

주기변동 신호제어 알고리즘과 신신호 알고리즘 비교 연구

A Study comparing cycle free algorithm and COSMOS

송명균

(서울대환경대학원, 석사과정)

이영인

(서울대환경대학원, 교수)

Key Words : Cycle free algorithm, COSMOS, 차량군 분산모형, Genetic algorithm

목 차

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| I. 서론 | 2. 평가 결과 예측 |
| 1. 연구의 배경 및 필요성 | IV. 모의 실험 |
| 2. 연구의 목적 | 1. 시나리오 설정 및 네트워크 구축 |
| II. 선행연구 및 관련 이론 고찰 | 2. 결과 분석 |
| 1. 신호제어 시스템 고찰 | V. 결론 및 향후과제 |
| 2. 관련 이론 고찰 | 1. 결론 |
| III. 알고리즘 비교 및 평가 결과 예측 | 2. 향후과제 |
| 1. 알고리즘 비교 | 참고문헌 |

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

급속한 산업 발전과 그에 따른 차량 증가로 인하여 도시 교차로 상에서 차량 지체는 지속적으로 증가하고 있다. 그동안 이러한 지체를 해결하기 위해서 많은 방법을 시도해 왔으나 대부분 물리적인 접근방법 즉, 도로의 새로운 건설이라는 방법으로 이러한 문제를 해결하고자 하였다. 하지만 우리나라의 도시들은 이미 개발이 완료되어 공간상의 제약도 많고 지가의 상승으로 인한 비용상의 제약도 많기 때문에 더 이상 이러한 접근 방법은 효율적인 접근 방법이 되지 못한다. 그렇기 때문에 차량 지체 문제를 해결하기 위해서는 이제 다른 접근 방법이 필요하다. 그러한 접근 방법들 가운데에는 여러 가지가 있겠지만 그 가운데 교차로 상의 효율적인 신호 운영으로 지체를 감소시키는 방법도 하나의 대안이 될 수가 있다.

이러한 맥락에서 그동안 우리나라에서 개발하여 이용되고 있는 신호 알고리즘인 신신호 알고리즘은 효율적인 신호 배분을 통해 신호 교차로 상에서 교통 지체를 감소시키는데 큰 기여를 해왔다. 또한 같은 맥락의 신호 알고리즘 가운데 하나인 주기변동 신호제어 알고리즘에 관한 연구도 국내외에서 활발하다.

2. 연구의 목적

그동안 신신호 알고리즘과 주기변동 신호제어 알고리즘은 많은 연구가 되었고 실제 현실에서 사용되고 있는 것도 있지만 두 알고리즘의 차이점과 현실 적용의 효과에 대하여 명확히 비교 연구된 실적이 없다. 따라서 본 연구에서는 그동안 발

견시킨 신신호 알고리즘과 주기 변동 신호제어 알고리즘에 관하여 살펴볼 것이고 그 알고리즘에 가장 적합할 것이라고 예상되는 시나리오를 각각 설정할 것이다. 이어서 교통 시뮬레이션 툴 가운데 하나인 Vissim을 이용하여 각 알고리즘을 평가를 할 것이다. 따라서 그동안 각기 다른 상황에서 실험하였던 두 알고리즘이 각각 어떠한 상황에 더 적합한 알고리즘이고 두 알고리즘의 장단점은 무엇인지에 대하여 살펴보려고 한다.

II. 선행 연구 및 관련 이론 고찰.

1. 신호 제어 시스템 고찰

1) TOD 방식

TOD 방식의 모형은 크게 지체도 최소화 모형과 통과 폭 최대화 모형으로 나눌 수 있다.

지체도 최소화 모형에 가장 널리 사용되어지는 시뮬레이션 프로그램인 TTF에서는 개개의 차량을 차량군으로 묶어서 차량의 지체도와 정지 횟수의 선형 조합 함수로 표현되는 성과지수(Performance index)를 효과측적의 기본변수로 하며 이 성과지수를 최소화 하는 현시시간과 옵션을 선택하여 신호시간을 결정한다.

통과 폭 최대화 모형은 최적현시순서, 옵션, 주기길이를 선택하여 진행을 위한 방향의 녹색진행대의 합계를 최대화하는 것이다.

2) 교통 대응 방식

교통대응제어 방식의 경우 현재의 교통상황을 기반으로 하

는 실시간 시간계획을 하기 위한 on-line 최적화 과적을 포함하는데, 차량검지기와 예측된 교통량으로부터 얻어진 자료를 기반으로 하여 실시간으로 신호시간계획을 계산하고 실행하는 on-line 모델이다. 또한 현재의 교통상황 하에서 네트워크 내에 총 지체와 정지수를 최소화하는 제어변수를 결정하기 위한 on-line optimization routine을 포함한다.

교통대응제어 방식은 영국의 SCOOT(Split, Cycle, Offset Optimization Technique)와 호주의 SCATS(Sydney Co-ordinated Adaptive System), 한국의 COSMOS(Cycle Offset Split Model of Seoul), 주기변동 기반 신호제어 알고리즘이 대표적이다.

2. 관련 이론 고찰

1) 최적화 알고리즘

The Cycle-Free Responsive Algorithm for Network Optimization (CYRANO : 네트워크 최적화를 위한 주기변동 대응 알고리즘)은 비포화상태의 신호시간계획을 제공하였고 혼잡교차로 제어는 Queue Management Control (CIC/QMC)가 결합하여 혼잡경로의 포화상태를 위한 지역적인 신호시간계획을 제공한다.

신호연동은 교통류의 간단한 시뮬레이션을 실행함에 의해 CYRANO에서 달성할 수 있고 그리고 나서 비효용(모든 접근로에 걸쳐 합한 정지수와 지체를 선형으로 조합한)을 최소화하도록 각 제어기에서 신호설정을 체계적으로 조정한다. CIC/QMC의 목적은 혼잡교차로에서 두 개의 혼잡한 경쟁수요를 위해 받아들일 수 있는 서비스를 제공하거나 주요 교차로를 선도하는 경로를 따라 대기형성을 조절하고 교차로를 봉쇄하거나 녹색시간을 완전히 이용하기 위해 출루율을 극대화하는 것이다.

2) 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 문제의 잠재해를 표현한 개체들로 이루어진 모집단을 가지고 시작한다. 모집단은 매세대마다 일정수의 개체수를 유지하고 매 세대에서 각 개체의 적응도를 평가하여 이에 따라 다음 세대에 생존할 개체들을 확률적으로 선별한다. 선별된 개체들 중 일부의 개체들이 임의로 짝을 지어 교배하여 자손을 생성한다. 이 때 교배에 의해 부모의 유전자가 자손에게 상속되고 돌연변이가 일어날 수 있다. 자손은 부모로부터 좋은 유전형질을 상속받는다 가정함으로써 다음 세대의 잠재해들은 평균적으로 전세대보다 더 좋아진다고 본다. 이러한 진화과정은 종료조건을 만족할 때까지 반복한다.

3) 차량군 분산 모형

도시부 도로망은 신호운영에 의한 정지와 출발의 패턴을 반복하게 된다. 교차로 정지선으로부터 정지상태로 밀집되어 있던 대기차량은 출발 신호와 함께 교차로 간 링크를 이동하면서, 포화 밀도에서 점차 분산 된 밀도를 나타내게 된다. 이러한 차량군들의 분산의 형태를 거시적인 형태로 구현한 것이 차량군 분산 모형이다. 대부분의 차량군 분산 모형은 TTF에서 사

용되고 있는 Roberson Model를 이용한다.

III. 알고리즘 비교 및 평가결과 예측

1. 알고리즘 비교

1) 신신호 알고리즘

구 분	알 고 리 즘
검지정보 1차 처리 알고리즘 (Local Controller)	포화도 산정 알고리즘
	포화교통류율 산출 알고리즘
	대기행렬길이 예측 알고리즘
	속도산출 알고리즘
신호시간 산출 알고리즘 (Regional Controller : Center)	주기결정 알고리즘
	녹색시간 결정 알고리즘
	오프셋 결정 알고리즘
	감응제어 알고리즘
	오프셋 전이 알고리즘

신신호 알고리즘은 위와 같은 단계로 이루어져 있고 기본 개념은 모든 이동류의 DS를 같게 한다는 것이다. 단 이번 연구에서는 cycle free 알고리즘과 평가 환경을 같게 하기 위해서 독립 교차로를 대상으로 평가하였으므로 오프셋 결정 알고리즘에 관한 부분은 배제하였다.

2) 주기 변동 신호제어 알고리즘

(1) 교통류 모형

차량의 링크 이동시, 「차량군 분산 모형」을 적용되었으며, 시간 단위(time step)는 1초로 설정되었다. 즉 차량 밀도는 1초 단위 당 교통유율로 표시된다.

$$v_{(t+\beta t_0)} = F \cdot v_t + [(1-F) \cdot v_{(t+\beta T-1)}]$$

$$F = \frac{1}{1 + \alpha \beta t_0}$$

$v_{(t+\beta t_0)}$: T 시간 후 Step t에서 관측지점을 통과한 교통량

v_t : step t에서 정지선을 통과한 차량 밀도

β : 경험식에 의한 값, 일반적으로 0.8을 사용

t_0 : 자유속도로 대상 링크를 주행한 시간(초)

F: 완화 계수 (Smoothing factor)

α : TRANSYT-7F의 경험적인 차량 군 분산 계수

여기서 α 는 경험적인 차량 군 분산계수(Platoon Dispersion Factor)로서 링크의 마찰에 따라 적용되는 파라미터이다. TRANSYT-7F에서는 마찰의 정도에 따라 다음의 default값을 적용하고 있다.

(2) 지체식

Find C, G_{ij}

$$\text{Maximize } (-1) \times \frac{\sum_{k=1}^8 Delay_i^k(n)}{\sum_{k=1}^8 V_i^k(n)}$$

Subject to

$$G_{i1} + G_{i2} = G_{i5} + G_{i6} \text{ for } i=1, \dots, N_i$$

$$G_{i3} + G_{i4} = G_{i7} + G_{i8} \text{ for } i = 1, \dots, N_i$$

$$\sum_{j=ring} G_{ij} = C \text{ for } i = 1, \dots, N_i \quad G_{ij} \geq MG_{ij} \text{ for}$$

$$i = 1, \dots, N_i \text{ and } j = 1, \dots, N_m$$

$$Min C \leq C \leq Max C, \quad C \geq 0$$

notation

C : 주기길이(초)

i : 교차로

j : 각 교차로의 이동류 (NEMA 방식)

G_{ij} : i 교차로 j 이동류의 녹색시간(초)

N_i : 총 교차로 수

N_m : 교차로의 총 이동류 수

$Min C$: 최소주기(초)

$Max C$: 최대주기(초)

$G_{ij} \geq MG_{ij}$: 이동류 별 최소녹색시간

2. 평가 결과 예측

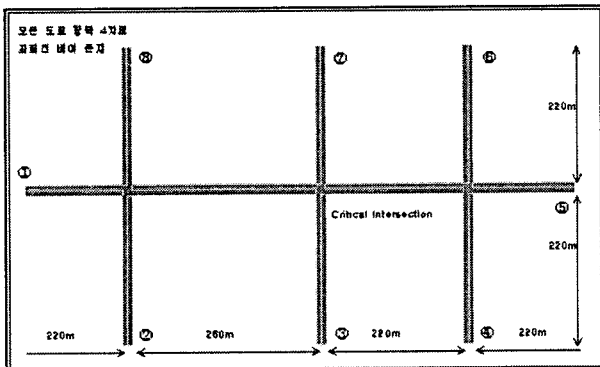
우선 신신호 알고리즘의 가장 큰 문제점은 과포화 상태에서 포화도의 값이 1이 넘는다는 것이다. 현실적으로 포화도의 값이 1이 넘을 수 없기 때문에 신신호 알고리즘은 과포화 시에 효율적이지 않다고 알려져 있다.

반면 주기변동기반 신호제어 알고리즘은 상류부 검지기까지 대기행렬 길이가 이어지지 않는다면 도착 교통류 예측이 가능하므로 지체를 최소화 시키는 신호 배분이 가능하다. 따라서 이러한 현상이 적합한지 시나리오를 구성해 비교할 필요가 있다. 또한 이 시나리오에 대한 비교군으로 비포화시에 대한 시나리오도 구성하여 시뮬레이션하였다.

IV. 모의 실험

1. 네트워크 구축 및 시나리오 설정

1) 네트워크 구축



<그림 1> 네트워크 구성

네트워크는 위와 같은 형태로 구성한다. 각 차로는 편도 2차

로이며 가운데 Critical Intersection을 중심으로 좌회전 Bay가 설치되어 있다. 가운데 교차로인 Critical Intersection만 신신호 알고리즘이나 Cycle Free 알고리즘이 적용되고 나머지 교차로는 TOD가 적용된다.

2) 시나리오 설정

시나리오는 아래와 같이 비포화시와 과포화시 두 가지로 구분하고 시뮬레이션 툴은 VisSim을 이용하여 분석한다.

시간 (초)	교통류율(pcu/h)								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
비포화	0~900	800	800	560	800	800	800	560	800
	901~1800	800	800	560	800	800	800	560	800
	1801~2700	880	880	640	880	880	800	640	880
	2701~3600	880	880	640	880	880	800	640	880
과포화	0~900	600	600	1800	800	600	600	1600	400
	901~1800	1000	1000	1600	1200	1000	1000	1800	800
	1801~2700	1400	1400	1200	1600	1400	1400	1200	1200
	2701~3600	1600	1600	800	1400	1600	1600	600	1400

2. 결과 분석

		지체도(sec)	통과교통량(대)
비포화	신신호 알고리즘	45.8	2234
	Cycle Free	31.8	2182
과포화	신신호 알고리즘	81.7	3543
	Cycle Free	86.1	3759

실험의 결과는 위의 표와 같이 도출됐다. 비포화 상태에서는 주기 변동 기반 신호제어 알고리즘이 신신호 알고리즘보다 효율성이 좋고 과포화 상태에서는 신신호 알고리즘이 좀 더 효율성이 좋은 것으로 판단됐다.

이는 주기 변동 기반 신호제어 알고리즘은 비포화 상태에서 차량군 분산 모형을 이용하여 도착 차량 수를 예측하고 신호를 계산하기 때문에 연동을 어느 정도 반영할 수 있는 반면 신신호 알고리즘은 연동값을 반영 못하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 과포화 상태에서는 주기 변동 기반 신호 제어 알고리즘도 대기행렬로 인해 도착 차량을 예측하기 어렵고 신신호 알고리즘도 포화도 계산이 정확하지 않아 두 알고리즘 모두 신호시간 계산에 비효율이 발생한다.

V. 결론 및 향후과제

1. 결론

급속하게 증가하고 있는 교통량을 처리하기 위해서 많은 신호 기법이 개발되었고 개발되고 있는 상태이다. 위에서 언급한 신신호 기법은 이미 우리나라에서 연구되어 운영되고 있는 기법이고 주기 변동 기반 신호제어 알고리즘 또한 국내외로 많은 연구가 되고 있는 알고리즘이다. 이 논문에서는 그동안 각기 발전되었던 두 신호 알고리즘을 살펴보고 비교하였으며 그 결과는 단일 교차로 대상 기준으로 하여 비포화 상태에서 주기 변동 기반 신호제어 알고리즘이 더 효율성이 높았으며 과포화 시에는 두 알고리즘 모두 신호 시간을 산정할 때 발생하는 문제가 있기 때문에 결과가 비슷한 수준을 보였다.

2. 향후과제

본 연구에서는 사용된 모의 실험 조건이 다양한 교통 상황을 모두 반영하고 있지 않다. 그러므로 좀 더 다양한 교통 상황을 고려해서 시나리오를 다양하게 수립할 필요가 있다. 또한 이 연구는 독립 교차로를 대상으로 해당 알고리즘을 적용하였기 때문에 교통 제어시 연동에 의한 이점을 반영하고 있지 않다. 따라서 각 알고리즘을 교통축으로 적용해서 실험을 할 필요가 있다.

참고문헌

1. 임현철, "차량군 분산모형을 적용한 주기변동기반 신호시간 결정모형 개발", 서울대학교 석사학위 논문, 2005
2. 이영인, 최완석, "유전자 알고리즘을 이용한 이중목적 주기 변동 신호시간 결정모형 개발", 대한교통학회지 제 20권 제 5호, pp81-91
3. 서울특별시, 신호시스템 검증, 평가, 2003
4. Park B. K., "Development of Genetic Algorithm-Based Signal Optimization Program for Oversaturated Intersection", Texas A&M University, 1998
5. Transyt-7F Guide United state version, University of Florida, 1998
6. PTV, VisSim User Manual, 2001