

디지털 TV로의 효율적 전환을 위한 주파수할당 근사해법 연구*

백 천 현

동익대학교 기계산업시스템 공학부

A Frequency Assignment Heuristic for the Efficient Deployments of Digital TV Systems

Chun-Hyun Paik

For the graceful transition from the analog to digital TV systems, a systematic frequency assignment scheme must be incorporated into the transition planning procedure. In this study, we have studied the frequency assignment methodology for the efficient management of the limited spectrum resources. By applying the graph-theoretic approach, this study developed a new solution method for additional frequency assignment problem whose objective is to assign available frequencies for newly generated requirements (digital TV stations) with minimum reassignment of the preassigned frequencies to LPTV stations while meeting the interference-related constraints. The proposed algorithm can be effectively applied not only to the current digital TV introduction phase but also to the development phase with some further development. This study can be utilized as the basis for the future study on frequency assignments that aims at graceful transition from analog TV to digital TV.

1. 서론

디지털방송(D-TV: Digital Television)은 다가오는 21세기를 대표하는 분야 중의 하나로, 이미 선진국을 중심으로 시험서비스가 실시중이거나 계획중에 있다. 국내에서도 2001년 본격적인 국내 디지털방송을 위해, D-TV 전송표준은 북미방식(ATSC)인 8-VSB 방식으로 결정된 바 있으며, 이를 기초로 국내 D-TV 계획이 수립되고 있다. 아날로그 서비스와 디지털 서비스는 상당기간 동안(국내의 경우 2001년 디지털 방송개시로부터 디지털 가입자가 50% 이상이 예상되는 2006년까지 최소한 5년 이상) 동시에 제공될 것으로 예상되고 있다. 따라서 한정된 주파수자원의 효율적 사용여부는 아날로그 및 디지털 방송품질을 결정하는 중요한 요인이 되는 것으로 인식되고 있다.

몇 개의 중계소 증설 등에 따른 주파수 할당문제에 국한되었던 기존의 아날로그방송(A-TV: Analog Television) 시스템에서

의 단순한 주파수 할당문제는 디지털시스템 도입으로 인해 정책적, 기술적, 경제적 요인들이 상호 복합적으로 작용하는 매우 복잡한 문제가 되었다. 특히, 북미방식하의 디지털 시스템에서의 주파수 할당문제는 기술적인 측면에서 디지털방송망의 성공적인 도입여부를 결정하는 중요한 요소로 인식되고 있다(FCC, 1998).

본 연구는 최근 디지털방송망 초기 도입 계획의 가시화와 수립된 주파수관련 정책을 뒷받침할 수 있는 주파수할당 방안 및 기법에 대한 국내 연구가 미진하다는 인식하에 추진하게 되었다. 최근 연구결과, 미국 실정하에 수립된 주파수할당 관련 정책과 이를 기반한 주파수할당 기법이 국내 현실에는 적합하지 않다는 결론에 도달하였다. 특히, 주파수할당시 A-TV 간이국과 D-TV 기간국 간의 간섭을 중요 요소로 고려하지 않는 미국에서의 간이국에 대한 처리방식은 국내 현실과 매우 동떨어진 것으로 판단된다. 국내 간이국은 단순한 증폭기 개념인 미국에서와는 달리, 특정 주파수가 할당된 서비스영역이

* 본 연구는 정보통신부 정보통신연구개발사업(자유단위 99-31)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

작다는 것을 제외하고는 주파수 관리/할당 측면에서는 기간국과의 차이가 없다. 따라서, 국내 D-TV 주파수 할당 정책 및 방안에는 기존 A-TV 간이국에 대한 처리문제가 매우 중요한 요소로 다루어져야 할 것이다.

주파수 할당 문제는 난이도가 매우 높은 문제로 입증되어 있다. 따라서 현실 문제에 대한 적용 가능한 해법(solution methods) 개발은 정확해(exact solutions)보다는 근사해(approximate solution)를 개발하는 데 치중되어 왔는데, 연구 대상 시스템이 대부분 이동통신 시스템(FDMA 및 TDMA) 분야에 집중되어 왔다. 주파수 할당에서 고려되는 가장 중요한 제약조건은 주파수 재사용으로 인한 주파수 간섭조건(동일주파수, 인접주파수 제약조건 등)이다. 이동통신 시스템을 대상으로 각 셀의 주파수 수요(demand)와 비교적 확정적으로 주어진 주파수 간섭조건들을 만족하는 주파수 할당 문제를 전통적인 노드채색문제(node coloring problem) 이론을 이용한 해법(Hale, 1980; Rouskas, 1995; Sivarijan, 1989; Sung, 1997), 유전자 또는 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing) 등 메타 휴리스틱들을 이용한 연구들이 제시되어 왔다(Al-Khateeb, 1998; Beckmann, 1999). A-TV 시스템에 대해서는 기하학적 접근법(geometry approach)을 이용한 방법(Arnaud, 1980) 외에 다른 연구는 발견되고 있지 않다. 이는 A-TV 시스템에서의 주파수 할당은 이동통신 시스템에 비해 문제 규모나 복잡성 면에서 간단하고, A-TV 시스템에 대한 주파수 할당은 이미 안정적 운용상태에 있기 때문인 것으로 판단된다.

최근 D-TV의 도입에 따른 새로운 주파수 할당 방법론의 대두는 다음 두 가지 측면에 기인한다. 먼저, D-TV 방송 주파수 할당에 있어서 주파수 할당 제약조건은 크게 두 가지 범주로 - 반드시 충족해야 할 강제적 성격의 것(강제적 요소)과 강제적이지는 않지만 가능한 특정 사항을 충족시키기를 요구하는 것(유연한 요소) - 구분될 수 있다. 대부분의 기존 연구에서는 강제적 요소(예: 주파수 간섭조건)만을 수용할 수 있는 할당 모형 및 해법만을 다루고 있다. 따라서 주파수 할당에 있어 다음 장에 소개되는 여러 가지 유연한 제약요소들을 주파수 할당시 반영해야 하는 D-TV 시스템에 기존 연구를 그대로 적용할 수 없다.

다음으로, 기존 대부분의 연구는 기할당된 주파수가 없는 상황에서 시스템 전체에 새로운 주파수를 할당하는 문제(이를 초기할당 문제라 부른다) 및 해법을 다루고 있다는 점이다. 시스템에 기할당된 주파수가 있는 상황에 이러한 초기할당 문제에 대한 연구결과를 응용할 수 있지만, 초기할당 문제의 특성상 실행 가능해(feasible solution)를 찾지 못하는 경우 취할 수 있는 대안을 갖고 있지 않다.

본 연구에서는 D-TV 주파수 할당을 위한 근사해법에 관한 연구로 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 국내 방송망 환경 및 주파수 할당 특성에 대해 살펴본다. 이러한 특성을 반영한 주파수 할당 해법이 3절에서 소개된다. 4절에서는 제시된 해법을 이용해 국내 특정지역에 대한 실험적 할당결과를 소개한다.

2. D-TV 방송망 환경 및 주파수 할당 특성

국내에서 D-TV 서비스 상용화를 위한 본격적인 논의가 진행중이어서 관련 요소에 대한 결정이 완전히 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 현재 논의되고 있는 사항과 원칙적으로 만족해야 할 사항을 중심으로 살펴보기로 한다.

- ▶ 기존 A-TV에 대한 주파수 할당은 기간국과 간이국(이를 모두 기지국으로 총칭해서 부르기로 한다) 단위로 이루어져 있다. 기간국은 비교적 넓은 지역을 담당하고 있는 기지국이고, 간이국은 기간국이 수용하지 못하는 음영지역을 담당하는 기지국이다. 1998년 9월 현재 국내 A-TV 기지국 현황은 아래 <표 1>과 같다. <표 1>에서 각 중계소에는 방송국별(KBS1, KBS2, MBC 등)로 기지국이 있게 된다. 그리고 D-TV에 대한 기지국 설치지역은 A-TV 중계소에 설치하고, D-TV로의 전환기간 초기에는 A-TV 기간국에 대응되는 D-TV 기간국을 일대일로 신설함을 원칙으로 한다.

표 1. 국내 A-TV 중계소, 기지국 및 할당 주파수 수 현황

종류	지역	기간국		간이국		계	
		중계소 수	주파수 수	중계소 수	주파수 수	중계소 수	주파수 수
	서울, 경기	4	15	34	104	38	119
	강원	7	26	48	159	55	185
	충북	3	9	36	95	39	104
	대전, 충남	4	16	22	51	26	67
	전북	2	8	42	106	44	114
	전남	5	12	65	197	70	209
	대구, 경북	4	17	43	120	47	137
	부산, 경남	6	22	60	199	66	221
	제주	2	8	2	5	4	13
	계	37	133	352	1036	389	1169

(출처: 전자통신연구원, 1998.9.)

- ▶ 각 기지국에 할당되는 주파수는 1개이며 주파수 할당을 위한 주파수 대역(A-TV와 공용)은 아래 <그림 1>과 같다.

Low VHF	FM	High VHF	통신	Low UHF	High UHF
ch 2~6		ch 7~13		ch 14~18	ch 19~60
54~88 MHz		174~216 MHz		470~500 MHz	500~752 MHz

그림 1. 국내 방송주파수 현황 및 구분.

- ▶ 핵심대역(core spectrum)에 대한 설정은 산발적인 주파수 사용방지를 통해 A-TV에서 D-TV로의 원활한 전환과 전환 후 여유 주파수 대역의 확보를 위해 UHF 대역인 14번에서 60번까지 설정하였다. 신규 D-TV에 대한 주파수 할당시 핵심대역 내에 속한 주파수를 할당하는 것이 원칙

이지만 이것이 불가능한 경우 핵심대역 외의 주파수를 할당하는 것을 허용한다.

- ▶ 케이블 TV나 VCR과의 간섭을 피하기 위해 3번 주파수와 4번 주파수를 동일 지역(community)에 할당하는 것은 피하도록 한다. 또한, 주파수 6번의 할당은 인접 채널에서 사용중인 FM 라디오와 간섭을 야기할 수 있으므로, 가능한 6번 주파수의 할당은 피하도록 한다.
- ▶ D-TV와 A-TV 기지국간의 주파수 간섭에 있어, 터부(taboo) 주파수 제약을 필요한 경우 고려한다. 이 제약은 UHF 주파수 중 할당하고자 하는 주파수의 +/- 2, 3, 4, 5, 7, 8, 14, 15에 속하는 주파수는 인접 기지국과 특정 거리범위(또는 간섭관계)에 있는 경우에는 할당하지 못한다는 것으로 전파 및 시스템 특성에 기인한다.
- ▶ 그 외 고려해야 할 사항으로는 다음과 같다.
 - D-TV 기지국에 할당되는 주파수와 대응되는 A-TV 기지국에 할당된 주파수의 차이는 +/- 15번 내에서 이루어져야 한다.
 - A-TV 기지국에 할당된 주파수 대역과 대응되는 D-TV에 할당되는 주파수 대역간의 대응관계

위에서 언급된 방송망 환경 및 주파수 특성은 관련 전문연구 기관의 자료를 참조한 것으로, 이를 앞서 언급한 유연한(soft) 및 강제(hard) 제약요소로 구분하면 <표 2>와 같다. 아래의 특성은 1998년 기준으로 현재의 방송망 특성과 다소 차이가 날 수 있다.

3. D-TV 방송 주파수할당 해법

본 연구에서 제시한 방송 주파수할당(BFA: Broadcasting Frequency Assignment) 해법은 크게 기초자료 입력모듈, UA(Unforced Assign-

ment) 모듈 그리고 FA(Forced Assignment) 모듈 등 세 가지 모듈로 구성되어 있다(<그림 2>). UA 모듈에서는 기할당된 기지국의 주파수 변경 없이 신설되는 기지국에 새로운 주파수를 할당하기 위한 모듈로, 이 모듈의 기본개념은 전통적인 노드 채색 문제를 위한 해법에 바탕을 두고 있다. 이러한 해법에는 할당척도(measure), 주파수할당 순위, 주파수할당 전략(Brelaz, 1979; Dutton, 1981; Hale, 1980) 등에 따라 여러 가지 조합이 가능한데(Sivarjan, 1989), 이러한 기존해법들은 강제적 제약조건(주파수간섭조건)만을 수용할 수 있어 BFA에 그대로 적용할 수는 없다. 본 연구의 UA 모듈에서는 방송망 특성인 강제적 및 유연한조건을 모두 수용할 수 있도록 새로운 해법을 제안한다.

한편, 미국 D-TV 방송 주파수할당을 위해 미국 FCC(FCC, 1998)에서 이용한 시뮬레이티드 어닐링 등 메타 휴리스틱은 국내 방송환경에 적합한 전파간섭 특성에 대한 자료확보가 전제된다면 UA 모듈의 대안(alternative)이 될 수 있다. 그러나 관련 기관의 전문가에 의하면, 시뮬레이티드 어닐링의 사용을 위한 국내 방송환경에 적합한 전파간섭 특성기준을 추출하기는 곤란한 것으로 판단되고있다.

본 연구의 BFA 해법의 세 번째 모듈인 FA는 UA 모듈 실행 결과, 신설 기지국에 주파수할당이 불가능한 경우 실행된다. FA 모듈은 신설 기지국에 주파수할당을 위해 기할당된 기지국의 주파수변경을 최소화할 수 있는 기지국과 주파수를 탐색하는 과정으로, D-TV 기지국 신설시 변경이 불가피한 A-TV 기지국을 파악함으로써 기할당된 주파수의 최적 철거계획에 유용하게 활용될 수 있다. 이 모듈에서는 주파수 변경이 가능한 기지국은 원칙적으로 기할당된 주파수를 가진 모든 기지국을 대상으로 하고 있다. 그러나 A-TV에 대한 주파수철거가 본격적으로 이루어지지 않는 현시점에서 제시된 FA 모듈의 타당성을 검증하기 위해 D-TV 기지국의 신설시 A-TV 간이국만이 주파수 변경이 가능하다는 가정하에 구체적인 해법연구가 이루어졌다.

표 2. 국내 방송망 및 주파수 환경 특성

항 목	내 용	제약조건		비 고
		강제	유연	
가용 주파수대역	2~60번(59개)	●		
간이국	기존 A-TV 간이국에 할당된 주파수변경 가능 여부	●	●	변경 최소화
핵심대역	전환기 D-TV용 주파수할당시 핵심대역 우선순위 부여		●	
타 서비스와의 간섭	FM, 이동통신, VCR 등과의 간섭	●		
터부주파수 제약	A-TV 기지국과 D-TV 기지국간 인접채널 사용시 터부 주파수 제약 고려 여부		●	필드시험에 따라 변경 가능
	D-TV와 대응 A-TV 할당 주파수간의 차이 (+/- 15)	●		
할당전략	D-TV와 대응 A-TV 할당 주파수간 할당대역 대응	●	●	H/W 규격에 따라 유동적
	방송사업자간 할당대역 균등화		●	할당 정책

(출처: 전자통신연구원, 1998. 9.)

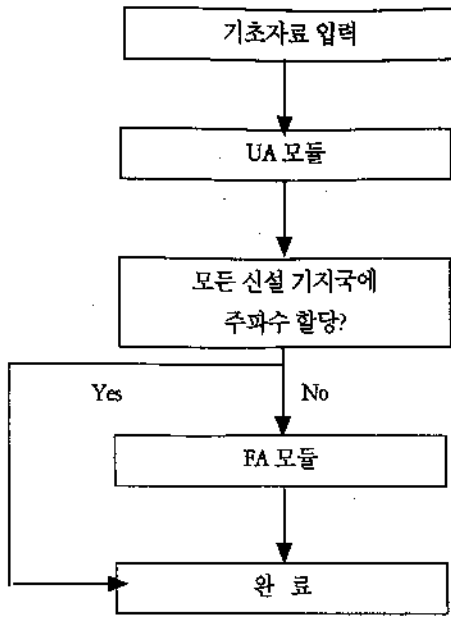


그림 2. BFA 해법의 개요.

3.1 기초입력자료 모듈

국내 방송망에서는 기지국 및 주파수 관리는 지역별, 사이트별, 기지국별로 이루어지고 있다. 이러한 관리형태에 대응하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 용어를 사용하기로 한다. 지역(community)은 현재 주파수할당 관리를 위해 국내에서 사용중인 지역단위로, 예를 들어 서울·경기·강원·충북 등의 지역적 구분을 의미한다. 한편, 사이트(site)는 각 지역 내 중계소로서, 예를 들어 서울·경기 지역에서 용문산, 불광, 백련산 등을 의미한다. 다음으로, 기지국(base station)은 각 방송국별 기간국 및 간이국을 나타낸다.

3.1.1 기지국 자료 입력모듈

본 모듈에서는 주파수할당과 관련된 기지국들이 포함될 지역, 사이트, 기지국 수 등에 대한 정보를 입력하는 부분이다.

3.1.2 기지국간 쌍(pair)에 대한 자료입력

신설 기지국(또는 주파수가 변경되는 기지국)에 대한 주파수 할당시, 필요에 따라 기존 기지국과의 쌍(pair) 개념을 도입한다. 초기할당에는 A-TV 기간국과 대응되는 D-TV 기간국이 쌍을 형성한다.

3.1.3 주파수 자료입력

- ▶ 대역정보: 이용가능 대역(2~60), 핵심대역(14~60), 주파수 대역 구분
- ▶ 터부주파수: 터부주파수는 +/- 별로 어떤 주파수간섭을 고려할 것인지를 사용자가 선택가능
- ▶ 기존 각 기지국(A-TV 기간국, 간이국)에 할당된 주파수 현황

- ▶ 각 기지국별 할당 불가능한 주파수들에 대한 입력: 새로이 할당이 필요하거나 주파수 변경시, 해당 기지국에는 입력된 주파수 번호는 할당되지 못함

3.1.4 기지국간 간섭정보 입력

BFA는 기지국간 간섭형태를 나타내는 주파수간섭행렬을 통해 각 기지국에 할당되어야 할 주파수에 대한 제약 조건으로 표현하고 있다. 주파수간섭형태로는 동일채널 제약, 인접채널제약 등 기존의 초기주파수할당에서 정의한 간섭형태와 방송시스템의 고유 특성인 터부주파수 제약 등 3가지로 정의된다. 주파수간섭행렬 $C = \{C_{ij}\}$ 는 다음과 같은 기준에 의해 생성된다.

$$C_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{기지국 } i \text{와 } j \text{간 주파수간섭이 없는 경우} \\ 1, & \text{기지국 } i \text{와 } j \text{간 동일 주파수간섭이 있는 경우} \\ 2, & \text{기지국 } i \text{와 } j \text{간 인접 주파수간섭이 있는 경우} \\ 3, & \text{기지국 } i \text{와 } j \text{간 터부 주파수간섭이 있는 경우} \end{cases}$$

3.2 UA 모듈

UA 모듈의 목적은 주파수간섭, 기할당된 주파수 현황, 신규 주파수 할당요구 등 주어진 입력자료를 바탕으로 기존 기지국에 할당된 주파수에 대한 변경 없이 신규 기지국에 대한 주파수할당을 수행하는 단계이다. 즉, D-TV 신규 기간국에 대한 주파수를 기존의 A-TV 기간국과 간이국에 할당된 주파수 변경 없이 할당할 수 있는가를 확인하고, 가능한 경우 할당하는 단계이다. UA 모듈의 개요는 <그림 3>과 같다.

UA 모듈의 과정은 다음과 같다.

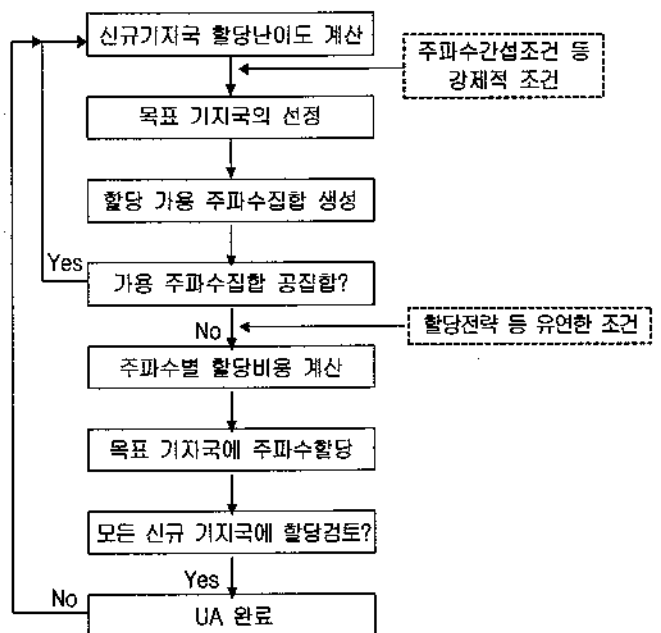


그림 3. UA모듈의 개요.

[단계 1] 신규 기지국별 할당난이도 계산

- 신규 기지국별 할당난이도를 다음에 의해 계산한다.

할당난이도 = (동일 주파수간섭이 있는 기지국들에 할당된 서로 다른 주파수들의 합) + (인접 주파수간섭이 있는 기지국에 할당된 서로 다른 주파수 및 상위/하위 인접 주파수들의 합) + (터부주파수 간섭이 있는 기지국에 할당된 서로 다른 주파수, 상위/하위 인접 주파수, 활성화된 터부주파수 관계가 있는 주파수들의 합)

[단계 2] 목표 기지국의 선정 및 가용 주파수집합 생성

- 기지국별로 할당난이도가 계산되면, 기지국별 할당난이도를 기준으로 가장 낮은 할당난이도를 가진 기지국을 목표 기지국으로 선정한다.
- 선정된 목표 기지국에 할당 가능한 주파수를 선정하기 위해 주파수간섭행렬에서 동일 주파수 및 인접주파수 간섭 조건 및 타 시스템(FM 등)과의 간섭조건을 만족시키는 가용 주파수집합을 생성한다.
- 목표 기지국의 가용주파수 집합을 다음과 같이 수정한다. 쌍(pair)을 이루는 A-TV 기지국이 있는 경우, A-TV 기지국에 할당된 주파수와 +/- 15 이상 차이가 나는 주파수를 가용 주파수집합에서 제외시킨다. 또한 A-TV에 할당된 주파수대역과의 관계를 고려한 할당 가능한 주파수대역 조건(예: 쌍을 이루는 A-TV 기지국에 low VHF가 할당되어 있는 경우, High UHF 주파수는 가용주파수 집합에서 제외) 및 활성화 터부주파수 제약을 위반하는 주파수를 가용 주파수 집합에서 제외한다.
- 만약 목표기지국의 가용 주파수가 없으면, 목표 기지국을 제외하고 [단계 1]로 간다.

[단계 3] 주파수별 할당비용 계산

- 가용 주파수집합에 속한 주파수 중에서 목표 기지국에 할당할 주파수를 선택하는 과정으로 가용 주파수별로 다음과 같은 유연한 제약조건을 비용계수화하여 주파수별 비용에 대한 가중합을 구한다.

할당비용 = 핵심대역 비용 + 할당대역 우선순위 비용 + 주파수별 사용빈도 비용

- 비용의 가중합이 가장 적은 주파수를 목표 기지국에 할당한다.
- 모든 신규 기지국에 할당 또는 할당불가가 판정되면 UA는 완료되고 그렇지 않으면 [단계 1]로 간다.

[단계 1]에서는 신규 주파수할당이 필요한 기지국별로 주파수를 할당(변경)하는 데 있어서의 어려움을 계량적으로 나타내는 할당난이도를 계산한다. 할당난이도란 기지국을 노드로 기지국간 주파수간섭은 에지로 연결된 그래프 상에서 다른 노

드들과의 연결도(connectivity)가 높은 노드에 대한 할당이 그렇지 않은 노드에 비해 난이도가 높다는 노드채색문제 이론에 유래된 것이다. 여기서 연결도란 입력자료인 주파수간섭행렬에 의해 결정되는데(동일주파수, 인접주파수, 터부채널 간섭), 그래프 상에서는 해당 기지국에 할당할 수 없는 색(주파수)의 수로 정의된다. 본 연구에서는 이와 같은 할당난이도에 대한 노드채색문제 이론에 충실하고, 기존의 타 시스템에서는 다루지 않는 터부주파수 제약을 고려하기 위해 위와 같이 기지국별 할당난이도를 설정하였다.

[단계 2]에서는 생성되는 가용 주파수집합은 목표 기지국에 강제적 조건을 만족하는 가용 주파수들을 의미하는 것으로, 만약 특정 신설 기지국의 가용 주파수가 없는 경우 다른 기지국에 할당된 주파수의 변경 없이 이 기지국에 신규 주파수 할당이 불가능함을 의미한다. [단계 3]에서는 주파수 사용빈도 비용의 포함은 노드채색문제의 기본 이론에서 독립집합(independent set)을 최대화시키려는 이론적 근거에 기인한다(Dutton, 1981).

3.3 FA 모듈

FA 모듈은 UA 모듈을 통해서 신규 기지국에 대한 주파수할당이 불가능할 때 수행된다. 비록 기존에 이미 운용중인 주파수 변경은 비용 등의 문제를 수반하지만 시스템, 서비스 및 주파수 환경변화로 인해 주파수 변경이 시스템 운용 및 주파수 자원 활용면에서 불가피한 경우가 현실적으로 일어나게 된다. 또한 A-TV 기지국 철거 계획과 관련하여 어느 기지국을 철거하는 경우 신설 D-TV 기지국들에 대한 주파수 배정이 가능한지에 대한 분석도 이 모듈을 응용하면 수행할 수 있다.

3.3.1 용어/기호 및 문제 정의

- x_i : 기지국 i 를 나타낸다고 하자. 그리고 $X = (x_1, \dots, x_n)$ 은 기지국들의 집합이다.
- 벡터 $F = (f_j)$: 주파수간섭행렬 C 를 만족하는 주파수할당 벡터(f_j 는 기지국 x_i 에 할당된 주파수)
- (x_i, f_j) : 기지국-주파수 쌍(station-frequency pair 또는 s-f 쌍), $RFM = \{(x_i, f_j) | x_i \in X\}$
- $L = \{1, 2, 3, \dots, l\}$: 가용 주파수의 집합
- $X^0 (m = |X^0|)$: 이미 할당된 기지국들의 집합, $RFM^0 = \{(x_i, f_j^0) | x_i \in X^0\}$
- 집합 X 의 실행 가능 할당 F 및 $x_i \in X^0$ 에 대해

$$I(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{만약 } f_i \neq f_i^0 \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

위에서 정의된 기호 및 용어를 바탕으로 FA는 다음과 같이 정립될 수 있다.

$$\min_{(x, F)} P(F) = \sum_{x_i \in X^0} I(x_i)$$

s. t. F is feasible

3.3.2 FA(Forced Assignment) 모듈의 기본 개념

$Q (\subseteq X)$ 를 FA 모듈이 진행되는 동안 이미 할당된 기지국들의 집합이라고 하자. 물론 여기에는 초기할당 X^0 이 포함된다. 그리고 $\bar{Q} (= X \setminus Q)$ 는 아직 주파수가 할당되지 않은 기지국들의 집합이라고 하자. 만약, 현재의 RFM이 주파수 간섭조건을 만족하면, 즉 만약 모든 $(x_i, f_i) \in RFM$ 에 대해 모든 강제적 제약조건이 만족되면, 해당 RFM을 "실행가능"이라고 부른다.

$x_i \in \bar{Q}$ 일 때, 하나의 s-f쌍 (x_i, f_i) 에 대해 주파수 간섭조건이 만족되지 않은 Q 에 소속된 기지국들의 부분집합을 " $f_i - x_i$ 의 blocker"라 하고 이를 $B(x_i, f_i)$ 로 표시하자. 따라서 $B(x_i, f_i) = \emptyset$ 이면 x_i 에 f_i 를 할당할 수 있음을 의미하고, 그렇지 않으면 주파수 재배치를 통하지 않고는 x_i 에 f_i 를 할당할 수 없음을 의미한다.

$x_i \in \bar{Q}$ 인 x_i 에 대해 현재 RFM에서 $B(x_i, f_i) = \emptyset$ 인 f_i 가 없다고 가정하자. 이 상황에서 FA는 가능한 현재의 할당 상황을 유지하면서, x_i 에 주파수를 할당하려는 과정이다. FA의 특성은 Q 의 부분집합 $R(x_i)$ 을 규정하는 데 있는데, 이는 다음과 같이 정의된다. $x_i \in \bar{Q}$ 에 대해, x_i 에 주파수할당이 가능하도록 Q 의 부분집합 중 주파수 재배치가 필요한 최소 기지국수를 포함한(minimal) 부분집합을 $R(x_i)$ 라고 하자. 어떤 주어진 $x_i \in \bar{Q}$ 에 대하여 여러 개의 $R(x_i)$ 가 있을 수 있다. 이러한 $R(x_i)$ 중 하나를 탐색하기 위해 $B(x_i, f_i)$ 를 생성한다. $B(x_i, f_i)$ 가 생성될 때마다 x_i 에 f_i 를 할당할 수 있도록 $B(x_i, f_i)$ 에 속한 기지국에 대한 주파수들을 앞서 소개한 UA 모듈을 통해 재할당하도록 한다.

만약 이것이 실패하면, 즉 $B(x_i, f_i)$ 에 속한 어떤 $x_j (i \neq j)$ 에 대해 주파수 할당이 불가능할 경우, 다시 $B(x_j, f_j)$ 에 대한 탐색과 주파수 재배치 작업을 수행하는데, 이때 $B(x_j, f_j)$ 은 2차 depth-level (2-DL)에서의 blocker라 부른다. 이와 같은 과정을 일반화하면, k -DL ($k \geq 3$) blocker도 정의할 수 있다.

이상의 과정을 구체적으로 구현하는 데 있어, FA 과정은 v 번째 breadth-level과 w 번째 depth-level(Bv-Dw) 절차를 따르도록 구현될 수 있다. (Bv-Dw) 절차의 의미는 $B(x_j, f_j)$ 의 소속 기지국의 수가 v ($|B(x_j, f_j)| \leq v$) 이하인 blockers만을 고려하며, 수직적인(depth-level) 탐색의 수는 w 로 정하는 것을 의미한다. 동일한 depth level에서 blockers의 재할당 가능성은 B1에서 breadth-level을 증가시키면서 Bv까지 계속된다. 그리고 나서 다음의 낮은 level의 blockers에서 각각의 할당되지 않은 기지국에 대해서 이러한 처리를 반복한다. 그러나 FA 동작의 복잡도는 사실상 (Bv-Dw) 절차의 일반적인 구현을 어렵게 한다. 따라서, 본 과제

에서는 Br-D1과 B1-Dr 등 두 가지에 대한 구체적인 절차에 대해서만 소개한다.

절차 1: (Br - D1)

단계 0: 주어진 RFM⁰와 할당되지 않은 기지국 $x_i \in Q$ 로 시작한다.

단계 1: $\{B(x_i, f_i) \mid \forall f_i \in L\}$ 을 찾고, $k := 1$ 로 한다.

단계 2: $k > r$ 이면, 종료한다(* feasible 할당 절차 실패 *). 그렇지 않으면, $L_k := \{f_i \in L \mid B(x_i, f_i) = \emptyset\}$ 로 정한다.

단계 3: $L_k = 0$ 이면, $k := k + 1$ 로 하고, 단계 2로 간다. 그렇지 않으면, L_k 에서 f^* 를 선택한다.

단계 4: $B(x_i, f^*)$ 에서 소속된 모든 기지국이 재할당 가능하면, 발견된 RFM을 갱신하고, 완료한다. 그렇지 않으면, $L_k := L_k \setminus \{f^*\}$ 로 하고, 단계 3으로 간다.

절차 2: (B1 - Dr)

단계 0: 주어진 RFM⁰와 할당되지 않은 기지국 $x_i \in Q$ 로 시작한다.

단계 1: (D1 level): B1-D1 절차를 부른다. x_i 이 할당된다면, RFM을 갱신하고 stop. 그렇지 않으면, $L^1 := \{f_i \in L \mid B(x_i, f_i) = \emptyset\}$ 로 한다.

단계 2: $L^1 = 0$ 이면, 종료한다(* feasible 할당 절차 실패 *). 그렇지 않으면, L^1 에서 f^* 를 선택하고, $RFM := \{(x_i, f^*)\}$ 로 한다.

단계 3: (D1 level): $x_i \in B(x_i, f^*)$ 에서 $L^2 := \{f_j \in L \mid B(x_j, f_j) = \emptyset \text{ \& \text{ RFM에 할당된 결과를 위반하지 않으면}\}$ 로 한다.

단계 4: $L^2 = 0$ 이면 $L^1 := L^1 \setminus \{f^*\}$, $RFM := \emptyset$ 이라 하고, 단계 2로 간다. 그렇지 않으면, L^2 에서 f 를 선택한다.

단계 5: $B(x_j, f)$ 에서의 요구사항이 재할당 가능하다면, 발견된 RFM을 갱신하고, 완료한다. 그렇지 않으면, $L^2 := L^2 \setminus \{f\}$ 로 하고, 단계 4로 간다.

4. 국내 D-TV 주파수할당에 대한 시험적용

본 절에서는 제시된 BFA 해법을 국내(서울·경기 지역) D-TV 방송망 환경에 시험적용하고, 그 결과를 검토함으로써 제시된 해법의 효율성을 확인한다. 시험적용을 위한 입력자료는 국내 현실상황을 가능한 한 반영한 자료를 사용하였다. 그러나 현장시험을 통한 전파간섭 특성 및 할당정책 등이 달라질 수 있고, 특히 아래에서 사용한 전파간섭행렬은 임의로 설정한 것이므로 본 연구에서 수행한 실험결과를 현장에 직접적으로 적용하는 데는 한계가 있다고 판단된다.

4.2 D-TV 기간국에 대한 주파수할당 결과

본 연구에서 제시한 해법에 의한 최종 주파수할당 결과에 영향을 미치는 주요요소, 주파수간섭 형태, 할당 정책, 해법 관련 모수값 중에서 가장 중요한 요소로는 주파수간섭 형태라고 할 수 있다. 본 연구에서는 <그림 4>에서 주어진 주파수 간섭 행렬을 기초로, A-TV-D-TV, D-TV-D-TV 기간국간 주파수간섭 형태를 다음과 같은 4가지 할당 시나리오로 구성하였다.

- ▶ 시나리오 1: A-TV 기간국과 쌍을 이루는 D-TV 기간국 (즉, 특정 A-TV 기간국에 대응되는 D-TV 기간국) 사이 및 신설되는 D-TV 기간국 사이에 동일 및 인접주파수 사용을 모두 금지하는 경우
- ▶ 시나리오 2: A-TV 기간국과 쌍을 이루는 D-TV 기간국 사이에는 동일 및 인접주파수 사용을 모두 금지하고, D-TV 기간국 사이에는 동일 주파수 할당만을 금지하는 경우
- ▶ 시나리오 3: A-TV 기간국과 쌍을 이루는 D-TV 기간국 사이에는 동일 주파수 사용만 금지하고, D-TV 기간국 사이에는 동일 및 인접 주파수 사용을 모두 금지하는 경우
- ▶ 시나리오 4: A-TV 기간국과 쌍을 이루는 D-TV 기간국 사이 및 신설되는 D-TV 기간국 사이에 동일 주파수 사용만을 금지하는 경우

해법을 적용한 결과는 <표 5>와 같다. 해법실행 결과를 보면, A-TV 간이국에 대한 주파수 변경 없이 15개의 신설 D-TV 에 주파수를 할당하는 것은 불가능함을 보여주고 있다. 가장 완화된 주파수 간섭 조건인 시나리오 4인 경우에도 2개의 기존 A-TV 간이국의 주파수가 변경되어야 15개 모두의 D-TV 기간국에 제약조건을 만족하는 주파수를 할당할 수 있었다. 한편, 가장 엄격한 주파수간섭 기준이 적용되는 시나리오 1인 경우에는 7개의 간이국에 주파수를 변경해도 D-TV 기간국 2군데

(남산: SBS, 관악산: SBS)에 주파수를 할당할 수 없었다.

본 연구에서 연구된 BFA는 국내 시스템 및 주파수 환경하에서 정량적으로 표현될 수 있는 요소를 가능한 수용하려고 노력한 주파수할당 해법이다. 비록, 본 연구에서 설정한 가정 및 시험적용을 위한 자료가 현실과 다소 차이가 있다고 해도 BFA 해법의 융통성은 이러한 현실요소를 큰 변화 없이 수용할 수 있을 것으로 판단된다.

해법의 구현은 Visual C++로 구현되었으며, 해법의 실행은 500 MHz 펜티엄급 PC에서 이루어졌다. <표 5>에서 보듯이 해법실행 시간(I/O 시간은 제외)의 대부분은 FA 모듈의 실행시간이 차지하고 UA 모듈 실행시간은 시나리오별로 별 차이가 없었다. 이는 UA 모듈의 실행시간은 주파수간섭행렬 형태보다는 신규 기지국의 수에 크게 의존하기 때문이다. 그러나 FA 모듈의 실행시간은 주파수간섭행렬의 형태에 크게 의존한다. 즉, 주파수간섭형태가 엄격한 경우 그렇지 않은 경우에 비해서 blocker의 수가 증가하게 되고 이는 탐색의 경우 수를 증가시키게 되기 때문이다.

5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구는 효율적인 D-TV 초기 주파수할당을 위해 주파수할당 시스템 개발에 관한 기초 연구로, 본 연구결과를 현실 방송 시스템에 계속적으로 이용하기 위해서는 크게 다음과 같은 사항에 대한 연구가 지속적으로 추진되어야 한다. 먼저, D-TV의 본격적인 도입시기에는 D-TV에도 간이국이 도입되어야 하는데, 이를 효과적으로 다루기 위한 해법개발이 이루어져야 할 것이다. 다음으로, D-TV 도입은 A-TV 철거 계획과 맞물려 이루어져야 보다 효율적인 주파수할당이 가능하다. 따라서 이를 수용할 수 있는 방법도 아울러 고려되어야 할 것이다. 또한 시

표 5. 시나리오별 서울·경기 지역의 D-TV 주파수 할당결과

시나리오		시나리오 1						시나리오 2						시나리오 3						시나리오 4					
기 지 국		K1	K2	K3	M	S	I	K1	K2	K3	M	S	I	K1	K2	K3	M	S	I	K1	K2	K3	M	S	I
D-TV	남 산	15	17	2	4	99		15	17	2	4	99		18	16	17	2	3		15	16	14	17	2	
	관악산	33	31	39	51	99		33	31	35	51	99		33	34	4	31	15		33	31	34	29	18	
	용문산	19	21		28	42		24	19		28	42		21	19		36	42		22	19		35	46	
	수봉산						35						22						32						32
주파수 변경이 필요한 간이국		불광: 52→53 동소문: 39→55 장위: 30→29, 51→45 시흥: 39→19 인천: 51→23 중동: 51→23						불광: 52→39 동소문: 36→55 장위: 30→29, 51→45 인천: 51→19 중동: 51→19						용문산: 19→22 백련산: 29→4 장위: 30→29 성남: 46→3						용문산: 19→22 장위: 30→29					
CPU time (초)	UA	0.13						0.14						0.13						0.12					
	FA	15.12						12.53						7.25						1.34					

% 99: 할당불가률 의미

시스템 도입에 따라 변화되는 시스템 및 주파수할당 환경변화를 반영할 수 있도록 해법의 보완이 지속적으로 이루어져야 한다.

참고문헌

한국통신기술 (1994, 1995, 1996), *방송주파수 활용기술 연구*

AL-Khaeed, F. S. (1998), Optimal radio channel assignment through a new binary dynamic simulated annealing algorithm, *Int. J of Commun. Systems*, 11.

Arnaud, J. F. (1980), Frequency Planning for Broadcast Services in Europe, *Proceeding of the IEEE*, 68(12), 1515-1522.

Beckmann, D., and Killat, U. (1999), A new strategy for the application of genetic algorithms to the channel-assignment problem, *IEEE Trans. on Veh. Tech.* 48(4).

Brelaz, D. (1979), New methods to color the vertices of a graph, *Commun. of ACM*, 22(4).

Dutton, R. D., and Brigham, R. C. (1981), A new graph coloring algorithm,

Computer Jour., 24(1).

FCC (1998), Document 98-024, USA.

Hale, W. K. (1980), Frequency assignment: theory and applications, *Proc. of the IEEE*, 68(12).

Johnson, D. S., et al. (1989), Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part I, Graph Partitioning, *O.R.*, 37(6), 865-892.

Nguyen, T., and Moon, B. R. (1996), Genetic algorithm and graph partitioning, *IEEE Trans. on Computers*, 45(7).

Rouskas, A. N., Kazantzakis, M. G., and Anagnostou, M. E. (1995), Optimal channel assignment in cellular networks, *Int. J of Commun. Systems*, 8.

Sivarjan, K. N., McEliece, R. J., and Ketchum, J. W. (1989), Channels Assignment in Cellular Radio, in *Proc. 39th IEEE Veh. Technol. Soc. Conf.*, 846-850.

Sung, C. W., and Shing, W. S. (1997), Sequential Packing Algorithm for Channels Assignment Under Cochannels and Adjacent Channels Interference Constraint, *IEEE Trans. Veh. Technol.* 16(3), 676-686.

Tajima, J. I., and Amura, K. (1988), A strategy for flexible channel assignment in mobile communication systems, *IEEE Trans. Veh. Technol.* 37, 92-103.



백천현

연세대학교 경영학과 학사

한국과학기술원 경영과학 석사

한국과학기술원 경영과학 박사

현재: 동의대학교 기계산업시스템 공학부 교수

관심분야: 통신망 설계 및 성능분석, 인터넷

트래픽 서비스분석, E-business모델 경제성

분석