

유전 알고리즘을 이용한 Wibro MMR 네트워크의 최적 배치 탐색

오동익¹ · 김우제^{2*}

¹서울산업대학교 IT정책대학원 / ²서울산업대학교 산업정보시스템공학과

Optimal topology in Wibro MMR Network Using a Genetic Algorithm

Dongik Oh · Woo-Je Kim

¹The Graduate School of Public Policy and Information Technology, Seoul National University of Technology,
Seoul 139-743, Korea

²Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Seoul National University of Technology,
Seoul 139-743, Korea

The purpose of this paper is to develop a genetic algorithm to determine the optimal locations of base stations and relay stations in Wibro MMR Network. Various issues related to the genetic algorithm such as solution representation, selection method, crossover operator, mutation operator, and a heuristic method for improving the quality of solutions are presented. The computational results are presented for determining optimal parameters for the genetic algorithm, and show the convergence of the genetic algorithm.

Keywords: Wibro MMR Network, Base Station, Relay Station, Genetic Algorithm

1. 서론

Wibro(Wireless Broadband)라는 서비스명을 지니는 휴대 인터넷 서비스는 언제, 어디서나, 이동 중에도 높은 전송속도로 무선인터넷 접속이 가능한 서비스를 지칭한다. 휴대인터넷은 고속(100km/h)의 이동성을 보장하고 높은 수준의 전송속도(상향링크 최대 1Mbps, 하향링크 최대 3Mbps)로 무선 초고속인터넷과 멀티미디어 이용이 가능한 서비스를 의미한다. Wibro의 주요 특성치는 다음 <Table 1>과 같다(Jee *et al.*, 2006).

IEEE 802.16j에서 네트워크 토폴로지는 베이스 스테이션(BS), 릴레이 스테이션(RS), 모바일 스테이션(MS)으로 구성된다. 베이스 스테이션은 전체적으로 망을 컨트롤 하고, 인터넷 망과 릴레이 스테이션 또는 모바일 스테이션을 연결하는 기능을 가지고 있으며, 릴레이 스테이션은 베이스 스테이션과 모바일 스테이션의 중계 역할을 한다. 모바일 스테이션은 핸드

폰, PDA, Hand-held Computer 등의 무선 단말기를 의미한다.

IEEE 802.16에서 제시하는 네트워크 토폴로지는 PMP(Point-to-Multi-Point)모드(IEEE 802.16e)와 Mesh모드가 있다. PMP모드는 베이스 스테이션을 중심으로 다수의 단말이 접속하는 트리구조이며, 모든 내부, 외부 통신이 베이스 스테이션을 통해 이루어진다. Mesh모드는 다중경로 채널에서의 왜곡을 간단하게 보상할 수 있는 변조방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 모드에서만 사용가능하고, 단말간의 통신이 베이스 스테이션을 거치지 않고 이웃 단말들에 의해 라우팅되어 직접 통신이 이루어지는 구조이다(Kim *et al.*, 2006).

IEEE 802.16에서는 기존의 무선망에 multi-hop 기능을 부가한 MMR(Mobile multi-hop Relay) 기술을 데이터 처리를 향상과 음영지역 해소를 통한 커버리지 확대를 위해 IEEE 802.16j를 제시하였다(IEEE 802.16j Group, 2006), (Kim *et al.*, 2006). 여기서 Multi-hop Relay란 <Figure 1>에서와 같이 모바일 스테이

* 연락저자 : 김우제, 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, Tel : 02-970-6449, Fax : 02-974-2849,
E-mail : wjkim@snut.ac.kr

2008년 02월 접수; 2008년 04월 수정본 접수; 2008년 05월 게재 확정.

Table 1. Wibro의 주요 특성치

파라미터		비고
사용대역	2.3GHz	
채널 대역폭	8.57MHz	Nominal Bandwidth
프레임 길이	5ms	
다중접속 방식	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)	
이중화 방식	TDD(Time Division Duplexing)	
FFT 크기	1024	
변조방식	QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 16-QAM, 64-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)	
채널 부호화	Convolutional Turbo Code	1/2, 3/4, 2/3, 5/6
ARQ	Hybrid ARQ(Automatic Repeat Request)	

선이 여러 개의 릴레이 스테이션을 통해 베이스 스테이션과 통신하는 것을 말한다.

Wibro MMR 네트워크 토폴로지는 하나의 베이스 스테이션과 다수의 릴레이 스테이션이 연결된 네트워크 구조이고, 릴레이 스테이션에 다른 릴레이 스테이션이 연결될 수 있는 트리구조인 PMP 모드를 사용한다.

Wibro MMR 네트워크 토폴로지에서 릴레이 스테이션은 두 가지의 목적으로 사용되어지는데, 첫째는 건물, 산 등의 장애물로 인해 전파강도가 낮은 지역에서 더 좋은 전송률을 보장하기 위한 중앙 통제용으로 사용되며, 둘째는 베이스 스테이션의 전파송신 가능 영역을 확장하기 위한 분산 통제용으로 사용된다. 릴레이 스테이션의 두 가지 용도는 <Table 2>로 정리하였다(Jee et al., 2006).

현재 국내의 Wibro 서비스 지역은 서울과 분당 그리고 수도권 소재지 대학, 1~8호선 지하철, 인천국제공항 정도이고, 2008년에 수도권 일부지역만이 추가 서비스 될 예정이다. 하지만 언제 어디서나 이용 가능한 Wibro의 본래 취지에 비추어볼 때 가장 문제가 되는 부분은 서비스 지역이 협소하다는 것이다. 이러한 이유로 <Table 2>의 릴레이 스테이션의 용도 중 분산 통제용 릴레이 스테이션에 대한 연구가 시급하다. 또한, Wibro 네트워크는 2.3Ghz의 높은 주파수를 사용하므로 먼 거리까지의 전송에 있어서는 전파강도가 급격히 줄어들기 때문에, Cell의 경계부분에서의 낮은 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)과, Cell 전체에 Shadow영역으로 NLOS(Non-light-of-sight) connection이 존재하는 제약을 지닌다. 이러한 제약은 현재의 무선망보다 많은 수의 기지국을 요구하게 되고 이것은

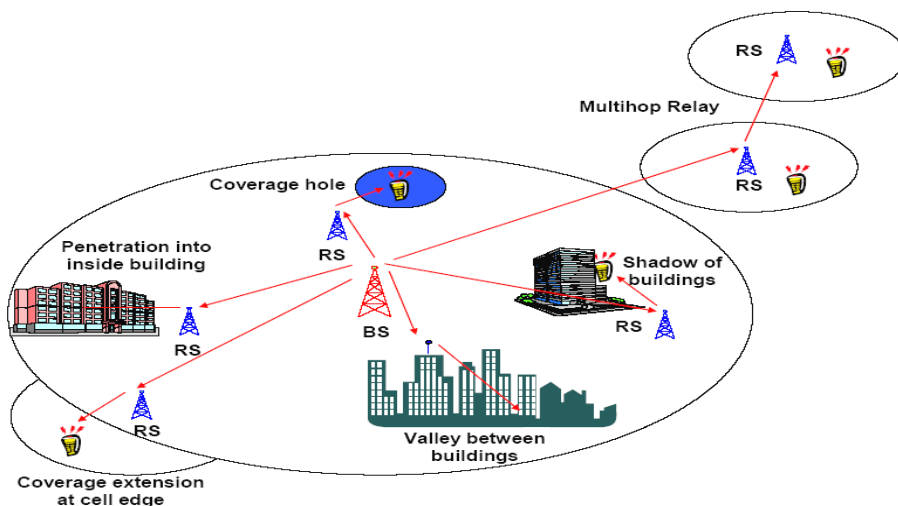


Figure 1. 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션으로 구성된 Wibro 망의 구조

Table 2. 릴레이 스테이션의 용도

목적	중앙 통제용	분산 통제용
	SINR이 낮은 지역의 throughput 향상	서비스 지역 확장
Relaying Channels	unicast traffic channel만 사용	broadcast control channel과 unicast traffic channel모두 사용
릴레이 스테이션 capabilities	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 출력 • 단순한 데이터 전송 기능 • 베이스 스테이션으로부터 직접 Control messages가 제공 • 베이스 스테이션에 의해 릴레이 스테이션-MS 링크 제어 	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 출력 • Down Link control messages 전송 • 베이스 스테이션이 Network_Entry procedure MS에 제공 • 릴레이 스테이션에 의한 릴레이 스테이션-베이스 스테이션 링크 제어

비용의 증가로 이어진다. 이러한 베이스 스테이션 설치에 따른 비용 문제를 보완하기 위하여 비교적 덜 복잡하고 비용이 저렴한 릴레이 스테이션으로 구성된 MMR의 도입을 진행 중에 있다. 이러한 MMR 네트워크는 Mesh망과 비교하여 적용가능성이 높고 효율적이다(Lin et al., 2007).

따라서 본 논문에서는 비용 효과적인 Wibro MMR 네트워크를 구성하기 위해 베이스 스테이션과 분산 통제용 릴레이 스테이션만으로 구성된 망에서의 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 최적 위치를 탐색하고자 한다.

비용효과적인 Wibro MMR 네트워크를 구성할 때 고려해야 할 점은, 공정성(Fairness) 관점에서 릴레이 스테이션을 통해서 베이스 스테이션으로 데이터를 전송하는 사용자는 전송 시 추가적인 시간이 소요되며, 이러한 지연시간은 베이스 스테이션에 데이터를 직접 전송하거나 베이스 스테이션에 더 가까이 있는 릴레이 스테이션에 데이터를 전송하는 사용자보다, 서비스 수준이 하나의 릴레이 스테이션을 거칠 때마다 1/2로 낮아지는 단점이 있다는 것이다(Izumikawa et al., 2007). 그러므로 일정 수준 이상의 서비스 만족도를 유지하기 위해서는 릴레이 스테이션의 설치 가능 수는 일정한 수로 제한되어 수밖에 없다. 따라서 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 설치에 있어서 비용의 문제뿐만 아니라 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 적절한 수적 조합과 위치의 선정으로 모든 사용자들에게 일정 수준 이상의 사용자 만족도를 충족시켜야 한다.

유전알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한 네트워크 설계에 대한 연구는 다른 종류의 무선망인 셀룰러 망에서의 베이스 스테이션의 위치 탐색(Park, 2003)(Nam et al., 2005)이나, 센서 네트워크망 구성(Park et al., 2006), 무선망에서의 채널할당 문제에 대한 연구(Lee et al., 2005)등 다수의 논문이 존재한다. 그러나 Wibro MMR 네트워크의 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 최적위치 탐색에 관한 연구는 없었다.

기존의 MMR 네트워크에 대한 연구는 선형 알고리즘을 이

용한 릴레이 스테이션의 최적위치 탐색연구이며, MMR 네트워크에서의 릴레이 스테이션의 최적해를 선형알고리즘기법으로 탐색하는 연구에서 모바일 스테이션의 위치가 확정된 상태에서 릴레이 스테이션의 최적 위치를 탐색하는 단일 릴레이 스테이션 최적 위치 탐색 문제의 해법을 제안하였다. 그러나 이 논문은 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션 사이의 작용은 고려하지 않고, 릴레이 스테이션과 사용자간의 문제만 다루었다(Yu et al., 2008). Lin 등의 연구에 의하면, 사용자가 존재하는 탐색 공간에서 최적의 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션 위치를 탐색하는 선형모델을 제시하고 있으나, 1 tier의 릴레이 스테이션만을 고려하였고, 릴레이 스테이션은 단독으로 존재하지 못하는 제약은 고려하지 않았다(Lin et al., 2007).

베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 위치를 탐색할 때 사용자들의 만족도는 비용을 고려하면서 동시에 일정수준 만족되어야 한다. 위의 두 논문은 릴레이 스테이션의 확장에 따른 데이터 전송의 지연현상을 고려하지 않았기 때문에, 실제로 릴레이 스테이션과 통신하는 모바일 스테이션의 전파강도는 높아졌을지 모르지만 패킷전송은 지연되는 문제가 있다. 결론적으로, 지금까지 Wibro MMR 네트워크에서 최적 위치 탐색에, 비용의 최소화와 공정성 관점에서의 사용자 서비스를 고려한 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 최적 위치 탐색 알고리즘을 제시한 논문은 없었다.

따라서 본 논문에서는 유전알고리즘을 이용하여 설치비용과 서비스 만족수준을 동시에 고려하는 Wibro MMR 네트워크의 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 최적 위치를 산정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 유전알고리즘

유전알고리즘(Genetic Algorithm)은 유전학과 진화원리를 컴

퓨터 알고리즘에 접목해서 개발한 알고리즘으로, 다윈의 이론을 토대로 1975년 미시건 대학의 존 홀랜드가 인공지능을 연구하는 과정에서 탄생하였다. 구조가 간단하고 방법이 일반적이어서 응용범위가 매우 넓으며 개략적인 알고리즘은 다음 그림과 같다.

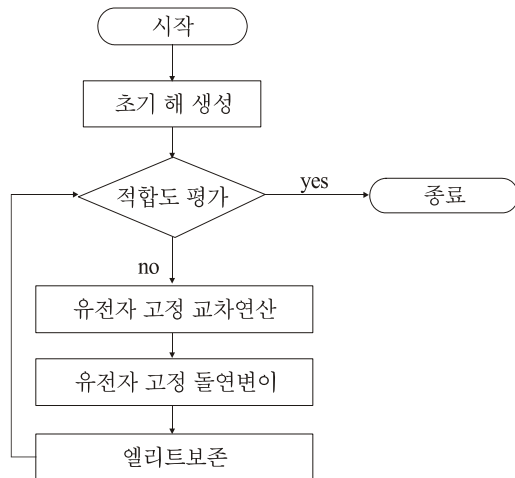


Figure 2. 유전알고리즘 순서도

염색체로 구성된 초기 개체(Individual)집단을 생성한다. 생성된 초기 개체 집단에서 선택(Selection), 교차(Cross-over), 돌연변이(Mutation)의 과정을 거친 뒤 다음 세대의 새로운 해 집단을 구성한다. 새로 구성된 개체에 대해 적합도를 평가하고 원하는 적합도 이상의 개체가 존재하면 프로세스를 종료하고 원하는 수준의 적합도를 만족하지 않으면 선택, 교차, 돌연변이의 과정을 반복한다. 반복 수행 도중에 적합한 해를 지니는 개체가 생성되면 탐색을 종료하게 된다. 이러한 과정에서, 적합도 순위가 하위 수준의 개체는 소멸시키고 또한 새로운 개체를 생성시킨다. 하지만 중요한 것은 적합성이 부족하더라도 모두 소멸 시키지 않는다. 모든 개체는 생존의 기회를 부여 받는다.

선택(Selection)이란 교차(Cross-over)연산을 수행할 두 개의 유전자를 선택하는 것이다. 교차(Cross-over)란, 두 부모의 염색체의 일부분을 서로 바꾸어 자식의 염색체를 구성하는 작업이다. 즉, 선택된 두 부모의 유전적 특징을 결합하여 다음 세대의 개체를 생성하는 작업이다. 선택, 교차의 과정만으로는 해 집합의 유전자 조합 이외의 다른 해공간을 탐색하지 못하게 되는 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 돌연변이 작업을 수행한다. 즉, 돌연변이(Mutation)는 개체의 일부 유전자를 임의로 변경하여 개체에 새로운 특징을 부여하는 과정이다. 임의의 개체가 문제의 해에 얼마나 적합한지를 판단하기 위해 적합도 함수(Fitness Function)가 필요하다.

적합도 함수는 해가 될 가능성이 있는 개체를 평가하는 일종의 목적함수이다. 적합도 함수의 중요성은 다양한 군집화 평가 함수로 이용 되면서 부각되었다. 적합도 함수로부터 평가된 각 개체의 적합도는 선택 연산시에 어떤 개체를 선택할지에 대한 기준을 제시해 준다.

하지만 이런 순수한 유전자 알고리즘만으로는 만족하는 해를 탐색하기까지 대부분의 경우 많은 시간을 요구한다. 때문에 유전자 알고리즘에 지역 최적화(Local optimization)기법으로 휴리스틱 기법의 도입이 필요하다. 휴리스틱 기법은 임의의 유전자를 조작해서 적합도가 더 좋아지도록 수행하는 것이다. 이 휴리스틱 기법의 도입으로 보다 빠르게 최적해에 접근할 수 있다(Nam, 2005).

3. Wibro MMR 네트워크 설계 문제

본 논문에서 탐색하려고 하는 것은 Wibro MMR 네트워크의 설계시 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 최적 위치와 최적 설치 개수이다. 이 문제를 해결하고자 할 때 고려해야 하는 조건은 다음과 같다.

첫째, 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션, 그리고 모바일 스테이션의 전파강도는 거리에 따라 줄어들기 때문에 일정거리 내에서 안정적인 통신이 이루어지도록 설계되어야 한다. 일반적으로 Wibro 네트워크를 구성할 때 베이스 스테이션과 모바일 스테이션간의 커버리지는 대략 1km를 설정하고 있다(Jee et al., 2006). <Table 3>은 베이스 스테이션, 릴레이 스테이션, 모바일 스테이션 사이의 거리에 따른 주파수 강도를 나타낸 것이다. 그런데 <Table 3>에서 보면, 베이스 스테이션과 모바일 스테이션간의 커버리지를 대략 1km로 설정할 때 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨 4이상 된다(Samsung et al., 2007, IEEE 802.16 Group, 2006, March, 2007). 따라서 본 논문에서는 Wibro MMR 네트워크를 MCS 레벨 4를 만족하게 설계하였다. <Table 3>에서와 같이 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 거리가 3km 이상, 릴레이 스테이션과 릴레이 스테이션은 거리가 1.52km 이내, 그리고 릴레이 스테이션과 모바일 스테이션간은 거리가 0.67km 이내까지 MCS 레벨이 4이상의 값을 가지므로 안정적인 통신을 유지할 수 있다.

둘째, 본 논문에서는 분산 통제용 릴레이 스테이션 설치를 고려하고 중앙 통제용 릴레이 스테이션의 설치는 고려하지 않고 있으므로, 베이스 스테이션의 할당 범위 내에는 릴레이 스테이션을 설치하지 않는다고 가정한다.

셋째, 릴레이 스테이션의 제약으로 릴레이 스테이션은 단독으로 존재할 수 없다는 조건이 있다. 릴레이 스테이션은 모바일

Table 3. 거리별 SINR과 MCS 레벨

MCS 레벨	변조방식	SINR (dB)	BS-MS (km)	RS-MS (km)	BS-RS (km)	RS-RS (km)
1	QPSK 1/12	-3.95	1.55 ~ 1.76	0.86 ~ 0.95	3.0이상	1.96 ~ 2.15
2	QPSK 1/6	-1.65	1.3 ~ 1.55	0.75 ~ 0.86	3.0이상	1.7 ~ 1.96
3	QPSK 1/3	1.5	1.11 ~ 1.3	0.67 ~ 0.75	3.0이상	1.52 ~ 1.7
4	QPSK 1/2	4.3	0.91 ~ 1.11	0.58 ~ 0.67	3.0이상	1.31 ~ 1.52
5	QPSK 2/3	7.95	0.84 ~ 0.91	0.55 ~ 0.58	3.0이상	1.24 ~ 1.31
6	16QAM 1/2	9.3	0.68 ~ 0.84	0.47 ~ 0.55	2.4 ~ 2.99	1.05 ~ 1.24
7	16QAM 2/3	13.1	0.58 ~ 0.68	0.35 ~ 0.47	2.0 ~ 2.4	0.95 ~ 1.05
8	16QAM 5/8	15.8	0.5 ~ 0.58	0.37 ~ 0.35	1.8 ~ 2.0	0.85 ~ 0.95
9	64QAM 2/3	18.45	0.35 ~ 0.5	0.28 ~ 0.37	1.5 ~ 1.8	0.65 ~ 0.85
10	64QAM 5/6	24.8	0.0 ~ 0.35	0.0 ~ 0.28	0.0 ~ 1.5	0.0 ~ 0.65

일 스테이션으로부터 전송된 데이터를 베이스 스테이션으로 송신하는 단순한 기능을 하기 때문에 반드시 이웃에 베이스 스테이션이나 혹은 릴레이 스테이션이 존재해야 한다. 또한 릴레이 스테이션은 반드시 베이스 스테이션과 통신 가능한 연결이 있어야 한다.

넷째, 전송 지연시간에 따른 사용자 만족도를 고려해야 한다. 릴레이 스테이션에 위치한 사용자는 릴레이 스테이션에서 베이스 스테이션으로 패킷을 전송하기 위해 하나의 릴레이 스테이션을 통과할 때마다 추가적인 시간 지연을 수반하게 된다. Wibro MMR 네트워크에서 각 모바일 스테이션에 Round Robin 방식으로 전송기회를 부여한다고 가정하면, 릴레이 스테이션과 통신하는 모바일 스테이션은 릴레이 스테이션을 거쳐 베이스 스테이션으로 전송하기 때문에 베이스 스테이션과 직접적으로 통신하는 모바일 스테이션의 전송에 필요한 시간의 두 배(2T)가 필요하다(Izumikawa *et al.*, 2007). 각 사용자의 서비스 만족도는 이러한 패킷전송의 모바일 스테이션간의 지연 시간으로 산출될 수 있다. 이와 같이 패킷전송의 공평성 관점으로 서비스 만족도를 산출한다면 베이스 스테이션의 커버리지에 위치한 모바일 스테이션은 베이스 스테이션과 직접 통신을 하기 때문에 사용자 만족도는 1.0으로 산정된다. 또한, 릴레이 스테이션의 커버리지에 위치한 사용자들은 베이스 스테이션으로부터 자신의 릴레이 스테이션까지 거치는 모든 릴레이 스테이션마다 0.5를 거듭제곱하여 사용자 만족도를 산정할 수 있다. 그리고 베이스 스테이션이나 릴레이 스테이션이 설치되지 않은 지역의 사용자 만족도는 0.0이 된다. 예를 들어, BS-RS₁-RS₂의 연결된 네트워크를 고려하여 보자. BS의 커버리지에 위치한 모바일 스테이션들은 BS와 직접 통신하므로

서비스 만족도가 1.0으로 산정되며, RS₁의 커버리지에 위치한 모바일 스테이션들은 RS₁을 거쳐 BS와 통신하기 때문에 BS까지 패킷을 전송하는데 두 배의 시간이 소요되므로 0.5의 서비스 만족도를 가지게 된다. RS₂의 커버리지에 위치하는 모바일 스테이션들은 RS₂와 RS₁을 거치기 때문에 0.5×0.5인 0.25의 서비스 만족도를 가지게 된다.

마지막으로 일반적인 무선 네트워크의 설계에서는 전체 서비스 만족도가 90% 이상으로 설계되도록 요구한다. 각 지역의 사용자 수를 기준으로 각 지역의 사용자 만족도를 가중 평균한 전체 사용자 만족도는 90% 이상 유지하여야 한다(Park, 2003)(Lee *et al.*, 2005).

이러한 제약조건하에서 전체적인 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 설치비용을 최소화하여 MMR Wibro 네트워크를 설계하는 것이 목적이다. 이 문제를 수리계획 모델로 모형화하면 다음과 같다.

$$\text{Min } \sum_i c_B x_i + \sum_i c_R y_i \quad (1)$$

$$s.t. \frac{\sum_i s_i \times nc_i}{\sum_i nc_i} \geq 0.9 \quad \forall i$$

$$x_i + y_i \leq 1 \quad \forall i$$

$$x_i = \begin{cases} 1 : \text{지역 } i \text{에 베이스스테이션이 설치되는 경우} \\ 0 : \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 : \text{지역 } i \text{에 릴레이스테이션이 설치되는 경우} \\ 0 : \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$s_i : \text{지역 } i \text{의 서비스 만족도}$$

단, c_B : 베이스 스테이션의 설치 단가

c_R : 릴레이 스테이션의 설치 단가

nc_i : 지역 i 의 사용자 수

목적함수는 베이스 스테이션의 설치비와 릴레이 스테이션의 설치비의 총합을 최소화하는 것이다. 첫 번째 제약식은 사용자 수를 기준으로 각 지역의 서비스 만족도를 가중 평균한 값이 90% 이상 되어야 한다는 조건이다. 즉, 전체 서비스 만족도의 평균치가 90% 이상 되어야 한다는 조건이다. 두 번째 제약식은 한 지역에 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션이 동시에 설치될 수 없다는 가정을 반영한 제약조건이다.

그러나 이 수리계획 모델에서 각 지역의 서비스 만족도 s_i 는 릴레이 스테이션이 베이스 스테이션에 직접 연결되어있는지 혹은 몇 개의 릴레이 스테이션을 거쳐서 연결되어지느냐에 따라 계산되어 지기 때문에, 서비스 만족도를 계산하기 위해서는 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 연결 구조를 알아야 한다. 그러나 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 설치 여부인 x_i 와 y_i 변수만을 가지고는 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 연결 구조를 알 수가 없으므로 s_i 를 직접적으로 계산할 수 없다. 따라서 식 (1)의 수리계획 모델로는 최적해를 직접적으로 구할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 이 문제를 풀기 위해 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 설치 여부를 의사결정 변수로 갖는 유전알고리즘을 설계하고 이에 의해 Wibro MMR 네트워크 설계 문제를 해결하고자 한다.

4. 유전 알고리즘의 설계

4.1 네트워크 표현과 해의 유전자 표현

Wibro MMR 네트워크를 설계하기 위하여 네트워크의 설치 지역을 하나의 변이 0.5km인 X*X개의 정사각형의 셀로 표현한다. 그리고 셀의 중심에 베이스 스테이션 혹은 릴레이 스테이션이 위치한다고 가정한다.

본 논문에서는 Wibro 네트워크망을 MCS 레벨 4를 만족하게 설계했다. <Table 3>에서와 같이 MCS 레벨 4에서 베이스 스테이션과 모바일 스테이션은 거리가 0.91~1.11km까지 안정적인 통신을 유지할 수 있다. 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션은 거리가 3km 이상까지도 안정된 통신을 유지할 수 있고, 릴레이 스테이션과 릴레이 스테이션은 거리가 1.31~1.52km까지 안정된 통신을 유지할 수 있다. 또한 릴레이 스테이션과 모바일 스테이션 간은 거리가 0.58~0.67km 이내까지 안정적인 통신을 유지할 수 있다. 그런데 <Figure 3>과 같이 X*X개의 정사각형 셀에서 하나의 베이스 스테이션은 인근 지역의 셀까지 최대거

리가 1.06km이므로, 베이스 스테이션은 인근 8개의 셀 내에 있는 모든 모바일 스테이션을 커버할 수 있다. 즉, 한 변이 0.5km로 표현된 정방형 셀 구조에서는 베이스 스테이션의 커버리지는 인접한 8개 셀이며, 이 경계를 벗어난 셀에서는 릴레이 스테이션이 설치되어야 베이스 스테이션과 통신을 할 수 있다. <Figure 3>에서 하나의 셀 내에서의 최대거리는 대각거리인 0.35km 이므로, 하나의 셀 내에서는 릴레이 스테이션이 모든 모바일 스테이션과 안정적인 통신을 유지할 수 있다.

그리고 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션이 연결될 경우에는 셀의 중심간의 거리를 고려하여야 하므로 최대거리는 대각선 거리인 1.41km이다. MCS 레벨 4에서는 이 거리 내에서는 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션이 안정적인 통신을 유지할 수 있는 주파수 상태를 가질 수 있다. 또한, 릴레이 스테이션과 릴레이 스테이션이 연결되는 경우에는 셀 간의 최대거리가 0.7km이므로 두 개의 릴레이 스테이션간에 안정적인 통신을 유지할 수 있다.

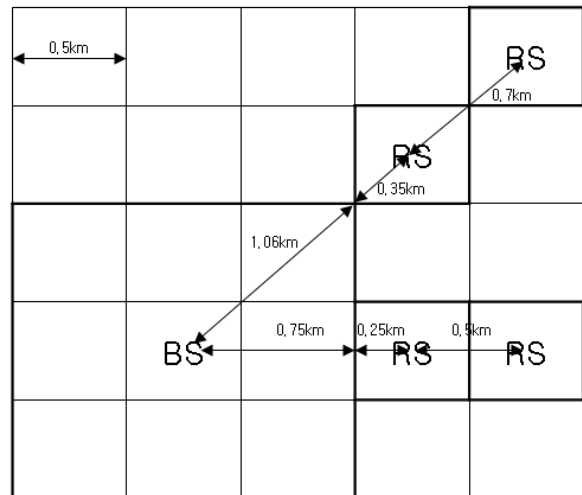


Figure 3. 해 표현을 위한 셀

서비스 사용자는 <Figure 4-1>과 같이 각 셀에 사용자의 수가 주어진다고 가정한다. 본 논문에서 다루는 문제의 의사결정사항은 어느 지역에 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션을 설치할 것인지 이므로 해의 유전자 표현은 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 설치 여부에 관한 정보이다. 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 설치 여부에 관한 유전자 표현은, 베이스 스테이션은 1, 릴레이 스테이션은 2로 표현하였으며, 베이스 스테이션 혹은 릴레이 스테이션이 모두 설치되지 않은 지역은 0으로 표현하였다<Figure 4-2>.

하나의 베이스 스테이션은 자신이 위치한 셀에 인접한 셀까지 서비스를 할 수 있으므로, 베이스 스테이션에 인접한 셀은

34	0	47	8	43
24	35	23	6	15
48	29	16	34	42
8	14	5	32	46
11	2	13	19	30

Figure 4-1. 사용자 수

2	0	0	0	2
2	0	1	0	0
2	0	0	0	0
2	0	0	0	1
2	2	2	0	0

Figure 4-2. 베이스/릴레이 스테이션배치

0.5	1	1	1	0.5
0.5	1	1	1	0
0.5	1	1	1	1
0.5	0	0	1	1
0.25	0.25	0.5	1	1

Figure 4-3. 사용자 만족도

베이스 스테이션 또는 릴레이 스테이션이 존재하지 않아도 사용자 만족도는 1.0으로 산정된다. 또한 <Figure 4-2>에서 좌표 (1, 5)인 셀의 경우는 릴레이 스테이션이 설치되어 있는데 이는 좌표(2, 3)인 베이스 스테이션의 커버리지와 인접해 있으므로 사용자 만족도는 0.5로 산정된다. <Figure 4-2>에서 좌표(5, 2)인 셀의 경우는 릴레이 스테이션이 설치되어 있는데, 이는 좌표(4, 5)인 베이스 스테이션과 하나의 릴레이 스테이션(좌표 (5, 3)의 릴레이 스테이션)을 거쳐 연결되어 있으므로 사용자 만족도는 1/2×1/2이 되어 0.25로 산정된다.

4.2 적합도함수(Fitness Function)

베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 설치비용만으로 측정하면 비용만 낮추려하여 결국 베이스 스테이션의 수가 줄어들고 릴레이 스테이션의 수가 증가되어 전체적인 서비스 만족도가 줄어드는 경향을 보이며, 반대로 전체적인 서비스 만족도를 높이면 총 설치비용이 증가하는 경향을 보이기 때문에 이 둘을 동시에 고려하여 적합도 함수를 정의하여야 한다.

따라서 적합도 함수는 목적함수와 제약조건이 결합된 형태로 구성되어, 비용요소와 전체 서비스 만족도 기준의 미달치에 대한 페널티 요소로 구성된다. 즉, 적합도 함수는 다음 식 (2)와 같이 베이스 스테이션의 설치비용, 릴레이 스테이션의 설치비용, 전체 서비스 만족도의 가중 평균치가 기준치(90%)에 미달한 정도에 대한 페널티 값으로 표현된다.

$$f_{(fitness)} = \sum_i c_B x_i + \sum_i c_R y_i + p \times \left| \min \left\{ \frac{\sum_i s_i \times nc_i}{\sum_i nc_i} - 0.9, 0 \right\} \right| \quad (2)$$

단, p : 서비스 만족도 기준 미달에 대한 페널티 상수

4.3 초기 개체집단, 선택과 교배

초기 개체 집합은 각 유전자의 배열에 0, 1, 2를 임의로 할당하여 구성한다. 이들 개체 집합에 대해 적합도가 우수한 순으로 정렬한 후, 적합도가 우수한 상위 개체를 선택하여 일정 부분 자식세대의 개체로 복제하여 엘리트 개체를 보존한다. 이 복제비율은 교배비율과 돌연변이율, 새로운 개체생성 비율의 나머지 비율로 설정된다.

교배는 이 개체의 집합을 적합도가 높은 순으로 정렬한 뒤 70%의 비율로 페널티 값을 가지지 않는 개체들 사이에 교배를 하고 30%의 비율로는 개체 전체를 대상으로 개체를 선택하여 교배를 실시한다.

유전자 교배는 임의의 베이스 스테이션을 선택한 뒤 베이스 스테이션 뒤의 모든 유전자를 교환하는 교배방식을 사용했다. 베이스 스테이션을 기준으로 교배를 하는 이유는 베이스 스테이션이 아닌 임의의 릴레이 스테이션을 기준으로 교배하면 릴레이 스테이션이 단독으로 위치할 확률이 높아질 수 있어 서비스 만족도가 낮아질 가능성이 높기 때문이다. 그러나 선택된 두 개체의 임의의 선택점이 모두 베이스 스테이션으로 일치하지 않는 경우가 많으므로 두 개의 개체에 각각 임의의 베이스 스테이션위치를 선택하여 각각의 베이스 스테이션을 기준으로 상대 개체에게 유전자를 교환한다. <Figure 5>와 같이 개체 1은 2번째 유전자인 BS가 선택 되고, 개체 2는 4번째 유전자인 BS가 선택되었다. 개체 1의 선택된 BS 이후의 유전자 리스트는 BS-RS-RS-RS-RS가 되며, 이 리스트가 개체 2의 2번째 유전자부터 교체되어, RS-BS-RS-RS-RS-RS의 자식 개체가

개체 1	RS	BS	RS	RS	RS	RS	RS	BS	RS	BS	RS	RS
개체 2	RS	RS	RS	BS	RS	RS	RS	BS	RS	RS	RS	RS

[교환전] [교환후]

Figure 5. 교차연산

생성된다. 또한, 개체 2의 선택된 BS이후의 유전자 리스트는 BS-RS-RS 이므로 개체 1의 4번째 유전자부터 교체되어, RS-BS-RS-BS-RS-RS의 자식 개체가 생성된다.

4.4 돌연변이, 새로운 개체 생성

돌연변이 연산은 해의 탐색 구역을 지역에 머물지 않게 하는 연산으로, 임의의 배열을 선택한 뒤 베이스 스테이션은 릴레이 스테이션으로 릴레이 스테이션은 베이스 스테이션으로 바꿔준다. 베이스 스테이션이나 릴레이 스테이션 모두 설치되지 않은 지역은 랜덤하게 베이스 스테이션이나 릴레이 스테이션을 설치한다. 이런 돌연변이 연산을 전체 개체에 대해 돌연변이율 만큼 수행해 준다.

베이스 스테이션을 릴레이 스테이션으로 바꾸는 것은 비용을 감소시키는 요인이며, 릴레이 스테이션을 베이스 스테이션으로 바꾸는 것은 서비스 만족도를 높이는 요인이다.

교배연산과 돌연변이 연산이 끝난 후 적합도 평가를 하고 적합도순으로 정렬하여 하위 30%의 개체를 50%의 확률로 기존의 개체를 새로운 개체로 교체하여 새로운 유전자들을 해집합에 추가시킨다.

4.5 휴리스틱 기법

본 연구에서 유전알고리즘에 3가지 종류의 휴리스틱기법을 추가하여 해의 수렴속도를 빠르게 하였다.

<휴리스틱 1 : BS추가>

서비스 사용자수에 따른 가중 만족도이므로 사용자수가 유전자 생성 시 0, 1, 2를 각 유전자에 임의로 발생시키는 단순한 방법으로는 전체 사용자 만족도가 90%를 넘는 개체를 찾는 데 너무 많은 시간이 걸린다. 때문에 전체 사용자 만족도가 70%가 안 되는 개체에 대해서는 50%의 확률로 사용자가 많이 존재하는 지역순으로 베이스 스테이션을 배정하는 방법이다. 이 방법에 의해 사용자 만족도 제약조건을 충족시키는 개체를 많이 만들어 낼 수 있다.

<휴리스틱 2 : RS-BS대체>

교배연산과 돌연변이 연산 수행 후 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 위치 제약에 걸리는 릴레이 스테이션을 베이스 스테이션으로 대체하는 연산을 수행하는데, 이것은 개체가 최적해에 가능한 빠르게 접근 가능 하도록 해주기 위함이다. 릴레이 스테이션은 주변에 베이스 스테이션이나 릴레이 스테이션이 존재하거나 릴레이 스테이션으로부터 두 개의 셀 이내에 베이스 스테이션이 존재하여야하므로, 이러한 조건에 해당하지 않은 릴레이 스테이션은 강제로 베이스 스테이션으로 대체

시켜준다.

<휴리스틱 3 : BS/RS삭제>

사용자가 없는 지역에 베이스 스테이션이나 릴레이 스테이션을 설치해도 사용자 만족도가 증가하지 않으므로 사용자가 없는 지역은 강제로 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션을 삭제한다. 또한 베이스 스테이션에 직접 인접한 지역은 베이스 스테이션이나 릴레이 스테이션이 존재하지 않아도 사용자들이 서비스를 이용할 수 있기 때문에 베이스 스테이션에 직접 인접한 지역에 존재하는 베이스 스테이션 혹은 릴레이 스테이션도 무의미한 설치가 되고, 이러한 베이스 스테이션이나 릴레이 스테이션을 삭제한다.

4.6 알고리즘 종료

유전알고리즘의 종료조건은 최대 탐색반복을 초과하거나 일정 횟수만큼 해의 개선이 이루어지지 않을 경우 유전알고리즘을 종료하게 된다.

5. 실험 방법 및 결과

5.1 최적 파라미터 결정

유전알고리즘의 핵심은 교차연산, 돌연변이연산, 엘리트보존이다. 때문에 각 연산을 수행함에 있어 연산의 파라미터의 영향을 분석할 필요가 있다. 유전알고리즘에서 중요한 파라미터로는 개체 집합의 크기와 교배시의 교배비율, 돌연변이율, 새로운 유전자를 생성하는 확률을 생각할 수 있다. 각각의 파라미터에 따른 수행횟수를 비교하기 위한 파라미터 외에 다른 파라미터들을 고정하고 시뮬레이션을 하였다. 본 연구에서 각각의 파라미터를 조정하여 10회 시뮬레이션을 실행하여 평균을 측정하였다.

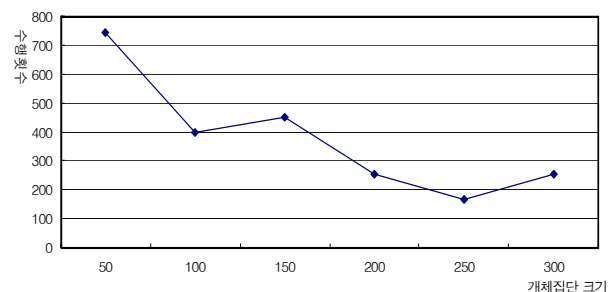


Figure 6. 개체집단의 크기와 수행횟수

개체 집단의 크기는 50에서 300까지 50씩 증가시키면서 유

전알고리즘이 해를 찾는데 반복한 수행횟수를 측정하였다. 유전자의 총 갯수가 250개 일 때 가장 좋은 결과를 보여주었다. 교배를 수행할 때 개체 전체를 대상으로 얼마만큼의 개체에 교배연산을 수행할지를 결정하는 확률을 변경하여 시뮬레이션을 하였다. 교배비율이 60%일 때 가장 빠르게 최적해에 접근하는 것을 볼 수 있다. 교배비율이 너무 적으면 다음 세대에 상위 순위의 유전자들이 진화하지 못하고 그대로 전달이 되기 때문에 유전자 전체의 변화가 적어진다. 따라서 해 공간을 다양하게 탐색하지 못하고 최적해 탐색에 더 많은 시간이 필요하게 된다. 반대로 너무 높은 확률로 교배비율을 설정하면 전 세대의 좋은 형질이 다음 세대로 넘어가지만 교배로 생성된 유전자보다 더 좋은 형질의 유전자를 잃어버리는 확률도 따라서 높아지기 때문에 결국 탐색시간이 더 걸리는 현상이 발생한다. 시뮬레이션 결과 60%의 확률로 교배연산을 수행할 때 최적의 결과를 관찰 할 수 있었다.

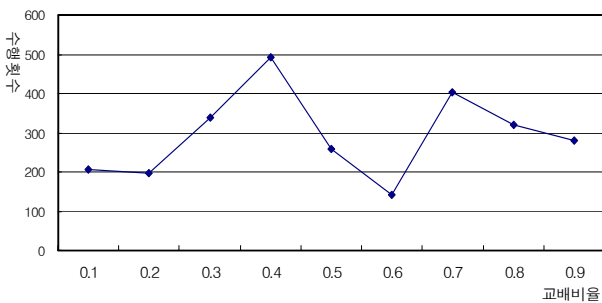


Figure 7. 교배비율과 수행횟수

다음으로 돌연변이 연산의 각 유전자마다 돌연변이가 발생할 확률을 결정하는 파라미터를 변경하여 시뮬레이션 해보았다. 돌연변이율은 3%, 3.5%, 4%, 5%일 경우 반복 실행수가 가장 적게 나왔다. 사이즈가 큰 문제에 대한 실험을 위해서 본 연구에서는 돌연변이율을 5%로 설정하였다.

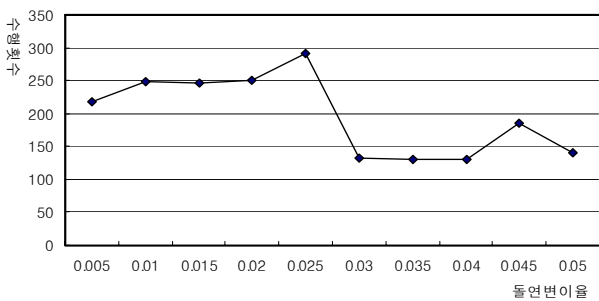


Figure 8. 돌연변이율과 수행횟수

다음으로 새로 생성된 자식세대 개체 집합에 대해 적합도가 우수하지 못한 하위 일정 부분의 개체를 새로운 개체로 바

꾸어주는 비율에 대한 실험을 하였다. 이는 후순위의 개체들 대신에 새로운 개체를 추가함으로써 좋은 형질의 개체를 가지는 기회를 부여한다. 따라서 새로운 개체를 많이 추가하면 더 많은 지역을 탐색할 수 있다. 하지만 총 개체 수에 너무 많은 비율로 새로운 개체를 개체 집합에 추가하면, 현재 가지고 있는 좋은 형질의 개체들을 잃어버리는 결과를 초래하므로 결국 탐색에 더 많은 시간이 필요하게 된다. 시뮬레이션 결과 전체 개체의 적합도 함수의 하위 30%에 해당하는 개체에 대해서 새로운 개체를 추가하는 것이 가장 좋은 결과를 보였다. 여기서 한 가지 고려해야 할 사항은 후순위의 개체라 할지라도 모두 교체되면 개체 집합의 다양성을 떨어뜨리게 되므로 후순위의 개체도 생존할 확률을 부여해야 하는데 본 실험에서는 50%의 확률로 후순위 개체의 생존 확률을 설정하였다.

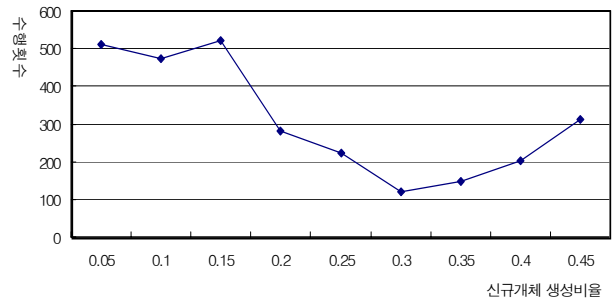


Figure 9. 신규개체 생성비율과 수행횟수

5.2 적합도 함수변화

본 연구에서 설계된 유전알고리즘의 수렴성을 검증해 보기 위해 수행 횟수에 따른 적합도 함수의 개선 정도를 10x10의 공간에 실험해 보았다. <Figure 9>에서와 같이 초기에는 적합도 함수의 값이 큰 폭으로 개선되고 있으며, 약 800회 이후에 가능해를 찾은 후에는 개선속도가 줄어들었으며, 약 4,500회 이후에 최종해에 수렴하는 것을 보여주고 있다.



Figure 10. 유전알고리즘의 수렴성

Table 4. 휴리스틱 적용과 휴리스틱 미적용 비교

문제크기	문제번호	휴리스틱 미적용					휴리스틱 적용				
		설치비용	서비스만 족도(%)	BS수	RS수	수행속도	설치비용	서비스만 족도(%)	BS수	RS수	수행속도
5x5	1	360	92.0	3	6	1713	330	90.0	3	3	3
	2	370	90.3	3	7	4895	330	91.4	3	3	28
	3	370	90.9	3	7	2630	330	90.3	3	3	3
10x10	1	1970	90.2	16	37	3826	1070	90.8	9	17	4588
	2	1980	90.8	16	38	4503	1210	90.6	10	21	2608
	3	2000	90.8	16	40	2910	1150	90.1	9	25	2893
15x15	1	4970	92.9	40	97	2742	2700	90.6	22	50	2201
	2	5250	90.9	42	105	8987	2670	90.9	22	47	752
	3	5250	90.3	44	85	1657	2640	90.1	22	44	9832
20x20	1	16480	91.5	89	158	5395	4930	90.2	40	93	4463
	2	10400	91.2	87	170	8835	4690	90.1	39	79	9812
	3	10400	90.7	88	160	3394	4800	90.0	40	80	2105
30x30	1	35400	100	326	280	7304	12760	90.0	106	216	9986
	2	35970	100	332	277	6553	12710	90.0	113	141	6942
	3	36800	100	337	301	5939	13240	90.0	114	184	2820

5.3 휴리스틱과 순수 알고리즘 비교

본 연구에서 3가지 휴리스틱 기법을 적용하여 해의 품질 개선과 수행 속도를 제고하고자 하였다. 이 효과를 실험해 보기 위해 5x5, 10x10, 15x15, 20x20, 30x30의 공간문제에 대해 각각 3문제를 생성하여 실험하였다. 하나의 셀이 커버하는 영역이 가로 0.5km, 세로 0.5km이므로 30x30의 경우 225km²의 면적에 해당하며, 이 정도의 공간은 서울(605.52km²)의 1/3에 해당하는 큰 공간이 된다. 이 정도의 면적은 현실 Wibro MMR 네트워크에서 고려하는 지역 공간을 충분히 커버하는 크기의 문제이다. 실험 결과는 <Table 4>와 같다. 여기서 수행속도는 최종해를 산출한 최초의 수행횟수(Iteration)를 의미한다.

휴리스틱을 적용한 경우가 휴리스틱을 적용하지 않은 경우에 비하여 설치비용이 평균적으로 40.6% 개선되었으며, 수행속도는 평균적으로 13.6% 개선되었다. 또한 휴리스틱을 적용한 경우가 휴리스틱을 적용하지 않은 경우에 비하여 베이스 스테이션의 수가 상당히 감소되었으며, 릴레이 스테이션의 배치도 효과적인 것으로 나타났다.

225km²의 면적에 대한 Wibro MMR 네트워크 문제인 30x30의 문제도 실시간안에 결과를 산출하여 본 논문에서 제안한 유전알고리즘이 현실의 Wibro MMR 네트워크 문제를 해결할 수 있음을 보여주었다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

Wibro는 IEEE표준으로 채택되었고 향후 이동 무선인터넷을 주도하게 될 것이다. 그러나 Wibro의 서비스 지역의 한계는 Wibro 대중화에 가장 큰 걸림돌이 될 수 있다. 때문에 대규모 네트워크의 구축이 필요하고 Wibro의 특성상 대규모 네트워크 구축에는 비용적 문제가 큰 걸림돌임에 틀림없다. 이러한 이유로 기지국의 최적위치를 탐색하여 설치비용을 최소화하면서 사용자들의 만족도를 최대화할 수 있도록 망을 설계해야 할 것이다. 비용을 줄이면서 사용자 만족도를 유지하는 대안으로 IEEE 802.16j에서 제안된 MMR 네트워크는 단일한 형태의 기지국이 아닌 두 가지 형태가 혼합된 기지국으로 구성되어 있으므로 두 가지 형태의 기지국에 대해 각각의 최적 입지를 선정하는 배치하는 문제는 더욱 복잡하다.

본 논문에서는 이러한 문제에 대해 유전알고리즘을 적용하여 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션의 위치를 탐색하고 동시에 최소한의 사용자 요구수준을 만족시키는 해를 산정하는 방법에 대해 연구하였다. 또한 유전알고리즘의 효율을 높이기 위한 휴리스틱 기법을 개발하여 적용한 결과, 실험결과는 본 논문에서 제시한 유전알고리즘으로 실제 적용될 수 있는 수준의 문제 크기를 실시간 안에 해결할 수 있음을 보였다.

그러나 본 논문에서는 베이스 스테이션과 릴레이 스테이션

의 위치 탐색 시 전파의 간섭이나 페이딩같은 특성을 고려하지 않았으며, 사용자의 이동과 지형같은 현실적인 문제는 무시하였다. 또한 MMR의 두 가지 형태 중 커버리지 확장모델만 고려한 한계를 가지고 있다. 향후 연구에서는 이러한 현실적인 요소들을 반영하여 Wibro망에서 기지국의 최적 입지 탐색에 현실적으로 이용 가능한 모델로 발전시키는 작업이 필요하다.

참고문헌

- Mach, Pavel, Bestack, Robert (2007), Performance of IEEE 802.16 with relay stations, 2007 6th conference on telecommunications, 101-104.
- IEEE 802.16 Group (2006), Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric), http://grouper.ieee.org/groups/802/16/relay/docs/80216j-06_013r3.pdf.
- IEEE 802.16j Group (2006), Harmonized contribution 802.16j(Mobile Multihop Relay) Usages Models, http://grouper.ieee.org/groups/802/16/relay/docs/80216j-06_015.pdf.
- Izumikawa, Haruki, Keizo Sugiyama, and Shuichi Matsumoto (2007), Scheduling Algorithm for Fairness Improvement among Subscribers in Multihop Wireless Networks, *Electronics and Communications in Japan*, Part1, **90**(4), 897-908.
- Jee, K. Y., Chung, G. K., Cho, Y. S., Hong, D. H., Kang, J. H., Kim, M. K., Yoo, S. H., Kim, D. K., and Kim, S. C. (2006), Introduction to Wireless Broadband, Electronic Times, Seoul, Korea.
- Kim, Y. I., Jung, C. S., Cho, H. S., Ahn, J. H., and Hwang, S. K. (2006), Trend of IEEE 802.16 Mobile Multi-hop Relay, *ETRI, Analysis Trend of Electronics and Communication*, **21**(3), 91-99.
- Lee, S-H., Park, H. S. (2005), Hierarchical Cellular Network Design with Channel allocation Using Genetic Algorithm, *Korean Operations Research and management Society fall conference 2005*, 321-333.
- Lin, Bin, Pin-Han Ho, Liang-Liang Xie, and Xuemin (2007), Optimal Relay Station Placement in IEEE 102.16j Networks, *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference 2007*.
- Nam, Y. S., Ryu, J. H., Kwon, T. K., and Choi, Y. H. (2005), Optimal topology in Wireless Mesh Networks using Genetic Algorithm, *Korea Information Science Society*, **32**(2), 370-372.
- Park, B-S. (2003), A Study on the Optimization of Base Station Deployment for Cellular Radio Network Planning, *Yonsei University, Department of Electrical and Electronic Engineering*.
- Park, C-M., Gim, D-G., Lee, J-H., Kim, Y., and Jung, I-B. (2006), Topology Control based on Genetic Algorithm in Sensor Network, *Korea Information Science Society*, **33**(2), 666-670.
- Park, K.M., Chang, D. Y., Song, S. H., Ihm, J. G., and Kang, C. G. (2007), Performance Comparison of Optical Relay and Mobile Multihop Relay(MMR) in Cellular OFDMA-td system, *The 17th Joint Conference on Communications and Information*.
- SamSung Electronics co. LTD., Industry-University Cooperation Foundation Sogang University (2007), Opportunistic Packet Scheduling Apparatus and Method in Multihop Relay Wireless Access Communication System, *United States Patent Application Publication*, Pub. No.US2007/0201400 A1.
- Yu, Y., Murphy, S., and Murphy, L. (2008), Planning Base Station and Relay Station Location in IEEE 802.16j Multi-hop Relay Networks, *Consumer Communications and Networking Conference, 2008. CCNC 2008. 5th IEEE*, 922-926.