배열은 3차원 배열  $B[X,X,X]$ 로 1:1 대응이 된다. 이 3차원 배열  $B[X,X,X]$ 은 지역별로 주파수 자원을 할당하는데 이용된다. 그림 5는 등방 3차원 입체 배열을 이용한 주파수 할당 방법과 생성된 주파수 테이블 간의 직교/준직교 관계를 입체적으로 나타내고 있다. 그림 6에는  $B[X,X,X]$  배열에서 무선 운용 지역 번호와 자원 할당 테이블 번호와의 관계를 나타내었고, 그림 7에는 무선 운용 지역별 배열을 이용한 테이블 작성 개념 및 직교 준직교 관계를 표현하였다.

제 1지역은  $B[X,X,X]$  배열의 첫 번째 차원을 선택한다. 제 1 지역에 3개의 할당 테이블을 작성하는 것은  $B[X,X,X]$ 의 첫번째 차원에 1을 대입하여  $B[1,X,X]$ , 2를 대입하여  $B[2,X,X]$ , 3을 대입하여  $B[3,X,X]$ 를 취하는 것이다. 여기서  $B[1,X,X]$ 을 취한다는 의미는 첫 번째 차원을 1로 고정하고, 2차원과 3차원의 값은 변화 시키면서 원소를 취하는 것을 의미한다.

또한 제 2 지역에 3개의 할당 테이블을 작성하는 것은  $B[X,X,X]$ 의 두번째 차원에 1을 대입하여  $B[X,1,X]$ , 2를 대입하여  $B[X,2,X]$ , 3을 대입하여  $B[X,3,X]$ 를 취하는 것이다. 마찬가지로 제 3 지역에 3개의 할당 테이블을 작성하는 것은  $B[X,X,X]$ 의 세 번째 차원에 1을 대입하여  $B[X,X,1]$ , 2를 대입하여  $B[X,X,2]$ , 3을 대입하여  $B[X,X,3]$ 을 취하는 것이다.



[그림 6] 배열에서 지역 번호와 할당 테이블 번호의 관계



[그림 7] 지역별 할당 테이블 작성 개념

[표 1] B[1,X,X] 배열에서 취한 자원 할당 테이블

1차원 배열	3차원 배열	1차원 배열	3차원 배열	1차원 배열	3차원 배열
A[1]	B[1,1,1]	A[10]	B[2,1,1]	A[19]	B[3,1,1]
A[2]	B[1,1,2]	A[11]	B[2,1,2]	A[20]	B[3,1,2]
A[3]	B[1,1,3]	A[12]	B[2,1,3]	A[21]	B[3,1,3]
A[4]	B[1,2,1]	A[13]	B[2,2,1]	A[22]	B[3,2,1]
A[5]	B[1,2,2]	A[14]	B[2,2,2]	A[23]	B[3,2,2]
A[6]	B[1,2,3]	A[15]	B[2,2,3]	A[24]	B[3,2,3]
A[7]	B[1,3,1]	A[16]	B[2,3,1]	A[25]	B[3,3,1]
A[8]	B[1,3,2]	A[17]	B[2,3,2]	A[26]	B[3,3,2]
A[9]	B[1,3,3]	A[18]	B[2,3,3]	A[27]	B[3,3,3]

표 1~3에는 B[1,X,X], B[X,1X], B[X,X,1]을 취함에 따라 어떤 배열 변수가 선택될 수 있는지를 음영을 사용하여 표현하였다.

표 1의 음영 부분은 제 1 지역의 주파수 할당 테이블로 사용되고, 표 2는 제 2 지역, 표 3은 제 3 지역의 주파수 할당 테이블이 된다.

이때, 각 지역 간의 주파수 겹침 내용을 보면 세 주파수 할당 테이블 모두 동일한 비율로 겹침이 일어나고 있고, 랜덤 알고리즘을 이용하여 주파수 테이블을 생성할 경우에 발생할 수 있는 문제점인 주파수가 과도하게 겹치게 되는 현상을 방지할 수 있다는 것을 알 수 있다.

[표 2] B[X,1,X] 배열에서 취한 자원 할당 테이블

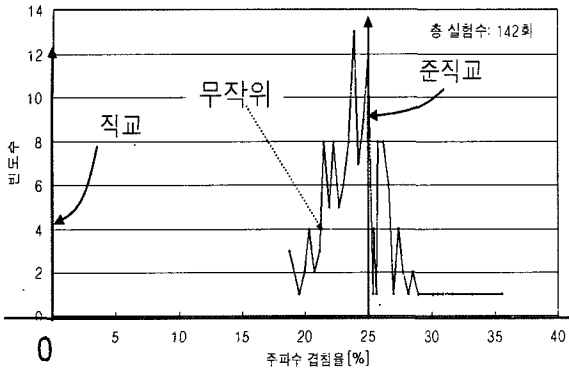
1차원 배열	3차원 배열	1차원 배열	3차원 배열	1차원 배열	3차원 배열
A[1]	B[1,1,1]	A[10]	B[2,1,1]	A[19]	B[3,1,1]
A[2]	B[1,1,2]	A[11]	B[2,1,2]	A[20]	B[3,1,2]
A[3]	B[1,1,3]	A[12]	B[2,1,3]	A[21]	B[3,1,3]
A[4]	B[1,2,1]	A[13]	B[2,2,1]	A[22]	B[3,2,1]
A[5]	B[1,2,2]	A[14]	B[2,2,2]	A[23]	B[3,2,2]
A[6]	B[1,2,3]	A[15]	B[2,2,3]	A[24]	B[3,2,3]
A[7]	B[1,3,1]	A[16]	B[2,3,1]	A[25]	B[3,3,1]
A[8]	B[1,3,2]	A[17]	B[2,3,2]	A[26]	B[3,3,2]
A[9]	B[1,3,3]	A[18]	B[2,3,3]	A[27]	B[3,3,3]

[표 3] B[X,X,1] 배열에서 취한 자원 할당 테이블

1차원 배열	3차원 배열	1차원 배열	3차원 배열	1차원 배열	3차원 배열
A[1]	B[1,1,1]	A[10]	B[2,1,1]	A[19]	B[3,1,1]
A[2]	B[1,1,2]	A[11]	B[2,1,2]	A[20]	B[3,1,2]
A[3]	B[1,1,3]	A[12]	B[2,1,3]	A[21]	B[3,1,3]
A[4]	B[1,2,1]	A[13]	B[2,2,1]	A[22]	B[3,2,1]
A[5]	B[1,2,2]	A[14]	B[2,2,2]	A[23]	B[3,2,2]
A[6]	B[1,2,3]	A[15]	B[2,2,3]	A[24]	B[3,2,3]
A[7]	B[1,3,1]	A[16]	B[2,3,1]	A[25]	B[3,3,1]
A[8]	B[1,3,2]	A[17]	B[2,3,2]	A[26]	B[3,3,2]
A[9]	B[1,3,3]	A[18]	B[2,3,3]	A[27]	B[3,3,3]

#### 4. 자원 할당 방식의 성능 비교 및 분석

기존 방식에 의한 랜덤 알고리즘을 이용한 주파수 테이블 발생 방식과 본 논문에서 제안한 자원 할당 방식을 다음의 조건으로 주파수 자원의 겹침율을 시험하여 성능을 비교하였다.



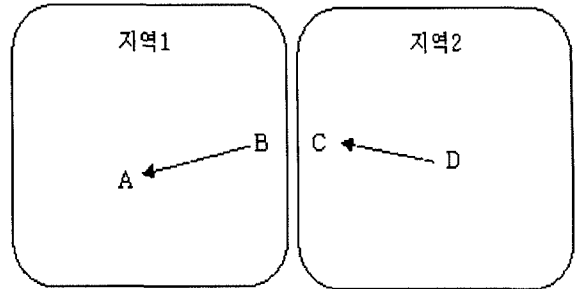
[그림 8] 주파수 자원의 겹침을 시험 결과

가용주파수 : 1053개  
 주파수 개수 : 256개  
 운용 지역별 테이블 수 : 4개  
 운용지역 : 4개 지역  
 겹침을 실험 횟수 : 142회

실험결과 그림 8과 같이 기존 방식에 의한 랜덤 발생 방식의 주파수 자원 겹침율은 24% 정도로 나타났으며, 낮은 경우 18% 정도로 나타나는 경우도 있었으나 높은 경우 36%로 과도하게 겹침이 발생하였다. 그리고 랜덤 발생 방식은 주파수 겹침이 전혀 없는 직교 관계만으로 이루어진 주파수 할당 테이블을 만들 수 없었다. 따라서 같은 지역 안에서 운용되는 무선 장비에서도 주파수의 겹침이 일어날 수밖에 없고, 이를 방지하기 위해서는 수작업으로 주파수 겹침을 분석하고 내용을 수정해야 했다.

그러나 본 논문에서 제안한 등방 다차원 배열을 이용한 알고리즘을 사용하는 경우는 직교 테이블과 준직교 테이블을 동시에 생성하도록 하였다. 같은 지역 내의 무선 장비 운용 시 주파수 간섭을 방지하여 우수한 품질의 통신을 가능하게 하기 위해서는 직교 관계의 주파수 테이블을 이용할 경우는 주파수 테이블 간 주파수 자원의 겹침율을 0%로 만드는 것이 가능했다.

또한 다른 지역 간에 운용되는 무선 장비간의 주파수 간섭을 허용 범위 내로 일정하게 유지시킴으로써 항상 일정한 품질의 통신이 되도록 하는 것이 필요하다. 이 경우 부분적인 주파수 겹침이 허용되는 준직



[그림 9] 주파수 중첩 운용도

교 관계의 테이블 사이의 주파수 자원의 겹침율을 25%로 일정하게 유지하도록 함으로써, 랜덤 발생으로 주파수 테이블을 생성할 경우 생길 수 있는 과도한 주파수 겹침을 미연에 방지할 수 있었다.

다음은 주파수 자원의 겹침율과 통신 성능을 간략히 유추해본다. 그림 9의 서로 다른 '지역1'과 '지역2'에 주파수가 25% 중첩되게 할당하였다고 하자. 주파수 간섭을 가장 많이 받는 경우는 무전기가 두 지역에 각각 위치하되 경계 지역에 가까이 위치한 두 무전기가 동시에 운용되는 경우로서 무전기 B, C가 각각 두 지역의 경계에 가까이 있는 경우, 지역1에 속한 무전기 B는 송신을 하여 무전기 A와 통신을 하고 지역2에 속한 무전기 C는 무전기 D가 송신한 신호를 수신하는 경우이다. 무전기 C가 수신할 때 무전기 B 보다는 무전기 D의 거리가 멀어 주파수가 충돌할 경우 무전기 C는 무전기 D의 신호를 수신할 수 없다. 충돌이 발생하기 위해서는 두 무전기가 중첩된 주파수에 머물러 있어야 하므로 충돌율은 0.25의 제곱인 0.0625가 된다. 그리고 비트 오류율은 충돌율의 절반인 0.03125가 된다. FM 무전기는 CVDS (Continuously Variable Delta Modulation) 음성 부호기를 사용하여 BER 0.1 정도의 열악한 통신품질에서 저품질로 음성통화가 가능하다. 비트오류 0.03 정도이면 의사소통은 충분히 할 수 있는 정도의 음성통화가 가능할 것으로 기대된다. 또한 데이터 통신의 경우 FM무전기는 최대 9.6kbps의 전송 속도가 지원된다. 주파수 충돌이나 심한 잡음에 노출되는 경우 데이터 비트오류 성능이 나빠질 수 있는데, 이는 전송속도를 낮게 조절함으로써 극복가능하다. 전송속도를 2.4kbps로 낮추면 FM무전기는 데이터를

9.6kbps에 비해 4회 반복 송신하는 것이 가능하고, Majority Voting 방식으로 수신하면서 손상된 데이터를 버리고 양호한 데이터를 취하여 데이터를 복원해 낼 것을 기대할 수 있다. 또한 상위 프로토콜에서 ARQ(Acknowledge Request)를 사용하여 데이터를 복원하지 못할 경우에 재전송 요청을 통해 데이터를 수신할 수도 있다.

무전기의 송신과 수신의 비율은 대략 1:9 이다. 특정 시간에 무전기 B, 무전기 D가 각각 송신할 확률은 0.1이며, 무전기 B와 무전기 D가 특정 시간에 동시에 송신할 확률은 0.01로 1%의 미미한 확률이다. 1%는 하루 24시간중 약 15분 정도의 시간이다. FM 무전기가 주파수 충돌에 의해 간섭을 받기 위해서는 두 무전기가 동시에 송신하여야 하며, 그 경우에 대해 위에서 예측한 저품질의 음성통화, 저품질의 데이터 통신을 하게 된다. 따라서 사이의 주파수 자원의 겹침율을 25%로 일정하게 유지하도록 하여도 무전기 통신 성능은 크게 나빠지지 않음을 확인할 수 있다.

이상의 추정에서 본 논문에서 제시한 등방 다차원 배열을 이용한 FH 무전기용 주파수 자원 할당 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 효율적인 주파수 테이블 생성 및 관리하는 것을 가능하게 해주어 우수하다는 것이 입증되었다고 볼 수 있다.

## 5. 결론

주파수 도약방식의 FM무전기용 주파수 자원 할당 방법으로 등방 다차원 배열 이용한 주파수 할당 테이블

을 생성 알고리즘을 소개하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 한정된 주파수 자원을 이용하여 무선 장비에 주파수를 할당해야 하는 경우 근거리에서 운용되는 무선장비 사이에는 주파수 자원이 중첩되지 않도록 할당하고, 원거리에 떨어져서 운용되는 무선장비 사이에는 주파수 자원이 균등하게 중첩되도록 하여 무선 간섭을 제어하여 통신 품질을 우수하게 유지할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안된 주파수 자원 할당 알고리즘은 2004년부터 FM 무전기의 도약 정보 발생 S/W에 적용되어 활용되고 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한성우 외 2인, “차기 FM 무전기용 도약정보발생기 소프트웨어 설계 기술”, CESD-517-960379, 국방과학연구소, 1996. 4.
- [2] 한주희 외 3인, “PRC-999K용 도약정보발생기 설계”, IEDC-509-040652, 국방과학연구소, 2004. 7.
- [3] 이성민 외 3인, 국내특허(등록번호 : 2006-10-0603018호), 등방 다차원 배열을 이용한 주파수 할당 테이블 생성 방법, 국방과학연구소, 2006. 7.
- [4] 이성민 외 2인, FM무전기용 도약정보 사용자 인터페이스 S/W, 2004-01-15-2152, 국방과학연구소, 2004. 5. 5.
- [5] 이성민 외 3인, PRC-999K용 도약정보 송신 프로그램, 2004-01-159-003860, 국방과학연구소, 2004. 7. 30.