

유전 알고리즘을 이용한 무선 메쉬 네트워크에서의 라우팅 프로토콜 설계

윤 창 표[†] · 유 황 빈^{††}

요 약

무선 메쉬 네트워크 기술은 유선과 비슷한 전송속도를 갖는 무선 네트워크망을 구축하는 기술을 의미하며, 기존 유선 네트워크와 비교해서 네트워크 구축에 보다 향상된 유연성을 제공한다. 또한 노드의 이동성이 적고 에너지 영향에도 제약이 적게 따른다는 특징을 갖고 있다. 그러나 다중 경로 설정 및 선택 시에 발생할 수 있는 시스템 오버헤드와 같은 고려되어야 하는 사항들이 많아지게 된다. 따라서 이러한 네트워크 특성과 경로 설정 기술이 반영될 수 있는 네트워크의 설계 및 최적화에 주목하게 된다. 본 논문에서는 다중 경로 설정에 효과적으로 대응하기 위해 유전 알고리즘의 적합성 평가 함수에 링크의 성능과 로드를 고려한 노드의 트래픽 상황과 데이터 손실률 그리고 대역폭 및 링크의 흡수를 이용한 노드의 서비스 평가 값을 적용함으로써 무선 메쉬 네트워크 라우팅의 경로 설정에 대한 해결 방법을 제안한다.

키워드 : 유전 알고리즘, 무선 메쉬 네트워크, 라우팅 프로토콜

Using Genetic Algorithms in Wireless Mesh Network Routing Protocol Design

Chang-Pyo Yoon[†] · Hwang-Bin Ryou^{††}

ABSTRACT

Wireless Mesh Network technology refers to the technology which establishes wireless network whose transmission speed is similar to that of the wire system, and provides more enhanced flexibility in the building of network, compared to the existing wired network. In addition, it has the feature of less mobility and less restriction from the energy effect. However, there follow many considerations such as system overhead in the case of setting or the selection of multi-path. Accordingly, the focus is on the design and optimization of network which can reflect this network feature and the technology to establish path. This paper suggests the methods on the programming of path in Wireless Mesh Network routing by applying the evaluation value of node service, making use of the loss rate of data, the hop count of bandwidth and link and the traffic status of node, considering the performance of link and load in the fitness evaluation function, in order to respond to the programming of multi-path effectively.

Keywords : Genetic Algorithm, Wireless Mesh Network, Routing Protocol

1. 서 론

최근 무선 통신 기술의 발달로 무선 네트워크를 백본(backbone) 네트워크로 사용하는 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2][3]. 이러한 무선 메쉬 네트워크는 유선에 비해 적은 비용으로 무선 백본 네트워크를 구성할 수 있는 효율성

과 전송 속도에서도 유선과 비슷한 대역폭을 가질 수 있는 특징을 갖고 있다. 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 라우터(Mesh Router)와 메쉬 클라이언트(Mesh Client)라는 두 가지 형태의 노드로 구성되어 있으며, 메쉬 라우터는 서로 다른 네트워크를 연결할 수 있는 브리지의 역할과 인터넷 연결을 제공하는 게이트웨이 역할을 하며 무선 메쉬 라우터를 통해 무선 백본을 구성하여 메쉬 클라이언트들에게 서비스를 제공한다. 이러한 무선 메쉬 라우터는 이동성이 적고, 전력 영향에도 제약이 적게 따른다는 특징을 갖고 있다. 무선 메쉬 라우터로부터 서비스를 제공 받는 메쉬 클라이언트는 고정적이거나 이동이 가능한 무선 단말을 말한다[1].

무선 메쉬 네트워크는 노드의 연결이 무선 멀티 홉 연결

※ 본 논문은 2011년 광운대학교 교내 연구비 지원을 받아 시행됨.

† 정 회 원 : 광운대학교 컴퓨터학과 박사과정

†† 종 신 회 원 : 광운대학교 컴퓨터소프트웨어학과 교수

논문접수 : 2011년 1월 28일

수 정 일 : 1차 2011년 3월 15일, 2차 2011년 3월 31일

심사완료 : 2011년 4월 12일

이라는 점에서 이동 Ad-hoc과 유사점을 찾을 수 있지만, 무선 메쉬 네트워크는 단말들의 연결 구조를 제공하는 무선 백본망을 구성하는 것에 초점을 맞추며, 무선 메쉬 라우터의 이동이 거의 없다는 점에서 이동 Ad-hoc 네트워크와 또 다른 특성을 갖는다. 이러한 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 노드들 간의 데이터 흐름이 많고, 데이터 전달 과정에서 QoS를 만족시키기 위해서는 데이터를 전송하는 경로 선택에 있어 성능이 좋은 경로를 찾아야 한다[4][5]. 이러한 경로는 메쉬 노드 간에 연결되어 있는 링크로 구성되어 있다. 따라서 기존 이동 Ad-hoc 네트워크에서 제안된 라우팅 프로토콜과는 다른 새로운 라우팅 프로토콜이 필요하다.

본 논문에서는 노드의 서비스 평가에 따른 네트워크 성능 측정 방법과 이 정보를 이용하여 유전 알고리즘(Genetic Algorithms)에 따른 유전적 접근으로 라우팅 방법을 제안한다.

본 논문에서 접근한 유전 알고리즘은 상대적으로 적은 연산 시간 동안 복잡한 문제를 풀 수 있다는데 그 장점을 찾을 수 있다[6][7]. 이러한 유전 알고리즘은 무선 메쉬 네트워크의 설계와 최적화를 위한 적절한 해법을 제공하고 있다. 따라서 무선 메쉬 네트워크에서 최적의 라우팅 경로를 설정하는 적절한 해를 찾기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 무선 메쉬 네트워크의 동작 과정과 유전 알고리즘에 대하여 설명하고 이어서 3장에서 본 논문에서 해결하고자하는 문제와 해결 방법으로서의 제안 기법에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 제안모델에 대한 성능평가 결과를 보이고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 무선 메쉬 네트워크 및 유전 알고리즘

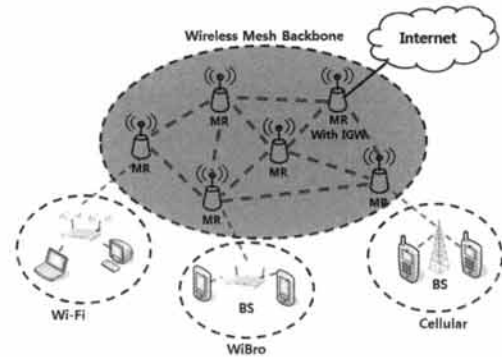
본 장에서는 무선 메쉬 네트워크 및 라우팅 프로토콜과 최신 라우팅 메트릭 그리고 로드 밸런싱에 대해 알아보고, 유전 알고리즘과 유전 알고리즘에서의 최적해 평가 방법에 대해 소개한다.

2.1 무선 메쉬 네트워크

무선 메쉬 네트워크는 메시 라우터와 메시 클라이언트 노드들로 구성된 네트워크이다. 또한 다른 여러 종류의 네트워크와 통합이 가능한 네트워크 환경으로 같은 종류의 네트워크뿐만 아니라, 인터넷, 셀룰러, IEEE 802.11, IEEE802.15, IEEE802.16, 센서 네트워크 등을 메시 라우터에서 제공하는 브리지(bridge) 기능과 게이트웨이 기능 등을 통해서 노드간의 데이터 전송이 가능하게 된다.

2.2 라우팅 프로토콜

무선 메쉬 네트워크는 이동 Ad-hoc 네트워크와 달리 노드의 움직임을 가정하지 않는 무선 네트워크로서 정적 무선 네트워크라고도 불리며, 메시 라우터들이 무선 메시 네트워크의 핵심을 이루게 된다. 또한 각 메쉬 노드들은 하나 이상의 홉을 거쳐 도착한 데이터들을 무선 전송이 가능한 범



(그림 1) 무선 메쉬 네트워크

위 내에서 이웃 라우터나 클라이언트에게 전달하게 되며, 다중 홉 라우팅(multi-hop routing)을 함으로써, 현재의 무선 랜이 커버하는 범위보다 그 범위가 넓어지게 되고, 이 과정에서 가장 효율적인 경로를 선택하기 위해서 다양한 라우팅 메트릭들이 제안되고 있다[8][9][10].

라우팅 방법으로는 On-demand 방식[10][11]과 Proactive 라우팅 방법[12]으로 나눌 수 있는데, On-demand 방식의 라우팅 방법은 Ad-hoc 네트워크의 경로 설정을 위한 방법으로 제안되었으며, 목적지 노드까지 최소 노드 수를 이용하는 일반적인 경로 선택 방법을 사용하므로 라우팅 방법에 따라 경로 설정 및 유지를 위해 관리상의 복잡성을 갖게 되어 무선 메쉬 네트워크에 적합하지 않다. 그리고 Proactive 방식의 라우팅 방법들 중 Hop-by-hop 라우팅 방법은 전체 노드들은 다음 홉의 정보를 모두 가지고 있으며, 중간 노드는 헤더의 목적지 정보를 참조하여 자신의 라우팅 정보를 통해 다음 홉으로 프레임 전달하게 된다. 이러한 방법은 네트워크의 오버헤드가 적게 발생하므로, 무선 메쉬 네트워크에 적합한 라우팅 방법이 된다.

최근 대부분의 연구는 기존의 경로 설정 방법에서 네트워크 성능을 최대화하기 위해서 로드 밸런싱 기법을 이용하여 경로에 대한 신뢰성을 높여주는 다중 경로 설정 방법에 대한 연구를 진행하고 있으며, 최대 전송률을 얻을 수 있는 경로를 찾아 최적의 링크 품질을 반영하는 메트릭을 설계하는 것에 초점이 맞춰져 있다.

2.3 라우팅 메트릭과 로드 밸런싱

라우팅 프로토콜에서는 가장 효율적인 경로를 선택하기 위해서 여러 가지 메트릭이 이용된다. 다양한 메트릭 중 링크 상의 전송 속도 또는 대역폭을 고려하는 최신 라우팅 메트릭으로는 ETX(Expected Transmission Count)와 ETT(Expected Transmission Time)가 있으며, ETX는 패킷을 다음 노드에 전달할 때, 패킷 전달을 완료하기 위해 필요한 평균 송신 수를 나타내어 손실률만을 고려하였고, 각 링크에 대한 대역폭은 고려되지 못하므로 각기 다른 대역폭을 갖는 무선 메쉬 네트워크 환경에는 적합하지 않다. ETT는 ETX의 이러한 단점을 보완하기 위해 제안되었으며 ETX를

기반으로 데이터의 전송 시간을 예측하고 링크에 대한 대역폭을 고려해서 경로 선택을 한후 데이터 패킷을 전송하는 방법을 말한다. 그러나 ETX와 ETT 모두 링크의 성능만을 고려할 뿐, 로드(Load)에 대한 고려가 되지 못했다.

네트워크의 모든 노드들이 좋은 링크들로만 구성된 경로를 선택하여 데이터를 전송한다면 대부분의 노드들은 중복된 경로를 통해서 데이터를 전송하게 되며, 이 경로에 많은 부하가 발생하여 네트워크의 전체적인 성능저하로 이어지게 된다. 이러한 성능 저하를 피하기 위해서 QoS-aware 라우팅 프로토콜과 같은 로드 밸런싱 프로토콜이 제안되었다.

QoS-aware 라우팅 프로토콜의 라우팅 기준은 최단 거리가 아닌 전체 네트워크의 성능향상을 목적으로 하며 프로토콜에는 DLAR, LBAR, LSR 등이 있다[11][13]. 하지만 이러한 로드 밸런싱 프로토콜들은 라우팅 테이블에 기존 경로 설정 정보를 유지시키는 캐시 메커니즘을 사용하지 않고 노드의 인터페이스 큐에 있는 패킷의 개수를 계산하거나 이웃 노드를 통과하는 경로의 개수를 로드 정보로 활용하는 등 대부분 노드의 인터페이스 큐에 있는 정보를 활용하고 있다. 그러나 로드 밸런싱 프로토콜들을 사용하게 되면 시시각각 변화하는 주변의 다른 노드의 로드 정보 즉, 다중경로의 경로 변화 시 노드의 상태를 종합적으로 고려하지 못하게 된다. 이러한 로드의 성능 극복을 위해서 본 논문에서는 경로 선택을 위한 서비스 평가와 유전 알고리즘의 연산을 이용하여 경로를 설정하도록 하는 경로 설정 알고리즘을 제안한다.

2.4 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 자연 진화의 원리를 문제 해결에 이용하는 대표적인 방법론 중 하나이다. 유전 알고리즘의 대부분은 존 홀랜드(John Holland)이지만 적지 않은 연구 결과들이 홀랜드와 동시대 또는 그 이전에 있었으며 홀랜드가 진화 연산에서 집단에 근거하여 교차와 변이를 포함한 유전 알고리즘의 골격을 완성한 것이다.

유전 연산들 중 선택(Selection) 연산은 교차(Crossover) 연산을 위해 해집단(Population)에서 임의의 해(Chromosome)를 선택하는 연산이며 선택 연산에서 우수한 해에게 선택될 확률을 높여 주도록 한다. 교차 연산은 두 개의 부모 해(Parent Chromosome)들로부터 자식 해(Offspring) 하나를 만들어 내는 연산을 말하며, 이러한 교차 연산은 유전 알고리즘의 대표적인 연산으로서 유전 알고리즘의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 또한, 변이(Mutation) 연산은 해를 임의로 변형시키는 연산을 말하며, 교차 연산이 두 부모 해에 있는 속성들을 부분적으로 이용하는 역할을 하는 반면, 변이 연산은 부모 해에 없는 속성을 도입하여 해의 다양성을 높이는 역할을 한다. 이러한 연산들 중 만약 다른 연산을 사용하지 않고 오직 선택 연산만을 사용한다면 지역 최적화의 결과가 될 것이다. 따라서 교차와 변이 연산을 같이 사용하여 새롭게 생성된 개별 해를 만들게 된다[6][7][16][17].

본 논문에서 무선 메시 네트워크에서 최적의 라우팅 경로를

설정하는데 유전 알고리즘을 사용하였다. 경로 설정을 위해 제안하는 유전 알고리즘에서는 선택연산에서 최적의 부모 해들을 다음 세대의 상태로 유지하는 알고리즘과 최적의 해를 찾는 평가 방법으로 노드의 서비스 평가 값과 연결 노드들 간의 상태 정보 값 및 네트워크 구성 상태의 종합적인 평가 값을 활용하여 링크의 성능을 고려한 최적의 해, 즉 무선 메시 네트워크를 위한 최적의 경로를 선택하는 방법으로 활용하였다.

3. 제안하는 경로설정 방법 및 노드의 서비스 평가

본 장에서는 서비스 평가 요소와 서비스 평가 방법으로 나누어 노드의 서비스 평가 모델을 기술하고, 계산된 서비스 평가 값을 유전 알고리즘의 적합도 평가 함수(Fitness Function)에 적용하여 개별 해의 적합성을 평가하는 방법을 통해 무선 메시 네트워크 환경에서 데이터 전달을 위한 루프를 고려한 경로 설정 알고리즘에 대해서 제안한다.

3.1 노드의 서비스 평가 요소

무선 메시 네트워크에서 각 메시 노드들은 하나 이상의 홉을 거쳐 온 데이터들을 무선 전송이 가능한 범위 내에서 이웃 라우터나 클라이언트에게로 전달하게 된다. 또한 무선 메시 노드들은 데이터를 외부로 보내기 위해서는 반드시 게이트웨이를 통해 데이터를 전달하게 된다. 이 과정에서 다양한 메시지가 발생하게 된다. <표 1>에 나타난 정보들은 각 메시 노드들의 서비스 이용으로 발생하는 정보들을 사용하여 전체 트래픽에 대한 손실률로 사용된다. <표 2>의 게이트웨이 가 주변 노드들에게 알리는 게이트웨이 광고 메시지에서 사용되는 요소 정보와 그 응용으로 만들어진 정보를 사용하여 노드의 서비스 평가 요소로 사용하게 된다.

<표 1> 서비스 이용으로 발생하는 정보

정보	내용
Traffic Volume	메시 노드가 생성한 데이터 량
Relay Traffic Volume	이웃 노드들로부터 데이터를 받아 전달한 트래픽 량
Packet Error Rate	링크 채널의 오류율

<표 2> 게이트웨이 광고 메시지 활용 정보

정보	내용
Hop Count	게이트웨이 전달경로의 홉 카운트
Path Bandwidth	게이트웨이 까지 경로의 대역폭
Loop Info	최단 경로가 아닌 경로 선회 정보

3.2 노드의 서비스 평가 방법

앞서 정의한 평가 요소를 바탕으로 노드에 대한 서비스 평가 방법을 제시한다. 이 평가 방법에 따른 결과 값은 유전 연산의 최적해 평가를 위한 적합도 평가 함수(Fitness Function)의 판별 값으로 사용 되었다.

노드의 평가 방법은 Hop Count와 Bandwidth 그리고 Traffic 및 Packet Error Rate(PER)의 4 가지를 기준으로 각각이 계산 된다. 식에서 사용된 변수는 <표 3>에 나타내었다. 각 평가 식의 값은 각각의 가중치 값을 적용하여 계산되었다.

<표 3> 평가에 사용된 변수

변수	내용
Current Hop Count	현재 노드에서 게이트웨이까지의 홉수
Next Hop Count	현재 노드의 경로 상에 있는 다음 노드에서 게이트웨이까지의 홉수
Max Bandwidth	게이트웨이 까지 경로의 최대 대역폭

식에서 사용된 가중치 값은 0에서 1사이의 값으로 표시되며 노드의 가중치 총합은 1이 된다. 4 가지 평가 항목에 대한 가중치의 정의는 실험을 통해 얻어진 최적의 값을 의미하고 <표 4>에 각각의 가중치 값을 나타내었다.

<표 4> 평가 가중치

평가 요소	표시기호	가중치(0~1)
Hop Count	α	0.1
Path Bandwidth	β	0.2
Traffic(Own / Relay)	γ	0.4
Packet Error Rate	δ	0.3

① Hop 평가 식 (HE)

$$\alpha \times \frac{Next\ Hop\ Count}{Current\ Hop\ Count}$$

② Bandwidth 평가 식 (BE)

$$\beta \times \frac{Path\ Bandwidth}{Max\ Bandwidth}$$

③ Traffic 평가 식 (TE)

$$\gamma \times \frac{|Traffic\ Volume - Relay\ Traffic\ Volume|}{Traffic\ Volume + Relay\ Traffic\ Volume}$$

④ Packet Error Rate 평가 식 (PE)

$$\delta \times Packet\ Error\ Rate$$

노드의 서비스 평가 값은 다음과 같다.

$$x = HE + BE + TE + PE, 0 \leq x \leq 1$$

트래픽에 대한 가중치 설정 값을 가장 높은 값으로 설정한 것은 전체 네트워크의 처리량을 이용하고 로드를 고려하여 서비스를 평가하기 때문이다. 이때 단순히 메쉬 노드의 전체 트래픽을 해당 노드의 평가로 이용하지 않고 위의 TE 계산식에서와 같이 메쉬 노드가 생성한 트래픽과 이웃 노드들로부터 데이터를 받아 전달한 트래픽 량의 차를 통해 해

당 메쉬 노드의 서비스 상태를 평가 하였다. 이는 메쉬 노드의 자체 생성 트래픽과 중계 트래픽의 집중 현상을 모두 염두하고 메쉬 노드의 서비스를 평가한 것이다. 그리고 패킷 에러율에 대한 가중치 설정 값은 네트워크 패킷의 에러율을 이용하여 패킷 손실율을 노드의 서비스 평가를 위해 트래픽 다음으로 높은 가중치를 적용하게 되었다. 또한 경로의 대역폭과 홉수를 고려하는 것은 대역폭에 따라 경로상의 다양한 서비스 평가를 통해 노드의 서비스 평가 값을 계산하기 위해 가중하였으며 홉수에 대한 가중치는 좋은 링크로 구성된 경로를 선택하게 됨으로써 발생 할 수 있는 중복된 경로의 네트워크 부하를 고려하기 위해 전체 네트워크의 성능을 고려하여 각각의 가중치를 적용하였다.

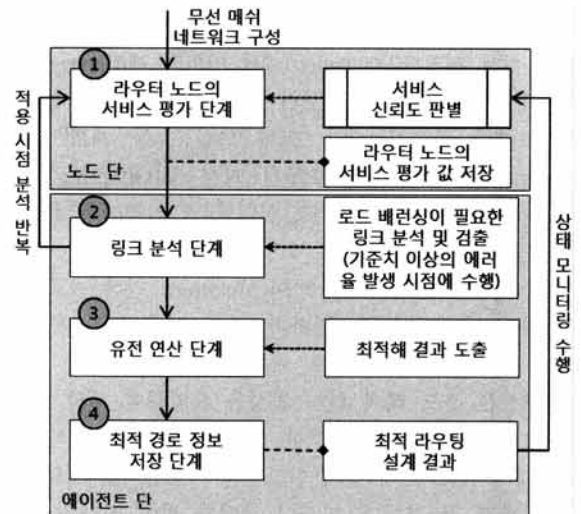
전체 라우팅 품질에서 높은 우선순위를 갖는 평가 요소들에 높은 가중치를 부여하였으며, 이러한 가중치 값은 보다 세밀한 평가 결과를 얻기 위해 10단계의 값으로 표시되어 사용된다.

HE평가의 가중치는 효율적인 데이터 전달을 위해 링크가 루프를 발생 시키더라도 최적 링크의 로드 밸런싱을 위해 적은 범위에서의 루프를 허용하도록 가중치 값 0.1을 적용 하였다. BE평가와 TE평가 그리고 PE평가의 각각의 가중치들은 HE와 같은 이유에서의 가중치 값을 갖게 되며 얻어진 라우터 노드의 서비스 평가 값은 제안된 유전 연산을 수행하는 에이전트에게로 주기적으로 전송되어 취합되어지며 이 값을 이용하여 유전 연산이 수행되어진다.

3.3 로드를 고려한 라우팅

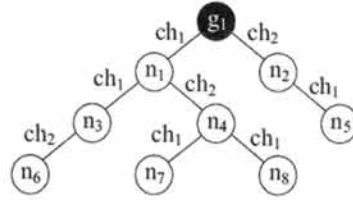
무선 메쉬 네트워크 환경에서 라우터는 망 구성 정보 외에 링크 상태 정보를 기반으로 라우팅 경로를 설정한다. 따라서 라우터가 정확한 링크 상태를 파악하는 것은 최적의 라우팅 경로를 설정하는데 있어 매우 중요하다.

로드를 고려한 라우팅 설계의 전체적인 동작 과정은 (그림 2)와 같이 각 단계가 유기적으로 반복된다.



→ 라우팅 설계 흐름 ----> 내부 처리 항목 > 처리 결과물
(그림 2) 라우팅 설계 동작 과정

- ① 노드의 서비스 평가 단계 : 노드는 자신의 서비스 신뢰도 값을 판별하여 노드 자체의 평가를 수행하고 에이전트에 전송 (게이트웨이 광고 메시지를 기준으로 노드의 서비스 평가 값을 저장)
- ② 링크 분석 단계 : 전체 메쉬 네트워크의 성능 최적화를 위해 에이전트에서 로드 밸런싱이 필요한 링크에 대해 분석 및 검색 수행 (라우팅 적용의 타이밍 분석 : 기준치 이상의 에러율 발생 시 수행됨)
- ③ 유전 연산 단계 : 링크 분석에 따라 로드 밸런싱이 필요한 경우 최적의 해를 찾는 과정 수행
- ④ 최적 경로 정보 저장



node	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	n ₆	n ₇	n ₈
next hop	g ₁	g ₁	n ₁	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₄
channel	ch ₁	ch ₂	ch ₁	ch ₂	ch ₁	ch ₂	ch ₁	ch ₁

(그림 3) 네트워크 표현의 예

라우팅 설계 동작 과정은 유전 연산을 수행하는 에이전트에 취합된 서비스 평가 값을 기반으로 실시간 경로 설정의 수행에 필요한 적합도 평가를 수행하게 된다. 이렇게 라우터 노드의 서비스 평가 값이 에이전트에 취합되는 과정은 일반적으로 무선 네트워크의 동적 라우팅 설계에는 적합하지 못하다고 평가되고 있으나 단순히 노드의 정보 데이터만을 취합하여 라우팅 경로 설정을 위한 최적 경로만을 찾는 것이 아니라 유전 연산을 통해 상대적으로 적은 연산 시간 내에 로드를 고려한 최적의 라우팅 경로를 설정하기에 그 효율성을 얻고자 하며 이때 고려되어야 하는 유전 연산의 수행 시간에 대한 연산 시간과 에이전트로 취합에서 발생할 수 있는 네트워크 성능 저하에 대해서는 성능 분석에서 다루도록 하겠다.

3.4 유전 알고리즘

본 논문의 목표는 무선 메쉬 네트워크에서 링크의 로드를 고려한 라우팅 경로 최적화를 지원하는 것이다.

만약 3.2절에서의 노드의 서비스 평가 값을 사용하여 단일 홉 선택 방식으로 주변 노드의 평가 값을 기준으로 제일 좋은 평가 값의 노드만을 선택하여 라우팅을 구성한다면, 전체적인 라우팅 경로가 최적의 링크 성능을 유지 할 수 없으며, 오히려 데이터 편중이 발생하여 단일 홉 평가 라우팅으로 인한 전체 네트워크의 품질 저하가 발생된다. 따라서 다중 홉 라우팅 경로 설정을 고려하기 위해서는 본 논문에서 제안하는 유전 알고리즘 연산을 통해 링크 경로 전체의 평가 값이 최대화 될 수 있는 경로를 선택하여야 한다. 이때 가장 우선시 되어야 하는 것은 상대적으로 적은 연산 시간에 최적의 결과를 얻을 수 있도록 하는 것이다. 따라서 본 논문은 유전 알고리즘의 대치(Replacement) 작업에서 각 세대마다 하나의 해만을 교체하는 Steady-State-GA 방식을 사용하였으며 이는 가장 성능이 낮은 해를 선택하여 대치되며 빠른 수렴을 보장하여 빠른 문제 해결 방법으로 제안된다.

3.4.1 유전 표현

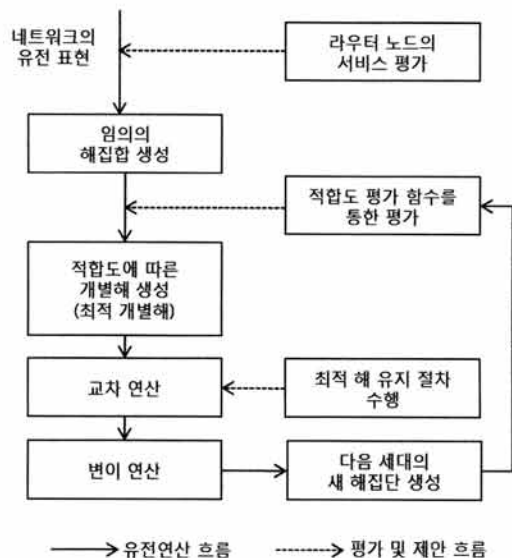
무선 메쉬 네트워크 상태를 유전 표현식으로 나타내어 유전 연산을 수행할 수 있도록 준비를 하게 되는데 유전 표현

식으로 나타낸 임의의 해 집합들을 생성하는 것으로 유전 연산을 위한 초기화를 하게 된다.

이렇게 초기화된 임의의 해 집합은 제안하는 최적해 평가 방법인 적합도 평가 함수(Fitness Function)를 거쳐 적합도가 높은 순서대로 각 개별 해들을 정렬하게 된다. 이때 상대적으로 적은 연산시간에 수렴된 값을 얻기 위해서 최상의 적합도를 갖는 개별 해들이 다음 세대에 유지될 수 있도록 했다.[3] 이때 최상의 적합도에 해당하는 개별 해는 노드의 서비스 평가 값을 반영한 결과를 내포하고 있다.

3.4.2 유전 연산

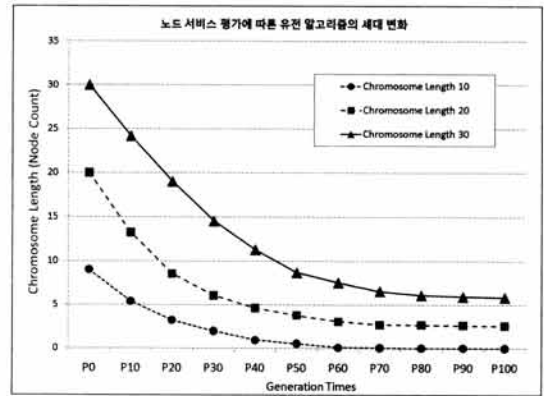
본 논문에서 사용한 유전 연산 중 선택 연산은 토너먼트 선택(Tournament Selection)을 사용하였으며 교차 연산은 일점 교차(One Point Crossover)를 사용하였다. 또한 해의 다양성을 높이기 위해 변이(Mutation) 연산을 수행하였다. (그림 4)에 나타낸 연산과정은 하나의 개별 해에 100 세대의 진화 연산을 통해 보다 최적화된 적합도를 갖는 최적 해를 찾도록 했다.



(그림 4) 유전 알고리즘의 가능별 흐름도

3.4.3 적합도 평가

최적해의 평가 부분은 본 논문의 유전 알고리즘 수행에 따른 최적 라우팅 경로 설정을 위한 중요 단계이다. 적합도 값을 기반으로 유전 알고리즘은 새로운 해집단에 포함되는 개별 해들을 결정하게 되는데 이는 유전자(Gene)의 평가 값에 비례하며 최적의 유전자 값으로 부분 복사되는 것을 허락하게 된다. 무선 메시 네트워크의 적합도는 노드의 서비스 평가 값을 사용하여 링크의 낮은 에러율과 높은 대역폭 그리고 과중한 로드를 고려한 최적의 성능을 얻을 수 있는 최대값을 얻도록 평가 과정을 수행한다. 이러한 평가는 3.2절에서 언급한 노드의 서비스 평가 값을 적합도 평가 값으로 누적하여 최적해의 적합도로 평가되었다.



(그림 5) 최적 및 평균의 시물레이션 변화

4. 성능 분석

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 노드의 서비스 평가 방법과 무선 메시 네트워크의 네트워크의 데이터 처리량을 이용해서 최적 해를 찾는 방법을 NS-2(Network Simulator)와 유전 연산을 실험하기 위해 직접 구현한 시물레이션 프로그램으로 얻은 결과 값을 보인다.

무선 메시 네트워크의 라우팅 프로토콜의 설계를 위한 유전 알고리즘의 성능은 유전 연산자의 품질과 적합도 그리고 기능의 유효성 및 다른 파라미터(예 : 평가 가중치)의 상호 작용에 따라 전체적인 품질의 영향을 받게 되었다.

<표 5>에는 유전 알고리즘 및 무선 메시 네트워크의 시물레이션에 적용된 환경 변수를 나타내었다.

<표 5> 유전 알고리즘 시물레이션 환경 변수

환경 변수	값
Chromosome Length	10, 20, 30
Population Size	10 X chromosome Length
# Generation	100
selection	Tournament Selection
Crossover	1 Point Crossover
Mutation	Typical genewise mutation
Mutation rate	0.005(=50/1000)

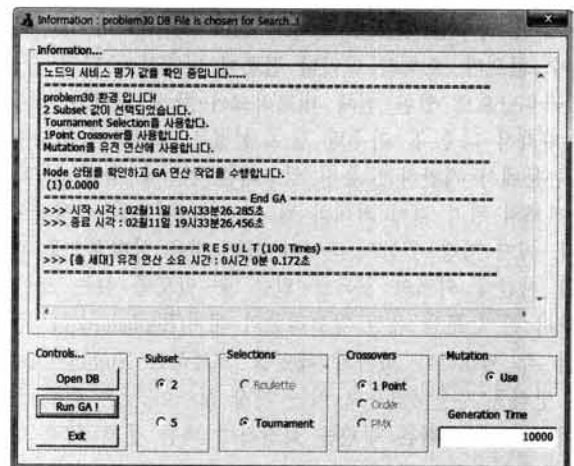
(그림 5)에 나타낸 것과 같이 최적의 적합도를 만족하는 해를 구성해 나가는 것은 진화를 거듭하는 동안 최적화 상태로 접어드는 것을 확인할 수 있다. 진화의 급격한 감속의 이유는 유사한 해의 재생산 또는 같은 유전자들이 보다 좋은 적합도를 따르기 때문에 개별해의 유사성에 따른 결과로 나타나며 100번의 세대 동안 낮은 적합도를 띄는 해가 새로운 세대와 상호 연관되어 높은 적합도를 띄며 안정화 되는 것을 확인할 수 있다.

유전 연산에 필요한 시간은 <표 4>에서 성능 분석에 이용한 염색체 길이가 30인 경우 평균 172ms가 소요되었으며 이는 상대적으로 적은 연산 시간이 소요되었음을 알 수 있

다. 이 실험은 3장의 제안하는 경로 설정 알고리즘을 기반으로 하였으며 <표 5>에 나타낸 유전 알고리즘을 위한 시물레이션 환경변수와 알고리즘을 기반으로 실험하였다. 유전 알고리즘의 성능 분석을 위해 서비스 평가 값을 취합하여 유전 연산의 효율성을 증명하고자 <표 6>에 나타낸 유전 연산의 실험 환경에서 독립적으로 유전 연산만을 실험한 것이며 (그림 6)에 실험 연산의 수행과정과 결과를 나타내었다.

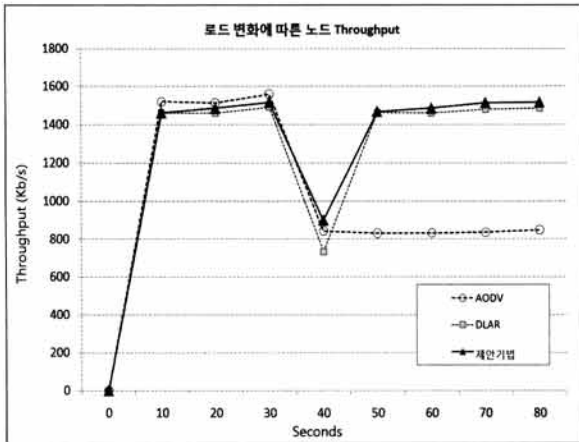
<표 6> 성능분석에 사용된 시스템 환경

실험	정보	내용
NS-2 실험환경	OS	CentOS 5.5
	CPU	Intel Core2 Duo 1.8 GHz
	RAM	DDR2 667MHz 3 GB
유전연산 실험환경	OS	MS Windows 7 32Bit
	CPU	Intel Core2 Duo 1.8 GHz
	RAM	DDR2 667MHz 3 GB



(그림 6) 유전 연산 평가 과정 및 결과

성능분석에서는 Ad-hoc 환경에서의 대표적 라우팅 프로토콜인 AODV와 로드정보를 고려한 경로를 설정하는 DLAR과 제안하는 라우팅 프로토콜을 비교 실험 하였으며,



(그림 7) 네트워크 처리량 변화

노드에서 게이트웨이 까지 데이터를 전송하는 방식으로 네트워크의 처리량을 확인하여 3가지 라우팅 프로토콜에 대한 실험 결과를 (그림 7)에 나타내었다.

<표 5>에 나타낸 Chromosome Length는 전체 네트워크의 노드 수를 말하며 다양한 노드 수의 환경에서 네트워크 로드를 발생할 경로는 노드 N이 게이트웨이로 데이터를 전송하는 시나리오이다. 이때 1000byte 크기의 패킷이 초당 200패킷이 생성되어 해당 경로에 로드가 발생하는 상황이 되며 제안하는 로드를 고려한 라우팅 프로토콜과 AODV 및 DLAR의 경로 설정 방식이 수행된다. 실험은 5번 수행 하여 평균값을 나타내었다.

네트워크의 로드가 발생하지 않는 경우에는 3가지 방식에서 모두 성능의 유사함을 확인할 수 있다. 실험 시작 30초 후부터 해당 라우팅 경로에 로드가 걸릴 경우 40초에서 처리량은 급격히 하락한다. 이때 AODV의 경우는 경로 재구성을 위해 로드 변화에 적응하는 과정을 수행하기 때문에 처리량의 회복이 어려운 것을 확인할 수 있다. 그러나 제안하는 라우팅 프로토콜과 DLAR은 로드 변화에 대해 경로 설정을 수행하게 되어 기존의 전송속도까지 회복하게 된다. 또한, 제안하는 라우팅 프로토콜의 경우 로드 변화에 보다 신속히 반응하여 대응하고 완전한 처리량의 회복을 확인할 수 있다. 이는 노드의 서비스 평가 값을 사용하여 유전 연산을 수행하는 과정에서 빠른 경로 설정이 가능하기 때문이다.

5. 결 론

본 논문은 노드의 서비스 평가 값과 같은 무선 메쉬 네트워크의 상태 정보 값을 유전 알고리즘의 적합도 평가 함수에 적용하였으며, 무선 메쉬 네트워크에서 데이터 손실율과 네트워크 대역폭을 고려하고 더불어 링크의 로드를 고려한 라우팅 경로 설정을 통해 전체 네트워크의 처리량 향상에 따른 네트워크 오버헤드 감소를 목표로 제안되었다. 이를 위해 기반 기술의 소개와 각 기술의 알고리즘 및 적용된 제

안 방법의 기능과 역할에 대해서 정의하였고, 이에 따른 설계를 바탕으로 유전 알고리즘 시뮬레이션 시스템을 구현하여 실험하였다.

기반 기술로는 무선 메쉬 네트워크의 다중 경로 설정 방법 그리고 유전 알고리즘의 연산 기술에 대해 소개하였으며, 특히 유전 알고리즘의 적합도 평가에 따른 무선 메쉬 네트워크 설계 및 네트워크 최적화에 대해 기술하였다. 기존의 무선 메쉬 네트워크의 라우팅 및 데이터 처리 최적화 방법에 노드의 서비스 평가와 전체 네트워크의 원활한 데이터 처리를 위해 다중 홉에 대한 노드 선택을 고려하였으며, 보다 적은 연산 시간에 신뢰할 수 있는 네트워크 라우팅 경로를 설정하는 과정을 검증해 보았다. 그 결과 본 논문에서 제안하는 무선 메쉬 네트워크의 라우팅 경로 설정을 통해 전체 네트워크의 데이터 처리량이 증대 되었으며, 노드의 손실율이 감소되었고 이에 따라 네트워크의 효율적 운영을 확인해 보았다.

제안된 방법을 통해 설계된 시뮬레이션 검증 프로그램은 기존 네트워크 시뮬레이션인 NS-2 및 추가적인 시뮬레이션 환경 개발에 적합 하도록 설계 하였으므로 보다 많은 유전 연산 방법을 적용할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

향후 연구 과제로는 무선 메쉬 네트워크가 갖는 다중 홉 기반 그리고 무선 네트워크 환경이라는 특징에 따른 동적인 위상의 변화에 대응 할 수 있도록 지역 최적화를 수행하는 동적 라우팅 기법을 유전 연산과 함께 수행하도록 하는 연구를 진행하여 데이터 중앙 집중 방식 에이전트로 인해 발생할 수 있는 오버헤드에 관한 문제의 연구가 진행되어야 한다. 또한 유전 알고리즘의 연산에 따라 제기 될 수 있는 시스템 오버헤드에 대해 최적화 및 해결 방안을 마련할 수 있도록 하며, 다양한 선택, 교차, 변이 연산자를 확장하여 네트워크 최적화에 관한 연구도 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F. Akyildiz and Xudong Wang, " A Survey on Wireless Mesh Networks", IEEE Radio Communications, pp. 23-30, September, 2005.
- [2] Raffaele Bruno, Marco Conti, and Enrico Gregori, National Research Council(CNR), " Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks", IEEE Communications Magazine, pp.123-131, March, 2005.
- [3] Jian Tang, Guoliang Xue and Weiyi Zhang, "Interference-Aware Topology Control and QoS Routing in Multi-Channel Wireless Mesh Networks", pp.68-77, MobiHoc'05.
- [4] Richard Draves, Jitendra Padhyem Brian Zill, "comparison of Routing Metrics for Static Multi-Hop Wireless Networks", pp.80-91, SIGCOMM'04.
- [5] Marc Mosko, J.J Garcia-Luna-Aceves, "Multipath Routing in Wireless Networks", pp.80-91 SIGCOMM'04.

[6] Rastin Pries, "A Genetic approach for wireless Mesh Network Planning and Optimization", IWCMc '09, 2009.

[7] L. Badia, A. Botta, and L. Lenzini, "A Genetic Approach to joint routing and link scheduling for wireless mesh networks", Elsevier Ad Hoc Networks Journal, Special issue on Bio-Inspired Computing, 2008.

[8] David B.Johnson, David A. Maltz, and Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks(DSR)", IETF Internet draft, draft-ietf-manet-dsr-10.txt, July, 2004.

[9] S-J Lee and Mario Gerla, "Dynamic Load-Aware Routing in Ad Hoc Networks", in Proceedings of IEEE INFOCOM, 2003.

[10] H. Hassanein and A.Zhou, "Routing with Load Balancing in Wireless Ad Hoc Networks" in Proc. ACM MSWiM, July, 2001.

[11] S-J. Lee and M. Gerla, "Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks", IEEE ICC, pp.3201-3205, 2001

[12] C.E Perkins and P.Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing(DSDV) for Mobile computers", Computer Communication, pp.234-244, October, 1994.

[13] S-J. Lee and Mario Gerla, "dynamic Load-Aware Routing in Ad Hoc Networks", IEEE International Conference on Communication, pp.222-232, Aug., 2002.

[14] Akyldiz et al., Wireless mesh networks : a survey, 2005.

[15] Asad Amir Pirzada and Chris McDonald, "Establishing Trust In Pure Ad-hoc Networks", The Australasian conference on Computer science-Volume 26, 2004.

[16] Y.Chen, T. Yu, K. Sastry, and D. Goldberg, "A survey of linkage learning techniques in genetic and evolutionary algorithms", IlliGAL Report No. 2007014, University of Illinois, Urbana-Champaign, 2007.

[17] S. Choi and B. Moon, "More effective genetic search for the sorting network problem", Genetic and Evolutionary Computation Conference, pp.335-342, 2002.

[18] 장종덕, 윤창표, 유황빈, "Mobile Ad-hoc Network 에서의 분산된 서비스들에 신뢰도 평가 기법", 한국통신학회, 2009.

[19] 장종덕, 윤창표, 유황빈, "Mobile Ad-hoc Network 상의 분산된 서비스에 대한 신뢰도 평가 기법 설계 및 구현", 한국사이버테러정보학회, 2009.

윤 창 표



e-mail : cpyoon@kw.ac.kr
 1998년 광운대학교 전자계산학과(학사)
 2001년 광운대학교 컴퓨터학과
 (공학석사)
 2008년~현 재 광운대학교 컴퓨터학과
 박사과정
 관심분야: 네트워크 프로토콜, 무선 네트
 워크, 네트워크 보안

유 황 빈



e-mail : ryou@kw.ac.kr
 1975년 인하대학교 전자공학과(학사)
 1977년 연세대학교(공학석사)
 1985년 경희대학교(공학박사)
 1981년~현 재 광운대학교 컴퓨터소프트
 웨어학과 교수
 관심분야: 네트워크 보안, 암호학, 네트
 워크 프로토콜