셀룰러 위상구조 무선망에서의 주파수 할당 문제의 향상된 하한 값 분석
(Better Analysis of Lower Bounds of Frequency Assignment Problems in Wireless Networks with Cellular Topology)

이 상 규 † 이 주 영 ††
(Sang-Kyu Lee) (Ju-Young Lee)

요 약 데이타 및 음성 등의 통신에서 무선 통신의 비중은 날로 증가하고 있다. 그러나 무선 통신에서는 유선통신에 비해 여러 가지 자원의 제약을 받는다. 컴퓨터, PDA, 이동통신기기 등 급격히 증가하는 무선 단말기의 증가에 따른 통신량 수요를 충족하기위해 제한된 자원을 보다 효율적으로 사용해야 한다. 무선 통신에 있어 효율성이 필요한 자원중의 하나가 주파수 이다. 효율적 주파수 사용을 위한 주파수 할당 문제에 관한 연구는 현재 활발히 진행되고 있다. 그러나 대부분의 주파수 할당 문제가 NP-Complete의 어려운 문제로 실험적 연구를 통한 접근과 함께 이에 대한 이론적 이해 또한 필요하다. 주파수 할당 문제의 이론적 연구 중 셀룰러 위상구조에서의 크로마틱 대역폭 문제의 하한 값이 $O(k^2)$로 알려져 있다. 본 논문에서는 셀룰러 위상구조에서의 크로마틱 대역폭 주파수 할당 문제의 하한 값으로 기존에 알려진 $O(k^2)$보다 향상된 하한 값 $O(k^3)$을 제시하여, 주파수 할당 문제의 보다 정확한 이론적 이해를 제시하였다.
키워드 : 주파수 할당, 주파수 간섭, 셀룰러 위상구조, 무선 네트워크, 그래프 컬러링

Abstract Because of its exponential growth of data and voice transmissions through wireless communications, efficient resource management became more important factor when we design wireless networks. One of those limited resources in the wireless communications is frequency bandwidth. As a solution of increasing reusability of resources, the efficient frequency assignment problems on wireless networks have been widely studied. One suitable approach to solve these frequency assignment problems is transforming the problem into traditional graph coloring problems in graph theory. However, most of frequency assignments on arbitrary network topology are NP-Complete problems. In this paper, we consider the Chromatic Bandwidth Problem on the cellular topology wireless networks. It is known that the lower bound of the necessary number of frequencies for this problem is $O(k^2)$. We prove that the lower bound of the necessary number of frequencies for the Chromatic Bandwidth Problem is $O(k^3)$ which is tighter lower bound than the previous known result.
Key words : Frequency assignment, Frequency interference, Cellular topology, Wireless networks, Graph coloring

1. 서 론

무선 통신에 대한 수요는 최근 몇 년 사이 기하급수적인 증가세를 보여 왔다. 이러한 무선 통신의 증가는 휴대전화를 이용하는 음성 통신에서부터 시작하여 RFID나 블루투스, 무선 랜 등을 이용 한 유비쿼터스 환경으로 진화해나가는 데이타 통신에도 나타난다. 휴대폰, PDA, 노트북, 임베디드 디바이스 등의 보급과 확산을 통한 무선 통신량의 증가는 연결 지연이나 통화 품질저하 데이타 손실 등의 문제를 발생 시킬 수 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 통신방식에 따른 다양한 연구가 진행되고 있는데, 그 중 하나가 제한된 주파수 자원의 효율적인 사용이다. 무선 통신에서는 단말기기의 휴대성 때문에 기기의 크기와 무게에 제한을 받는다. 따라서 휴대 기기의 에너지자원이 제약을 받고 이로 인해

† 종신회원 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 교수
sanglee@sookmyung.ac.kr
†† 종신회원 : 덕성여자대학교 인터넷 정보공학 교수
jylee@duksung.ac.kr
논문접수 : 2005년 9월 1일
심사완료 : 2006년 8월 25일

단말기에서 단말기로의 직접적인 무선 통신이 아닌, 원(source) 단말기는 근거리의 스테이션과 무선으로 음성이나 데이타를 전송하고 원거리에 위치한 목적(target) 단말기를 서비스 하는 스테이션까지 유선망으로 이루어진 스테이션들의 중계로 데이타를 전송하고 최종 스테이션에서 목적 단말기기로는 다시 무선으로 연결하는 통신 구조를 갖는다. 이러한 구조에서 스테이션들과 단말기기사이의 무선 통신에 주파수를 사용하는데, 요청되는 통신에 효율적으로 주파수를 할당하고 잉여 주파수를 효율적으로 관리하는 주파수 재사용이 무선망 구성에 중요한 요소로 주파수 할당(frequency assignment)에 대한 문제가 다양하게 연구되고 있다[1-6].

이러한 무선 통신망의 구성과 주파수 할당 문제는 FDMA(Frequency Division Multiple Access) 방식의 이동통신에서 각 기지국에 어떻게 주파수를 할당해야 하는가의 문제로 연구되어지기 시작하였으나[1,4], 최근 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 사용하는 IEEE 802.11 무선인터넷의 엑세스 포인트(Access Point; AP)를 백본망(backbone network)으로 구성하여 보다 넓은 범위의 무선랜 서비스를 가능케 하는 무선 메쉬(Mesh) 위상구조 망에서의 주파수 할당 문제로도 연구되고 있다[5,9,10]. 이 때 실제의 이동통신 중계소나 AP의 구성은 임의의 불규칙적인 배열을 갖는데, 이러한 망의 구성이 임의의 위상구조를 갖는 경우 대부분의 주파수 할당 문제의 최적의 해법을 찾는 것은 NP-Complete의 어려운 문제이다. 따라서 실제 무선망에서의 효과적인 활용방법을 찾기 위해서는 여러 가지 실험을 통한 개선방안의 강구와 더불어 이론적 연구도 심도 있게 병행되어야 한다.

이론적 접근에 있어서는 보다 정형적인 배열로 엑세스 포인트나 기본 스테이션들의 중복을 최소화 하면서 전체 서비스 영역을 커버하도록 하는 이상적인 구조의 위상을 고려하고 있다. 정형적인 이상적 분포를 갖는 네트워크 구성을 셀룰러 위상 구조라 한다[1]. 셀룰러 위상 구조로 구성된 무선망에서는 지리적으로 영역을 나누어서 하나의 엑세스 포인트나 기본 스테이션이 그 지리적 영역 안에서 일어나는 통신 서비스를 담당하는데, 이 서비스 영역은 육각형의 셀룰러 영역(셀이라 부름)으로 표시 된다. 각 셀의 중앙에는 엑세스 포인트나 기지국과 같이 무선 통신 클라이언트들의 통신을 관리하는 기본 스테이션(base station)이 위치하며, 다른 셀에 있는 스테이션과 유선망을 통해 통신하여 자신의 서비스 영역의 클라이언트가 적은 파워의 단말기를 가지고도 먼 곳에 있는 다른 클라이언트와 통화를 가능하게 한다. 각 클라이언트의 호출(call)이 있을 때 관계하는 기본 스테이션에 특정 주파수를 할당하는데, 인접한 셀 간에 같은 주파수를 할당하거나 근접한 주파수를 할당할 경우, 두 통신 간에 주파수 간섭(interference)이 발생 할 수 있다. 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 어떤 통신 간에도 주파수 간섭이 일어나지 않아야 한다. 그러나 주파수가 무한정 제공되어 각 통신마다 다른 주파수를 사용한다면 주파수 간섭 없이 고품질의 서비스를 제공할 수가 있겠지만, 사용할 수 있는 주파수의 개수는 물리적으로 제한되어 있다. 따라서, 제한된 주파수의 대역폭(bandwidth)을 효과적으로 공유하기 위해서 대역폭안의 주파수들을 가능한 한 재사용 하여야 한다. 주파수 재사용에 있어 스테이션들에 지정되는 주파수들은 서로 주파수 간섭이 일어나지 않아야 하며, 주파수 간섭에는 상호 주파수 간섭(co-frequency interference)과 이웃 주파수 간섭(adjacent frequency interference)이 있다. 상호 주파수 간섭이란 같은 주파수를 일정 거리 이상 떨어지지 않은 두 개의 스테이션에 할당하여 같은 주파수를 사용하는 두 스테이션에서 일어나는 통신들 사이에 생기는 주파수 간섭을 나타내고, 이웃 주파수 간섭은 주파수대(frequency spectrum) 상에서 근접한 두 개의 주파수를 충분한 거리 이상 떨어지지 않은 두 개의 스테이션에 할당하여 생기는 근접한 두 주파수간의 간섭을 나타낸다. 주파수 재사용 가능 거리란 두 셀 간에 주파수 간섭을 초래하지 않고 주파수가 재사용 될 수 있는 거리를 말한다. 다양한 네트워크 모델에서 효율적인 주파수 자원 재사용을 위한 주파수 할당 문제는 여러 가지 방법으로 해결할 수 있는데 그 중 하나가 네트워크를 그래프로 모델링 하여 그래프 이론의 알고리즘들을 적용하는 방법이다. 여러 가지 주파수 간섭을 고려한 주파수 할당 문제들은 그래프 이론의 컬러링 문제로 변형할 수 있는데, 이 때 문제에 따라 주어지는 조건이 다르며 그에 맞는 올바른 컬러링 모델을 찾아야 한다[7,8].

본 논문에서도 주파수 할당 문제를 그래프의 컬러링 문제(coloring problem)로 변환하여 그 해답을 얻는 방법으로 접근하였다. 일반적인 형식의 임의의 위상을 갖는 네트워크 모델에서의 주파수 할당 문제는 대부분 NP-Complete문제이다. 그러나 무선 셀룰러 위상구조는 매우 규칙적인 정형적 구조를 가진다. 셀룰러 위상구조는 그림 1과 같이 베이스 스테이션을 하나의 노드(node)로 표현하여 서비스 영역의 셀을 나타내고, 각 셀의 육각형각 면에 이웃하는 여섯 개의 이웃 노드들을 에지(edge)로 연결하여 이루어진 삼각형 격자(lattice) 모양의 그래프로 모델화 된다. 이 그래프를 셀룰러 그래프라 하고 이때 모든 노드들은 정확히 6개의 이웃 노드를 갖는 정형적인 구조를 갖는다. 이러한 구조들 상에서 주파수 할당 문제의 최적 값은 다항식 형태의 시간 내에 구할 수 있다.

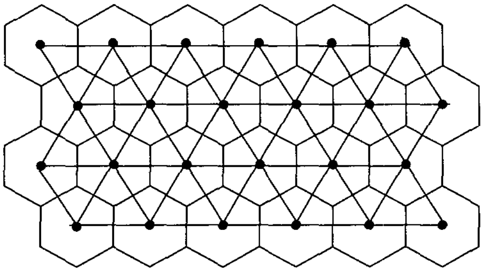


그림 1 셀룰러 위상구조의 그래프 모델

참고문헌[1]에서는 상호 주파수 간섭과 이웃 주파수 간섭을 동시에 고려하는 주파수 할당 알고리즘들을 제안하였고, 하한 값으로 이웃 주파수의 최소 할당 거리를 k라 했을 때 상호 주파수간섭과 이웃 주파수간섭 없이 모든 노드에 주파수를 할당할 때 필요한 주파수의 최소 개수를 $O(k^2)$라 제안하였다. 본 논문에서는 상호 주파수 간섭과 이웃 주파수 간섭을 없애면서 주파수를 최대한 효율적으로 사용하는 주파수 할당 문제의 필요한 최소 주파수 개수의 하한 값(lower bound)으로, 현재까지 알려진 가장 근접한 참고문헌[1]의 하한 값보다 더 정확한 값인 $O(k^3)$을 제시한다.

2장에서는 주파수 할당 문제를 설명하고, 3장에서는 기존의 참고문헌[1]에서 제안된 하한 값과 본 논문에서 제안하는 향상된 하한 값을 소개하고, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 셀룰러 위상 구조에서의 주파수 할당 문제

같은 주파수를 일정 거리 이상 떨어지지 않은 두 개의 스테이션에 할당하여 생기는 상호 주파수 간섭에서는 동일 주파수 재사용 가능거리를 고려하여 주파수 할당을 한다. 같은 주파수라도 주파수 재사용 가능거리 이상 서로 떨어진 스테이션들에서는 사용이 가능하므로 이런 점을 고려하여 주파수를 할당하여 자원을 재사용한다. 주파수대 상에서 근접한 두 개의 주파수를 충분한 거리 이상 떨어지지 않은 두 개의 스테이션에 할당하여 생기는 이웃 주파수 간섭은 상호 주파수 간섭보다 주파수 할당에 있어 더 복잡한 제한을 받는다. 이웃 주파수 간섭은 계속적으로 증가하는 주파수 요구를 충족하기 위해 제한된 주파수대를 더욱 세분화하여 발생되는 주파수 간섭이다. 세분화된 주파수대의 이웃하는 두 개의 주파수 간의 간섭은 같은 주파수가 아니면 주파수 할당에 스테이션들 사이의 거리에 제한이 없던 상호 주파수 간섭과는 달리 다른 주파수더라도 주파수대에서 근접한 위치에 있으면 어느 정도 거리를 유지하여 주파수를 할당해야만 간섭을 방지할 수 있다. 이러한 주파수 간섭을 고려하여 참고문헌[1]에서는 두 가지 주파수 할당 문제를 그래프 이론에서의 컬러링 문제로 변환하여 소개하였다.

2.1 거리-k 크로마틱 수 문제

베이스 스테이션들을 나타내는 노드 집합을 V, 스테이션들 간의 연결을 나타내는 링크 집합을 E로 두면, 셀룰러 그래프는 G = (V, E)로 나타낼 수 있다. 두 개의 다른 스테이션에서 같은 주파수를 사용할 때 주파수 간섭이 일어나는 거리 값을 k라 하자. 셀룰러 그래프에서 두 노드의 최단 거리가 k보다 작거나 같은 경우 서로 다른 컬러를 주되 전체 노드를 최소의 컬러를 사용하여 컬러링 하는 문제이다. 이 때 스테이션에 할당되는 주파수를 노드에 할당되는 컬러로 생각한다.

2.2 크로마틱 대역폭 문제

셀룰러 그래프 G = (V, E)에서 노드 v_i와 노드 v_j를 연결하는 에지의 값(weight)이 $w(i,j)$일 때, 컬러링 함수 $f(v_i)$ ($v_i \in V$)를 노드 v_i에서 자연수 N으로의(컬러를 자연수로 표기함) 매핑 $f: v_i \rightarrow N, v_i \in V$로 정의한다. 임의의 두 노드 $v_i, v_j \in$ V 사이에 할당된 자연수(컬러)는 $|f(v_i) - f(v_j)| \geq w(i,j)$를 만족하는 컬러링 문제이다. 컬러링의 대역폭은 컬러링에 사용된 가장 큰 자연수로 하고 크로마틱 대역폭은 존재하는 모든 컬러링의 대역폭 중 가장 작은 대역폭을 말한다. 이 때, 노드 v_i와 노드 v_j 사이의 최단 거리 $d(i,j)$라 두고 간섭 상수를 k라 할 때, $w(i,j)$ 값은 다음과 같다.

$$w(i,j) = \begin{cases} k+1-d(i,j) & \text{if } 1 \leq d(i,j) \leq k \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

거리-k 크로마틱 수 문제는 상호 주파수 간섭을 고려하는 주파수 할당 문제와, 크로마틱 대역폭 문제는 이웃 주파수 간섭을 고려하는 주파수 할당 문제와 일치한다.

3. 주파수 할당 문제의 향상된 하한 값(lower bound) 분석

참고문헌[1]에서 제시한 거리-k 크로마틱 수 문제에 대해 간섭 없는 주파수 할당에 필요한 주파수 개수의 하한 값은 다음과 같다:

셀룰러 그래프에서 거리-k 크로마틱 수 문제에 필요한 최소 컬러 수는

k가 홀수일 때 $\frac{3}{4}(k+1)^2$, 짝수일 때 $\frac{3}{4}(k+1)^2 + \frac{1}{4}$

이 적어도 필요하다.

셀룰러 그래프 G = (V, E)에서 노드 집합 V의 어느 부분집합을 V′이라 하자. V′에 있는 모든 노드들 간의 거리가 그래프 G에서 최대 k이라면, V′을 거리-k 크릭(distance-k clique)이라 정의한다. 그림 2에서 k가 각

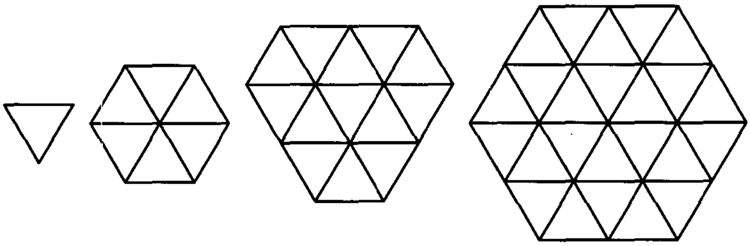


그림 2 셀룰러 그래프에서 $k = 1,2,3,4$일 때 거리-k 크릭

각 1, 2, 3, 4일 때의 거리-k 크릭을 보인다. 여기서, k가 짝수이면 $(k+1) + 2k + 2(k-1) + \cdots + 2(\frac{k}{2}+1) = \frac{3}{4}(k+1)^2 + \frac{1}{4}$이고, 홀수이면 $(k+1) + 2k + 2(k-1) + \cdots + 2(\frac{k}{2}+\frac{3}{2}) + (\frac{k}{2}+\frac{1}{2}) = \frac{3}{4}(k+1)^2$이다. 거리-$k$ 크릭에 있는 노드들은 서로 간의 거리가 k를 넘지 않으므로 서로 다른 컬러를 할당해야만 한다. 즉, 적어도 거리-k 크릭에 있는 노드 수만큼의 컬러가 필요하다. 참고문헌[1]은 이러한 논지에서 주파수 개수의 하한값을 이끌어 내었다.

또한, 참고문헌[1]에서는 크로마틱 대역폭 문제의 하한 값으로도 거리-k 크릭을 이용하여 위와 같은 결과를 사용한다. 그러나 거리-k 크로마틱 수 문제에서는 다른 주파수들 사이에는 간섭이 일어나지 않지만 크로마틱 대역폭 문제의 경우는 다르다. 다른 주파수들이라도 만약 주파수 대역에서 근접해 있다면, 그것들이 거리상 충분히 떨어지지 않은 스테이션들에 할당되면 서로 간섭을 일으킬 수 있기 때문에 거리-k 크릭 보다 훨씬 많은 수의 주파수가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 크로마틱 대역폭 문제의 하한 값으로 제시한 참고문헌[1]의 결과 보다 향상된 하한 값을 제시하고자 한다.

정리 3.1

셀룰러 위상 구조에서 크로마틱 대역폭 문제에 필요한 최소 컬러(주파수) 수는 k가 짝수일 때 $\frac{1}{4}k^3 + \frac{3}{4}k^2 + \frac{3}{2}k+1$, k가 홀수일 때 $\frac{1}{4}k^3 + \frac{3}{4}k^2 + \frac{5}{4}k + \frac{3}{4}$이 적어도 필요하다.

증명. 먼저 k가 짝수인 경우를 생각해 보자. k가 짝수인 경우 거리-k 크릭(distance-k clique)은 그림 3에 나타나 있다. k가 2인 경우 거리-k 크릭은 노드 a와 노드 b - g로 이루는 Cycle 1으로 나타낸다. 일반적으로 k가 짝수일 때 거리-k 크릭은 노드 a와 노드가 6개씩 증가해 나가는 Cycle 1에서부터 Cycle $\frac{k}{2}$로 이루어져

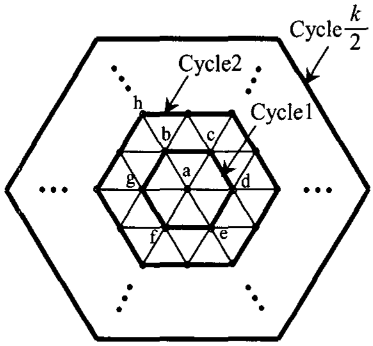


그림 3 k가 짝수일 때의 거리-k 크릭

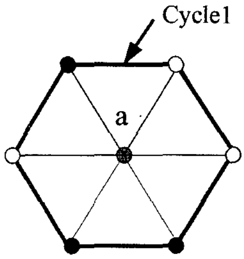


그림 4 거리-2 크릭

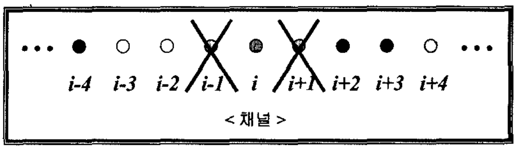


그림 5 거리-2 크릭에서의 주파수 사용

있다. 크로마틱 대역폭을 찾기 위해 짝수의 k 중 가장 작은, $k = 2$인 경우를 고려해보자. 그림 4와 같이 거리-2 크릭에서 노드의 수는 7이지만 a노드에 주파수 i가 할당되었다면 그림 5에서와 같이 주파수 i와 거리 2이하에 있는 i-1과 i+1 주파수는 사용할 수 없게 되고, 나머지 Cycle1에 있는 모든 노드들은 최단 거리가 2이상 차이가 나기 때문에 최소 노드 수만큼의 주파수만으로

도 할당할 수 있다. 그러므로 거리-2 크릭에서 크로마틱 대역폭의 하한 값은 1(a 노드에 할당되는 주파수 수) + 2(사용 못하는 주파수 수) + 6(Cycle1에 할당되는 주파수 수 즉, Cycle1의 노드의 수) = 9가 된다. 다시 말해서 크로마틱 대역폭 문제를 고려하면 참고문헌[1]에서 제시한 k가 2일 때 필요한 주파수 수가 7이라는 것(표 1 참조)은 정확한 하한 값이 아니며, 위에서 설명한 것과 같이 최소 9개 이상의 주파수가 필요하다.

표 1 [1]에서 제시한 k에 따른 필요 주파수 수

k	1	2	3	4	5	…
필요한 주파수 수	3	7	12	19	27	…

이와 같은 성질을 일반화시키기 위해 거리-k 크릭의 가운데 노드(노드 a)에 컬러 i가 할당되었을 때 주파수 대역 상에서 노드 i로부터 근접한 노드들에 대한 거리의 조건이 그림 6에 나타나 있다.

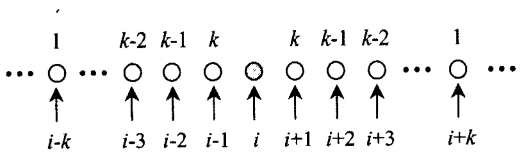


그림 6 컬러 i를 기준으로 본 노드들의 거리

컬러 $i-1$과 컬러 $i+1$은 노드 a(컬러 i가 할당된 음영 처리된 노드)에서부터 최소한 거리가 k 떨어져 있는 노드에 할당이 가능하고 컬러 $i-k$는 노드 a의 인접한 노드에 할당할 수 있다. 그림 6의 노드는 컬러를 의미하고 각각의 컬러는 노드 아래에 있는 숫자이다. 노드들 위에 있는 숫자는 컬러 i를 할당 받은 스테이션을 기준으로 해당 컬러를 간섭 없이 할당 할 수 있는 스테이션까지의 최소 거리이다. 그림 3에서 노드 a에 컬러 i가 할당될 때, 노드 a로부터 노드 a가 중심에 있는 거리-k 클릭에 속해 있는 다른 노드들까지의 거리는 $\frac{k}{2}$보다 작거나 같으므로 i보다 작은 $\frac{k}{2}$개와 i보다 큰 $\frac{k}{2}$개의 컬러를 사용할 경우 주파수간섭이 나타난다. 따라서, 노드 a를 위해 k+1개의 컬러가 필요하고(이중 실제로 사용하는 것은 하나임) 그 다음의 각각의 Cycle 들을 보면 다른 노드와의 최대 거리가 하나씩 증가된다. 따라서 Cycle j에 있는 각 노드에 필요한 컬러는 $2(\frac{k}{2}-j)+1$임을 알 수 있다. 다시 정리해보면, k가 짝수일 때 필요한 최적의 크로마틱 대역폭 $OPT(k)$는

$$OPT(k) \geq (k+1)+\sum_{j=1}^{\frac{k}{2}} 6j(k-2j+1)$$
$$=\frac{1}{4}k^3+\frac{3}{4}k^2+\frac{3}{4}k+1$$

가 된다.

k가 홀수인 경우도 짝수와 마찬가지 방법으로 하한 값을 산출할 수 있다. 그림 7에 k가 홀수일 때의 거리-k 크릭의 일반화된 모델이 도식되어 있다. 이때의 거리-k 크릭은 3개의 노드로 시작되는 Cycle 0과 이로부터 6개씩 증가하는 Cycle 1에서부터 Cycle $\frac{k-1}{2}$로 구성되고, 각 사이클에 속한 노드를 위한 컬러를 k가 짝수일 때와 같은 방법으로 구하면 최적의 크로마틱 대역폭 $OPT(k)$는

$$OPT(k) \geq \sum_{j=0}^{\frac{k-1}{2}} (3+6j)(k-2j)=\frac{1}{4}k^3+\frac{3}{4}k^2+\frac{5}{4}k+\frac{3}{4}$$

가 된다. □

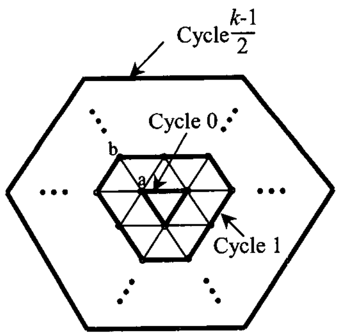


그림 7 k가 홀수일 때의 거리-k 크릭

4. 결 론

본 논문에서는 참고문헌[1]에서 제안한 셀룰러 위상구조에서의 크로마틱 대역폭 주파수 할당 문제의 하한 값을 이웃 주파수 간섭의 특성을 고려하여 향상시켰다. [1]에서 제안한 하한 값은 $O(k^2)$의 범위를 가졌지만 본 논문은 하한 값의 범위가 $O(k^3)$임을 보임으로 해서 셀룰러 위상구조를 갖는 무선 네트워크에서의 주파수 할당 문제에서 보다 근접한 이론적 하한 값을 제시하였다. 본 논문의 결과로 참고문헌[1]에서 3배의 최적 값이라 했던 그들의 크로마틱 대역폭 주파수 할당 알고리즘의 결과는 실제로 2배의 최적 값에 해당하는 결과임을 입증하였다. 이는 그들이 제시했던 주파수 할당 알고리즘이 그들의 생각보다 더 좋은 결과였음을 말해 준다. 본

논문에서 제안하는 분석 결과가 실질적 무선 무선네트워크 구성에 직접적으로는 활용될 수 없다고 하여도 이와 같은 이론적 이해들이 새롭게 등장하는 여러 가지 형태의 무선망 구축에 있어 효율을 높이는 설계의 가이드라인으로 활용될 수 있으리라 기대한다.

참 고 문 헌

[1] A. Sen, T. Roxborough and S. Medidi, "Upper and Lower bounds of a Class of Channel Assignment Problems in Cellular Networks," *Proc. of IEEE INFOCOM '98*, San Francisco, April 1998.

[2] M.Duque-Anton, D.Kunz and B.Ruber, "Channel Assignment for Celluler Radio Using Simulated Annealing," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 42, No. 1, pp.14-21, Feb 1993.

[3] S. Jordan and E.J. Schwabe. "Worst-case Performance of Cellular Channel Assignment Policies," *Wireless Networks*, Vol. 2, No 4, pp.265-275, 1996.

[4] D.Kunz, "A Graph Theoretic Approach for Channel Assignment in Cellular Networks," Wireless Networks, Vol. 7, No. 6, pp. 567-574, Nov. 2001.

[5] K.K. Leung and B.J. Kim, "Frequency Assignment for IEEE 802.11 Networks," *Proc. of IEEE Veh. Tech. Conf.* Oct. 2003.

[6] D. Tcha, Y. Chung and T. Choi, "A New Lower Bound for the Frequency Assignment Problem," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 1, pp. 34-39, Feb 1997.

[7] D.B. West, "Introduction to graph theory," *Prentice-Hall*, 1996.

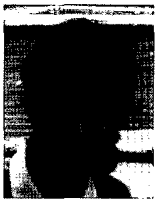
[8] T.R. Gensen and B. Toft, "Graph coloring problems," *Wiley-interscience, New York*, 1995.

[9] B. Raman, "Channl Allocation in 802.11-based Mesh Networks," Proc. of IEEE INFOCOM '06, April 2006.

[10] H. Ju and I. Rubin, "Mesh Topology Construction for Interconnected Wireless LANs," Proc. of IEEE INFOCOM '06, April 2006.

이 상 규

1989년 University of Southern California 컴퓨터과학과 학사. 1991년 George Washington University 컴퓨터과학과 석사. 1995년 George Washington University 컴퓨터과학과 박사. 1995년~1996년 AC Technologies Inc. Virginia U.S.A. Software Engineer, 1997년~현재 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 교수. 관심분야는 무선통신, Mobile Computing, Wireless Mesh Networks, 유비쿼터스 컴퓨팅



이 주 영

1984년 이화여자대학교 수학과 학사 1991년 The George Washington Univ. 컴퓨터과학과 석사. 1996년 The George Washington Univ. 컴퓨터과학과 박사 1996~현재 덕성여자대학교 컴퓨터과학부 교수. 관심분야는 알고리즘, 분산/병렬처리, 그래프이론, 무선통신