

셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 색채화 문제에 의한 채널할당

正會員 張 城 換* 正會員 羅 相 同**

A Channel Assigment by Graph Coloring Problem in Cellular Mobile Communication Control System

Sung-Hwan Chang*, Sang-Dong Ra** *Regular Members*

要 約

셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 고도의 스펙트럼 효율을 도출해 내기 위해 셀에서 호에 대한 채널을 할당하는 것은 한정된 주파수 대역폭내에서 중요한 문제이다. 이동통신 제어 시스템에 있어서는 스펙트럼 효율을 그래프 이론의 색채화 문제로 연관 시킬 수 있다.

본 논문에서는 셀룰라 이동통신 제어시스템의 그래프 이론을 이용하여 채널 오프셋 구조를 제안하고, 그래프 색채화 문제와 관련된 채널 오프셋 구조의 색채화 대역폭을 수식화 하였다. 수식화 된 채널할당 문제로부터 채널 구성에 따른 셀 설계와 보다 효율적인 주파수 스펙트럼의 최적 채널 오프셋을 연구하여 전체 스펙트럼 대역폭에 대한 상한치와 하한치를 부여 한다.

ABSTRACT

In a cellular mobile communication control system, assignment channel for a call in a cell so as to achieve high spectral efficiency is an important problem within limited frequency bandwidth. The spectral efficiency is related to the coloring problem of graph theory in a cellular mobile communication control system.

In this paper, we propose channel offset scheme using a graph theory of cellular mobile communication control system and formulate chromatic bandwidth of channel offset system which is related graph coloring problem. From formulated channel assignment problem, we investigate an optimal channel offset scheme of more efficient frequency spectrum and cell design according to channel constitution and give an upper and lower bound for overall spectral bandwidth.

I. 서 론

*원광대학교 전기공학과
Dept. of Electrical Eng. Wonkwang University
**조선대학교 컴퓨터공학과
Dept. of Computer Eng. Chosun University
論文番號: 93214
接受日字: 1993年 11月 5日

이동통신은 이동체를 대상으로 하는 통신이고 공간적인 복표는 언제, 어디서나, 누구하고도 통신할 수 있도록 하는 것이다. 그러나 사용 가능한 주파수 대 부족으로 시간, 공간, 주파수의 세요소를 가능한 많은 사용자가 효율적으로 공유할 수 있도록 하는 전

파 이용 기술이 필요하다. 이러한 효율적 전파 이용 기술의 일환으로 동일한 주파수를 반복 사용하는 셀룰라 시스템이 등장 하였다.

이동통신은 주파수 스펙트럼의 최적 사용과 관련 되어진 셀룰라 이동통신 제어 시스템 기술에 있어서 셀룰라 교환기, 기지국 설비, 이동통신 단말기 등의 하드웨어 기술 뿐만아니라 기지국및 이동통신 교환국의 위치및 기지국간을 연결하는 무선 네트워크 설계 및 각 기지국에 대한 채널할당과 연관된 셀 계획 및 절차와 주파수 관리 등의 소프트웨어 기술이 중요하다.^[1,2,3] 따라서 셀룰라 이동통신 제어 시스템은 셀 계획에 따른 채널할당과 주파수 관리등에 관련되고, 셀룰라의 고도 스펙트럼 효과를 이루기위한 방법으로 호에 대한 채널할당은 매우 중요한 문제가 된다. 이와 같은 채널 할당문제는 그래프 이론의 색채화 문제와 연관시킬 수 있으며, 그래프 이론의 개념으로부터 셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 보다 효율적인 스펙트럼으로 증명이된 채널 오프셋 구조^[4,5,6]를 구성하고, 채널할당 문제를 수식화하여 색채 대역폭에 대한 이론및 검증을 하고, 셀룰라 이동 제어시스템에서 최적 채널 오프셋을 구해 전체 스펙트럼 대역폭에 대한 상한치와 하한치를 부여 한다. 이러한 경계치는 셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 이용할 수 있는 스펙트럼이 제한되어 있기 때문에 채널 오프셋 구조를 설계한다.

II. 셀룰라 이동통신 제어 시스템

2.1 시스템의 모델

셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 서비스 영역을 몇개의 셀로 분할하여 분할된 셀에서 무선 채널을 이용하여 기지국과 단말기 사이의 양방향으로 통신하는 기술이며, 스펙트럼 효율을 극대화 함으로서 가입자의 수용 용량을 증대시키기 위해 주파수 재사용이라고 하는 기법을 도입한다. 그러나 주파수 재사용에 있어서 시스템이 적절치 못하게 설계가 된경우 동일 채널 간섭이 발생하여 통화 품질을 열화시키는 원인이 되며, 주파수 재사용이라는 관점에서 가장 중요한 문제이다.

임의의 하나의 셀에서 주파수 채널이 사용되면 인접한 셀에서는 같은 주파수 채널을 사용할 수 없으며, 인접한 셀들을 그셀의 인접셀군이라고 한다. 그림 1은 서비스 영역을 규칙적인 육각형 셀로 분할한 셀룰라 이동통신 시스템을 나타낸다. 만일 위 그림에서 셀

룰라 시스템을 2번째 인접셀군이 되게 하고 주파수 채널 A를 a_1 지역에서 사용한다면 동일한 주파수 채널은 a_2, a_3, \dots, a_{18} 지역에서 사용할수 없다. 즉 인접한 17개 지역을 벗어난 인접셀에서는 동일 주파수 채널 A를 사용할수 있다는 것을 의미한다. 그러므로 인접셀군의 인접셀에서 사용할 수 있는 동일 주파수 채널은 최대한 6개가 된다. 그림 2에서는 셀룰라 시스템이 2번째 인접셀군이기 때문에 그림 2의 $a_{21}, a_{24}, a_{27}, a_{30}, a_{33}, a_{36}$ 셀 지역에서 동일한 주파수를 재사용할 수 있다. 만일 호의 시도가 자유롭게 이루어진다면 셀 a_{21} 만이 주파수 채널을 사용하는 경우에 발생하는 동일 채널 간섭은 인접셀군의 최대 인접 셀 6개가 동일한 주파수 채널을 사용할때 발생하는 동일 채널 간섭보다는 실제로 적다. a_1 에 대한 $a_{21}, a_{24}, a_{27}, a_{30}, a_{33}, a_{36}$ 의 6셀이 채널 A를 사용할때 발생하는 동일 채널 간섭은 각 셀이 a_1 에 대해 발생하는 간섭의 총합이다. 그림 2에서 나타낸 셀룰라 시스템에서 a_1 가 채널 A를 사용할때 a_j 지역에서도 채널 A를 사용하는 경우 a_i 에 대한 간섭을 측정할 수 있는데 거리에 의해서만 결정된다고 한다. 그러나 실제로 간섭은 서비스 영역내의 인공구조물과 자연지형의 전파의 전파 전달 특성때문에 서비스 영역의 거리로만 결정되지는 않는다.

따라서 임의의 a_i 와 a_j 사이에 발생하는 간섭의 정도를 서비스 영역에서 측정할 수 있다.

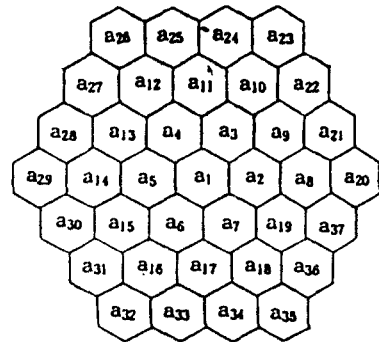


그림 1. 규칙적인 육각형 셀로 분할된 서비스 영역
Fig. 1. A service area which is divided into Regular hexagon cells

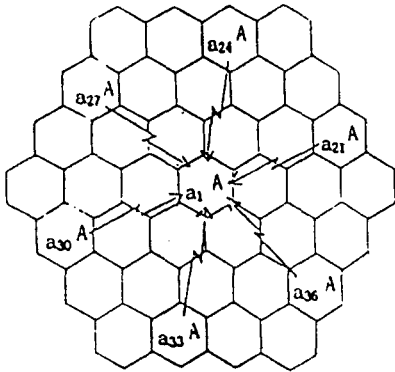


그림 2. a_{21} , a_{27} , a_{30} , a_{33} , a_{36} 지역에서 사용된 채널 A
 Fig. 2. Channel A is used in a_{21} , a_{27} , a_{30} , a_{33} , a_{36}

2.2 채널 오프셋 구조

그래프 이론을 응용하여 셀룰라 이동통신 체계 시스템에서 단위 대역폭을 여러개의 채널로 분할하는 채널 오프셋 구조를 이용하는 목적은 고도의 스펙트럼 효율을 얻기위함이다.^{10,11} $1/k$ 채널 오프셋 구조는 채널 단위 대역폭을 각각 $1/k$ 로 오프셋팅한것이다. 그림 3은 스펙트럼을 채널 주파수로 분할하는 예를 나타내고 있으며, 그림 4는 단위 채널 주파수를 $1/4$ 채널 오프셋 구조로 분할할 경우를 나타내고 있다. 그림 3과 4에서 알수 있듯이 채널 오프셋 구조에서 주어 진 대역폭을 분할함으로써 생기는 채널수는 비오프셋 구조의 채널수보다 많다.

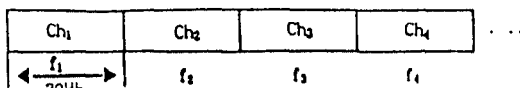


그림 3. 스펙트럼의 채널 분할
 Fig. 3. Channel division of spectrum

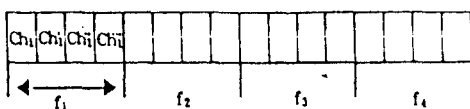


그림 4. $1/4$ 채널 오프셋 구조
 Fig. 4. The $1/4$ channel offset scheme

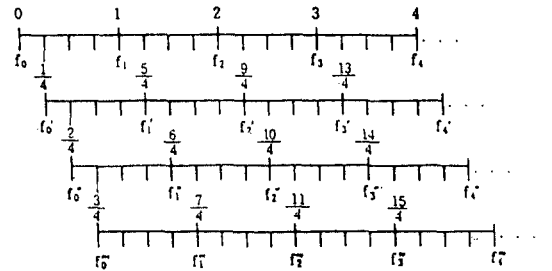


그림 5. 선형 수로 나타낸 주파수의 축
 Fig. 5. The axis of frequency by the number line

그림 5는 그림 4에서 나타낸 채널 오프셋 구조를 선형축으로 재구성한 것이다. 여기서 $[0, 1)$, $[1, 2)$, $[1.25, 2.25)$... 은 채널들의 간격폭이고, 채널 $[x, y)$ 에서 $y-x=1$ 은 채널 대역폭이며, 이것은 x 에 의해서 다시 나타낼 수 있다. 즉 채널 x 는 채널 $[x, y)$ 를 의미한다. 채널 f_i 와 f_j 사이의 상호 채널 간섭의 정도 $Id(f_i, f_j)$ 는 f_i 와 f_j , $|f_i - f_j|$ 등에 의해 구할 수 있다.¹² 상호 채널 간섭 $Ig(a_i, a_j)$ 는 셀 a_i 와 a_j 사이의 간섭에 대해 효과적인 면역을 위해 충분한 채널 간격이므로 $0 < Ig(a_i, a_j) < 1$ 이라고 할때, $Ig(a_i, a_j)$ 는 간섭을 측정함으로써 구할 수 있다. 즉 $Ig(a_i, a_j)$ 는 서비스 영역의 위치와 셀의 크기등에 의해서 결정된다.

본 논문에서는 서비스 영역을 설정하고, 설정된 서비스 영역에서 모든 셀 쌍에 대한 상호 채널 간섭을 $Ig(a_i, a_j)$ 라하고, 채널의 모든 쌍에 대한 상호 채널 간섭의 정도를 $Id(f_i, f_j)$ 라고 하며, 정해진 임의의 셀 a_i 지역에 대해 할당된 채널의 수를 w_i 라고 하면, 상호 채널 간섭의 정도 $Id(f_i, f_j)$ 를 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$Id(f_i, f_j) = |f_i - f_j| \tag{1}$$

$C(\cdot)$ 을 하나의 셀로부터 사상되는 채널이고, $C(a_i)$ 는 셀 a_i 에서 할당된 채널들의 집합을 나타내고, $f_p \in C(a_i)$, $f_q \in C(a_j)$ 에 대해서 식 (2), (3)을 만족할때 $C(a_i)$ 는 채널 할당이다.

$$id(f_p, f_q) \geq Ig(a_i, a_j) \tag{2}$$

$$|c(a_i)| = w_i, \quad i = 1, 2, \tag{3}$$

전체 대역폭 T_B 를 다음과 같이 정의 하면 식 (4)와 같다.

$$T_B = \max_i |f_p - f_q + 1| \quad (4)$$

$f_p, f_q \in \cup C(a_i)$

본 논문에서는 채널 할당문제에 있어 최소의 전체 대역폭 T_B 를 구하는 것이다. 채널할당 문제는 단지 식 (2), (3)에서 주어진 조건에 의해서 정의되기 때문에 여러가지 다른 채널할당 문제가 있으므로 다음과 같이 예제로 나타낼 수 있다.

예제 1: 그림 1에서 서비스 영역이 셀룰라 이동통신 제어시스템의 세번째 인접 셀군 시스템으로 구성되어 있다고 하고, 상호 채널 간섭 $Ig(V_i, V_j)$ 가 $1/K$ 채널 오프셋 구조를 사용하면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Ig(v_i, v_j) = \begin{cases} 1, & a_i \text{와 } a_j \text{가 인접하는 경우} \\ 1/k, & a_j \text{가 } a_i \text{로부터 하나 내지 두개의 셀이 위치한 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad (5)$$

그림 6은 임의의 셀에서 사용된 주파수가 일정한 거리만큼 떨어진 셀에 재사용되었을 경우 사이에 위치해 있는 셀의 수에 따라 상호 간섭의 정도 $Ig(v_i, v_j)$ 를 나타내고 있으며, η 은 자기동형 계수이다.^[7,8]

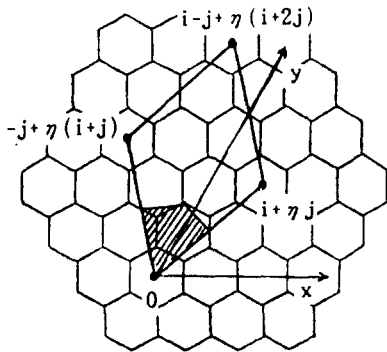


그림 6. 마름모 형태의 상호 채널 간섭
Fig. 6. Interchannel Interference of Rhombic Structure

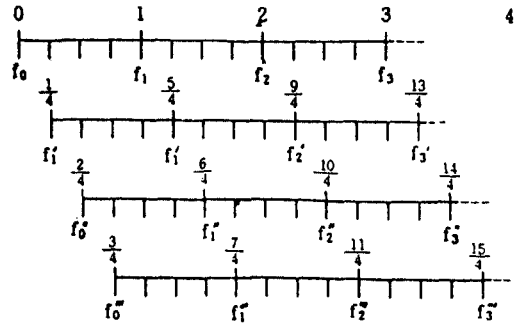


그림 7. 사이에 끼워 넣은 1/4 채널 오프셋구조
Fig. 7. The 1/4 channel offset scheme called interlay

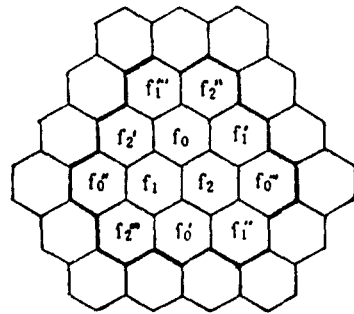


그림 8. 12개의 클러스터에 대한 적절한 채널 할당
Fig. 8. The cluster of 12 cells for a feasible assignment of channel

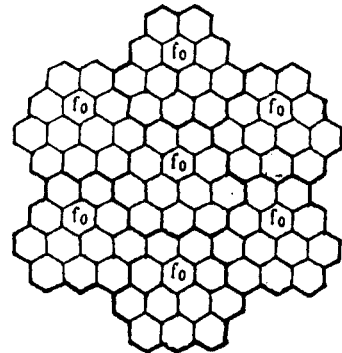


그림 9. 전체 대역폭 $T_B = 3.75$ 일때 적절한 채널 할당
Fig. 9. A feasible assignment of channel on total band width $T_B = 3.75$

그림 7은 1/K 채널 오프셋 구조에서 1/4 채널 오프셋 구조를 이용하여 할당된 채널구조를 나타내었고, 그림 8은 그림 1 서비스 영역의 12셀 클러스터에 1/4 채널 오프셋 구조를 이용한 적절한 채널할당을 나타내었으며, 12개의 클러스터를 사용한 채널할당의 전체 대역폭은 식 (4), (5)를 이용함으로써 3.75 임을 알 수 있고, 전체 대역폭이 3.75일때 적절한 채널 할당을 그림 9에 나타내었다.

III. 그래프 색채화 문제

고정 채널 할당방식은 전체 서비스영역에서 사용 가능한 채널 집합을 몇개의 채널 오프셋구조의 부분 집합으로 나누어 각 셀별로 고정 배치하여 사용한다. 할당 방법은 인접하지 않은 두개의 셀에서 상호 간섭을 일으키지 않는한 수요의 변화에 무관하게 동일한 채널을 배치함으로써 전체 셀에 대해서 최대한 많은 채널을 재배치하는 방법이며, 또한 기술적 실현이 쉽기 때문에 이동통신망에서 사용되고 있다.^{11,12} 그러나 어떤 셀에 고정 배치된 채널이 모두 사용중일때 새로운 통화 요구가 들어오면 인접셀에서 사용하지 않는 채널이 있더라도 할당받을 수 없게 된다. 채널 할당 대역폭은 채널 오프셋 구조를 이용하여 그래프 색채화 문제와 연관시켜 나타낼수 있는데 이는 여러 셀들의 지리적 배치 상황으로부터 먼저 이들을 구분하기 위해 필요한 최소한의 색을 배정한뒤 일정한 색이 칠해진 셀에 대해서 대응되는 채널 오프셋 구조의 부분집합 채널들만을 이용하면 가장 효율적인 채널 할당의 대역폭이 된다.

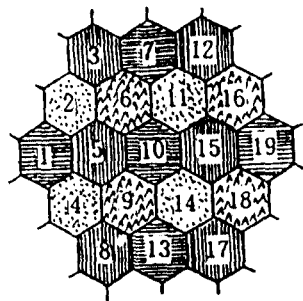


그림 10. 19 클러스터에 대한 1/4 채널 오프셋구조의 그래프 색채화

Fig. 10. Graph coloring of 1/4 channel offset scheme in the cluster of 19 cell.

그림 10은 1/4 채널 오프셋구조를 이용하여 그림 1의 서비스 영역의 7셀 3섹터의 19클러스터에 대한 그래프 색채화를 나타내고 있다.

그림 1에서 나타난 서비스 영역에서 그림 5와 같은 채널 오프셋 구조를 이용한 채널 할당은 식 (2), (3)에서 정의한 바와 같이 동일 셀내에 이미 할당되어 있는 채널과의 간섭 및 인접 셀에 할당되어있는 채널과의 간섭이 허용하는 범위내에 있어야 한다. 이러한 상호 채널 간섭의 정도는 동일 셀 및 인접 셀에 할당되는 채널간의 간격을 일정하게 유지하므로써 만족시킬 수 있다. 이처럼 채널 오프셋 구조에서 셀에 할당되는 채널들간에 유지되어야 할 동일 셀내 및 인접 셀간 채널 간격을 주파수 간섭 행렬을 통해 정의하고, 이러한 주파수 간섭 조건을 만족하면서 각 셀의 채널 수요를 충족시키기 위해서는 필요한 주파수 대역폭을 최소화하여 채널 할당 문제를 나타낼 수 있다.

만일 채널 할당 문제의 전체 조건으로서 서비스 영역의 전체 셀 수와 각 셀에 할당되어야 할 채널의 수 및 주파수 간섭 행렬이 주어지면 이를 그래프 색채화 문제와 연관시킬 수 있다. 채널 오프셋 구조에서 채널 할당 문제를 $\text{Max } f_{p \in (a_i)}, f_{q \in (a_i)}$ 와 전체 셀의 수 k 에 대해서는 식 (6)과 같이 나타낸다.

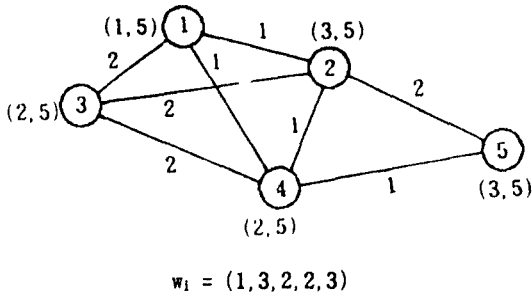
$$\text{Min } \text{Id} |f_p - f_q| \geq \text{I}g(a_i, a_j)$$

$$1 \leq i, j \leq k, 1 \leq p, q \leq w_i \quad i \neq j, p \neq q \quad (6)$$

위 식과 같이 채널 할당 문제는 그래프 색채화 문제로 변형될 수 있다.^{18,19} 예를들어 셀의 수 $k=5$ 이고, 각 셀의 채널 수요가 $w_i=(1, 3, 2, 2, 3)$ 으로 주어지며, 이들 셀간의 주파수 간섭 행렬 $M=\text{I}g(a_i, a_j)$ 는 다음과 같이 주어진다고 하면

$$M = \text{I}g(a_i, a_j) = \begin{pmatrix} 5 & 1 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 5 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 5 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 2 & 5 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 1 & 5 \end{pmatrix}$$

셀들나 이동통신 제어 시스템에서 채널 오프셋 구조를 이용한 채널 할당 문제는 그림 11과 같이 그래프로 표현될 수 있으며, 채널 할당 문제는 그래프상에서 Edge로 연결된 노드들에 부여되는 채널 번호간의 차를 최소화 되도록 하는 것이다.



$$M=[g(a_i, a_j)]= \begin{pmatrix} 5 & 1 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 5 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 5 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 1 & 5 \end{pmatrix}$$

그림 11. 채널 할당문제의 그래프 색채분배로의 변화
Fig. 11. Conversion graph coloring problem of channel assignment problem

IV. 채널할당 문제와 수식화

셀룰라 이동통신 제어 시스템으로부터 임의의 네트워크 N을 구성하면, 네트워크 $N=(V, E; g, w)$ 는 정점 세트 V와 가장자리 세트 E를 가진 네트워크로 구성할 수 있다.^[12] 각각의 정점 v_i 가 셀 a_i 와 대체되고, $Ig(v_i, v_j) > 0$ 이라면 $ek=(v_i, v_j) \in E$ 라고 할 수 있다. 각각의 가장자리와 정점 세트로 된 네트워크 N에서 양의 실수는 가장자리 비중으로, 음의 정수가 아닌것은 정점의 비중과 각각 관련되어 있다. 하나의 가장자리 비중 $ek=(v_i, v_j) \in E$ 는 $Ig(a_i, a_j)$ 이고, 정점 v_i 의 비중은 w_i 이며, 네트워크 N이 간섭 네트워크이다.

정의 1: N은 간섭 네트워크이면서 채널 오프셋 구조가 주어지면, $C(v_i)$ 를 v_i 에 할당된 채널의 실수 집합이라 하고, 간섭 네트워크가 식 (7)의 조건하에 식 (8)과 (9)를 만족하면 $C(\cdot)$ 는 네트워크 N의 정점에 대한 적절한 채널 할당이 된다.

$$f_p \in C(v_i), f_q \in C(v_j) \quad (7)$$

$$|f_p - f_q| \geq Ig(v_i, v_j) \quad (8)$$

$$|C(v_i)| = w_i \quad i = 1, 2, \dots \quad (9)$$

네트워크 N의 적절한 채널 할당에 대해서 전체 대역폭 T_B 는 다음 식 (10)과 같이 된다.

$$T_B = \max_{f_p, f_q \in \cup_i C(v_i)} |f_p - f_q + 1| \quad (4)$$

만일 $|f_p - f_q + 1| = T_B$ 라고 하면, f_p 와 f_q 는 최대 채널과 최소 채널이 된다. 따라서 네트워크 N의 채널 할당은 셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 상한과 하한의 채널 할당이며, 네트워크 N을 사용한 수식화의 장점은 크기가 다른 셀과 셀로부터 불균일한 간섭등을 가진 k번째 인접 셀 영역과 같이 균일한 상태에서 네트워크 N을 이용한 시스템의 채널 할당 문제로 수식화할 수 있다.

문제 1: 네트워크 N에 간섭 및 채널 오프셋 구조가 주어졌을 경우 최소한의 전체 대역폭을 구하는 문제가 있다.

문제 2: 네트워크 N에 간섭이 주어지고, 최소의 전체 대역폭을 가진 채널 오프셋 구조를 구하는 것은 임의의 다른 채널 오프셋 구조에서 최소의 대역폭보다 적어야 한다는 것이다.

정의 1에 의하면 $w_i=1 \quad i=1, 2, \dots$ 일 경우 네트워크 N의 적절한 채널 할당이 N의 색채화가 되며, 전체 대역폭이 색채 대역폭이고, N의 최소의 색채 대역폭이 N의 색채화 대역폭이 된다. $i=1, 2, \dots$ 에 대해서 N을 $w_i=1$ 인 셀룰라 이동 시스템의 간섭 네트워크이면, 각각의 $Ig(v_i, v_j)$ 를 0 또는 1이 되게 하고, G를 N의 그래프상에서 채널 오프셋 구조가 주어진 N의 색채이므로 비 오프셋 구조인 경우와 같은 그래프 G의 색채와 일치시키면 N의 색채 대역폭은 G의 색채수와 같다.^[10,14,15]

V. 색채 대역폭의 검증

셀룰라 이동통신 제어시스템의 채널 오프셋 구조에서 주어진 대역폭에 대한 채널의 수는 비 오프셋 구조의 채널 수 보다 많다. 이것은 호에 대한 채널의 여분이 더 많다는 것이고, 오프셋 구조가 비 오프셋

구조보다 고도의 스펙트럼 효과를 달성할 수 있다는 것이다.

셀룰라 이동통신 제어 시스템의 간섭 네트워크 N에서 w_i 는 음의 정수가 아니므로 $i = 1, 2, \dots$ 에 대해 $w_i = 1$ 일 때만 고려해야 한다. 왜냐하면 $w_i = 0$ 인 경우에는 정점 v_i 에 어떠한 채널도 할당할 필요가 없기 때문에 N으로부터 정점 V_i 를 제거할 수 있기 때문이다. 만일 $w_i > 1$ 이라고 하면, $p = w_i$ 인 곳에서 v_i 를 모든 가장자리의 비중이 1로 된 $v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ip}$ 그룹의 정점으로 대체할 수 있다.

그림 12는 $w_i = 4$ 인 경우에 대체되는 예를 나타내고 있다. N'를 N으로부터 $w_i > 1$ 인 모든 정점 v_i 를 대체할 때 $w_i = 0$ 인 정점 v_i 를 제거하여 얻어진 네트워크라 하면 N의 채널 할당 문제는 N'에서 각각의 정점에 대한 채널 할당 문제가 된다.

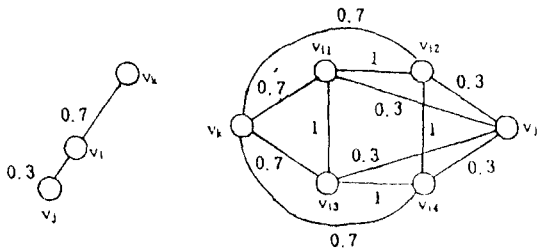


그림 12. $w_i = 4$ 인 경우 대체되는 예
Fig. 12. An example of the replacement in the case $w_i = 4$

그러므로 여기서 색채화 대역폭(C_B)을 구할 수 있으며, C_{Bk} 를 $1/k$ 채널 오프셋 구조에서 N의 색채화 대역폭이라고 할 때 C_{B1} 은 $1/h$ 오프셋 구조에서 N의 색채화 대역폭임을 알 수 있으며 C_{Bk} 는 다음 이들과 같다.

이론 1: h 를 양의 정수로 놓고 네트워크 간섭 $N = (V, E, g, w)$ 에 대해서, $v_i, v_j \in V$ 에 대해 $Ig(v_i, v_j) = t/h$ 라면 임의의 정수 k 에 대해서 $C_{Bk} \leq C_{B1}$ 가 된다.
즉, C_{Bk} 는 B_1, B_2, \dots 에서 최소가 된다.

증명: $C(\cdot)$ 를 색채 대역폭 C_{Bk} 를 실현할 수 있는 색채라고 하면 색채 대역폭이 C_{Bk} 보다 크지 않으므로 $1/h$ 채널 오프셋 구조를 사용한 색채 $C(\cdot)$ 가 있다는 것을 알 수 있다.

$C(a_i)$ 를 f_{\min} 와 같고 또 f_{\min} 가 0이라 하면 각각의 f_i 에 대해서 $f_i = \lfloor hf_i \rfloor / h$ 로 할 수 있다. 여기서 실수 x 에 대해서 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 를 초과하지 않는 가장 큰 정수를 의미한다. $C(a_i) = f_{\min}$ 라 하면 임의의 채널 f_i 에 대해서 식 (11)과 같이 나타낸다.

$$f_i \leq f_{\min} \quad (11)$$

$C(\cdot)$ 가 아래와 같은 색채일 때 $Ig(a_i, a_j) = t/h$ 이며 식 (12)와 같다.

$$f_i - f_j \geq t/h \quad (12)$$

식 (12)에서 다음 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} f_i - f_j &= \lfloor hf_i \rfloor / h - \lfloor hf_j \rfloor / h \\ &= (\lfloor hf_i \rfloor - \lfloor hf_j \rfloor) / h \\ &\geq \lfloor hf_i - hf_j \rfloor / h \end{aligned} \quad (13)$$

또한 식 (12)로부터 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f_i - f_j \geq \lfloor t \rfloor / h + t/h - g(a_i, a_j) \quad (14)$$

그러므로 $C(\cdot)$ 는 식 (8)을 만족할 때, C_B 를 색채 $C(\cdot)$ 의 색채 대역폭이라 할 수 있고 식 (11)에서 $f_{\min} = f_{\min}$ 과 $f_{\max} \leq f_{\max}$ 가 되므로 식 (15)와 같이 된다.

$$C_B \leq C_{Bk} \quad (15)$$

$C(\cdot)$ 가 $1/h$ 채널 오프셋 구조를 사용한 색채이므로 정의1로부터 $1/h$ 채널 오프셋 구조의 색채 대역폭 C_{B1} 은 (16)과 같다.

$$C_{Bk} \leq C_B \quad (16)$$

식 (15)와 식 (16)으로부터 $C_{Bk} \leq C_{Bk}$ 임을 알 수 있으므로 이론 1이 증명 된다.

추론 1: 간섭 네트워크 $N = (V, E, g, w)$ 에 대해서 N의 $v_i, v_j \in V$ 에서 $Ig(v_i, v_j) = 1$ 또는 0 일때 식 (17)과 같이 된다.

$$C_{Bk} = C_{B1}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (17)$$

각각의 $g(v_i, v_j)$ 는 유리수인 경우에 최적 채널 오프셋 구조는 이론 1을 이용함으로써 문제 2를 해결할 수 있다.

다음으로 N 의 색채 대역폭을 구하는 것이 쉽지 않기 때문에 $1/k$ 채널 오프셋 구조에서 색채 대역폭에 대한 상한과 하한의 경계를 구하면, 경계치가 채널 할당의 기준이 된다.

전제 1: $C(\cdot)$ 를 N 의 채널 오프셋 구조를 사용한 색채이므로 n 개의 채널 색채를 사용하면 식 (18)과 같이 된다.

$$n \geq C_{B1} \quad (18)$$

증명: $f'_1, f'_2, f'_3, \dots, f'_n (f'_1 < f'_2 < f'_3 < \dots < f'_n)$ 을 N 의 색채 $C(\cdot)$ 에서 사용된 채널일 때, 색채에 $1/k$ 채널 오프셋 구조를 사용하면 식 (19)와 같다.

$$|f'_i - f'_j| \geq 1/k \quad i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \quad (19)$$

여기서 $k \geq 1$ 이다.

$f_0 = 0, f_1 = 1, \dots, f_{n-1} = n-1$ 일때 식 (20)과 같다.

$$|f_i - f_j| \geq 1 \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, n-1; i \neq j \quad (20)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ 에 대해 f'_i 대신에 f'_{i-1} 을 할당하면, 색채는 $C(\cdot)$ 에 의해서 나타낼 수 있고, $f'_i - f'_j$ 일때만 $f_{i-1} = f_{j-1}$ 라 할수 있다. 색채 $C(\cdot)$ 는 식 (8)을 만족하기 때문에 $C(u) = f'_i$ 와 $C(v) = f'_j$ 일 때, $|f'_i - f'_j| \geq \text{Ig}(u, v)$ 가 된다. 여기서 $|f'_i - f'_j| = 0$ 이면, $\text{Ig}(u, v) = 0$ 이므로, $|f_{i-1} - f_{j-1}| \geq \text{Ig}(u, v)$ 조건일때, $f_{i-1} \neq f_{j-1}$ 이다.

식 (20)으로부터 $|f_{i-1} - f_{j-1}| \geq 1$ 이면, $|f_{i-1} - f_{j-1}| \geq \text{Ig}(u, v)$ 가 된다. 그러므로 색채 $C(\cdot)$ 는 식 (8)을 만족한다. 색채화의 색채 대역폭 $|f_{n-1} - f_0 + 1|$ 이기 때문에 식 (21)과 같다.

$$C_B = |f_{n-1} - f_0 + 1| = n \quad (21)$$

색채화 $C(\cdot)$ 는 비 오프셋 구조를 사용한 색채화라고 하면 비 오프셋 구조에서 B_1 이 색채화 대역폭이 되므로 식 (22)와 같다.

$$C_B = n \geq C_{B1} \quad (22)$$

또한 전제 1을 이용함으로써 다음 이론 2를 얻을 수 있다.

이론 2: 간접 네트워크 N 과 양의 정수 k 에 대해서 식 (23)과 같이 등식을 만족하면 간접 네트워크 N 이 존재한다.

$$C_{B1} \geq C_{Bk} \geq \frac{C_{B1} - 1}{k} + 1 \quad (23)$$

문제 1: $1/k$ 채널 오프셋 구조의 채널들이 비 오프셋 구조의 채널들을 포함하기 때문에 $C_{B1} \geq C_{Bk}$ 임을 알 수 있으므로 식 (24)와 같이 나타낸다.

$$C_{Bk} < (C_{B1} - 1)/k + 1 \quad (24)$$

f'_1, f'_2, \dots, f'_n 을 N 의 $1/k$ 채널 오프셋 구조를 사용한 색채에서 사용된 채널일 때, 색채는 $1/k$ 채널 오프셋 구조를 사용하기 때문에 $i \neq j$ 와 $i, j = 1, 2, \dots, n$ 에 대해서 $|f'_i - f'_j| \geq 1/k$ 이 되고 식 (25)와 같다.

$$C_{Bk} \geq (n-1)/k + 1 \quad (25)$$

식 (24)와 식 (25) 그리고 전제 1에서 $n < C_{B1}$ 을 구함으로써 인해 식 (23)이 증명된다. 그림 13(a)와 같이 서비스 영역이 $k^2 + 1$ 과 같이 구성되면, 서비스 영역의 간접 네트워크는 식 (26)과 같다.

$$\text{Ig}(v_i, v_j) = \begin{cases} 1 & a_i \text{와 } a_j \text{가 인접하는 경우} \\ 1/k & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad (26)$$

식 (26)은 그림 13(b)와 같이 나타낼 수 있으며, 만일 비 오프셋 구조를 사용한 정점에 대해 채널을 할당 한다면 식 (27)과 같이 된다.

$$C_{B1} = k^2 + 1 \quad (27)$$

$1/k$ 채널 오프셋 구조를 사용한 정점에 대해 채널을 할당 한다면 식 (28)과 같다.

$$\begin{aligned} C(v_1) &= \{f'_1\} = 1 \\ C(v_2) &= \{f'_2\} = 2 \\ &\vdots \\ C(v_i) &= \{f'_i\} = (S_i \equiv S_{i-1} + k \pmod{k^2 + 1}), 0 \leq S_i \leq k^2, \end{aligned}$$

또는 $S_i \equiv k, i \pmod{k^2 + 1}, 0 \leq S_i \leq k^2$ (28)

⋮
⋮

$C(v^2k + 1) = \{f^2k + 1\} = \{0\}$

색채에서 $0 \leq S_i \leq k^2$ 이므로 $f_{\min} = f_{k+1} = 0$ 이고 $f_{\max} = f_k = k^2/k = k$ 이다. 이 색채화는 식 (8)을 만족하며, 또한 식 (23)과 식 (27)로부터 색채 대역폭 $C_B = (k-0) + 1 = k + 1 = (B_1 - 1)/k + 1$ 은 색채화의 하한 경계가 된다. 그림 13(a)의 서비스 영역에서 만일 식 (29)와 같이 된다면,

$$I_g(v_i, v_j) = \begin{cases} 1 & a_i \text{와 } a_j \text{가 인접하는 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad (29)$$

추론 1로부터 $C_{B1} = C_{Bk}$ 가 색채화의 상한 경계가 됨을 알 수 있다.

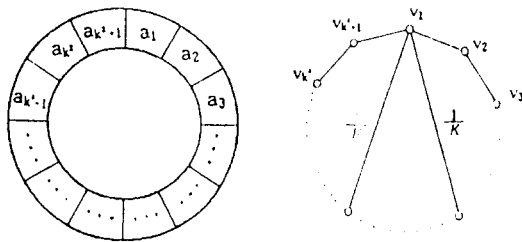


그림 13. (a) $K^2 + 1$ 셀 (b) 서비스 영역의 간섭 네트워크
Fig. 13. (a) $K^2 + 1$ cells (b) Service area interference network

예제1에서 1/4 채널 오프셋 구조를 사용한 색채 대역폭은 $C_B = 3.75$ 이고, 비 오프셋 구조에서 색채 대역폭은 12일 때 식 (23)으로부터 $C_B = 3.75$ 는 1/4 채널 오프셋 구조의 하한 경계가 된다. 이와같이 채널 할당 문제를 채널 오프셋 구조에서 그래프 색채화 문제로 연관시켜 수식화 이론을 통해 색채 대역폭의 상한과 하한을 명확히 나타낼 수 있는 방법을 증명하여 결과를 얻을 수 있었다.

VI. 결 론

셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 채널 오프셋 구조의 채널 수가 비 오프셋 구조의 채널 수보다 많기

때문에 고도의 스펙트럼 효과를 나타낼 수 있었고, 채널 오프셋 구조를 사용한 채널 할당 문제는 간섭을 가진 네트워크 정점에 대한 그래프 색채화 이론으로 나타낼 수 있었다.

셀룰라 네트워크에서 채널 할당 문제를 그래프 색채화 문제로 변형시켜 최소채널과 최대 채널을 나타낼 수 있었으며, 또한 셀룰라 이동통신 제어 시스템에서 채널 오프셋 구조의 채널 할당 문제를 그래프 색채화 문제로 수식화 이론을 통해 전체 조건을 부여하여 명확하게 이를 증명할 수 있었다. 각각의 $I_g(v_i, v_j)$ 가 유리수인 경우에 최적 채널 오프셋을 구할 수 있었으며, 채널 오프셋 구조의 전체 대역폭에 대해서 상한지와 하한지를 얻을 수 있었다.

이러한 것들은 이동 무선 통신 시스템에서 셀룰라 이동 시스템의 채널 오프셋 구조를 설계 하는데 기본적인 메카니즘이 된다. 따라서 채널 오프셋 시스템의 색채화 문제에 의한 채널 할당은 고정 채널 할당 뿐만 아니라 통화량의 변화에 따라 채널을 할당하는 동적 채널 할당에도 적용되어질 수 있으며, 또한 채널 재할당에도 적용이 가능하다.

앞으로 제안된 채널 오프셋 구조에서 그래프 색채화 문제로 채널 할당 문제를 해결하는데 보다 구체적인 최적 알고리즘 개발과 연구가 기대된다.

참 고 문 헌

1. W.C.Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications," McGRAW HILL CO, 1990. pp.179-208.
2. L.Schiff, "Traffic capacity of three types of common user mobile radio communication systems," IEEE Trans. Commun. Techno., vol.COM-18, pp.12-21, Feb. 1970.
3. V.H.MacDonald, "The cellular concept," Bell Syst. Tech.J., vol.58, no.1, pp.15-41, Jan. 1979.
4. M. Sengoku, K.Itoh, and T. Matsumoto, "A dynamic frequency assignment algorithm in mobile radio communication systems," Trans. IECE Japan, vol E61, no. pp.527-533, July, 1978.
5. W.C.Y Lee, "New cellular schemes for spectral efficiency," IEEE Trans. Veh.Tech., Vol VT_36, pp.188-192, Nov. 1987.
6. Sara Base, "Computer Algorithms Introduction to Design and Analysis," Addison-Wesley Publishing Co., pp.320-360, 1988.

7. Gamst and Rave "On Frequence Assignment in Mobile Automatic Telephone Systems," Proc. ICC'82.
8. Gamst, "Homogeneous Distribution of Frequences in a Regular Hexagonal Cell System," IEEE Transation on Vehicular Technology, Aug. 1982.
9. YANG JUN AND SHIXIN CHENG, "A Channel Interleave Assignment Strategy for Personal-Communication Services," IEEE GLOBE-COM'92, Vol.3, of 3, pp.1410-1413, DECEMBER 6-9, 1992.
10. A.W.Aho, J.E. Hopcroft and J.D. Ullman, "The Design and Analysis of Computer algorithms. Reading, MA : Addison-Wesley, 1974.
11. M. Sengoku, "Telephone traffic in a mobile radio Communication system using dynamic frequence assignment," IEEE Trans. Veh Techno., Vol. VT-29, pp.270-278, May 1980.
12. M. Sengoku, M.Kurata, and Y.Kajitani, "Re-arrangement of switching networks and its application to a mobile radio Communication system," in Proc. IEEE Int. Conf. on Circuits and Computers (ICCC'80), Oct. 1980, pp.402-405.
13. 한국과학기술원, "이동전화 품질 개선 방안에 관한 연구," 한국이동통신, 1991, 12, pp.15-49.
14. I.R.Smith, "Tradeoff Between Processing Gain and Interface Immunity in Co-Site Multi-Channel Spread communications," IEEE Trans. Comm, May 1982.
15. Israe Korn, "Differential Phase Shift Keying in Two-path Rayleigh Channel With Adjacent Channel Interference" IEEE Trans. Veh. Tech., Vol.40, pp.461-471, May 1991.



張 城 煥(Seong-Whan Jang) 정회원
 1974년 2월 : 홍익대학교 이공대학
 전기공학과(공학사)
 1978년 8월 : 연세대학교 대학원 전
 기공학과 (공학석사)
 1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전
 기공학과 (공학박사)
 1980년 3월 ~ 1994년 현재 : 원광대학
 학교 공과대학 전기공
 학과 조교수, 부교수,
 교수

1988년 8월 ~ 1990년 7월 : 원광대학교 공과대학, 교학부장
 1985년 8월 ~ 1986년 10월 : 미국 노스웨스턴대학교 전기 및
 컴퓨터공학과, 연구교수

※주관심분야 : 자동제어, 디지털신호처리, 컴퓨터통신



羅 相 同(Sang-Dong Ra) 정회원
 1968년 3월 : 조선대학교 공과대학
 전기공학과 공학사
 1979년 9월 : 건국대학교 대학원 전
 기전자공학과 공학석사
 1991년 9월 : 원광대학교 대학원 전
 기공학과 박사과정수료
 1973년 3월 ~ 현재 : 조선대학교 공
 과대학 컴퓨터공학과
 조교수, 부교수, 교수

※주관심분야 : 디지털신호처리, 컴퓨터통신, 이동통신