

유전 알고리즘을 이용한 맞춤형 신호 체계 구축

박수빈† · 유재훈† · 유한호† · 김연준†

† 경기북과학고등학교

Organizing tailored traffic light system with genetic algorithm

Subeen Park† · Jaehoon You† · Hanho Ryu† · Yeonjun Kim†

† Gyeonggibuk Science High School

요 약

교통 체증은 차량 이용이 대중화된 지금 많은 문제를 야기하고 있다. 교통 정체로 인한 시간 허비, 장시간 운전으로 인한 운전자의 피로 증가, 매연 배출로 인한 환경 오염 촉진 등 교통 체증은 사회적으로 무시할 수 없는 여러 문제들을 불러온다. 이에 본 연구는 신호 체계 개선에 초점을 두어 유전 알고리즘을 이용한 도시 규모의 유동성 연동 신호 체계를 구현하고자 하였다. 이를 위하여 교통 시뮬레이션 프로그램 SUMO를 이용하여 실험 환경을 조성하고, 4개의 사거리와 16개의 사거리, 그리고 선릉역 인근의 실제 도로망에서의 최적 신호 주기를 탐색하였다. 실험 결과 4개의 사거리의 경우 유전 알고리즘 적용 전의 초기 설정에 비해 자동차들의 평균 이동 시간이 31.1% 감소, 16개의 사거리의 경우 6.2% 감소, 실제 도로에서는 1.1% 감소함을 확인할 수 있었다. 따라서 유전 알고리즘을 이용한 새로운 교통 체계는 교통 정체를 완화하는 효과가 있으며 본 연구를 실제에 적용한다면 도시 규모의 도로망에서 시간대 별로 교통 흐름을 최적화하는 맞춤형 신호 주기를 구할 수 있을 것이다.

1. 서 론

국내에 자동차가 처음 도입된 이후 우리나라의 도로 교통량은 점점 증가하는 추세이다. 실제로, 2016년 일평균 교통량은 10년 전 대비 20.6% 증가하였다. 이처럼 증가하는 교통량에 비해 이를 수용할 도로 시설을 신축하는 데에는 많은 시간과 비용이 소모된다. 늘어나는 교통량을 따라가지 못하는 도로 체계는 교통 체증을 유발하여 운전자나 보행자 모두에게 시간적 손해를 주며, 이로 인한 운전 시간 지연은 교통사고 발생이나 매연 배출로 인한 환경오염을 촉진할 수 있다.

이러한 문제는 교통량이 집중되는 지역에 도로를 신설함으로써 근본적으로 해결할 수 있지만 오랜 공사 기간이 필요하므로 당장의 해결책은 되지 못한다. 따라서 신호 체계를 적절히 변경하는 것은 훌륭한 대안이 된다. 신호 체계를 각 도로 연결 상태와 교통량에 적합하게 변경함으로써 정체되는 구간이나 낭비되는 시간을 줄이는 것으로 교통 체증을 감소시킬 수 있다.

이러한 노력의 일환으로 연동 신호 체계가 있기는 하지만 일직선 상에 놓여 있는 신호등에만 적용 가능하고 평균 속력을 기준으로 하기 때문에 속력에 따라 연동 여부가 달라지는 등 한계가 있다. 따라서 본 연

구에서는 기존 신호 체계 개선에 중점을 두어, 유전 알고리즘을 적용한 모의 실험을 통해 도시 규모의 연동을 고려한 새로운 신호 주기 계획을 수립 방식을 제안하고자 한다. 이를 통해 적은 비용으로도 특정 교통 상황의 도로에서 교통의 흐름을 최적화할 수 있는 맞춤형 신호 체계를 얻을 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1 SUMO(Simulation of Urban MObility)

SUMO는 도로 체계와 교통량에 따른 차량의 흐름을 예측하기 위해 독일 항공우주센터(DLR)에서 개발한 미시적 시뮬레이션(Microscopic simulation)이다. 주어진 도로 정보와 교통량 정보를 바탕으로 모든 차량의 모든 위치 및 속도를 예측하며, 이를 바탕으로 평균 속도, 평균 운전 시간 등 여러 정보를 얻는다. SUMO는 명령 프롬프트를 통한 다양한 출력 옵션을 지원하고 시각화 기능이 포함되어 있으며 입력 데이터 설정을 위한 여러 도구들을 제공하기 때문에 본 연구에 사용이 적합하였다.

2.2 유전 알고리즘

유전 알고리즘의 한 세대는 서로 다른 여러 개체로 이루어져 있고, 이 개체 중 해에 가까운 개체들을 선발한 후 교배하여 다음 세대를 생성한다. 이러한 과정의 반복에 의해 세대가 거듭될수록 각 개체들은 점점 최적해에 근접해가는 양상을 보인다. 따라서 유전 알고리즘은 단시간 내에 최적해에 근접한 우수한 품질의 해를 보장한다.

유전 알고리즘의 구성 요소로는 개체가 해에 얼마나 가까운지 판단하는 기준인 적합도 함수, 그리고 다음 세대의 생성에서 사용되는 유전 연산인 선택, 교차, 대치, 변이가 있다.

2.2.1 적합도 함수(Fitness function)

적합도 함수는 유전적 과정에 의해 생성된 개체가 얼마나 문제의 해에 얼마나 근접한지를 평가하는 함수이다. 유전적 과정을 통해 생성된 자식 세대가 부모 세대보다 더 해에 가까워지기 위해서는 부모 세대에서의 해에 더 근접한 개체들을 골라 교배해야 한다. 이를 위해서는 각 개체의 적합성을 명확하게 나타낼 수 있어야 하므로 적합도 함수의 설정이 정확하게 이루어져야 한다.

2.2.2 선택(Selection)

선택은 부모 세대에서 자식 세대로 넘어가기 위해 교배할 개체들을 선택하는 과정이다. 선택되는 개체들은 적합도 함수를 통해 계산되는 적합성을 기반으로 한다. 해에 가까운 개체를 교배할수록 자식 세대가 우수한 특성을 물려받을 확률이 높으므로 선택 과정과 이에 사용되는 적합도 함수는 매우 중요하다.

2.2.3 교차(Crossover)

교차는 선택된 개체들 사이에서 유전자의 일부를 교환하여 새로운 개체를 생성하는 과정이다. 우수한 특성을 지닌 개체들에 알맞은 교차 연산을 수행하면 우수성을 잃지 않고 좋은 적합성의 새로운 개체들을 생성할 가능성이 높다. 따라서 알맞은 교차 연산을 사용하여 세대 진행이 원활하게 이루어지도록 해야 한다.

2.2.4 대치(Replace)

대치는 교차를 통해 새로운 개체가 생성하고 이를 기존 개체들 중의 일부와 바꾸는 과정이다. 세대의 개체 수는 일정하게 유지하기 위해 개체가 생성되는 만큼 기존 개체를 제거하는 과정이 필요하다. 일반적으로 적합성이 낮은 개체들이 대치된다.

2.2.5 변이(Mutation)

한 세대의 유전자 수는 한정적이므로 유전자의 교배에 따른 유전자 생성 역시 제한적이다. 이러한 문제점은 유전 알고리즘을 장시간 수행해도 결국 초기에 주어진 유전자들만으로 구성된 최적해, 즉 지역해에서 벗어나지 못한다는 문제를 야기한다. 변이는 교차가 이루어질 때 확률적으로 몇몇 유전자에 임의의 변형을 가하여 유전자의 다양성을 늘리고 지역해를 방지한다.

3. 연구 방법 및 내용

3.1 가상 교통 체계 구현

SUMO와 함께 제공되는 NETEDIT 프로그램으로 도로의 형태와 신호등의 위치 등 교통 체계를 구성하고 Sumo 폴더의 tools에 있는 RandomTrips.py를 이용하여 무작위적으로 교통량을 생성하였다.

3.2 SUMO 실행 환경 구성

도로 및 신호등 데이터(*.net.xml)와 교통량 데이터(*.rou.xml)를 SUMO에 적용하여 시뮬레이션하기 위해 SUMO 구성 파일(*.sumocfg)을 생성하였다. SUMO 구성 파일은 기본적으로 SUMO GUI로 열리지만 SUMO command line을 이용해 CUI로도 실행할 수 있다.

3.3 유전 알고리즘 구현

유전 알고리즘을 적용하기 위해 필요한 요소인 유전자, 적합도 함수, 선택, 교차, 돌연변이를 다음과 같이 설정하였다.

3.3.1 유전자

유전자는 도로 및 신호등 데이터(*.net.xml)의 신호 주기를 담당하는 <tllogic> 부분에 있는 offset과 duration값으로 설정하였다. duration은 한 교차로에서 어떤 신호가 지속되는 시간이며, offset은 신호 주기의 시작 시점을 정한다. 한 개체는 도로에 존재하는 모든 교차로의 유전자를 포함하며, 한 세대는 5개의 개체를 포함한다.

3.3.2 적합도 함수

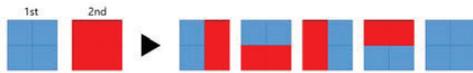
적합도 함수는 신호 주기 데이터를 포함한 *.net.xml 파일을 기반으로 시뮬레이션을 진행하는 SUMO이며, 보상값은 SUMO가 --summary 옵션을 사용하였을 때 반환하는 항목 중 하나인 MeanTravelTime, 즉 차량의 평균 이동 시간으로 정한다. 이 때, MeanTravelTime은 시뮬레이션이 종료되기 직전인 마지막 행의 값을 사용한다.

3.3.3 선택

5개의 개체 중 MeanTravelTime값이 작은 상위 2개체를 부모로서 선택한다.

3.3.4 교차

교차는 선택된 두 개체를 지역적으로 분할하여 다시 병합하는 방식으로 진행된다. 지역적 분할은 [그림 1]처럼 정중앙을 기준으로 네 부분으로 나뉘며, 각 부분에 포함된 모든 신호등의 신호 주기가 교차의 대상이다. 다음 세대는 교차로 인해 생성된 4개체와 MeanTravelTime값이 가장 작은 개체가 그대로 유지되어 이루어진다.



[그림 1] 신규 세대 생성 원리

3.3.5 변이

유전 알고리즘 수행 도중 지역해에 수렴하거나 유전자가 동일되는 것을 방지하기 위해 10%의 확률로 Offset과 Duration에 ±3초 이내의 값을 더해주어 돌연변이를 생성한다.

3.4 프로그램 구성

SUMO 입력 데이터와 출력 데이터를 바탕으로 유전 알고리즘 과정을 구현하기 위해 프로그래밍 언어인 C를 이용하여 프로그램 패키지를 구성하였다. 각 프로그램들은 텍스트 파일을 통해 서로 정보를 교환한다.

(1) convert.exe

한 개체의 유전자 정보를 바탕으로 SUMO 입력 파일인 *.net.xml 파일을 생성한다.

(2) sim.exe

convert.exe에 의해 변경된 *.net.xml 파일을 기반으로 SUMO를 실행시키고 보상값인 MeanTravelTime을 반환한다.

(3) gene.exe

부모 유전자 정보를 바탕으로 교차 및 돌연변이를 진행하여 다음 세대의 유전자 정보를 생성한다.

(4) maincontrol.exe

전체 프로그램 흐름과 텍스트 파일을 통한 정보 교환을 담당하며, 보상값 정보를 배열에 저장하여 상위 2개체를 선발한다.

3.5 모의 실험

3.5.1 4개의 교차로

(1) 실험 환경 설정

4개의 사거리가 100m 간격으로 격자로 배열된 왕복 4차선 차로를 구성하였으며, 교통량은 3초 당 하나의 차량이 유입되는 상황을 가정하였다.

(2) 초기 데이터 설정

제 1세대 5개체의 유전자는 난수 생성을 이용하여 5~40 사이의 값을 무작위로 설정하였다.

(3) 실험 진행

초기 데이터가 세팅된 이후 maincontrol.exe를 실행하여 실험을 시작하였고, 충분한 세대가 지났음에도 MeanTravelTime 감소 효과를 보이지 않는 경우 학습이 완료된 것으로 판단하고 프로그램을 종료하였다.

3.5.2 16개의 교차로

(1) 실험 환경 설정

16개의 사거리가 100m 간격으로 격자로 배열된 왕복 4차선 차로를 구성하였으며, 교통량은 3초 당 하나의 차량이 유입되는 상황을 가정하였다.

(2) 초기 데이터 설정

16개의 교차로를 각각 4개의 교차로 네 부분으로 분할하고, 각 부분마다 실험 1에서 구한 최적해를 그대로 적용하였다. 따라서 모든 교차로의 Duration값은 고정되며, 부분과 부분 사이의 관계에 관련 있는 각 부분의 전체 offset값에만 변화를 준다. 제 1세대 5개체의 offset 값은 난수 생성을 이용하여 5~40 사이의 값을 무작위로 설정하였다.

(3) 실험 진행

초기 데이터가 세팅된 이후 maincontrol.exe를 실행하여 실험을 시작하였고, 충분한 세대가 지났음에도 MeanTravelTime 감소 효과를 보이지 않는 경우 학습이 완료된 것으로 판단하고 프로그램을 종료하였다.

3.5.3 Trial : 선릉 주변 도로

(1) 실험 환경 설정

선릉 지역 주변의 도로를 모티브로 하여 왕복 8차선 차로를 구성하였으며, 교통량은 1초 당 하나의 차량이 유입되는 상황을 가정하였다.

(2) 초기 데이터 설정

16개의 교차로를 각각 4개의 교차로 네 부분으로 분할하고, 각 부분마다 실험 1의 방법을 적용하여 최적해를 구한 후 적용하였다. 따라서 모든 교차로의 Duration값은 고정되며, 각 부분의 전체 offset값에만 변화를 준다. 제 1세대 5개체의 offset 값은 난수 생성을 이용하여 5~40 사이의 값을 무작위로 설정하였다.

(3) 실험 진행

초기 데이터가 세팅된 이후 maincontrol.exe를 실행하여 실험을 시작하였고, 충분한 세대가 지났음에도 MeanTravelTime 감소 효과를 보이지 않는 경우 학습이 완료된 것으로 판단하고 프로그램을 종료하였다.

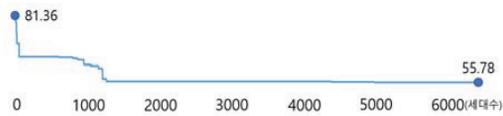
4. 결론 및 제언

4.1 연구 결과

4.1.1 4개의 사거리

초기 설정 데이터	적용 후	초기 설정 대비 감소율
81.36s	55.78s	31.1%
SUMO 자동 생성		자동 생성 대비 감소율
76.74s		27.3%

[표 1] 유전 알고리즘 적용 전후의 평균 이동시간 비교

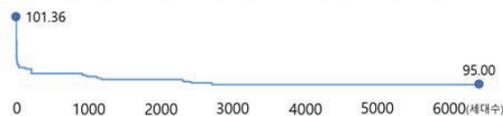


[그래프 1] 세대에 따른 평균 이동 시간 감소 효과

4.1.2 16개의 사거리

초기 설정 데이터	적용 후	초기 설정 대비 감소율
101.36s	95.00s	6.2%
SUMO 자동 생성		자동 생성 대비 감소율
118.23s		19.6%

[표 2] 유전 알고리즘 적용 전후의 평균 이동시간 비교



[그래프 2] 세대에 따른 평균 이동 시간 감소 효과

4.1.3 Trial : 선릉 주변 도로

초기 설정 데이터	적용 후	초기 설정 대비 감소율
321.60s	318.01s	1.1%
SUMO 자동 생성		자동 생성 대비 감소율
327.65s		2.9%

[표 3] 유전 알고리즘 적용 전후의 평균 이동시간 비교



[그래프 3] 세대에 따른 평균 이동 시간 감소 효과

4.2 결론

본 연구에서 유전 알고리즘을 통해 최종적으로 구성된 신호 체계의 평균 이동 시간은 초기에 무작위로 설정된 신호 체계의 평균 이동 시간에 비해 4개의 사거리에서는 31.1%, 16개의 사거리에서는 6.2% 감소하였다. 따라서 유전 알고리즘은 효과적으로 교통 흐름을 개선하여 교통 체증을 감소시킬 수 있으며, 교차에 사용한 지역적 분할 방법이 유효함을 확인할 수 있다.

또한, 16개의 사거리에 대해 유전 알고리즘을 적용하기 위하여 4개의 사거리 네 부분으로 분할하고, 각 부분에 최적해를 적용한 다음 다시 하나의 도로로 병합하는 방식을 이용하여 교통 체증 감소 효과를 확인할 수 있었다. 따라서, 문제 분해의 관점에서 지역적으로 최적화된 체계를 병합하면 전역적인 최적화 효과가 있을 것이라는 예상이 사실임을 확인할 수 있었다.

마지막으로, 감소율의 경향성을 보면 도로의 규모가 커질수록 평균 이동 시간 감소 효과가 적어진다. 따라서 유전 알고리즘은 신호등 사이의 연관성이 많을수록 효과적이며, 이 과정을 이용한 신호 주기 수립 방법은 조밀하게 얽혀있는 도로에 적용하는 것이 효율적이다.

4.3 제언

본 연구에서는 SUMO를 이용한 시뮬레이션 과정에서 교통량을 무작위로 설정하여 사용하였다. 그러나 유전 알고리즘을 통한 최적 신호 주기 계획 수립 방법을 현실 도로에 효과적으로 적용하기 위해서는 내비게이션의 출발지와 도착지 정보 혹은 CCTV 교통 정보 등 실제의 교통량을 반영할 수 있는 다양한 정보 수집이 필요하다. 실제 교통량을 실시간으로 반영한다면 교통사고 등 돌발 상황에 의한 교통 체증도 신속하게 해결할 수 있을 것이다.

또한 본 연구는 모든 교차로가 사거리인 경우에 대해서만 유전 알고리즘을 적용하였지만, 삼거리나 도로 중간에 있는 횡단보도 등 현실에 존재하는 다른 형태의 도로에 대해서는 어떻게 적용할 지에 대하여 고민해 볼 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] Daniel Krajzewicz, Georg Hertkorn and Peter Wagner, *SUMO (Simulation of Urban Mobility) - an open-source traffic simulation* (Proceedings of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM20002), 200)