

# 이동 통신에서 채널 할당 문제를 위한 Hopfield 신경회로망 모델

正會員 金 景 植\* 正會員 金 準 哲\* 正會員 李 俊 煥\*

## A Hopfield Neural Network Model for a Channel Assignment Problem in Mobile Communication

Kyung Sik Kim\*, Joon Cheol Kim\*, Joon Whoan Lee\* *Regular Members*

### 要 約

이동통신에 있어서 채널 할당 문제는 조합적 최적화 문제로 문제의 범위가 증가함에 따라 계산량이 지수함수적으로 증가하는 NP-완성형 문제이다. 본 논문에서는 Hopfield 모델을 이용하여 동일 채널 간섭, 인접 기지국 간섭, 동일 기지국 간섭등의 제약조건을 만족하며 각 기지국의 채널 요구량에 따라 채널을 할당하는 방법을 고려하였다. 본 논문에서 고려한 Hopfield 모델은 현재의 하드웨어 구현기술의 제약 요건 등을 고려하여 가장 기본적인 모델을 가정하였으며, 고정 채널할당 방법에서 균일, 불균일 트래픽 요구량을 고려하였고, 동적 채널 할당 방법의 적용 가능성을 타진해 보았다.

### ABSTRACT

The channel assignment problem in a mobile communication system is a NP-complete combinatorial optimization problem, in which the calculation time increases exponentially as the range of a problem is extended. This paper adapts a conventional Hopfield neural network model to the channel assignment problem to relieve the calculation time by means of the parallelism supplied from the neural network. In the simulation study, we checked the feasibility of such a parallel method for the fixed channel assignment with uniform, and nonuniform channel requirements, and for the dynamic channel assignment with considering continuously varying channel requirements.

### I. 서 론

이동 통신에서 각 기지국에 채널을 할당하는 문제는 일반적으로 제약조건이 있는 조합적 최적화 문제

로<sup>(7)</sup>, 제약조건은 이동국의 채널할당에 따르는 간섭들이고, 고려하고 있는 기지국에 할당될 수 있는 채널수의 합이 최대가 되도록 하는 채널할당 패턴을 찾아내는 것이 목적이다. 이러한 문제의 형태는 NP-완성형 문제로 문제의 범위가 증가함에 따라 지수함수적으로 계산량이 증가하는 탐색(search) 문제이다<sup>(4)</sup><sup>(7)</sup>. 따라서 대부분의 연구가 계산량의 부담을 덜기

\*全北大學校 電子工學科  
Dept. of Electronics Engineering Chonbuk Nat'l Univ.  
論文番號 : 93-36

위해 임기응변적(heuristic) 방법을 이용하여 준최적해를 찾는 방법을 언급하고 있으며<sup>(8)</sup>, 최근에 Hopfield 신경회로망(Neural Network)을 이용하는 방법 등 병렬 처리를 통하여 계산속도를 개선하려는 사례가 발표되고 있다<sup>(4)</sup>.

1985년 Hopfield와 Tank는 TSP(traveling salesman problem)와 같이 조합적 최적화 문제를 의사 신경회로망을 이용하여 병렬 처리하기 위한 새로운 방법을 제안하였으며<sup>(5)</sup>, 이러한 문제 해결 방법은 그래프 isomorphism문제, 소팅문제등 일반적으로 계산량이 문제의 범위가 증가함에 따라 지수함수적으로 증가하는 여러 최적화문제에 적용될 수 있음이 입증되었다<sup>(1)(11)(12)(13)</sup>. 일반적으로 신경회로망 모델은 간단한 연산기능을 갖는 많은 프로세싱 요소들이 서로 밀(dense)하게 결합되어 병렬적으로 연산을 수행함으로써 계산속도를 개선할 수 있는데, 기본 Hopfield 신경회로망 모델은 연산 요소가 간단한 적분기와 같은 형태로 구성할 수 있기 때문에 하드웨어 구현이 간단한 장점이 있다. 그러나 기본 Hopfield 신경회로망 모델은 Lyapunov 안정성을 기본으로 하기 때문에 국부 최적점(local optimum)만을 보장하는 단점이 있으며<sup>(1)(2)(3)</sup>, 이러한 문제를 해결하는 방법들은 에너지 함수의 각 항들의 가중치를 국부 최적점을 극복하도록 선택하는 방법과, 시간에 따라 활성화 함수(activation function)의 기울기를 변화하는 방법 등<sup>(4)</sup> 여러가지 방법<sup>(10)</sup>들이 제안되었다. 그러나, 전자의 방법은 TSP 문제등과 같이 각 연산요소에 작용하는 제약조건이 균등(uniform)한 경우에는 연결행렬(connection matrix)의 고유벡터 해석을 기초로 한 가중치 결정방법<sup>(2)(3)</sup>등이 보고된 바 있으나 일반화된 최적화 문제에 적용하기는 어렵고, 후자의 방법들은 하드웨어로 구현하기가 어렵다.

본 논문에서는 이동 통신에 있어서 채널 할당 문제에 기본 Hopfield 신경회로망을 적용하였으며 그 가능성을 실험을 통하여 입증하였다. 본 논문에서의 실험과 기존의 발표된 사례<sup>(4)</sup>와의 차이점은 채널 상호간의 간섭에 의한 제약조건을 보다 다양화하였고, 활성화 함수를 구간별 선형 함수(piece wise linear)로 채택하였으며, 하드웨어 설계등의 여건을 고려하여, 신경회로망을 최적점에 수렴시키기 위해 알고리즘 수행중 활성화 함수의 매개변수를 변경하는 등의 임기응변적 방법을 도입하지 않았다. 또한 고정채널 할당뿐 아니라 트래픽 양의 시간에 따른 변화와 같은 동적 채널할당 방식등에 응용 가능성도 타진해 보았다.

본 논문의 II절에서는 Hopfield 신경회로망 모델을 이용한 조합적 최적화 문제와 채널 할당 방법 기술하며, III절에서는 수행된 실험 결과와 검토를, 끝으로 IV절에서는 결론을 맺었다.

## II. Hopfield모델 및 할당

### 2.1 Hopfield모델

Hopfield 모델을 채널 할당과 같은 조합적 최적화 문제에 적용하는 방법은 제약조건(constraint)들과 최적화 대상을 이차(quadratic) 함수의 형태로 최적화 평가지수(optimal criteria)를 표현하고, Hopfield 에너지 함수와의 유사성을 이용하여 신경망의 연결행렬과 바이어스 입력 값들을 구하고, 이를 이용하여 망을 구성한 후 동기 또는 비동기로 각 연산 요소에서 연산함으로써 최적화 문제의 답을 얻을 수 있다. 이때, 제약조건중 반드시 만족해야 하는 엄격한 제약조건(hard constraint)은 전체 에너지 값에 반영되는 가중치를 상대적으로 크게하고, 최적화 대상등에 해당되는 덜 중요한 제약조건(soft constraint)등의 가중치는 상대적으로 작게하는 방법으로 엄격한 제약조건을 우선적으로 만족시키는 방법을 이용한다<sup>(1)</sup>.

일반적인 Hopfield 모델의 에너지 함수는

$$E = -1/2 \sum_i \sum_j T_{ij} v_i v_j - \sum_i I_i v_i \quad (1)$$

과 같이 정의되며, 여기서  $v_i$ 는  $i$ 번째 연산요소의 출력 값으로 0또는 1의 값을 갖고,  $T_{ij}$ 는  $i$ 번째 연산요소와  $j$ 번째 연산요소의 연결행렬의 값이며,  $I_i$ 는 바이어스 입력을 의미하며, 연결행렬  $T$ 는 대칭행렬이다. 또한 Hopfield 신경회로망의 각 연산 요소에서 수행되는 연산은

$$v_i = g_i(u_i) = (1 + \tanh(\lambda \cdot u_i)) / 2 \quad (2)$$

$$du_i(t) / dt = \sum_j T_{ij} v_j - u_i(t) / \tau + I_i \quad (3)$$

과 같으며, 여기서  $\lambda$ 는 상수로서 logistic 활성화 함수  $g_i(\cdot)$ 의 기울기를 조정하기 위한 매개변수이다. 또한  $u_i$ 는 연산요소의 전위(potential)로서 (3)의 미분방정식으로 부터 구해지며  $\tau$ 는 상수이다. 식 (2)의 logistic 함수는 근사적으로 구간별 선형함수로

$$g(u_i) = \begin{cases} 0, & \text{if } -0.5 \geq u_i \\ u_i + 0.5, & \text{if } -0.5 < u_i < 0.5 \\ 1, & \text{if } 0.5 \leq u_i \end{cases} \quad (4)$$

와 같이 근사화되며, 이러한 구간별 선형함수의 채택은 모의실험에 있어서 (2)식의 활성화 함수보다 더 양질의 해에 빠르게 도달할 수 있다고 보고되고 있다<sup>(2)</sup>. 이러한 이유에서 본 논문에서는 (4)식과 같은 활성화 함수를 채택하여 모의실험을 수행하였다. 식 (2), (3)과 식 (4)를 이용하여, Hopfield 모델을 조합적 최적화 문제에 적용하는 전형적인 방법을 정리하면 다음과 같다<sup>(1)(4)</sup>.

- 단계 1: 0 또는 1의 값을 갖고 문제의 가능한 해답을 표현하는 변수들의 집합을 정의하고, 각 변수에 1개의 연산요소를 할당한다.
- 단계 2: 문제의 제약조건과 최적화 대상을 2차 최적화 평가지수로 표현한다.
- 단계 3: Hopfield 모델의 에너지 함수 식 (1)의 형태로 최적화 평가지수를 변형하여, 연결행렬 T와 바이어스 입력을 구한다.
- 단계 4: 각 연산요소 출력이 임의의 초기조건을 할당하고 식 (3)과 식 (2) 또는 (4)를 이용하여 동기 또는 비동기적으로 연산을 수행한다.
- 단계 5: 최적화 평가지수 값의 변화가 없을때 각 연산요소의 출력 값을 안정하다고 가정하고, 연산요소의 최종 출력 값, 0 또는 1에 따라 문제의 답을 해석한다.

## 2.2 채널 할당 문제

이동 통신에 있어서 채널 할당 문제는 언제 해결하는가에 따라 고정 채널할당(Fixed Channel Assignment)방식, 동적 채널 할당(Dynamic Channel Assignment)방식, 혼합 방식(Hybrid Channel Assignment)등이 있다<sup>(6)(7)(8)(9)</sup>.

만약 주파수 할당 문제를 각 기지국에서 필요로 하는 채널 수를 예측하고 모형화 하여 off-line으로 해결하여 각 기지국에 최적 또는 준최적의 주파수를 배타적으로 할당하고, 이동 가입자의 호 요구(call request)에 따라 서비스한다면 이를 고정 채널 할당 방법이라 한다. 반면에 일군의 채널들을 각 기지국에 미리 할당하지 않고, 어떤 기지국내의 가입자든지 호 요구가 있으면 간섭을 일으키지 않는 조건에서 현재 기지국들에서 사용중인 채널을 모두 고려하여 최적

또는 준최적의 할당 방법을 on-line으로 해결하는 방법이 있다. 이 후자의 on-line 해결 방법을 동적 할당 방법이라 한다.

고정 채널 할당 방법은 시스템을 트래픽 환경등의 변화에 따라 변경하지 않는다면 한번 해를 구하여 계속해서 사용할 수 있기 때문에 on-line으로 처리하는데 따르는 계산 시간을 절약할 수 있으나, 시간에 따라 변화하는 트래픽 환경등에 적응적이지 못한 단점이 있다. 반면, 동적 채널 할당 방법은 호가 요구될때마다 최적 또는 준최적의 해를 구하여 채널을 배정해야 하기 때문에 on-line으로 처리되는 계산량이 많아진다. 서론에서 언급한 바와 같이 최적의 해를 구하는 문제가 NP-완성형이고, 최적의 해가 구해진다 하여도 현재 가입자가 사용하고 있는 채널을 경우에 따라서는 다른 채널로 바꾸어 주어야 하기 때문에 overhead가 증가한다. 동적 채널 할당 방식의 또 다른 단점으로는 기지국의 송수신기의 제약에 있다. 동적 채널 할당 방법에서는 모든 채널이 모든 기지국에 유용하므로 최악의 경우 한 기지국이 모든 기지국이 모든 채널을 수용해야 하기에, 송수신기의 갯수도 채널의 수와 같아야 하고 기지국 구성의 복잡성이 증가하게 된다. 기타의 채널 할당 방법으로는 혼합 채널 할당 방식이 있는데, 이 경우에는 각 기지국에 할당될 일군의 채널을 고정 채널 할당분과 동적 채널 할당분으로 나누고 고정 채널 할당분은 각 기지국에서 배타적으로 사용하고, 동적 채널 할당분은 트래픽 변화에 따라 적응적으로 할당해 나가는 방식이다.

본 논문에서는 균일 트래픽 분포와 불균일 트래픽 분포의 고정채널 할당방식 문제를 Hopfield모형을 이용하여 해결할 수 있는가의 여부와, 일단 채널을 할당한후 트래픽의 변화에 따라 신경회로망에 어떠한 변화가 있는가를 관찰함으로써, 동적 채널 할당 방법의 가능성도 타진해 보았다.

## III. Hopfield모형을 이용한 채널 할당

### 3.1 실험에 필요한 가정

Hopfield모형을 이용한 채널 할당 실험을 위해 사용한 연산요소는 2차원 배열로 그림 1과 같이 구성하였다. 여기서 고려한 기지국 수는 21개로 그림 2와 같은 구조를 갖는다고 가정하였다.

또한 사용가능한 채널수는 96개로 그림 3과 같이 주파수의 증가에 따라 채널 번호가 선형적으로 interleaving된다고 가정하였다.

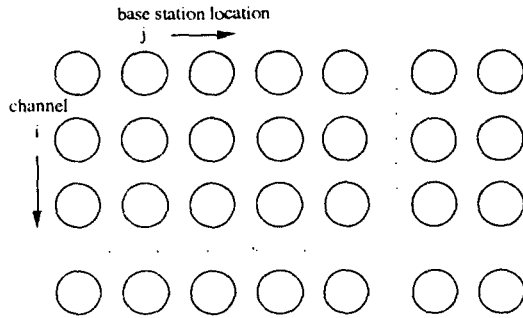


그림 1. 문제 해결을 위한 연산요소의 배치  
Fig. 1. Unit arrangement for solve the problem

본 논문의 실험에서는 동일 채널 간섭, 인접 기지국 간섭, 동일 기지국 간섭등 세가지 형태의 간섭조건들을 고려하였다.<sup>(1)</sup>에서는 동일 채널 간섭과 인접 채널 간섭만을 고려하였음)

동일 채널 간섭 조건은

$$|f_i - f_j| \geq 1 \quad \text{if} \quad d(i, j) \leq 3 \quad (5)$$

으로 표현되며, 여기서  $f_i$ 와  $f_j$ 는  $i$ 번째 기지국과  $j$ 번째 기지국의 채널 번호를 나타내며,  $d(i, j)$ 는  $i$ 번째 기지

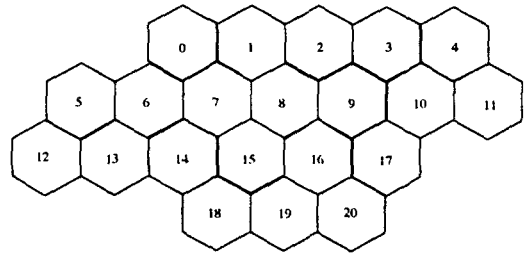


그림 2. 모의실험에 사용한 기지국배치  
Fig. 2. Base station arrangement using simulation

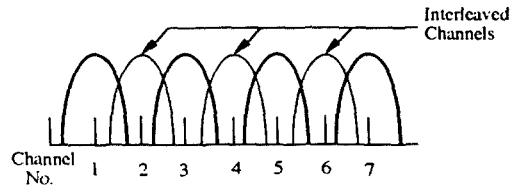


그림 3. 주파수에 따른 채널번호 할당  
Fig. 3. Channel number assignment by frequency

국과  $j$ 번째 기지국의 거리로서 한 기지국의 중심과 인접한 기지국 중심간의 거리를 단위 길이라 한다면

표 1. 인접기지국 및 1-complete 기지국  
Table 1. Neighbor and 1-complete base station

기지국	인접기지국	1-complete 기지국
0	1, 6, 7	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19
1	0, 2, 7, 8	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
2	1, 3, 8, 9	0, 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
3	2, 4, 9, 10	0, 1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 19, 20
4	3, 10, 11	1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 16, 17, 20
5	6, 12, 13	0, 1, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 18
6	0, 5, 7, 13, 14	0, 1, 2, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19
7	0, 1, 6, 8, 14, 15	0, 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
8	1, 2, 7, 9, 15, 16	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
9	2, 3, 8, 10, 16, 17	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
10	3, 4, 9, 11, 17	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 19, 20
11	4, 10	2, 3, 4, 8, 9, 10, 16, 17, 20
12	5, 13	0, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 18
13	5, 6, 12, 14	0, 1, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 16, 18, 19
14	6, 7, 13, 15, 18	0, 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20
15	7, 8, 14, 16, 18, 19	0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20
16	8, 9, 15, 17, 19, 20	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20
17	9, 10, 16, 20	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 20
18	14, 15, 19	0, 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20
19	15, 16, 18, 20	0, 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20
20	16, 17, 19	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19

한 기지국의 중심에서 다른 기지국의 중심까지의 인접한 기지국들의 중심을 몇번 거쳐서 도착하는 가를 나타낸다. 예를들면 그림 2에서 기지국 2와 기지국 20사이의 거리는 기지국 2, 9, 17, 20의 형태로 인접되어 있으므로 거리는 3이되고 같은 채널을 공유할 수 없다.

또한 인접 채널 간섭은

$$|f_i - f_j| \geq 2 \quad \text{if} \quad d(i, j) \leq 1 \quad (6)$$

로 표현되며 인접한 기지국내에서는 채널 번호들이 2 이상은 떨어져 있어야 한다는 의미이다.

끝으로 동일 기지국 간섭을 고려하였는데

$$|f_i - f_j| \geq 5 \quad \text{if} \quad d(i, j) \leq 0 \quad (7)$$

로 표현할 수 있으며 동일 기지국내에서 할당되는 채널은 채널번호가 5이상 떨어져 있어야 함을 의미한다. 표 1에는 그림 2의 기지국 배치에서 각 기지국의 인접 기지국과 1-complete 기지국을 나열 하였다.

### 3.2 최적화 평가함수

본 논문의 실험에서 이용한 에너지 함수는

$$E = A/2 \sum_x \sum_i \sum_{neighbor(i,j)=1} v_{xi}(v_{x-1,i} + v_{x+1,j}) + B/2 \sum_x \sum_i \sum_{complete(i,j)=1} v_{xi} v_{xj} + C/2 \sum_x \sum_i \sum_{channel(x,y)=1} v_{xi} v_{yi} + D/2 \sum_i (\sum_x v_{xi} - traf(i))^2 - E \sum_x \sum_i v_{xi}^2 \quad (8)$$

과 같고, 여기서 우변의 첫째항은 인접 기지국 간섭 조건을 만족하면 0이 되고 최소가 된다. neighbor(i, j)는 기지국 i와 j가 이웃인 경우 1이고, 그렇지 않으면 0인 지시함수(indicator function)이다. 또한 식 (8)의 두번째 항은 동일 채널 간섭조건을 표현하며, 간섭조건을 만족하면 그 값이 0으로 최소가 된다. 식 (8)에서 complete(i, j) 역시 지시함수로서 기지국 i와 j가 동일한 1-complete 집합내에 있으면 1 그렇지 않으면 0인 값을 갖는다. 세번째 항은 동일 기지국 간섭조건을 고려한 표현으로, 기지국 i에서 채널 x가 할당되었다면 x로 부터 채널번호가 5이내인 채널들이 할당되지 않았을 경우 0이 되며 이때 최소의 값을 갖

고, channel(x, y)는 채널 x와 y의 거리가 5이하이면 1이고 5이상이면 0인 지시함수이다. 끝으로 네번째항은 트래픽 양을 조절하기 위한 부분이고 마지막 항은 자체귀환(self-feedback)을 위한 항이다.

일반적으로 그림 1과 같은 이차원 연산요소의 배열에 있어서는 Hopfield모델의 에너지함수는

$$E = -1/2 \sum_x \sum_y \sum_i \sum_j T_{xi,yj} v_{xi} v_{yj} - \sum_x \sum_i I_{xi} v_{xi} \quad (9)$$

와 같이 표현된다. 식 (8)을 식 (9)와 같은 형태로 변형하여, 연결행렬과 바이어스 외부입력을 구하면,

$$T_{xi,yj} = -A(\delta_{x,y+1} + \delta_{x,y-1})neighbor(i, j) - B\delta_{xy}complete(i, j) - C\delta_i\delta_j\delta_{channel(x,y)} - D\delta_{ij} + E\delta_{xy}\delta_{ij} \quad (10)$$

와

$$I_{xi} = D\text{traf}(i) \quad (11)$$

이 된다. 여기서

$$\delta_{xy} = \begin{cases} 1, & \text{if } x=y \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

이다. 식 (10)에서 첫째항은 기지국 i와 j가 인접 기지국 이라면 인접 채널 연산요소의 출력을 억제(inhibit)시키는 연결을 표시하며, 두번째항은 기지국 i와 j가 동일한 1-complete 집합내에 속하면 동일한 채널을 표현하는 연산요소의 출력을 억제시키는 연결을 표현한다. 끝으로 식 (10)의 세번째 항은 동일한 기지국에서 채널번호 5이내의 연산요소의 출력을 억제시키는 연결을 표현한다.

모의실험을 위해 식 (3)의 미분방정식을 수치해법적으로 풀기위해 Euler 근사방법을 이용하면

$$\Delta u_i = (\sum_j T_{ij} v_j - u_i / \tau + I_i) \cdot \Delta t \quad (13)$$

$$u_i(t + \Delta t) = u_i + \Delta u_i \quad (14)$$

와 같고, 식 (13)과 식 (10), (11)로 부터

$$\Delta u_{xi} = [-A \sum_{neighbor(i,j)=1} (v_{x+1,j} + v_{x-1,j}) - B \sum_{complete(i,j)=1} v_{xj}$$

$$-C \sum_{channel(x,y)=1} v_{yi} - D(\sum_y v_{yi} - traf(i)) + E v_{xi} \cdot \Delta t \quad (15)$$

가 된다.

본 실험에서는 식 (4)의 구간별 선형함수를 활성화 함수로 채택하였고, 연산이 모든 연산 요소에서 동시에 수행되는 동기식 연산방법을 사용하였다.

### 3.3 실험 및 검토

본 실험에서는 고정채널 할당 문제로 균일 불균일 채널 요구량을 고려 하였고, 시간에 따라 연속적으로 변화하는 채널 요구량을 가정하여 동적 채널할당 문제를 고려하였다. 실험은 SDT-250위크 스테이션을 이용하였으며, 모든 실험에 있어서, 식 (15)의 각 계수는  $A=2.6, B=2.8, C=3.2, D=3.4, E=3.5, \Delta t=0.05$ 로 하였으며, 식(8)의 에너지의 변화가 100번 반복하여도 없을 경우, 각 연산 요소의 출력값이 0인 경우에는 해당기지국의 채널이 할당되지 않은 것으로, 1인 경우에는 할당된 것으로 해석하였다.

#### (실험 1) 균일 채널 할당

본 실험에서는 각기지국의 채널 요구량이 균일하다고 가정하여, 식 (8)과 (15)의 traf(i)를 모든 i에 대해서 상수로 고정하였다. 표 2에는 traf(i)를 6으로 놓은 경우로 약 300회 연산후 에너지의 변화가 없었다. 표 2의 결과에서 알 수 있듯이 인접기지국, 동일기지국, 동일 채널 간섭현상 모두를 일으키지 않으며 채널 요구량만큼 잘 할당함을 알 수 있다. 그러나, 모든 기지국의 채널 요구량을 7로 높였을 경우, 모든 간섭조건을 만족하나 2개의 기지국에서 6개의 채널만을 할당되는 경우가 관찰되었고, 채널요구량을 8로 증가 시킬 경우 간섭조건을 위반하고, 할당된 채널도 요구량을 만족시키지 못하는 결과를 초래했다. 이러한 결과는 두가지 문제로 해석할 수 있는데, 첫째는 실험에서 채택한 전형적인 Hopfield 모델이 주어진 에너지함수의 국부 최적점으로 수렴했기 때문이고, 둘째는 고려한 셀 시스템의 경계문제 때문에 기인했다고 판단된다. 여기서 경계 문제란 그림 2와 표 1에서 알 수 있드시 모든 기지국이 동일한 양의 인접기지국과 1-complete 기지국을 갖지 않기 때문에, 그림 1에서 각 연산 요소의 출력을 제한하는 연결의 세기가 다르며, 일반적으로 그림 2의 중심 부분의 기지국은 변경의 기지국보다는 적은 양의 채널을 할당할 수밖에 없다.

표 2. 균일 채널 할당 결과

Table 2. Result of uniform traffic

기지국	할당된채널수	할당 채널 번호
0	6	28, 38, 46, 52, 66, 89
1	6	22, 49, 58, 64, 75, 80
2	6	9, 55, 67, 77, 82, 94
3	6	23, 42, 51, 65, 70, 91
4	6	0, 16, 21, 46, 54, 81
5	6	3, 12, 34, 50, 60, 91
6	6	7, 36, 44, 72, 79, 93
7	6	19, 24, 32, 54, 61, 69
8	6	4, 14, 27, 41, 71, 84
9	6	1, 6, 12, 31, 53, 74
10	6	18, 35, 56, 72, 79, 95
11	6	2, 11, 38, 44, 66, 88
12	6	1, 21, 45, 58, 80, 94
13	6	30, 42, 53, 62, 77, 87
14	6	0, 15, 40, 59, 81, 95
15	6	2, 11, 17, 37, 76, 92
16	6	8, 39, 47, 57, 63, 86
17	6	3, 20, 28, 45, 60, 89
18	6	13, 29, 48, 56, 65, 83
19	6	21, 34, 50, 68, 78, 83
20	6	5, 30, 36, 43, 73, 93

#### (실험 2) 불균일 채널 할당

본 실험에서는 각 기지국에 채널 요구량을 기지국의 특성을 고려하여 다르다고 가정하였다. 첫번째 실험에서 채널 요구량을 주는 방법은 실험 1에서 얻어진 균일 트래픽시 가능한 최대값 즉, 6을 평균값으로 보고 그림 2에서의 7, 8, 9, 15, 16번 기지국과 같은 기지국은 고려한 셀 시스템의 중심에 놓여있어 통화량이 많을 것으로 예상하여 평균을 넘는 채널 요구량을 주고, 주변 기지국에 대해서는 평균 또는 평균치에 약간 못미치는 채널 요구량을 주고 실시하였다. 두번째 실험에서는 특정 기지국을 제외한 기지국에 대해서는 평균값보다 작은 모두 동일한 채널 요구량을 주고 특정한 기지국에는 상대적으로 아주 큰 채널 요구량(4배)을 주고 실시하였다. 불균일 채널 할당의 마지막으로 실시한 실험은 5와 9사이의 임의의 값을 각 기지국에 채널 요구량으로 주고 실시하였으며 결과는 표 3에 요약하였다.

표 3에서 알 수 있드시 요구된 채널이 비교적 적은 경우에는 잘 할당함을 알 수 있으며, 셀 시스템 중심에 있는 기지국에서는 많은 채널을 요구하면 증가된 간섭 때문에 요구된 채널을 전부 할당하지 않고, 호 차단(call blocking)이 발생할 수 있음을 확인 하였다.

표 3. 불균일 트래픽 실험 결과

Table 3. Result of nonuniform traffic

기지국	1		2		3	
	요구	할당	요구	할당	요구	할당
0	6	6	3	3	7	7
1	5	5	3	3	5	4
2	6	6	3	3	6	6
3	5	5	3	3	7	7
4	6	6	3	3	9	9
5	6	6	3	3	5	5
6	5	5	3	3	8	8
7	7	7	12	12	6	6
8	8	8	3	3	7	7
9	7	7	3	3	5	5
10	5	5	3	3	5	5
11	5	5	3	3	6	6
12	6	6	3	3	6	6
13	5	5	3	3	6	6
14	5	5	3	3	9	8
15	10	10	12	12	7	6
16	7	7	3	3	8	7
17	6	6	3	3	8	8
18	5	5	3	3	8	8
19	6	6	3	3	8	8
20	5	5	3	3	9	9

(실험 3) 채널 요구량 변화

본 실험에서는 동적 채널 할당 방법에 Hopfield 모델의 적용 가능성을 알아 보았다. 실험에서는 일단 각 기지국은 균일 트래픽으로 6개의 채널을 할당 받고, 이러한 상태에서 Hopfield 신경망이 평형을 이루고 있다고 가정하였다. 이러한 신경망 요소의 초기 조건에서 불규칙적으로 기지국들을 선택하여 채널 요구량이 하나 증가 또는 감소하였다고 가정하여 또 다른 평형상태로 수렴시켰고, 이를 신경망 연산 요소의 초기 조건으로하여 또다시 선택된 기지국들의 채널요구량을 증가 또는 감소 시켜 시뮬레이션을 반복하였다. 이러한 가정은 동적 채널할당시 각 기지국에서 무작위로 발생하는 호 종료 및 호 발생을 신경망이 on-line으로 채널을 회수 또는 할당할 수 있는가를 알아보기 위해서였다. 이러한 방법으로 10회 정도의 반복실험을 실시하였고 표 4는 6번 실행된 결과이다.

본 실험을 통하여 비교적 채널 요구량이 적은 경우에는 이러한 순차적인 호설정과 호종료에 따라 채널을 잘 할당 또는 회수함을 알 수 있었다. 그러나, 채널 요구량이 변하기 전과 후에 나타난 채널할당 결과를 비교해 보면 채널번호들의 변화가 비교적 많았다.

표 4. 불균일 트래픽 실험 결과

Table 4. Result of continuous channel request

기지국	요구량	할당채널수	할당된 채널
0	4	4	29, 69, 74, 84
1	6	6	10, 26, 37, 52, 58, 67
2	6	6	12, 18, 45, 50, 70, 81
3	7	7	4, 15, 21, 36, 42, 56, 85
4	7	7	13, 27, 34, 39, 64, 78, 83
5	6	6	6, 38, 43, 50, 63, 89
6	5	5	25, 31, 36, 59, 72
7	8	8	0, 5, 13, 39, 49, 54, 64, 86
8	4	4	2, 30, 35, 91
9	5	5	33, 47, 60, 65, 77
10	8	8	17, 23, 29, 62, 69, 74, 90, 95
11	5	5	0, 32, 37, 59, 76
12	6	6	2, 21, 30, 73, 87, 92
13	6	6	4, 33, 47, 65, 70, 75
14	5	5	8, 44, 57, 68, 88
15	6	6	20, 32, 46, 51, 76, 83
16	6	6	11, 16, 22, 43, 55, 63
17	5	5	1, 19, 41, 79, 84
18	6	6	17, 23, 42, 66, 71, 85
19	8	8	9, 27, 34, 40, 48, 73, 78, 87
20	7	7	14, 24, 31, 38, 75, 82, 89

이러한 변화는 on-line 동작시 기준에 설정된 호의 경우도 채널을 교환하여야 한다는 결과로, 이동통신 시스템의 overhead를 증가시키는 요인이 될 것이다.

IV. 결 론

이동통신의 채널할당 문제는 NP-완성형 문제로 문제의 범위가 증가하면, 최적점 탐색시간이 지수함수적으로 증가하는 조합적 최적화 문제로 현재에는 임기응변적 방법을 이용하여 준최적 해를 구하는 방법이 이용되고있다. 본 논문에서는 Hopfield신경회로망 모델과 같은 병렬처리 방법을 이러한 채널할당 문제에 현실적으로 적용할 수 있는가를 알아 보았다. 따라서, 본 논문에서 사용한 Hopfield 모델은 현재의 하드웨어 기술을 고려하여, 국부 최적점을 회피하기 위한 시뮬레이티드 어닐링등의 방법을 배제한 기본 모델을 이용하였고, 활성화 함수도 구간 선형함수로 단순화하였다.

본 논문에서 고려한 제약조건으로는 혼신을 방지하기 위한 동일채널 간섭, 동일 기지국 간섭, 인접 기지국 간섭등을 고려하고, 각기지국의 주어진 채널요구량을 만족시키도록 최적화 평가지수를 설정하였다.

21개의 기지국과 96개의 채널을 가정한 모의 실험을 통하여 얻어진 결과는 채널 요구량이 전체 할당할 수 있는 채널수 보다 비교적 적은 경우에는 요구된 채널을 간섭을 배제하여 잘 할당할 수 있다는 사실이다. 반면, 채널 요구량이 전체 할당할 수 있는 채널수에 가까와지면, 요구한 채널을 부분적으로 밖에는 할당하지 못한다는 것이다. 이러한 결과는 균일 채널 요구, 불균일 채널 요구 및 시간에 따라 변화하는 채널 요구량등에서 동일하게 나타났다. 또한 불균일 채널 할당의 경우 채널요구가 공간적으로 인접된 기지국에 집중되면, 상호간의 간섭이 심해져서 요구된 채널을 모두 허용하지 못하는 경우도 관찰되었다.

이러한 실험 결과를 토대로 제한할 수 있는 사항은 현재의 하드웨어 구현 가능한 Hopfield 신경회로망 모형으로는 전체 채널할당량의 희생이 없이 간섭을 배제한 할당은 거의 불가능하며, 만약 채널할당 요구량이 비교적 적은 경우에는 신경회로망이 제공하는 병렬 처리의 장점을 이용할 수 있다는 것이다.

본 논문에서 고려한 간섭 조건들은 TSP 문제의 제약조건 보다 훨씬 까다롭고, 또한 고려한 기지국들로 이루어진 시스템은 경계효과등으로 모든 기지국에 간섭이 동일한 양이 아니기 때문에, TSP 문제의 국부 최적점을 회피하기 위한 연결 행렬의 고유벡터(eigen vector) 해석등을 기초로한 에너지 함수 계수 결정 방법<sup>(2)(3)</sup> 등도 적용이 불가능하였다. 따라서, 기본 Hopfield 모델이 여러 현실적인 최적화 문제에 적용되기 위해서는 이러한 국부 최적점 회피 문제등이 선행되어야 할 것이고, 통계적 연산요소의 가정과 시뮬레이터드 어닐링등의 방법을 이용한 최적점 탐색법등은 하드웨어로 구현할 수 있는 기술이 개발되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. James A. Freeman and David M. Skapura, *Neural networks algorithms, applications, and programming techniques*, pp.141-156, Addison-Wesley Publishing Company
2. Sreeram V. B. Aiyer, Mahesan Niranjan and Frank Fallside, "A Theoretical investigation into the performance of the Hopfield model," *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol.1, No.2, June 1990.
3. Liu Rong and Liu Ze-min, "Determination of the parameters in a modified Hopfield-Tank

- model on solving TSP," in *Proc.IJNN '91*, Vol.2, 1991 pp.2455-2460.
4. Dietmar Kunz, "Channel assignment for cellular radio using neural network," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.40, No.2, Feb. 1991.
5. J. J. Hopfield and D. W. Tank, "Neural computation of 'decisions in optimization problems," *Biol. Cybern.*, Vol.52, pp.141-152, 1985.
6. D. C. Cox and D. O. Reudink, "Dynamic Channel Assignment in High-Capacity Mobile Communications System," *The Bell System Technical Journal*, vol.50, No.6, 1971.
7. Andreas Gamst, "Some Lower Bounds for a Class of Frequency Assignment," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.35, No.1, Feb. 1986.
8. Tomson Joe Kahwa and Nicolaos D. Geoganas, "A New Frequency Assignment Algorithm in High Capacity Mobile Communication System," *IEEE Trnas. Veh. Technol.*, Vol.31, No.3, Aug. 1982.
9. K. N. Savaarajan and R. J. McEliece, "Dynamic Channel Assignment in Cellular Radio," CH 2538 7/88/0000-0781, 1988 *IEEE*.
10. 한문성, 박진규, 신동필, "홉필드/탱크 신경망에서의 조건부 최적화," 제 3회 신경회로망연구회 연차총회 및 학술대회, 1992년 7월.
11. 홍대선, 조형석, "신경회로망을 이용한 조립순서 최적화," 제 3회 신경회로망 연구회 연차총회 및 학술대회, 1992년 7월.
12. 류충상, 이진호, 이상이, 김은수, "JTC와 신경회로망 알고리즘에 근거한 다중 표적 추적 시스템," 제 3회 신경회로망연구회 연차총회 및 학술대회, 1992년 7월.
13. 박승규, 이준재, 도경훈, 하형호, "스테레오 정합을 위한 Cooperative Architecture의 Hopfield 신경회로망 모델링," 제 3회 신경회로망연구회 연차총회 및 학술대회, 1992년 7월.





金景植(Kyung Sik Kim) 정희원  
1965년 7월 7일생  
1992년 2월: 전북대학교 전자공학과(공학사)  
1992년 2월~현재: 전북대학교 대학원  
※관심분야: 신경회로망, 이동통신



金準哲(Joon Cheol Kim) 정희원  
1960년 9월 1일생  
1986년 2월: 전북대학교 전자공학과(공학사)  
1988년 2월: 전북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
1988년 1월~1991년 2월: 금성산전 연구소 연구원 근무  
1993년 3월: 전북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료  
1993년 3월: 서남대학교 전임강사  
※관심분야: 패턴인식, 컴퓨터 비전, 영상처리



李俊煥(Joon Whoan Lee) 정희원  
1957년 7월 26일생  
1980년 2월: 한양대학교 전자공학과(공학사)  
1982년 2월: 한국과학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
1990년 8월: 미국 미주리대학교 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1985년: 전북대학교 전자공학과 전임강사  
1990년: 전북대학교 전자공학과 조교수  
※관심분야: 인공지능, 영상처리 및 인식, 퍼지이론 및 신경회로망