

# FDMA기반 이동통신 시스템에서 효율적인 동적채널할당 방법

강 기 정<sup>†</sup> · 홍 총 선<sup>††</sup> · 이 대 영<sup>†††</sup>

## 요 약

최근 이동통신 네트워크에서 채널의 수요는 폭발적으로 증가하고 있다. 그렇지만 수요에 맞는 충분한 채널을 제공하는 것은 힘든 것이 현실이다. 이러한 수요를 충족시키기 위하여는 채널들을 간섭 현상이 없도록 재사용함으로써 효율적으로 이용할 수 있도록 각 셀의 수요에 맞게 최적적으로 할당하는 것이 요구된다. 본 논문의 목적은 이동통신 서비스 지역에 따라 채널 수요에 대한 변화가 불확실하고, 시간에 따라 변화가 심한 이동통신 네트워크에서 각 셀이 채널을 필요로 할 때 필요한 채널 수 만큼을 동적으로 빠른 시간에 최적 할당하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위하여 휴리스틱 알고리즘(Heuristic Algorithm)을 사용하여 채널간의 간섭 정도를 최소화하는 동적 채널 할당방법을 개발하였다.

## A Method for Efficient Dynamic Channel Assignment in Mobile Communication Systems based FDMA

Ki-Joung Kang<sup>†</sup> · Choong Seon Hong<sup>††</sup> · Dae-Young Lee<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

There is a rapidly growing demand for wireless telecommunication. The restricted number of channels is a significant bottleneck for the capacity of mobile communication systems. Consequently, when assigning the channels to the different base stations, it is desirable to reuse the same channel as much as possible. It is then important to avoid any possible interference between different mobile users, while satisfying the given demand. The objective of this thesis is to develop a hybrid heuristic algorithm to find the channel assignment method for allocating the channels in an efficient way, which does not violate the compatibility constraints. We also show several benchmarking channel assignment problems using proposed channel assignment method for validation in this thesis.

**키워드 :** 동적채널할당(Dynamic Channel Assignment), 셀(Cell), 이동통신(Mobile Communication), FDMA

### 1. 서 론

최근 이동통신 네트워크 시스템에서 채널의 수요는 급격히 증가하고 있으나, 수요의 급격한 증가와는 달리 제공할 수 있는 채널의 수는 한계가 있다. 폭발적으로 증가하는 채널수요를 충분히 만족시키기 위해서는 채널들의 간섭 현상이 없도록 채널의 재 사용율을 높임으로써 효율적으로 사용될 수 있게 최적적으로 할당하는 것이 필요하다. 따라서, 사용자에게 효율적인 채널을 할당하는 문제는 이동통신 네트워크 시스템에 당면한 중요한 과제이다. 사용 가능한 채널의 범위 내에서 채널의 효과적인 사용을 보장하기 위해선 각 셀에 할당될 채널들의 최적설계가 필요하다[7]. 이와 같이 이동통신 네트워크의 설계자들은 최적의 채널할당을 위하여 사전에 정

의된 채널간의 간섭이 일어나지 않는 정도 내에서 가능한 채널 범위를 특정지역의 사용자에게 할당하는 것이 요구된다. 셀 내에서 또는 셀 간의 할당된 각각의 채널들끼리 서로 간섭현상을 일으키는데, 이러한 간섭 현상은 다음의 세 가지로 분류해 볼 수 있다. 즉, co-channel interference(CCI), co-site interference(CSI), adjacent-channel interference(ACI)이다 [6]. CCI는 서로 다른 셀에서 사용자들이 같은 채널을 사용할 경우 발생하는 간섭 문제이다. CSI는 같은 셀 내에서 사용자들이 서로 다른 채널을 사용할 경우의 채널 간의 간섭의 정도를 나타내는 것이다. ACI는 서로 다른 셀 간에 할당되어 있는 서로 다른 채널간의 간섭의 정도를 나타낸다. 위의 세 가지의 간섭 현상이 이동통신 네트워크 시스템 상에서 최적채널 할당 시 고려되어야 한다. 이러한 간섭 현상들은 채널 할당시 적합 행렬을 사용하여 표현 되어지는데, 셀의 수를 행과 열로 가지는 2차원 행렬로 세가지 간섭 현상이 나타나지 않는 최소의 채널 간격을 표현한다[14].

<sup>†</sup> 정 회 원 : KT IT본부 마케팅정보부장/선임연구원

<sup>††</sup> 종 신 회 원 : 경희대학교 전자정보학부 교수

<sup>†††</sup> 정 회 원 : 경희대학교 전자정보학부 교수

논문접수 : 2003년 8월 8일, 심사완료 : 2004년 2월 9일

본 논문의 목적은 FDMA(Frequency Division Multiple Access)시스템에서 각 서비스 지역의 채널 수요가 시간에 따라 변할 때, 채널간의 간섭현상과 블로킹 호(Blocking Call)가 가능하면 발생되지 않게 각 셀의 수요에 대하여 필요한 채널을 할당하는 것이다. 이러한 채널할당을 위해 본 논문에서는 Sivarajan(1989)[13]과 Beckman(1999)[6] 이 제안한 FEA(Frequency Exhaustive Assignment) 평가방법을 적용하고 복잡도가 높은 해의 다양성 및 수렴성을 효율적으로 찾을 수 있는 방법 등을 이용한 휴리스틱 채널할당 방법을 개발하였다.

## 2. 기존 연구에 대한 분석

최근 이동통신에 대한 수요가 급증함에 따라 효율성 있는 채널할당방법 개발을 위해 NP-hard문제인 채널할당 문제를 휴리스틱 알고리즘인 유전자알고리즘[1, 2]과 타부서치(tabu search)[3], 시물레이티드 어닐링(simulated annealing), 개미알고리즘(ant algorithm) 등의 방법으로 채널할당 연구가 많이 이루어지고 있다.

Sivarajan, *et al.*의 논문(1989)[13]에서는 FEA(frequency exhaustive assignment)방법을 제안하였다. FEA방법은 어떠한 수요부터 채널을 할당 할 것인가에 대한 순위 정보를 갖는 호 리스트를 가지고 먼저 할당된 채널들과 간섭이 발생되지 않게 채널들을 할당하는 방법이며, 호 리스트가 해로 표현되며, 이러한 호 리스트를 검색하면서 현재 호 리스트보다 좋은 것으로 계속 수렴해 가는 지역 탐색(Local Search)방법의 하나이다. 이 방법의 단점은 초기해 생성에 따라 전역 최적해를 구할 수 없을 수 있다. 즉, 지역 최적해에 빠질 확률이 크다는 점이다. 장점은 채널간의 간섭은 채널할당 과정에서 이미 고려해주었기 때문에 평가 과정에서 채널들간의 간섭을 고려할 필요가 없고 채널할당 결과를 빠르게 알 수 있다.

Wang과 Rushforth(1996)의 논문[16]에서는 지역 탐색방법의 하나인 이웃탐색기법을 이용하여, 채널할당 하는 방법(CAP3)을 제안하였다. 임의로 랜덤하게 하나의 호 리스트를 만들어 이를 초기해로 사용한다. 이웃 생성방법은 가장 큰 채널을 유발시키는 특정 수요와 랜덤하게 선택된 다른 수요와의 순위를 호 리스트 내에서 바꾸는 방법을 사용한다. 이 논문의 장점은 하나의 호 리스트만을 가지고 세대를 반복하기 때문에 계산양이 많지 않으며, 대규모 문제에 있어서는 특정 탐색영역 안에서 좋은 평가함수 값으로 빠르게 수렴된다. 그러나, 특정 영역에서의 탐색이므로 지역최적해에 빠질 가능성이 있다는 단점이 있다.

Smith의 논문(1998)[14]에서는 유전자알고리즘을 이용하였다. 하나의 염색체를 나타내는데 이차원의 행렬을 사용하였다. 이 논문의 장점은 염색체의 적합도를 표현하는 함수가

각각의 염색체간의 채널의 차이를 계산함으로 적합도의 차이를 찾아내는데 변별력이 우수하고, 염색체의 표현을 각 셀과 채널의 고유번호의 2차원 배열로 표시함으로써 채널할당 상황이 이해가 쉽다. 그러나 2차원 배열의 염색체를 이용하여 각각의 채널의 할당이 0과 1의 이진 벡터로 표현됨으로써 유전자 알고리즘을 진행하는 과정(교배, 돌연변이 등)에서 계산시간과 기억용량이 지수함수 형태로 증가하므로 비효율적이라는 단점이 있다.

Lai와 Coghil(1996)[10]의 논문에서는 염색체의 표현을 각각의 수요에 채널을 할당한 것을 1차원 배열로 표현했다. 즉, 염색체의 길이는 필요한 채널 수요량의 합을 길이로 하고 각 유전자는 그 지역에 할당된 채널 번호를 갖는 염색체로 표현하였다. 교배는 PMX(Partially Matched Crossover) 교배를 사용하였으며, 돌연변이는 랜덤하게 선택된 염색체를 랜덤하게 변환하여 주었다. 이 논문의 장점은 염색체의 유전 인자를 고유 채널번호로 사용하고 있고, 하나의 염색체를 1차원 배열로서 표시함으로써 유전자알고리즘의 진행과정에서 연산시간과 기억용량의 효율성이 좋다는 것이고, 단점은 염색체의 적합도를 평가하는 함수가 단지 염색체 내에서 적합행렬에 위배되는 채널이 몇 개가 발견되었는지를 계산하기 때문에 적합도 값이 높고 낮은 염색체 간의 변별력이 떨어진다는 것이다[10].

Capone과 Trubian(1999), Kim과 Ryu(1996)는 셀룰라시스템의 채널할당 문제를 모델링하고 타부서치 알고리즘 방법을 적용하여 최적해를 찾고자 시도하였다. 그러나 타부서치 알고리즘 방법의 설계 및 파라미터 초기설정과 따라 또는 문제의 난이도에 따라 구한 해의 정확도가 상당히 차이가 심했다.

Beckman과 Killat의 논문(1999)[6]에서는 FEA 방법과 유전자알고리즘이 혼합된 방법을 제안하였다. 이 방법은, 채널의 간섭현상을 고려할 필요 없는 FEA 방법을 사용하여 Blocking Call이 중요 파라미터로 포함된 평가함수를 제안하였으며, 재배치와 교배, 돌연변이를 통하여 염색체군들을 개선시켜 나가는 방법이다. 그러나, 염색체군에서 일정비율 이상 같은 블로킹 호(Blocking Call)의 값들을 갖게 되면, 평가함수의 변별력이 떨어지게 된다. 또한, 유전자알고리즘의 염색체로 사용되는 호 리스트는 총수요만큼의 순위로 표현되기 때문에, 같은 셀 내의 순위의 변화는 모두 같은 채널할당의 결과를 갖게 된다. 이로 인하여 불필요한 계산과 탐색공간을 갖게 되는 비효율성이 있다.

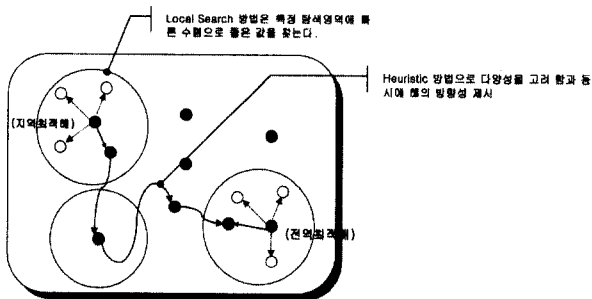
본 절에서는 기존 채널할당 방법들에 대한 핵심내용과 장단점들을 서술하였다. 본 논문에서 제안할 휴리스틱 채널할당방법은 아래와 같은 내용의 개선방향을 가지고 개발하고자 한다. 첫째, 채널할당의 우선순위 결정 후 채널간의 간섭 없이 가상으로 채널할당한 후에 가용채널(Z)로 서비스 할 수 없는 수요의 개수(Blocking call의 개수)로 평가하여 해를 찾

는 방법이다. 이 방법은 간섭이 발생하지 않으므로 불필요한 계산을 감소시키며 해의 우열을 뚜렷히 차별화 할 수 있게 된다. 이 때문에 복잡도가 높은 문제에 더 적합하다. 둘째, 실시간 동적 채널할당을 위해서는 채널할당 문제는 최적해는 아니지만, 근접해를 제공할 수 있는 효율적인 휴리스틱방법을 사용하여야 한다. 특정 해의 탐색영역에서의 빠른 수렴을 위한 지역탐색(Local Search)방법과 다양한 탐색공간을 탐색할 수 있는 휴리스틱 알고리즘(Heuristic Algorithm)을 사용하는 방법은 상당히 큰 해의 탐색영역을 효과적으로 탐색할 수 있게 하는 방법이 된다. 본 논문에서는 수렴성을 강조하기 위한 CAP3 방법과 다양성을 고려하기 위한 FEA를 적용한 타부서치방법의 장점들을 이용한 휴리스틱 채널할당방법을 개발하였다. 이 방법은 3장에서 자세히 설명한다.

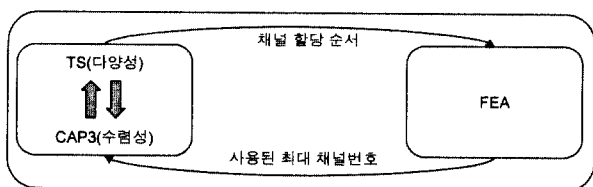
### 3. 제안된 휴리스틱 채널할당 방법

2장 마지막 부분에서 언급했듯이 기존채널 할당방법 들의 장단점들을 고려하여 적용함(Song, et al., 2000)[17]으로써 좀더 강력한 탐색 방법을 본 장에서 제시하고자 한다.

(그림 1)에는 지역탐색방법과 타부서치방법이 어떻게 해의 탐색공간에서 효율적으로 해를 탐색하는지에 대하여 설명하고 있다. 타부서치방법은 특정 해의 영역에서 다른 해의 영역으로의 이동을 할 수 있게 다양성과 해의 방향성을 제시하는 역할을 하며, 지역 탐색(Local Search) 방법은 빠른 탐색으로 특정영역에서의 가장 좋은 해를 탐색하게 되므로, 효율적인 해의 탐색이 이루어질 수 있게 되는 것이다. 이렇게 혼합된 방법에 의해서 효율적인 해의 탐색이 이루어 질 수 있다.

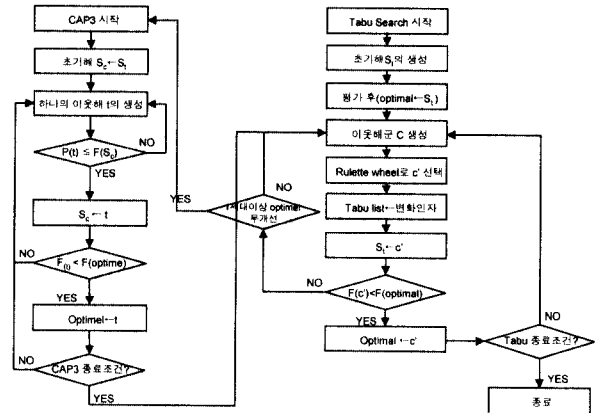


(그림 1) 지역탐색과 전역탐색 방법의 해 탐색



(그림 2) 제안된 휴리스틱 채널할당방법의 핵심 매커니즘

(그림 2)는 지역탐색방법인 CAP3 방법과 타부서치방법의 장점을 이용한 휴리스틱 방법에 대하여 설명하고 있으며, 각 방법에 의해 탐색된 채널할당 순서에 FEA 방법으로 간섭 없이 채널할당 후 평가하는 방법이 본 논문에서 새로이 제안하는 휴리스틱 방법이다.



(그림 3) 제안된 휴리스틱 채널할당방법의 흐름도

(그림 3)에서는 FEA방법을 이용한 타부서치방법과 CAP3 방법이 서로 어떻게 사용되는지 전체적인 수행절차를 나타낸 것이다. CAP3는 지역 최적해에 빠질 수 있다는 단점은 있으나, 특정 해가 포함된 탐색영역에서의 블로킹 호(Blocking call)값을 빠르게 작은 값으로 수렴시킨다는 장점을 가지고 있다. 즉, FEA방법을 이용한 타부서치방법을 이용하여 전체 탐색영역의 해를 찾으면서, 특정 탐색영역에 대한 해를 빠르게 수렴시키는 CAP3 방법의 장점을 사용하여, 수행시간이 짧고 다양성을 고려 한 채널할당 알고리즘을 개발하였다. (그림 3)의 오른쪽 상단을 보면 타부서치가 시작되어 초기 채널할당 순서(초기해)St를 생성하고 FEA를 적용하여 St에 대하여 간섭과 블로킹 호(blocking call)가 발생하지 않도록 하는 최대 채널번호를 식 (1)을 이용하여 찾고 평가한다. St를 현재시점에서 최적해로 기억한다. 현재해 St의 이웃해군 C를 생성하고 이웃해군C에서 룰렛 휠 방법으로 이웃해 c'를 선택한다. c'를 선택할 때 최근에 탐색과정을 기록한 타부리스트를 고려하고 c'가 선택된 후 타부 리스트를 갱신한다. 새로운 c'를 현재해 St로 하고, c'의 평가값 F(c')와 현 최적해의 평가값 F(optimal)과 비교하여 더 좋은 결과가 나오면 c'를 optimal로 갱신한다. 타부서치의 종료조건을 만족하면 종료하고 종료 조건이 맞지 않으면 다른 이웃해를 찾도록 한다. 이런 과정을 반복하되 일정 세대동안 최적해 optimal의 개선이 이루어 지지 않으면 CAP3를 시작하게 되고, 초기해는 타부서치의 현재해 St가 사용된다. CAP3의 메커니즘에 따라 최대채널번호를 발생시키는 인자와 같은 셀에 존재하지 않으면서 임의적으로 선택된 인자와의 순위를 교환함으로써 이웃해 t를 생성한다. 이웃해 t의 평가값 F(t)가 현재의 해

Sc의 평가값 F(Sc)와 같거나 작을 때 ( $F(t) = F(Sc)$ ) t를 현재해 Sc로 갱신하고 현재까지의 최적채널할당 순서 optimal과 평가값을 비교 후 개선이 되었다면, optimal을 갱신한다. CAP3 종료조건에 맞으면 타부서치 모듈로 돌아가고 그렇지 않으면 CAP3과정을 반복한다.

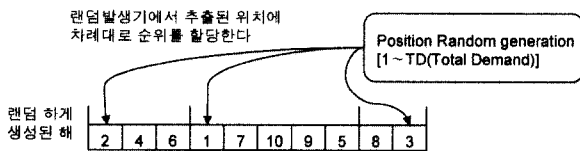
3.1절에서는 FEA 방법을 이용한 타부서치의 역할에 대해서 설명하며, 3.2절에서는 CAP3 방법의 역할을 설명한다.

3.1 타부서치 방법

(그림 2)에 나타나 있듯이 타부서치방법에서 생성되어진 해인 호 리스트(채널할당 순서)를 FEA로 넘겨 주게되면, FEA방법에서는 타부서치방법에서 받은 호 리스트를 가지고, FEA방법의 수행방식에 따라 채널들을 할당하고, 할당된 채널들중 가장 큰 채널번호( $Max[f_{ij}]$ )를 돌려준다. 타부서치방법에서는 돌려받은 가장 큰 채널값이 특정해인 호 리스트의 평가값이 되며, 이러한 평가값을 이용하여, 이웃해 군의 선택이 이루어지게 되면서, 또 다른 이웃해들을 반복 생성하여 해를 찾게 된다.

3.1.1 해의 표현과 초기해 생성

호 리스트는 어떠한 셀의 어떠한 채널 수요부터 채널을 할당할 것인가에 대한 순위(호 리스트의 길이는 모든 수요의 합)로 나타내어지며, 이러한 호 리스트의 순서정보에 의해서 차례대로 셀간의 간섭 정도를 나타내는 적합행렬(C, Compatibility matrix)을 고려하여 채널을 간섭현상이 발생되지 않도록 할당하는 것이 FEA(Frequency Exhaustive Assignment) 방법이다.  $a_{ij}$ 를 i번째 셀에서 j번째 채널의 수요라하고, 3개의 셀과 각셀의 수요가 3,5,2로 구성된 채널할당 문제에서 채널수요가 할당되는 순서를  $a_{21}, a_{11}, a_{32}, a_{12}, a_{25}, a_{13}, a_{22}, a_{31}, a_{24}, a_{23}$ 이라고 할 때, (그림 5)에는 호 리스트를 가지고 FEA 방법으로 채널할당한 결과가 나타나 있다. 호 리스트는 각 수요에 대한 순위 즉, 1부터 전체수요 (TD)까지 수요의 순위로 표현된다. 이러한 호 리스트는 채널할당해를 찾는 데 효율적인 해의 표현방법이 된다.



(그림 4) 초기해 생성방법

본 논문에서 사용하는 해의 표현방법은 위에서 제시한 호 리스트가 된다. 특정해가 갖는 순위에 의한 정보는 일차원 배열로 나열되며, 길이는 모든 채널수요의 합이다. 이러한 표현방식은 1차원 배열이므로, 연산 시간과 기억용량의 효율성이 좋고, 또한 해가 호 리스트로 표현되므로, FEA 방법이나,

CAP3 방법의 장점을 살릴 수 있다. 본 논문에서는 초기해를 랜덤하게 생성하며, 해의 인자는 순위(1~TD)로 나타내는 방법을 이용하였다. (그림 4)에는 (그림 5)에서 사용된 해(호 리스트)를 랜덤하게 생성하는 방법에 대해서 설명하고 있다

차후 Call리스트 표현을 셀내에서의 우선순위 구분 없이 각 셀에서 요구하는 채널 수요를 셀번호로 표시함으로써 해의 탐색공간을 줄여 효율적으로 해를 탐색할 것이다.

3.1.2 FEA 방법과 평가함수

Sivarajan, et al.,(1989)이 제안한 FEA 방법은 호 리스트에 있는 인자들의 채널 요구를 순서대로 할당하는 것인데, (그림 5)와 같이 먼저 할당된 채널과 간섭이 존재하지 않는 채널들 중 가장 작은 채널을 할당하는 방식이다.

```

assign_channel1 = 1
for (i = 2 : i ≤ length_call_list ; i++)
{
    for (j = 1 ; j < i ; j++)
    {
        highj = channelj + cij
        lowj = Max[channelj - cij · 1]
    }
    ai = [channelj ≤ lowj ∩ highj ≤ channelj], ∇j
    best_channeli = Min[ai], ∇j
    assign_channeli = best_channeli ;
}

```

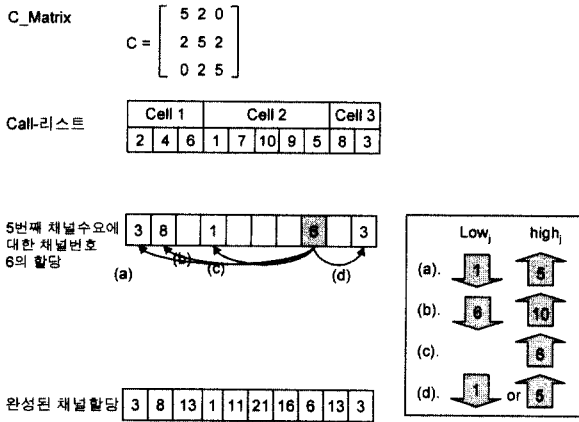
- high<sub>j</sub> : j번째 할당된 채널과의 간섭현상이 없기 위한 상한선(high<sub>j</sub> 이상)
- low<sub>j</sub> : j번째 할당된 채널과의 간섭현상이 없기 위한 하한선(low<sub>j</sub> 이하)
- C<sub>ij</sub> : i 셀과 j 셀간의 간섭현상이 없기 위한 채널간격 (N×N Compatibility matrix)
- channel<sub>j</sub> : i번째 할당된 채널과 j번째 할당된 채널과 간섭이 없기 위한 채널
- assign\_channel<sub>i</sub> : i번째 할당될 채널
- L\_Call\_list : call list의 길이 (= 총수요 =  $\sum_{i=1}^N d_i$ )

(그림 5) FEA 방법을 이용한 채널할당 방법

채널의 할당 방법은 기존의 할당되어 있는 채널들과 간섭현상이 발생되지 않게 하는 채널 구간들을 구하여, 그 구간을 모두 만족하는 가장 작은 채널번호를 할당 채널로 선택한다.

(그림 6)의 예는 적합행렬(C)과 해 표현방식인 호 리스트를 가지고 5번째 순위인 2번 셀에 대하여, 채널 6이 결정되는 것을 설명하고 있다. (그림 6) (a)는 2번째 순위를 가지는 1번 셀에 할당된 채널번호 3과 간섭이 발생되지 않기 위해서 채널간격이 2이상 유지되기 위한 최소한의 범위(채널번호가 1보다 작거나 같고 또는 5보다 크거나 같아야 함)이며, (b)는 4번째 순위를 갖는 1번셀의 2번째 채널번호 8과 간섭이 발생되지 않기 위한 최소의 범위이다. 결국, 이미 할당 되어있는 채널들과의 간섭 현상이 없도록 범위들을 찾아야 하며, 그 범위를 모두 만족시킬 수 있는 가장 작은 채널번호가 할당되는 채널로 결정된다. 채널번호 6은 할당 가능 구간 (a), (b), (c), (d)를 모두 만족하는 채널번호 중에서 가장 작은 채널이 선택된 것이다. 이와 같은 방법으로 총 수요만큼 채널들을

할당하면, 완성된 채널할당결과가 나오게 된다.



(그림 6) FEA 방법을 적용한 채널할당의 예

타부처치방법에서 해에 대한 평가식이 식 (1)에 나타나 있다. 평가는 FEA방법을 사용하여 채널을 할당한 후에 할당된 가장 큰 채널번호로 평가하게 된다. FEA 방법은 간섭현상을 발생되지 않게 채널을 할당하므로 평가과정에 있어서 간섭을 고려할 필요 없이 가장 큰 채널번호가 가용채널 수 (Z)보다 작다면, 현재 보유채널로 모든 수요를 서비스 할 수 있기 때문에 가장 큰 채널 번호만으로 평가가 가능하다.

$$\text{Minimize} \sim [ \text{Max}[f_{ij}], \sim \text{where } 1 \leq i \leq N, \sim 1 \leq j \leq d_i ] \quad (1)$$

N : 전체 셀의 수

d<sub>i</sub> : 셀 i의 통화 수요량

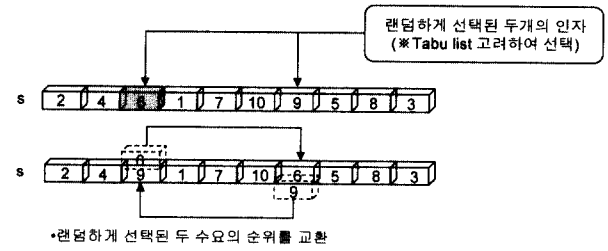
f<sub>ij</sub> : 셀 i의 j번째 할당된 채널번호

(1번부터 Z까지의 임의의 수)

### 3.1.3 이웃해 군의 생성과 선택방법

이웃해 군(C)은 현재의 해(S)를 변형시켜서 만드는 이웃해들로 구성된 집합이다. 이웃해의 생성 방법은 (그림 7)에 나타나 있다. 우선 현재의 해를 구성하고 있는 인자들 중 두개의 인자를 랜덤하게 선택하고, 두 인자를 서로 교환하는 방법으로 이웃해를 구성한다. 이 과정에서 같은 셀내에 있는 인자들끼리 교환했을 때는 같은 채널할당 결과를 갖기 때문에, 다른 셀에 존재하는 인자들끼리의 교환이 이루어지도록 해야 한다. 이러한 이웃해 과정을 이웃해 군의 개수만큼 생성하여, 이웃해 군(C)을 형성한다.

이웃해 군 생성과정을 통해 m개의 이웃해를 생성하게 되면, 이들 중에 하나를 다시 현재의 해로 바꾸어 주기 위해 이웃해 군(C)에서 하나의 이웃해(c')를 선택하여야 한다. 이웃해 군에서의 선택과정은 확률적인 선택으로 결정된다. 확률적인 선택과정은 개선되지 않은 해도 어느 정도의 확률로 받아 들일 수 있는 다양성 측면을 고려하여 지역해에 빠



(그림 7) 이웃해 생성방법

지지 않고 다양한 탐색을 할 수 있도록 한다.

- k번째 이웃해의 평가함수값 (F<sub>k</sub>)은 위 식 (1)로 구한 값이 된다. 최소화 문제이므로, 이는 롤렛휠 방법을 적용하기 위해  $T_k = \frac{1}{F_k}$ 로 바꾸어 최대화 문제로 접근한다.

- 이웃해 집단의 총 평가값의 합을 계산한다.

$$T = \sum_{k=1}^{* \text{ighbor\_size}} T_k \quad (2)$$

- k번째 이웃해에 대한 선택확률 (p<sub>k</sub>)과 누적확률 (q<sub>k</sub>)을 계산한다.

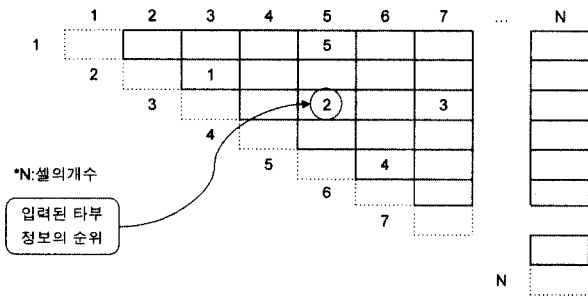
$$P_k = \frac{T_k}{T} \quad (3)$$

$$q_k = q_{k-1} + P_k (q_0 = 0) \quad (4)$$

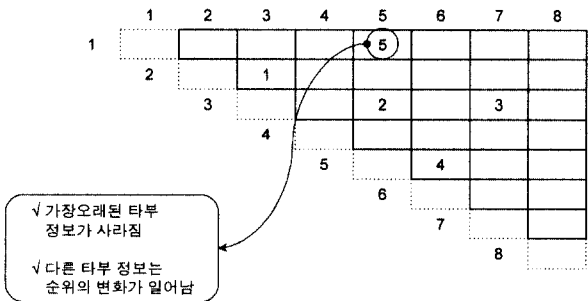
각각에 대한 선택 확률과 누적 확률은 식 (3)과 식 (4)로 구할 수 있으며, 선택은 0과 1사이의 난수(r)를 생성하여, q<sub>k-1</sub> < r < q<sub>k</sub>이면, k 번째 이웃해(C<sub>k</sub>)를 선택한다.

### 3.1.4 해의 구성

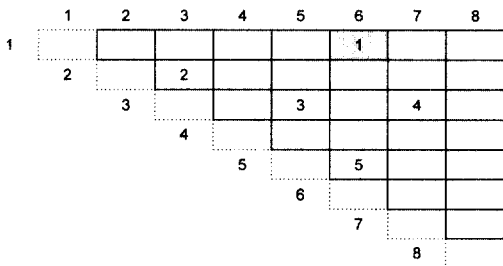
해의 구조에서는 현재의 해(s)에서 생성된 이웃해군에서 선택과정을 통해 결정된 이웃해(C<sub>k</sub>)가 어떠한 인자(할당순위)의 변화로 만들어 졌는지에 대한 정보를 기억한다. 타부리스트의 구조는 2차원 행렬 N X N (N : 셀의 크기)으로 표현하여 설명할 수 있다. 타부리스트의 정보는 FIFO(First In First Out)으로 갱신되며, 타부 리스트가 갖는 번호는 정보 입력된 순서(1~타부 리스트의 크기)에 의해 표시된다. 즉, (그림 8)에서 2번과 3번 셀의 채널할당 순위가 바뀌어 이웃해를 생성하고, 3번과 5번 셀 채널할당 순위가 바뀌어 이웃해를 생성하고 3번과 5번 셀의 채널할당 순위가 바뀌어 이웃해를 생성한다. 계속해서 3번과 7번, 5번과 6번, 1번과 5번 셀의 채널할당 순위가 바뀌면서 이웃해를 생성한 것을 타부리스트에 기억시킨다.



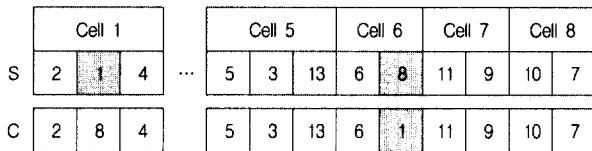
(그림 8) 해의 구조



(그림 9) n세대 해의 구성



(그림 10) n+1세대 해의 구성



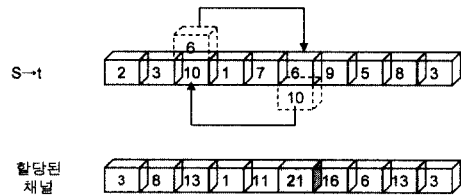
(그림 11) n세대의 해(s)와 선택된 이웃해(c')

(그림 9)와 (그림 10)에는 크기가 5인 타부 리스트의 구조가 표현되어 있다. 그림 11에는 n세대의 해(s)와 이웃해 군에서 선택된 이웃해(c')가 표시되어 있다. 랜덤하게 선택된 셀 1의 채널순위 1과 셀 6의 채널순위 8이 바뀌므로 인해서 새로운 이웃해가 생성되었으므로, (그림 9)의 n세대의 go 구성을 n+1 세대의 해의 구조인 (그림 10)과 같이 6번 셀과 1번 셀의 순위가 1로 추가되고 n세대의 순위는 1씩 증가하게 된다. 이렇게 갱신된 정보는 다음세대의 이웃해 군을 형성하는데 적용된다. 이러한 타부리스트 정보의 갱신이 이루어진 후에 현재의 해(s)를 선택된 이웃해(c')로 바꾸어 주게 된다.

### 3.2 CAP3 방법

(그림 3)의 왼쪽 부분은 제안된 휴리스틱 알고리즘에서 CAP3 알고리즘의 역할에 대해서 설명하였다. (그림 12)는 CAP3 알고리즘의 이웃해 생성방법을 나타낸 것이다. 특정해(호 리스트)의 이웃해를 만드는 메커니즘은, 특정 해를 사용하여 채널할당을 했을 때 호 리스트에서 가장 큰 채널번호를 유발하는 인자(그림 12)에서 할당된 채널 21을 유발하는 순위 6)와 랜덤하게 선택된 인자(그림 3), (그림 12)의 순위 10와 채널 할당순위를 교환함으로써 만들어 낸다. 이 과정에서 선택된 두 인자가 같은 셀내에 포함될 수요이면 인자 교환 후에도, 같은 채널할당순위를 갖는 결과가 되므로, 다른 셀에 있는 인자가 선택되도록 한다. 이러한 인자의 순위 교환에 의해 새로 만들어진 이웃해는 FEA 방법으로 채널이 할당되고, 할당된 가장 큰 채널번호( $Max[f_{ij}]$ )를 가지고 해(호 리스트)를 비교하게 된다. 비교과정에서 이웃 해의 평가값이 더 좋거나 같으면, 기존 해를 새로운 이웃 해로 교체하게 되며, 이를 반복 수행해 가면서 해를 탐색하는 방법이다. 본 논문에서는 이러한 CAP3를 사용할 때, 일정 세대 수만큼 현재의 해를 개선시킨 뒤, 다시 타부서치방법에 현재의 해(s)로 바꾸어 타부서치방법 내에서 개선된 해를 찾을 확률을 높여, 효율적으로 해를 탐색할 수 있게 하였다.

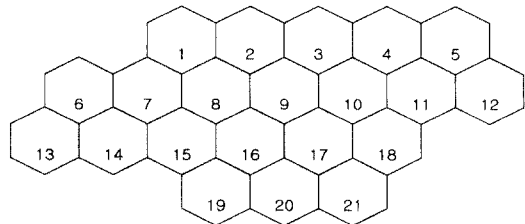
\*가장 큰 채널을 갖는 유전인자와 랜덤하게 선택된 유전인자를 교환



(그림 12) CAP3알고리즘의 이웃해 생성방법

### 4. 실험 및 분석

3절에서 FEA를 이용한 타부서치방법과 지역탐색을위한 CAP3에 대한 방법들이 (그림 3)의 흐름도에 따라 어떻게 이용되는지에 대하여 상세히 설명하였다. 본 절에서는 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하여 FDMA 이동통신 시스템의 환경에서 동적으로 변하는 각 셀의 수요를 만족시키면서 간섭이 없고 제한된 시간 내에 해를 구하는지에 대한 타당성 검증은 위해 기존 논문에서 사용되었던 문제들에 적용하여 평가분석 하였다.

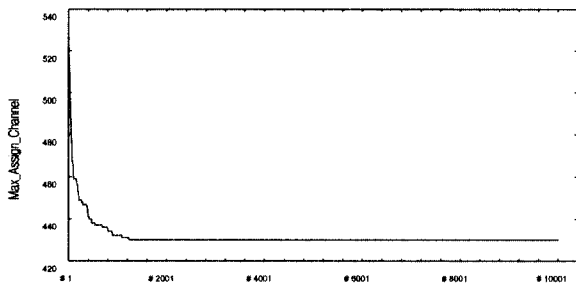


(그림 13) 21개셀 FDMA 시스템(숫자는 셀번호)

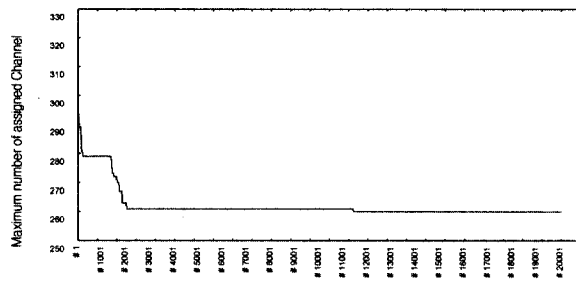


하지만 (그림 15)(a)와 (그림 15)(b)는 복잡도가 큰 문제 2와 문제 6을 CAP3 방법만으로 채널을 할당할 때 세대 수에 따른 할당된 최대 채널수의 변화를 나타내고 있다. 이와 같이 복잡도가 높은 문제 2와 문제 6은 CAP3 방법만으로는 지역최적해에 빠질 확률이 매우 크기 때문에 그림과 같이 더 이상의 개선이 이루어 지지 않는 것을 볼 수 있다. 하지만 특정 탐색영역에서의 최적해는 굉장히 빠르게 찾는 것을 볼 수 있다.

(그림 16)은 복잡도가 높은 2번과 6번 문제에 FEA를 적용한 타부서치방법만을 이용하여 간섭이 없는 할당된 최대 채널번호의 변화를 나타낸다. 이를 보면 할당된 채널번호가 어느정도 작은 값으로 수렴하는데 걸리는 속도가 느린 것을 볼 수 있다. 또한 일정세대 후 어느 정도 작은 값으로 수렴 후에는 더 이상 수렴하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 채널 할당 문제가 조합문제의 특성을 갖는다는 것을 잘 나타낸다.



(a) 문제 2번

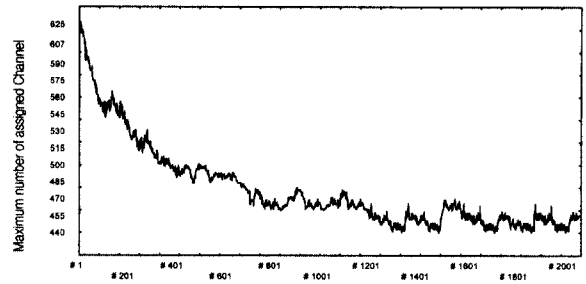


(b) 문제 6번

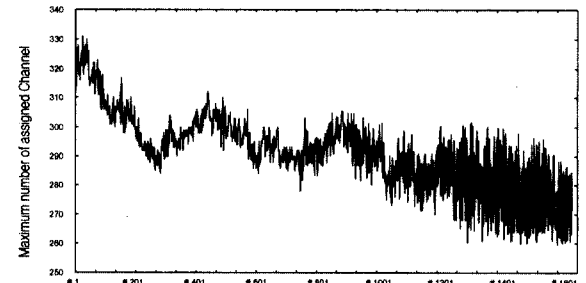
(그림 15) 복잡도 높은 문제 2와 문제 6에 CAP3 방법으로 할당된 최대 채널수( $Max[f_{ij}]$ )의 변화

이 때문에 채널할당해로 수렴해 나간 상태에서 해의 작은 변화에 따른 평가값의 진폭이 커지는 문제점이 발생한다. 예상했듯이 2번 문제와 6번 문제의 최소채널 수 427과 253의 채널을 사용해서 채널할당 해를 구할 수 없었다.

(그림 17)은 본 논문에서 제안하는 휴리스틱 방법을 같은 두 문제에 적용한 것이다. 이를 보면, 할당된 최대 채널수의 값이 가용채널 수( $Z$ )로 수렴되어 해를 구하는 것을 볼 수 있다. 또한 세대별로 진행되다가 지엽적으로 증가 하는 부분이 나

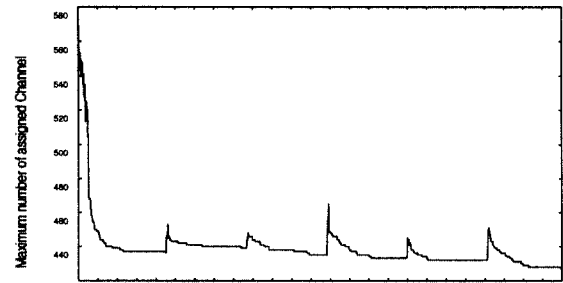


(a) 문제 2번

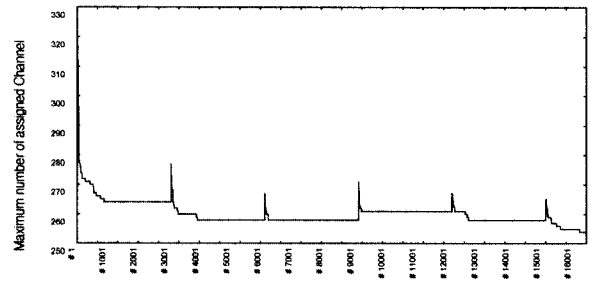


(b) 문제 6번

(그림 16) 복잡도 높은 문제 2와 문제 6에 CAP3 방법으로 할당된 최대 채널수( $Max[f_{ij}]$ )의 변화



(a) 문제 2번



(b) 문제 6번

(그림 17) 복잡도가 높은 문제 2와 문제 6에 휴리스틱 방법으로 할당된 최대 채널수( $Max[f_{ij}]$ )의 변화

타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 타부서치방법으로 이웃해의 군을 생성하여 이를 확률적으로 선택하여 나쁜 평가값을 갖



는다 해도 확률적으로 받아드리는 다양성 부분을 고려해 주었기 때문이다. 또한 채널할당 문제의 해는 수요의 순위에 대한 조합을 나타내므로, 작은 평가값에 접근할수록 이웃해의 생성으로 인한 해의 평가값 변화가 상당히 민감하게 변하는 것을 보여준다. 즉, 타부서치만으로 해를 구하게 되면, 다양성을 고려할 수 있지만 랜덤하게 생성되는 이웃해로 인하여 굉장히 평가값의 변화가 크게 된다.

제안된 휴리스틱 방법은 타부서치의 이웃해 생성으로 인한 다양성 고려와 CAP3 방법으로 인한 특정 탐색영역의 해를 빠르게 수렴시키는 역할을 하는 것이다.

〈표 5〉 Beckman과 Killat 논문(1999)[6]의 문제 2, 6 수행결과

문제번호	Z	최적해를 찾는 횟수	평균 반복횟수
2	427	21/100	3766
6	253	2/100	3420

이와 같이 CAP3 방법을 타부서치방법의 장점을 이용하여 효율적으로 최적해를 찾도록 개선시킬 수 있었다. 문제2에 대한 해는 (그림 17)(a)에서와 같이 평가함수 값의 합이 수렴하여 6245 세대에 가용채널 수(Z)를 만족하는 최적채널 할당해를 찾을 수 있었으며, 문제 6에 대한 해는 (그림 4), (그림 5)(b)와 같이 16405세대에 해를 찾을 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 휴리스틱 채널할당방법은 기존 CAP3 방법 또는 FEA를 적용한 타부서치방법만을 이용하여 해를 구하는 것 보다 최적해 및 수행시간에서 상대적으로 우수한 것으로 분석되었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 각 셀마다 채널 수요가 균일하지 않은 FDMA 이동 통신네트워크 시스템에서 서비스 지역과 시간에 따라 셀마다 동적으로 변하는 채널 수요에 대하여 보유하고 있는 채널을 제한된 시간 내에 최적으로 할당 하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안하는 휴리스틱 채널할당 방법의 특징은 첫째, 효율적인 호 리스트 표현방법을 타부서치방법과 CAP3 방법의 해로 사용하여, 효율적인 기억용량과 계산 시간을 갖게 하였다. 둘째, FEA(frequency exhaustive assignment) 방법을 타부서치 방법의 장점과 결합하여, 평가과정에서 간섭을 고려할 필요가 없는 간단한 평가 함수를 사용함으로써 효율성을 증대할 수 있었다. 셋째, 해의 방향성을 제시하여 좀 더 효율적인 탐색방법을 사용하였다. 넷째, 해의 선택 부분에서 나쁜 평가값을 갖는 해의 확률적인 선택으로 다양성을 추구하였고, CAP3 방법을 이용하여 수렴성을 추구하였다. 다섯째, GA(genetic algorithm)와 같이 염색체군을 사용치 않

고 하나의 해를 가지고 반복 진행해 나가므로 계산시간과 기억용량의 효율성을 향상시킬 수 있다. 여섯째, 평가 값이 수렴될 때에 평가값의 변화폭을 줄여 빠르게 해를 찾을 수 있도록 하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안하는 새로운 휴리스틱 채널할당 방법을 벤치마킹 문제에 적용하여 복잡도가 높은 채널할당 문제에서 보다 효율적으로 적용할 수 있음을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 공성곤 외 4명, "유전자 알고리즘", 그린, 1996.
- [2] 공성곤 외 4명, "유전자알고리즘 입문", 진영사, 1997.
- [3] 김여근 외 2명, "메타 휴리스틱", 영진문화사, 1999.
- [4] Sandalidis, H. G., Stavroulakis, P. P., Rodriguez-Tellez, J., An Efficient Evolutionary Algorithm for channel Resource Management in Cellular Mobile Systems, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2(4), pp.125-13, 1998.
- [5] Antonio capone, Marco Trubian, Channel Assignment Problem in Cellular Systems : A New Model and a Tabu Search Algorithm, IEE Transactions on Vehicular Technology, 48(4), pp.1252-1260, 2001.
- [6] Beckmann, D. and Killat, U. A new strategy for application of genetic algorithms to the channel-assignment problem, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 48(4), pp. 1261-1269, 1999.
- [7] Das, S. K., Sen, S. K. and Jayaram, R. A Dynamic Load Balancing Strategy for Channel Assignment Using Selective Borrowing in Cellular Mobile Environment: Center for Research in Parallel and Distributed Computing Department of Computer Sciences University of North Texas, ACM 0-89791-872-X, pp.73-84, 1996.
- [8] Chakraborty, G. An Efficient Heuristic Algorithm for Channel Assignment Problem in Cellular Radio Networks, IEEE Transaction On Vehicular Technology, 50(6), pp.1528-1539, 2001.
- [9] Kunz, D. Channel Assignment for Cellular Radio Using Neural Networks, IEEE Transactions On Vehicular Technology, 40(1), pp.188-193, 1991.
- [10] Lai, W. K. and Coghil, G. G. Channel Assignment Through Evolutionary Optimization, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 45(1), pp.91-96, 1996.
- [11] Min-Jeong Kim, Kwan-Hong Ryu, A Comparison of Two Search Algorithms for Solving the Channel Assignment Problem, 1996.
- [12] Roberto Battiti, Alan Bertossi, Daniela Cavallaro, A Randomized Saturation Degree Heuristic for Channel Assignment in Cellular Radio Networks, IEEE Transaction on Vehicular Technology, 50(2), pp.364-374, 2001.

- [13] Sivarajan, K. N., McEliece, R. J., Ketchum, J. W. Channel assignment in Cellular Radio, IEEE Transactions Vehicular Technology Conference, 39(2), pp.846-850, 1989.
- [14] Smith, K. A. A Genetic Algorithm for The Channel Assignment Problem, Proceedings of the Globecom '98, Vol.4, pp. 2013-2018, 1998.
- [15] Vittorio Maniezzo, Antonella Carbonaro, An ANTS heuristic for the frequency assignment problem, Future Generation computer Systems, 16, pp.927-935, 2000.
- [16] Wang, Wei and Rushforth, An Adaptive Local-Search Algorithm for the Channel-Assignment Problem(CAP), IEEE Transactions on Vehicular Technology, 45(3), pp. 459-466, 1996.
- [17] Young. Hua. Song, Malcolm R. Irving, Heuristic optimisation methods, IEEE Power Engineering Journal, 2000.



### 강 기 정

e-mail : kikang@kt.co.kr

1993년 경희대학교 전자공학과(공학석사)  
 2004년 경희대학교 전자공학과(공학박사)  
 1993년~2003년 KT 서비스개발연구소  
 2004년~현재 KT IT본부 마케팅정보부장  
 /선임연구원

관심분야 : 이동통신 분야, VOD/ACD, MMS 및 마케팅정보 시스템 등



### 홍 충 선

e-mail : cshong@khu.ac.kr

1983년 경희대학교 전자공학과(학사)  
 1985년 경희대학교 전자공학과(공학석사)  
 1996년 Keio University, Department of  
 Information and Computer  
 Science(공학박사)

1988년~1999년 한국통신 통신망연구소 선임연구원/네트워킹연구실장

1999년~현재 경희대학교 전자정보학부 조교수

관심분야 : 인터넷 서비스 및 망 관리구조, 분산컴포넌트관리, IP 멀티캐스트, 멀티미디어 스트리밍 등



### 이 대 영

e-mail : dylee@khu.ac.kr

1964년 서울대 물리학과 졸업(학사)  
 1971년 캘리포니아 주립대학원 컴퓨터학과  
 (공학석사)  
 1979년 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
 1971년~현재 경희대학교 전자정보학부  
 교수

1990년~1993년 경희대학교 산업정보대학원 대학원장

1999년~2000년 한국통신학회 회장

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 네트워크, 컴퓨터시스템등