

유전 알고리즘을 이용한 무선 매쉬 네트워크의 최적 배치 탐색

*남용섭, 류지호, 권태경, 최양희

서울대학교

{ysnam, jhryu, tk, yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr

Optimal topology in Wireless Mesh Networks using Genetic Algorithm

*Yongsub Nam, Jiho Ryu, Taekyoung Kwon and Yanghee Choi

School of Computer Science and Engineering

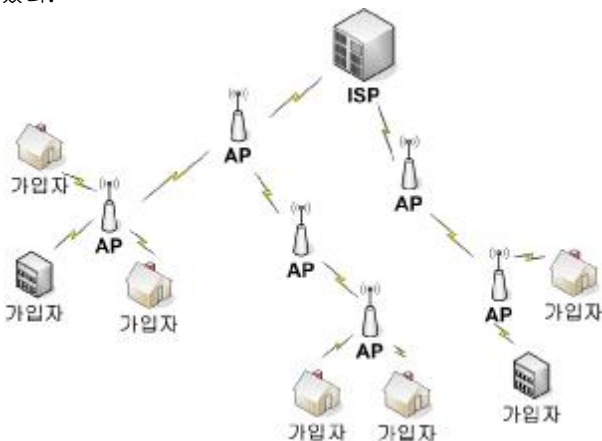
Seoul National University, Seoul, Korea

요 약

무선 매쉬 네트워크에서의 액세스 포인트의 배치는 예상 가입자의 위치와 서비스 공급자의 위치, 액세스 포인트의 수를 모두 고려해야 하는 **NP-complete** 문제이나, 효율과 비용의 측면에서 간과할 수 없는 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 대규모 매쉬 네트워크의 효율적인 배치를 위해, 유전 알고리즘을 사용하여 최소한의 액세스 포인트를 사용하여 최대한의 가입자를 수용할 수 있는 무선 매쉬 네트워크의 배치 방안을 모색한다. 구현을 통한 성능평가 결과와 수치적 분석은 본 문제 공간에서의 유전 알고리즘의 효용성을 입증한다.

1. 서 론

무선 매쉬 네트워크 (**Wireless Mesh Network**)는 무선 기기를 통해 멀티-홉으로 형성된 그물망 형태의 무선 통신망을 지칭한다. 무선 매쉬 네트워크 기술은 다양한 무선 통신 기능과 접목되어 다양한 응용분야를 창출하며, 현재 국내외적으로 군사적, 사업적 목적으로 적용된 많은 사례가 있다. 본 연구는 그림1에 예시된 형태의 서비스 공급자와 가입자가 존재하는 응용에 초점을 맞추고 있다. 최근 매쉬 네트워크에서 연구되고 있는 문제들은 이미 매쉬 라우터나 액세스 포인트들이 배치된 상황에서 여러 개의 네트워크 인터페이스에 여러 개의 채널을 효과적으로 할당하는 기법에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 이런 문제는 **NP-complete** 문제이며 휴리스틱이나 선형 프로그래밍 등의 기법을 사용하여 최적해를 찾는 기법들[1][2]이 제시되고 있다.



[그림 1] 무선 매쉬 네트워크의 적용 예

무선 매쉬 네트워크에 있어서 액세스 포인트 (**Access Point**)의 배치는 중요한 문제이다. 서비스 공급자의 입장에서 액세스 포인트의 배치는 기존의 경험에 의존하는 경향이 있으나, 이는 효율과 비용의 측면에서 낭비를 야기한다. 따라서, 액세스 포

인트의 배치 시에 가장 적은 수의 액세스 포인트로 잠재 가입자 모두를 수용할 수 있는 망 형성이 필요하다. 그러나, 액세스 포인트의 제한된 전송 거리와 네트워크 상의 경로의 중복을 감안하면, 최소의 액세스 포인트로 가입자 전부를 수용하는 문제는 **NP-complete** 문제이다. 선형 프로그래밍 등의 기법을 통해 가능한 모든 경우를 찾는 방법으로 최적 해를 구할 수 있으나, 이는 크기가 작은 망에 가능한 방법이며 가입자 수가 늘어남에 따라 연산 시간이 기하급수적으로 증가한다. 따라서, 크기가 큰 네트워크, 즉 가입자 수가 많은 네트워크에서는 기존의 결정론적인 알고리즘이나 선형 프로그래밍을 통한 완전한 탐색 기법이 아닌 다른 측면에서의 접근이 필요하다. 우리는 유전 알고리즘 (**Genetic Algorithm**)을 사용하여 한정된 시간 안에 최적의 배치를 수행하는 기법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 주어진 문제를 해결하기 위해 이용할 유전 알고리즘에 대해 살펴보고 위의 문제를 유전 알고리즘에 맞게 설계한다. 3장에서는 유전알고리즘을 통한 성능평가 결과를 제시하고 마지막으로 4장에서 본 논문을 마무리 짓는다.

2. 방법론

2.1 유전 알고리즘 개요

유전 알고리즘이란 자연계에서의 진화 원리를 문제 풀이나 모의 실험에 이용하는 연구 방법인 ‘진화 연산(**Evolutionary Computation**)’의 대표적인 한 분야이다 [3]. 유전 알고리즘의 구조를 간단히 설명하면 초기 해집단(**n**개)을 생성하여 선택 (**Selection**), 교차(**Cross-over**), 변이(**Mutation**)의 단계를 거쳐 새로운 **k**개의 해를 만들게 되고 이 **k**는 초기의 해 집단 **n**개 중에서 **k**개와 대체(**Replacement**) 된다. 이러한 과정을 임의의 정지 조건이 만족될 때까지 수행한 후 (해 집단에서 한 번 **k**개가 대체 될 때 한 세대가 지났다고 한다.) 해집단에 남은 해 중 가장 좋은 해를 답으로 삼는다. 여기서 선택 연산은 교차연산을 수행할 임의의 두 해를 고르는 과정이고, 교차 연산은 선택한 두 해의 특징을 부분 결합하여 새로운 해를 만드는 과정이다.

변이는 새로이 생성된 해집합에 새로운 특질을 부여 하기 위해 해의 원소 중에 일부를 일정 확률로 변형시키는 것이다. 이러한 교차나 변이 연산자를 위해서는 해의 표현 방법이 매우 중요한 요소가 되는데 일반적으로는 이진 스트링 모양의 염색체나 이진 이차원 배열로 표현할 수 있다. 대치연산을 수행하기 위해서는 어느 해가 더 우수한가를 평가할 수 있는 척도가 필요하며 이를 적합도 (Fitness) 라고 한다. 이 적합도는 선택 연산에서도 사용되는데 기준 척도인 선택압 (Selection Pressure) 을 주어 선택압 이상의 확률로는 적합도가 더 좋지 않은 해를 선택하고 선택압 이상의 확률로는 적합도가 더 좋은 해를 선택한다. 선택 연산에서 선택압으로 적합도가 더 나쁜 해를 선택하는 경우도 고려하는 이유는 적합도가 더 안 좋은 경우라도 그 안에 더 좋은 해를 찾아 줄 수 있는 가능성을 갖고 있을 수 있기 때문이다.

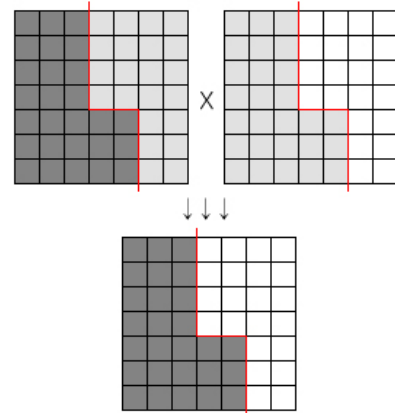
지금까지 소개한 유전 알고리즘의 구조(순수 유전 알고리즘)로는 정지 조건을 만족 할 때까지 너무 오랜 시간이 걸릴 수 있으며 원하는 해를 찾지 못할 수도 있다. 따라서 지역 최적화 (Local optimization) 기법의 도입이 불가피하다. 지역 최적화 기법이란 교차와 변이를 거친 해의 원소들을 인위적으로 바꾸어 보면서 적합도가 더 좋아 질 때까지 무수히 반복하는 것이다. 이 방법을 통하면 전체적으로 해들의 품질이 좋아질 수 있기 때문에 더 빨리 정지조건을 만족하면서 우리가 찾고자 하는 해를 구할 수 있다.

2.2 유전 알고리즘 설계

문제 정의 - 목표 지역을 기준선망 (Grid) 단위 [4]로 구분하며, 액세스 포인트들은 기준선망의 중심에 위치한다고 가정한다. 기준선망 사이의 거리를 작게 할 경우 더욱 정밀한 배치가 가능하나 그만큼 더욱 오랜 시간이 소요된다. 따라서, 구현에 있어서는 액세스 포인트의 전송 거리에 따라 격자 사이의 거리를 조정한다. 실제 배치에 있어서는 기준선망 내의 어느 위치에 액세스 포인트가 배치 되어도 무방하다. 해의 표현 방법은 이러한 기준선망에 따라 2차원의 배열로 하였으며, 각 기준선망에 순서대로 번호를 부여하여 액세스 포인트가 위치한 경우 1로, 액세스 포인트가 위치하지 않은 경우를 0으로 하는 이차원 이진 인코딩 기법을 사용하였다. 해의 적합도 측정에 있어서는 수용된 가입자의 수와 액세스 포인트의 개수를 고려하였다. 사용한 적합도 함수는 다음과 같다.

$$\text{적합도} = \frac{(\text{수용된 가입자 수})^a}{\text{액세스 포인트 개수}}$$

해의 선택에 있어서 70%의 선택압을 주고 8개의 해 중 하나의 해를 택하는 토너먼트 선택 방식을 채택하였다. 즉, 임의의 8개의 해를 선택한 후 2개의 해씩 비교하여 선택압의 확률로 적합도가 큰 해를 선택한다. 이러한 방식으로 해를 선택하여 최종적으로 하나의 해를 선택한다. 교차연산자는 그림2와 같이 두 부모 해의 격자 내에서 가로 혹은 세로로 임의의 꺾은선을 그어 부모로부터 한 구획씩을 상속받는 방식을 사용하였다. 이는 지리적인 위치 정보를 보다 더 잘 유지하여 스키마(부분패턴)의 생존 확률이 높기 때문이다. 변이 연산자는 일반적으로 사용되는 비율인 0.15%의 확률로 격자 내의 값의 역수를 취하는 방식을 채택하였다. 변이 연산자는 새로운 문제 공간 탐색에 중요한 역할을 하는 연산자이다. 대치에 있어서는 얻어진 자식 해를 해집단 내에서 가장 낮은 적합도를 갖는 해와 교체하는 방식을 사용하였다.



[그림2] 유전알고리즘의 2차원 교차 연산자

지역 최적화 - 순수 유전 알고리즘 만으로는 해집단의 수렴이 늦어지는 단점이 있다. 따라서, 해집단의 빠른 수렴을 위해 유전 알고리즘과 더불어 지역 최적화 기법을 사용하였다. 사용한 지역 최적화 기법은 2-opt 기법을 응용한 방법으로 임의의 격자 내의 한 지점을 찾아 해당 비트 (bit)의 역수를 택한 후 원래 해보다 적합도가 더 커지면 채택하고 작아지면 원래 해로 돌려놓는 방식을 사용하였으며, 매회 순수 유전 알고리즘을 수행한 후 5000회의 지역 최적화를 수행하는 방식을 채택하였다.

3. 성능평가

3.1 실험환경

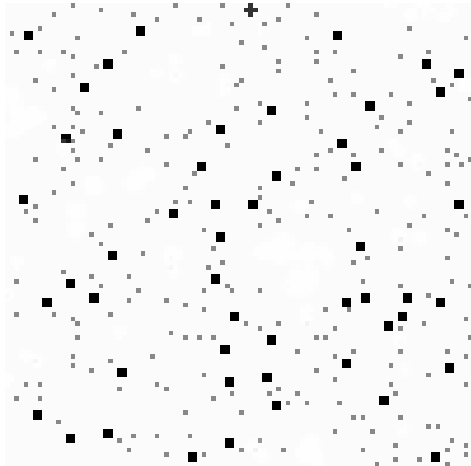
제한한 알고리즘의 성능 평가를 위해 다음과 같은 문제 공간을 설정하였다. 목표 지역의 크기는 10000 m x 10000 m의 정사각형으로 두었으며, 기준선망은 100 m 단위로 배치하였다. 액세스 포인트의 전송 거리는 400 m, 간섭 거리는 800 m로 설정 하였다. 서비스 공급자와 예상 가입자들의 위치는 목표 지역 내에서 임의로 지정하였으며, 가입자 수는 총 50 세대를 가정 하였다. 유전 알고리즘을 수행하기 위한 인자로, 해집단의 크기는 64개(n=64), 한 세대에 대치되는 해의 개수는 8(k=8)개로 두었다. 유전 알고리즘의 세대 수를 증가시켜 가며 최적해를 탐색하였으며, 이때 최적해는 해집단 중 적합도 함수의 값이 가장 큰 해이다. α의 값은 2로 두어, 수용된 가입자 수에 가중치를 두었으며, 이는 액세스 포인트의 개수를 줄이는 것보다 모든 사용자를 수용하는 것이 더 중요한 척도이기 때문이다.

3.2 실험 결과

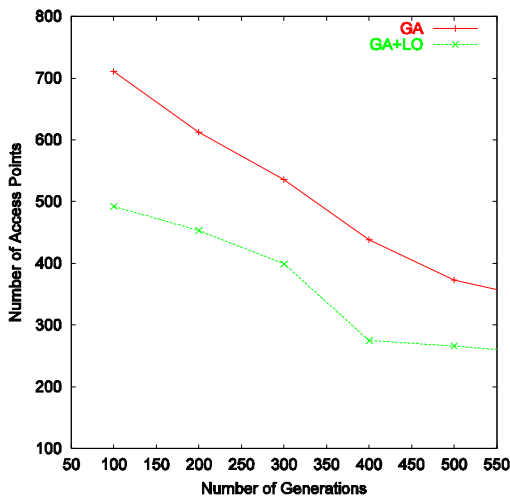
그림3은 유전 알고리즘을 통해 액세스 포인트 배치를 수행한 결과를 도식화한 것이다. 그림의 결과는 유전 알고리즘과 지역 최적화를 사용하여 400세대가 경과한 후의 배치 결과이다. 회색의 작은 점은 배치된 액세스 포인트를 나타내며, 그보다 더 큰 검은 점은 서비스 가입세대를 나타낸다. 또한, 상단 중앙의 십자형태의 점은 망 공급자를 나타낸다. 모든 가입자가 액세스 포인트를 경유하여 서비스의 이용 가능하며, 액세스 포인트가 비교적 우수하게 배치된 것을 볼 수 있다.

그림4는 유전 알고리즘의 수행 세대 수에 따라 배치된 액세스 포인트의 개수의 변화에 대한 상관 그래프이다. 세대수가 증가함에 따라 배치되는 액세스 포인트의 개수가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. GA 선은 순수 유전 알고리즘만을 사용한 경우의 액세스 포인트 수 변화이며, GA+LO 선은 유전 알고리즘과 지역 최적화 기법을 동시에 사용하여 얻은 결과이다.

그림5는 세대수에 따른 적합도의 변화 추이를 나타낸다. 유전 알고리즘이 수행되는 초기에는 급격하게 적합도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 해집단이 수렴하기 전의 초기 상태이므로 유전 알고리즘의 연산자와 지역 최적화를 통해 품질이 아주 좋지 않은 해들이 우수한 품질의 해로 교체되어 나타나는 현상이며, 세대수가 증가함에 따라 격자가 줄어들어 따라 해집단이 일정한 수준으로 수렴하게 된다.



[그림3] 유전 알고리즘을 사용한 액세스 포인트의 배치 예



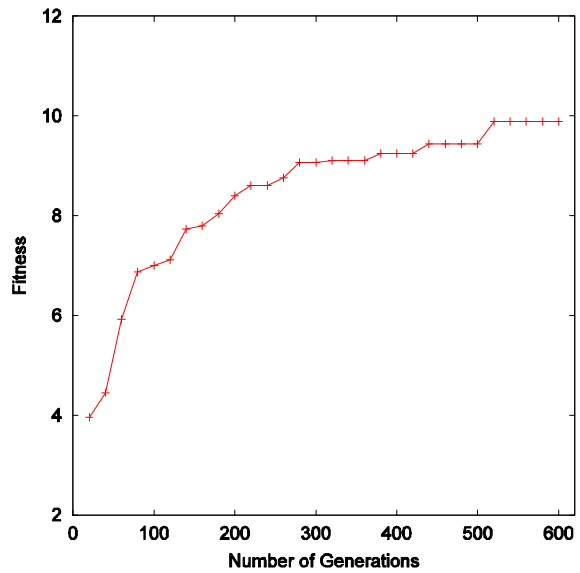
[그림4] 유전 알고리즘의 세대수에 따른 액세스 포인트 수

3.3 성능분석

유전 알고리즘과 지역 최적화를 복합하여 사용한 경우, 500세대가 경과한 후 약 280개의 액세스 포인트로 모든 가입자를 수용하는 배치 형태를 산출한다. 수치적으로 해당 문제 공간 내의 모든 가입자를 수용하려 하는 경우, 아래 식에 의해 최소 198개의 액세스 포인트가 요구된다.

$$\text{액세스 포인트 수} \geq \frac{\text{문제 공간 넓이}}{(\text{전송 거리})^2 p}$$

세대수에 따른 액세스 포인트 수의 변화 추이에 따르면 약 1000세대가 경과한 후 200개의 액세스 포인트에 도달할 것으로 유추할 수 있다. 즉, 한정된 시간 내에 최적해에 근사한 해



[그림5] 세대수에 따른 적합도 변화

를 찾아낼 수 있다. 반면, 선형 프로그래밍이나 결정론적인 방법론을 통해서 해당 크기의 문제 공간을 탐색하는 것은 불가능에 가깝다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

무선 매쉬 네트워크는 우수한 잠재 응용을 가지고 있으며, 응용에 따라 대규모의 네트워크를 형성할 수 있다. 유전 알고리즘은 기존의 NP-complete 문제의 최적해에 근사한 해를 찾는 데 고려해 볼 만한 접근 방법이며, 무선 매쉬 네트워크의 배치에 있어서도 비교적 짧은 시간 안에 최적해에 근사한 해를 산출한다. 구현을 통한 성능 평가 결과는 무선 매쉬 네트워크에 있어서의 유전 알고리즘의 우수성을 증명하였다. 향후 연구는 무선 매쉬 네트워크의 성능 향상을 도모하기 위해 단말에 위치한 가입자로부터 망 공급자에 도달하는 홉 수를 최소화하는 척도를 포함하며, 또한 인접 액세스 포인트들 간의 간섭을 최소화하기 위한 채널 할당에 관한 연구를 포함하여 실제의 배치에 더욱 공헌할 수 있는 연구를 수행할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Mansoor Alicherry, et al, "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Networks," in Proc. of ACM MobiCom 2005.
- [2] Draves, et al, "Routing in Multi-Radio Multi-Hop Wireless Mesh Networks," in Proc. of ACM MobiCom 2004.
- [3] Byung-Ro Moon, "Genetic Algorithms", 2003, Dooyang Press.
- [4] SeongKyu Lee and Byung-Ro Moon, "A hybrid genetic algorithm for the optimal hexagonal tortoise problem," Genetic and Evolutionary Computation Conference, p.689, 2002.