

Tabu 탐색기법을 이용한 적응형 교통 신호체계의 최적화¹

강 병호, 류 광렬, 정 상화
부산대학교 컴퓨터 공학과

Optimization of Adaptive Traffic Signal System using Tabu Search

Byoung-ho Kang, Kwang Ryeol Ryu, Sang-Hwa Chung
Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

요 약

날로 심각한 도시문제가 되고 있는 교통문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 교통체증을 정확하게 진단해서 교통망의 효율을 최대로 높일 수 있도록 교통 신호체계를 수립하는 것이 요구되며, 이것을 위해서는 실시간으로 변화되는 교통류에 적절히 대응할 수 있도록 교통 신호체계를 최적화하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 실시간으로 변화되는 교통류에 대응해서 원활한 교통소통을 위한 신호조정 문제를 다수의 신호등을 대상으로 가능한 서로 다른 여러 신호조정 조합들 중 최적안을 찾는 최적화 문제로 보았다. 본 논문에서는 휴리스틱 탐색기법을 이용하여 교통류의 변화에 따라 최적의 교통 신호체계를 수립할 수 있는 교통 신호체계 최적화 시스템을 제시하고, 부산광역시 부전동 일대의 12개 교차로를 포함하는 교통망에 대한 교통정보를 바탕으로 실험해봄으로써 실시간 적용가능성을 보여준다.

1. 서론

실시간 교통 신호체계 제어에 관한 연구는 효율적이고 효과적인 실시간 교통제어 시스템 개발을 궁극적인 목표로 하고 있으며 교통제어의 첨단연구분야로서 미래의 Intelligent Traffic System(ITS) 및 Traffic Management System(TMS)의 기본 연구 기반을 제공할 수 있다. 현재 세계적 기술 추세는 실시간에 교통류를 정확하게 반영할 수 있는 미시적 모델의 병렬 기반 시뮬레이션 시스템을 개발하여, 이를 기반으로 교통 체증에 대응할 수 있는 관제 시스템까지 개발, 상용 소프트웨어가 출시되어 있는 상황이다[5][8][11]. 그리고 현재 개발되어 널리 확산되고 있는 교통 신호체계 시스템은 실시간 신호제어용으로 개발된 제2세대² 방식의 시스템으로서 SCOOT, SCATS 등이 있다[1][6][7][9][11]. 이러한 시스템들의 특징은 교통류에 대한 정보를 수집하여 거시적 예측모델에 의해서 일정시간 이후의 교통류를 예측하고, 이를 바탕으로 각 교차로에서 최적화 알고리즘에 의해 신호체계를 제어한다는 것이다. 그러나 국내에서는 신호체계 최적화와 관련하여 일정 시간대 별로 그 시간대에 평균적으로 적용될 수 있는 최적 신호 주기를 결정하는 수준에 있고, 매 순간 변화되는 교통류에 대응하여 실시간에 신호체계를 조정하고 제어하

는 방안에 관한 연구는 아직 초기단계에 있다.

본 논문에서는 휴리스틱 탐색기법을 이용하여 교통류의 변화에 따라 최적의 교통 신호체계를 수립할 수 있는 교통 신호체계 최적화 시스템을 제시하고, 부산광역시 부전동 일대의 12개 교차로를 포함하는 교통망에 대한 교통정보를 바탕으로 실험해봄으로써 실시간 적용가능성을 보여준다. 본 시스템은 교통 흐름을 정확하게 모델링하고 수립된 교통 신호체계를 검증 평가할 수 있는 병렬 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템에 기반하여 개발되었다[3].

2. 신호체계 최적화 문제

대상 교통망의 교통 신호체계에서 교통체증을 가능한 줄이면서 교통 소통을 원활히 하기 위해서는 교통류의 변화에 따라 신호주기와 현시길이가 적절히 조정되어야 한다. 그러나 교통망의 특성상 실시간으로 변화되는 교통류에 대해서 적절한 신호주기와 현시길이(각 방향별 신호길이)를 구하는 것은 대단히 어려운 문제이다. 교통망에서 특정 도로의 교통류를 개선하기 위해 어느 한 신호를 조정할 경우, 그와 연결된 다른 도로로 신호조정의 영향이 연쇄적으로 파급되어 모든 도로의 교통류에 영향을 주기 때문이다. 따라서 특정 도로의 교통류 개선을 위한 신호조정은 그 파급 영향을 교통망 전체의 관점에서 고려하여, 여러 관련 신호등을 대상으로 동시에 다발적으로 이루어져야 한다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 실시간으로 변화되는 교통류에 대응해서 원활한 교통소통을 위한 신호조정 문제를 다수의 신호등을 대상으로 가능한 서로 다른 여러 신호조정 조합들

¹ 본 연구는 과학재단 (과제번호:971-0907-044-2)의 지원을 받았다.

² UTCs에서 제어수준에 따라 구분한 것으로서, 현장에서 수집된 정보를 바탕으로 신호시스템 자체에서 온라인 최적화 알고리즘을 통해 신호시간을 계산하는 방식이다

중 최적안을 찾는 최적화 문제로 보았고, 수많은 경우의 수 중에서 최적해를 찾고자 할 때 동원할 수 있는 휴리스틱 최적화 탐색기법을 적용하였다.

본 논문에서 제시되는 교통 신호체계 최적화 시스템은 우선 병렬 미시적 교통류 시뮬레이터에서 정확히 예측된 수분 이후의 교통상황에 대한 정보를 입력받아, 교통량, 밀도, 속도와 같은 평가지표를 이용하여 대상 교통망에서의 교통소통의 정도를 평가한다. 이 과정에서 교통소통이 원활하지 못할 것으로 예상되는 문제도로가 판별되는데, 본 연구에서는 각 도로에 대해 속도를 기준으로 서비스수준을 정하고, 서비스수준이 낮은 도로를 문제도로로 정의했다[1][2]. 이와 같이 시뮬레이션 정보에 대한 평가를 통해 각 도로에서의 교통소통 정도와 문제도로들이 파악되면, 본 시스템은 최적화 탐색기법을 이용하여 문제도로들의 유입교차로와 유출교차로의 관련 현시들을 조정하되 일정 시간 동안의 교통류 파급 영향을 전체 교통망의 관점에서 고려하여 최적의 현시길이를 구한다.

3. 휴리스틱 탐색기법에 의한 신호체계 최적화

3.1. 해의 표현과 후보해 생성 방법

해는 신호조정안으로서 모든 문제도로의 유입과 유출 교차로에 있는 모든 현시들에 대한 현시길이 조정량의 조합으로 구성된다. 문제도로들이 판별되면, 이 도로들의 유출과 유입 교차로의 모든 현시들의 현시길이 조정량을 일정 범위안에서 임의로 생성하여 초기해가 만들어진다.

후보해의 생성 방법을 한 개의 문제도로에 대해 유입(출) 교차로만 고려하여 설명하면 다음과 같다. 특정 문제도로의 유입(출) 교차로에서 이 도로(에서) 차량 유입(출)을 가능하게 하는 각 현시와 이 현시를 제외한 현시들과의 가능한 모든 현시쌍을 구한다. 만약 유입(출) 교차로에서 모든 현시가 이 도로로 차량 유입(출)을 가능하게 하면, 이 교차로에서 두 개의 현시로 구성될 수 있는 모든 현시쌍들의 조합을 구한다. 이렇게 구한 각 현시쌍에 대하여 조정량의 범위 안에서 현시길이를 조정한다. 후보해의 최대수는 (식1)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{후보해의 수} &\leq \text{문제도로수} \times \text{유입/출 교차로수} && \text{(식1)} \\ &\times \text{각 교차로의 현시수 중 최대값} \\ &\times (\text{각 교차로의 현시수 중 최대값} - 1) \\ &\times \text{조정량에 대한 경우의 수} \end{aligned}$$

3.2. 탐색기법

본 연구에서는 탐색기법으로 국소 최적해 문제들 보완해 주는 simple tabu search를 사용했다. 이 기법은 후보해들 중에서 가장 좋은 해로 탐색을 진행하지만, tabu-list라는 adaptive memory를 이용하여 방문했던 후보해들을 피하면서 보다 다양한 탐색을 수행할 수 있다[4].

후보해들 중에서 가장 좋은 후보해를 생성시킨 특정 현시에 대한 조정량의 증감방향을 tabu로 정의하며, tabu list에는 이 현시에 대한 정보로서 교차로이름, 현시이름, 그리고 조정량의 부호가 저장된다. tabu list에 어떤 해로부터 후보해를 생성시키기 위해 가한 변화만을 저장함으로써 후보해의 생성에 대한 제약이 강해져 보다 다양한 방향으로의 탐색을 가능하게 하며, 해 전체를 저장하는 것보다 메모리를 효과적으로 사용할 수 있고, aspiration 조건과 결합하여 탐색을 유연하게 했다. aspiration 조건으로는 현재까지의

최적해보다 평가 결과가 좋으면 만족하는 것으로 정의했다. 탐색의 종료조건으로는 전체 탐색시간을 제약하는 방법을 사용하였다.

3.3. 휴리스틱 평가함수

탐색기법은 대부분 임의의 한 후보해에서 출발하되 그와 유사한 변형안들을 만들어 가면서 보다 개선된 안을 찾는 과정을 반복하는 것을 기본 골격으로 한다. 따라서 매 반복 단계마다 생성된 후보해를 평가해 주는 평가함수를 필요로 한다. 후보해를 정확히 평가하기 위한 가장 좋은 방법은 다시 시뮬레이션을 수행하는 것이겠지만, 본 연구에서는 수많은 후보해를 효율적으로 평가하기 위해서 휴리스틱 평가함수를 사용했다. 휴리스틱 평가함수로서 신호변화의 파급효과를 독립적, 국지적, 단계적으로 예측하는 수리적 모형을 개발하여 대상 교통망에 전역적으로 또한 시간의 흐름에 따라 단계적으로 적용함으로써 각 신호 조정안의 적용에 의한 교통류 파급효과를 단 시간 내에 거시적으로 평가할 수 있는 방안을 마련했다.

휴리스틱 평가함수에서는 신호조정안의 효과에 대한 예측 대상시간이 (식2)과 같이 여러 개의 파급단위시간으로 나누어지고, 각 파급단위시간 동안 신호조정안의 효과가 각 교차로 단위로 독립적으로 파악된다.

$$\text{예측대상시간} = \text{파급 단위시간} \times \text{파급횟수} \quad \text{(식2)}$$

각 교차로를 중심으로 상류쪽 도로와 하류쪽 도로에서 파급단위시간 동안의 유출차량대수와 유입차량대수가 시뮬레이션 결과정보를 바탕으로 구해지고, 이에 따른 잔류차량대수의 변화가 (식3)과 같이 파악됨으로써 신호조정에 의한 파급효과가 각 도로별로 국지적으로 파악된다.

$$\begin{aligned} \text{잔류교통량}(t) &= \text{잔류교통량}(t-\Delta t) && \text{(식3)} \\ &+ \text{유입교통량}(\Delta t) - \text{유출교통량}(\Delta t) \\ &(\text{t: 현재시점 } \Delta t: \text{ 파급단위시간}) \end{aligned}$$

이런 과정이 파급횟수 만큼 여러 번 수행됨으로써 모든 도로의 교통류에 대하여 신호조정에 의한 파급효과가 단계적으로 파악된다.

이와 같이 예측대상시간 동안 모든 도로의 유입, 유출, 잔류교통량이 파악되면, 이를 바탕으로 교통망 전체에 대한 평가값을 구해서 신호조정안에 대해 평가하게 된다. 교통망 전체에 대한 평가값은 (식4)와 같이 신호조정안의 효과에 대한 예측 대상시간 동안 문제도로에서의 속도들 향상시키고, 새로운 문제도로의 발생을 억제하도록 했다. 또한 각 도로에 대해 차선수에 따른 가중치를 부여해서 차선수에 따라 향상 정도를 차별화 하였다.

$$\begin{aligned} \text{평가값} &= && \text{(식4)} \\ &\sum_{\text{모든문제도로}} \left(1 - \frac{\text{예측대상시간동안평균속도}}{\text{대표자유속도}} \right)^2 \times \frac{\text{차선수}}{\text{차선수최대값}} \end{aligned}$$

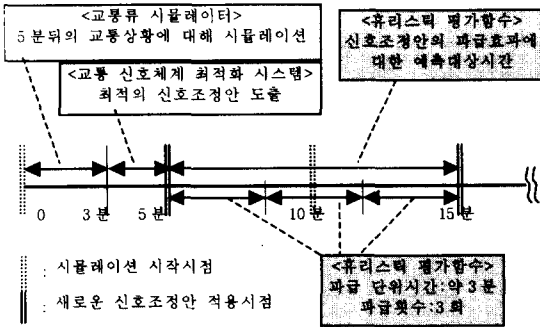
4. 실험

4.1. 실험 방법

실험 대상으로 부산광역시 서면 일대의 12개 교차로와 64개 도로에 대해 97년 평일 첨두시(18:00-19:00) 사이의 교통량 데이터를 사용하였다.

교통 신호체계 최적화 시스템에서는 <그림1>과 같이 교통류 시뮬레이터로부터 5분위의 시점의 교통상황에 대한 정보를 대략

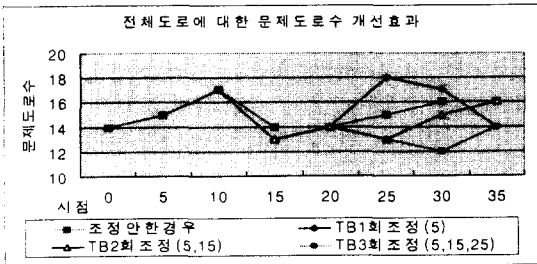
3분 뒤에 받아서 2분 동안 최적의 신호조정안을 도출하여 시뮬레이션 시작 시점으로부터 5분 뒤의 시점에 적용하게 된다[3].



<그림1> 신호조정안 적용 방법

4.2. 실험 결과

본 실험에서는 휴리스틱 평가함수의 파급효과에 대한 예측대상시간을 10분으로 하였기 때문에 5분시점으로부터 10분간격으로 3회에 걸쳐 새로운 신호조정안을 적용했을 때, <표1>에서와 같이 각 적용시점으로부터 10분정도는 문제도로들의 교통량, 밀도, 속도, 그리고 문제도로수에서 향상이 있었다.



<그림2>신호조정안의 적용횟수에 따른 문제도로수 개선효과

<그림2>에서는 새로운 신호조정안을 10분 간격으로 연속적으로 적용시켰을 때, 전체 문제도로수의 감소에 대한 전반적인 개선효과를 보여준다.

탐색기법에 대해서는 추가로 hill-climbing 기법과 random-restart hill-climbing 기법을 사용하여 tabu와 비교해 보았을 때, 문제도로의 개선측면에서 tabu, random-restart hill-climbing, hill-climbing 순으로 좋았다.

5. 결론

<표1> 각 시점에 tabu search에 의한 신호조정안을 적용했을 때, 문제도로에 대한 교통량, 밀도, 속도, 문제도로수의 개선효과

항목	시점	5분시점에 적용			15분시점에 적용			25분시점에 적용		
		5분	10분	15분	15분	20분	25분	25분	30분	35분
교통량합 (대)	조정안한경우	11544	13164	14424	8892	9516	10080	10932	11916	10824
	조정안적용	11544	13116	14772	8892	10200	10524	10932	12108	10932
밀도평균 (대/km)	조정안한경우	92.32	91.77	89.92	101.91	100.44	102.51	98.51	89.30	87.73
	조정안적용	92.32	90.61	89.08	101.91	93.44	91.86	98.51	87.77	87.40
속도평균 (km/h)	조정안한경우	9.35	11.06	14.35	6.57	11.13	7.60	9.13	11.26	12.14
	조정안적용	9.36	11.67	14.82	6.67	12.42	10.85	9.13	12.92	12.42
개선된문제도로수	조정안한경우	0	1	5	0	1	0	0	4	2
	조정안적용	0	2	5	0	2	3	0	4	3

본 논문에서는 병렬 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템으로부터 시뮬레이션 결과를 분석해서 교통소통이 기대 수준만큼 원활하지 못할 것으로 예상되는 도로를 판별하고, 이 도로의 관련 신호들에 대한 최적의 조정안을 탐색기법에 의해 도출함으로써 보다 나은 신호제어 계획을 대책으로 수립하는 교통 신호체계 최적화 시스템을 제시하였다. 그리고 실제 교통망에 대한 교통량 데이터를 바탕으로 실험한 결과, 실시간에 변화되는 교통흐름에 유기적으로 대처할 수 있는 신호체계 수립 가능성을 보였다.

참고 문헌

- [1] 도철용, 교통공학원론, 청문각, 1997.
- [2] 원재무, 최재성, "교통공학", 박영사 1990,
- [3] 이화근, 정상화, 류광렬, "도심 교통체계 모델링을 위한 병렬 Microscopic 시뮬레이터", 한국정보과학회 논문지(A), 제26권 제1호, 1999. 1
- [4] Fred Glover, Manuel Laguna, "Tabu search", Kluwer Academic Publishers, 1997, pp.25-91
- [5] G. Cameron, G. Duncan, and D. McArthur, Paramics-MP: Final Report, EPCC-PARAMICS-MPFR 1.0A, 1994.
- [6] Hunt, P. B. and Robertson, D. I. et al, "SCOOT - A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals", Department of Transport, TRRL Report, LR 1014, Crowthorne, 1981.
- [7] Hunt, P. B. and Robertson, D. I. et al, "The SCOOT On-line Traffic Signal Optimization Technique", International Conference on Road Traffic Signalling, London, 1982.
- [8] K. Nagel, C.L. Barrett, M. Rickert, Parallel traffic micro-simulation by cellular automata and application for large-scale transportation modeling. LA-UR 96-50, Los Alamos National Laboratory, February, 1996
- [9] Longfoot, J. E., "SCATS - Development of Management and Operation Systems", International Conference on Road Traffic Signalling, London, 1982.
- [10] Luk, J. Y. K., Sims, A. G. and Lowrie, P. R., "SCATS - Application and Field Comparison with a TRANSYT Optimised Fixed Time System", International Conference on Road Traffic Signalling, London, 1982.
- [11] Mr. E. T. Peytchev, Dr. A. Bargiela, Parallel simulation of city traffic flows using "PADSIM"(Probabilistic Adaptive Simulation Model), European Simulation Multiconference, 1995
- [12] Stuart J.Russell, Peter Norvig, "Artificial Intelligence : A Modern Approach", 1995, pp.111-113