

선행적 자가적응형 시스템을 위한 도로 교통량 예측 알고리즘에 관한 연구

정호현*, 김미수*, 정재훈**, 이은석*

*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

**성균관대학교 인터랙션사이언스학과

e-mail: {jeonghh89, misoo12, pauljeong, leesj}@skku.edu

A Study on Traffic Prediction Algorithm for Proactive Self-Adaptive System in Road Network

Hohyeon Jeong*, Misoo Kim*, Jaehoon (Paul) Jeong**, Eunseok Lee*

*Dept of Computer Science and Engineering, Sungkyunkwan University

**Dept of Interaction Science, Sungkyunkwan University

요 약

물리적, 논리적 공간에서 다양한 오브젝트들이 상호작용할 수 있게 되고, 오브젝트에 탑재되는 소프트웨어가 고도화 됨에 따라 엔지니어가 관리 가능한 수준의 시스템 제어가 힘들어지고 있다. 이런 복잡한 시스템의 자율적인 관리를 위해 다양한 상황에 대응 가능한 자가적응성이 요구된다. 자가적응형 소프트웨어는 대상 시스템의 목표나 QoS를 만족할 수 있도록 런타임에 스스로를 변화시킬 수 있는 능력을 가진 소프트웨어이다. 이러한 소프트웨어는 고도화된 시스템의 관리에 있어서 엔지니어의 부담을 경감시킬 수 있다. 본 논문에서 제안하는 선행적 자가적응형 시스템은 도로망과 같은 주기적 특성을 가진 시스템에서 시스템이 직면하는 상황을 사전에 예측하여 미리 대응할 수 있는 시스템이다. 이는 기존에 반응적으로 대응했던 시스템들이 적용한 정책의 효과를 보기까지 낭비되는 시간을 고려하여 해당 지연시간동안에 시스템의 목표나 QoS가 하락하는 상황을 미연에 방지할 수 있다. 본 시스템의 적용분야로 지능형교통체계를 사용하였으며, 도로망 전체에서 정체 발생빈도와 평균 이동속도 그리고 단위길이당 운행시간을 평가항목으로 사용하고, 대상 도로망 전체적인 최적화를 목표로 한다.

1. 서론

물리적, 논리적 공간에서 다양한 오브젝트들이 상호작용할 수 있게 되고, 오브젝트에 탑재되는 소프트웨어가 고도화 됨에 따라 엔지니어가 관리 가능한 수준의 시스템 제어가 힘들어지고 있다. 때문에 스마트 공장, 무인자동차, 사물인터넷 기반의 서비스 등의 복잡한 시스템의 자율적인 관리를 위해 다양한 상황에 대응 가능한 자가적응성이 요구된다. 자가적응형 소프트웨어는 대상 시스템의 목표나 QoS를 만족할 수 있도록 런타임에 스스로를 변화시킬 수 있는 능력을 가진 소프트웨어이다[1,2]. 이러한 소프트웨어는 고도화된 시스템의 관리, 유지 및 보수 측면에서 엔지니어의 부담을 경감시킬 수 있다.

본 논문에서는 시스템의 운용측면에서 시간, 일, 달 등의 기간에 나타나는 양상이 주기성을 가지는 시스템을 주요 대상으로 한다. 이런 시스템에서 일정 기간마다 나타나는 시스템 환경의 양상을 모델링하여 적응에 필요한 정책을 효과를 보기까지 낭비되는 지연시간을 고려하여 사전에 정책을 시행시키고, 이를 통해서 보다 빠른시간 안에 시스템이 직면한 상황을 타계할 수 있는 정책의 효과를 볼 수 있을 것이다.

제안하는 방법의 평가를 위해 본 논문에서는 지능형교통체계(ITS, Intelligent Transportation Systems)를 응용 분야로

선택하였다. 제안하는 시스템을 기존의 최단시간 기반의 다익스트라(Dijkstra) 경로안내 알고리즘과 기존 연구[3]와 비교하며, 정체 발생의 빈도, 관리 구역 내에서의 평균이동속도, 단위길이당 평균 이동시간을 비교항목으로 사용한다.

본 논문의 나머지 구성은 2장에서 관련연구, 3장에서 제안하는 선행적 자가적응형 시스템, 4장에서 실험 및 평가, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

1) 자가적응형 시스템

자가적응형 시스템은 대상 시스템의 시스템 목표나 시스템이 달성해야하는 QoS(Quality of Service) 등 기능적/비기능적 요구사항을 달성하기 위해서 런타임에 스스로를 변화시킬 수 있는 능력을 가진 시스템을 말한다[1,2]. 이런 자가적응형 시스템은 적응 정책을 시행하는 시점에 따라 크게 반응형과 선행형으로 분류할 수 있다.

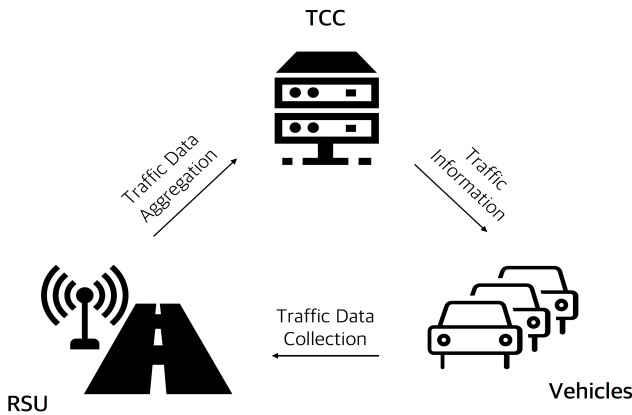
반응형 자가적응형 시스템은 대상 시스템이나 환경의 상태를 지속적으로 관찰하다가 특정 이변이 발생한 경우에 해당 상황에 맞춰 적응정책을 후속조치하는 시스템이다 [2,4,5]. 반면에 **선행적 자가적응형 시스템**은 대상 시스템이나 환경의 상태를 통해서 사전에 예측 모델을 형성하고, 해당 모델에 기반하여 이변이 발생하는 시점으로부터 적응정

책이 효과를 발효하기까지의 지연시간을 고려해 적응정책을 선행조치하는 시스템이다[2,4,5].

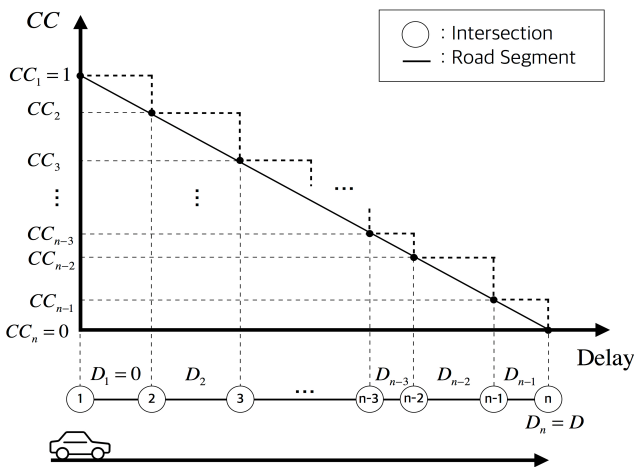
본 논문에서는 지능형교통체계에 선행적 자가적응 기법을 사용하여 주기적으로 관리구획내에서 관측되는 교통 데이터를 통해 예측 모델을 형성하고, 정체를 해소하기까지 소요되는 시간을 적응정책이 효과를 발효하기까지의 지연시간으로 상정하여 그 효과를 평가하고자 한다.

2) 자가적응형 내비게이션 시스템

자가적응형 내비게이션 시스템은 동적으로 변화하는 도로상황에 적응하기 위해 차량들의 이동경로를 적응정책의 한가지로 사용하는 시스템이다. 자가적응형 내비게이션 시스템은 그림 1과 같이 관리 구획 내에서 교통 데이터를 수집하여 취합하고, 취합된 교통 정보에 기반하여 차량들에게 경로를 제공하는 **교통관제센터(Traffic Control Center, TCC)**, 도로변에 다수 설치되어 개별차량으로부터 정보를 취합하여 도로단위의 교통 정보를 생성하고, 교통관제센터와 유선으로 연결되어 교통 정보를 송신하는 **노변기지국(RSU, Road Side Unit)**, 그리고 차량에 설치되어 교통관제센터에게 경로안내를 요청하고, 그에 따라 사용자가 운전하는 개별 차량(Vehicles)으로 구성된다.



(그림 1) 지능형교통체제(ITS) 구조도



(그림 2) 정체기여도 그래프
이러한 구조에 기반하여 이전 연구[3]에서는 도로별 정

체기여도(Congestion Contribution, CC)라고하는 정체정도를 사전에 예측할 수 있도록 수치화 한 개념과 이를 이용하여 차량을 분산시킬 수 있는 k-최단경로기반 경로안내 알고리즘을 제안하였다. 이때 제안된 정체기여도의 경우 그림 2와 같이 개별차량이 경로안내를 받은 경우 해당경로 전체를 운행하는데 소요되는 시간을 D , 출발지로부터 경로상의 개별도로(그림 2, 교차로 n)에 도착하는 예상시간을 D_i 라고 했을 때, 경로상의 개별도로에 부여되는 정체기여도는 식 1과 같다. 이 경우 출발지에서 근거리의 도로에는 상대적으로 높은 정체기여도가 부여되고, 장거리의 도로에는 상대적으로 적은 정체기여도가 부여된다.

$$CC_i = 1 - \frac{D_i}{D}, i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

그러나 해당 연구에서 제안된 정체기여도는 해당 도로에 단일 값으로 누적된 기여도들이 어느 시기에 어느 정도의 양으로 적용되는지 구분되지 않는다. 때문에 특정 도로를 향해 주행 예정인 차량들 중 장거리에서 주행 예정인 다수의 차량에 대한 정체기여도와 근거리에서 주행 예정인 소수의 차량에 대한 정체기여도가 같을 수 있다. 때문에 전자의 상황에서 새로 경로안내를 받은 차량들은 해당 도로는 현재 비어있는데도 불구하고 상대적으로 주변 도로에 비해 높은 정체기여도로 인해 우회하여 차량들의 쏠림현상을 야기할 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 현상을 미연에 방지하기 위해 개별 도로에 부여되는 정체기여도에 시간개념을 더하여 시간축에 따라 정체기여도가 분산되어 누적되고, 이에 따라 언제, 어느 정도의 정체가 발생하는지에 대해 예측하고자 한다.

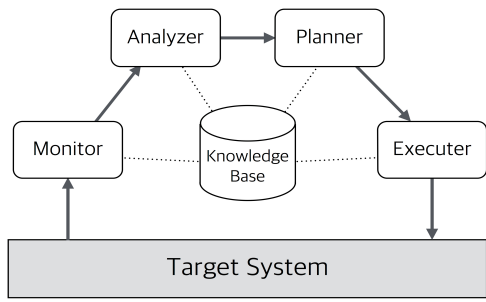
3. 선행적 자가적응형 시스템

1) 시스템 구조

그림 3은 일반적인 자가적응형 시스템의 레퍼런스 모델이다[2]. 본 논문에서는 선행적 자가적응을 위해 레퍼런스 모델에서 분석(Analyze)과 계획(Plan)에 각각 예측(Prediction)과 예방(Prevention)의 특성을 추가하여 선행적 자가적응형 시스템을 위한 모델로 재구성하였다.

- **예측(Prediction)**: 선행적으로 적응정책을 실행시키는 시점을 선택하기 위한 요소로, 대상 응용분야에 적합한 예측기법을 사용한다. 적응 시점의 선택을 위한 근거로 현재 상태를 나타내는 관찰(Monitor) 데이터를 사용하며, 지식저장소(Knowledge Base)에 저장된 예측 모델로부터 예측결과를 얻어낸다. 예측결과는 대상 시스템에서 이상상태를 나타낼 수 있는 요소에 대한 예상 수치와 해당 수치가 실제 관측되기까지 남은 예상잔여시간을 포함한다.

- **예방(Prevention)**: 예측을 통해 적응이 필요되어지는 시점이 결정된 이후, 예측결과인 예상잔여시간과 예상수치에 기반하여 지식저장소를 통해 예상수치에 따른 이상상태

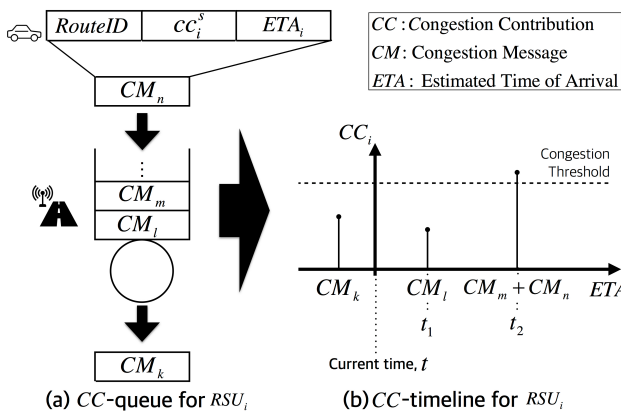


(그림 3) 자가적응형 시스템의 레퍼런스 모델

를 해결하기 위한 정책들을 선별한다. 이후 지식저장소로부터 선별된 정책들을 적용하였을 때 그 효과가 발효되기까지의 지연시간정보를 얻어 최적의 정책을 지연시간 이전에 실행한다. 지연시간이 남은시간보다 큰 정책만 선별된 경우 즉시 적응정책을 실행하여 지연시간을 최소화한다.

2) 선행적 자가적응형 내비게이션 시스템

- **교통량 예측 알고리즘:** 선행적 자가적응형 시스템의 예측특성을 구현하기 위해 이전 연구[3]의 차량 s 로부터 발생하는 정체기여도(cc_i^s)와 해당 정체기여도를 부여하는 경로의 인식번호(Route ID) 그리고 진행 예정인 차량이 해당 도로에 도착하는데 소요되는 예상도착시간(Estimated Time of Arrival, ETA)을 하나의 정체 메시지(Congestion Message, CM)로 구성한다. 그림 4 (a)와 같이 정체 메시지는 개별 도로에 큐의 형태로 처리되며 이때 큐의 버퍼는 도로, 서버는 신호등과 같다. 그림 4 (b)와 같이 개별 큐의 버퍼에 저장된 정체 메시지들을 각각 가진 정체기여도와 예상도착시간을 통해 시간축에 표현하면 3장 1절 예측에서 얻고자했던 예상잔여시간과 예상수치 정보를 얻을 수 있다. 또한 사전에 전문가에 의해서 정의된 정체 임계점(Congestion Threshold)을 상회하는 여부에 따라 이상상태



(그림 4) 교통량 예측 알고리즘의 개념도의 예측이 가능하다.

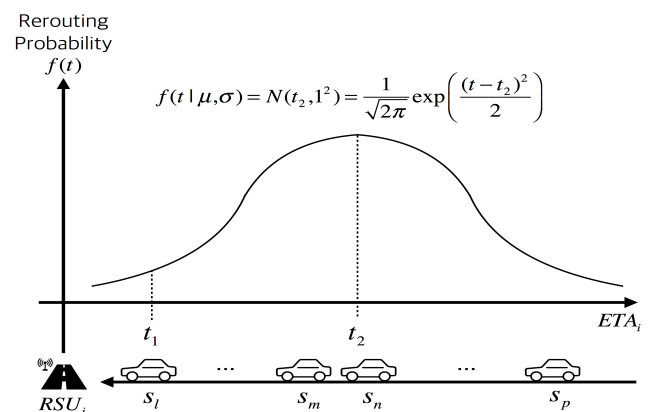
- **예측기반 경로 안내 알고리즘:** 선행적 자가적응형 시스템의 예측특성에 따라 개별 도로에서 $CC_i(t)$ 와 같은 형태로 특정 시간의 정체기여도를 예측할 수 있다. 이러한 예

측 정보에 기반하여 3장 1절 예방특성을 구현하기 위해, 이전 연구[3]의 k-최단경로기반 경로안내 알고리즘에서 현재 네트워크의 정체기여도만을 엣지의 비용(cost)으로 사용하는 부분을 수정한다. 기존의 알고리즘에서 현재 정체기여도 대신, 차량의 출발지로부터 소요되는 예상 운행시간에 따른 정체기여도를 엣지의 비용으로 사용한다. 따라서 경로안내를 위해 알고리즘을 수행할 때, 네트워크상의 엣지들을 지나는 소요시간을 고려한 비용에 기반하여 안내하기 때문에 현재의 일시적인 정보만을 사용하는 것과 비교하여 경로에 대한 신뢰도가 향상될 것으로 예상된다.

- **확률기반 경로 재설정 알고리즘:** 앞서 설명한 두 알고리즘에 의해 개별차량은 가까운 미래에 정체의 가능성이 높은 도로를 피해 운행할 수 있게 되었다. 그러나 특정도로에 정체기여도가 누적되어 정체임계점을 넘는 모든 현상을 예방하기는 어렵다. 때문에 가까운 미래에 정체임계점을 넘는 상황이 예측된 특정도로에서는 적절한 적응정책을 실행할 수 있어야한다. 본 논문에서 제안하는 예측기반 경로 재설정 알고리즘은 그림 4와 같이 특정 시간 t_2 에 이상현상이 예측된 도로에서 해당 시점의 정체기여도를 형성한 CM_i 들을 추출한다. 추출한 CM_i 에 해당하는 차량 s 에 특정 확률분포에 기반한 경로재설정을 실행한다. 언급한 확률분포는 시스템의 요구사항에 따라 다양한 확률분포의 적용이 가능하며, 본 논문에서는 그림 5와 같은 가우시안 분포를 예시로 사용한다. 가우시안 분포를 사용하는 이유는 예측된 t_2 까지의 시간을 기준으로 해당 시점 부근에 도착하는 차량들을 높은 확률로 재설정하고 이외의 차량들은 상대적으로 낮은 확률로 재설정하여 차량을 분산 시키기 위함이다. 이와 같은 확률적 경로 재설정을 통해서 특정도로에 차량이 몰리는 쏠림현상을 사전에 방지할 수 있다.

4. 실험

3장에서 제안하는 알고리즘의 평가를 위해 본 논문에서는 C++기반의 지능형교통체계 시뮬레이션 도구로 SUMO를 사용한다[6]. SUMO를 사용하여 대상 도로망인 Manhattan, New York, USA의 일부 도로정보를 사용한다. 그림 5는 SUMO GUI와 대상 도로망의 시뮬레이션 화면이



(그림 5) 확률기반 경로 재설정 알고리즘 개념도

<표 1> 예상 실험 결과표

비교 대상 항목	다익스트라 알고리즘	SAINT [3]	제안하는 알고리즘
정체 발생 횟수	-	↓	↓↓
평균 이동 속도	-	↓	↓↓
단위 길이당 평균 운행 시간	-	↓	↓↓

다.

앞서 언급한 시뮬레이터를 통해서 (i) 도로별 예상운행시간을 비용으로 계산하는 다익스트라 최단경로 알고리즘, (ii) 정체기여도를 비용으로 계산하는 이전 연구[3]의 k-최단경로기반 경로안내 알고리즘, 그리고 (iii) 본 논문에서 제안하는 시간에 따른 정체기여도를 비용으로 계산하는 예측기반 경로안내 알고리즘을 상호 비교한다. 비교항목으로는 관리구획 내에서 (i) 정체기여도가 정체가 발생했다고 판단되는 임계점을 상회하는 횟수, (ii) 전체차량의 평균 이동속도, 그리고 (iii) 전체도로의 단위길이당 평균 운행시간을 사용한다.

이러한 비교대상과 비교항목들을 평가하기 위한 실험 시나리오로 전체 교통량의 수준을 (i) 낮은 교통량, (ii)보통 교통량, 그리고 (iii) 높은 교통량으로 나누고, 각각의 시나리오를 1시간 분량으로 200회 반복수행하여 그 평균 수치를 실험의 결과값으로 사용한다¹⁾.

이와 같은 실험을 통해서 기존 연구[3]에서 여전히 발생하는 차량쏠림현상의 방지를 확인하며, 표1은 다익스트라 알고리즘의 결과를 기준으로 기존 연구[3]와 제안하는 예측 및 예방의 특성이 적용된 선행적 자가적응형 내비게이션간의 비교항목에 대한 예상 실험 결과이다.

5. 결론

본 논문에서는 선행적 자가적응형 시스템을 통해서 주기성을 가진 시스템에서 적응정책의 지연시간을 고려하는 것의 중요성을 강조하고, 이를 위해 예측 모델과 적응정책을 통한 예방의 필요성을 언급했다. 응용분야로 지능형교통체계를 선정하여 선행연구인 자가적응형 내비게이션 시스템

에 선행적 자가적응형 시스템을 추가 적용하였다. 제안하는 내용에 기반하여 그 효과를 기존 연구내용과 비교하기위한 실험을 계획하였다. 향후에는 제안하는 알고리즘을 구현하여 계획한 실험을 진행하고, 런타임에서의 예측모델 업데이트를 위한 학습 알고리즘에 대한 연구를 진행하고자 한다.

Acknowledgments

이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보컴퓨팅개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015045358)

참고문헌

[1] Esfahani, A. Elkhodary, and S. Malek, "A learning-based framework for engineering feature-oriented self-adaptive software systems," *Software Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 39, no. 11, pp. 1467-1493, 2013.

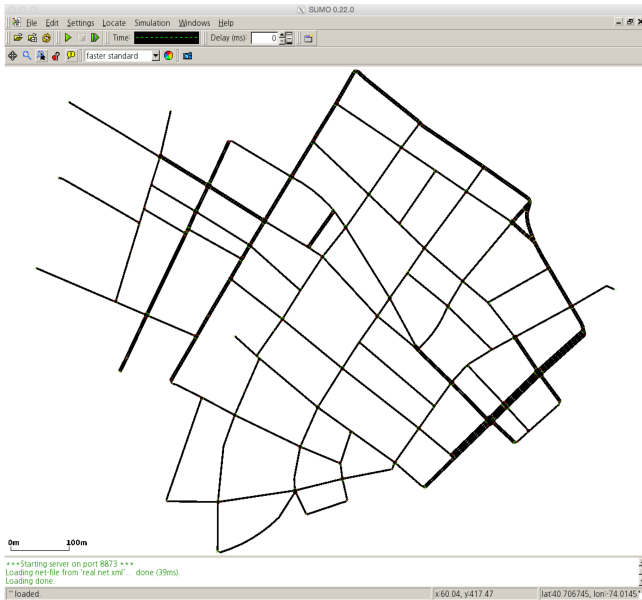
[2] M. Salehie and L. Tahvildari, "Self-adaptive software: Landscape and research challenges," *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, vol. 4, no. 2, p. 14, 2009.

[3] J. Jeong, H. Jeong, E. Lee, T. Oh, and D. Du, "SAINT: Self-adaptive interactive navigation tool for cloud-based vehicular traffic optimization," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, 2015. Forthcoming

[4] Ca´mara, G. A. Moreno, and D. Garlan, "Stochastic game analysis and latency awareness for proactive self-adaptation," in *Proceedings of the 9th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems*. ACM, 2014, pp. 155-164.

[5] C. Krupitzer, F. M. Roth, S. VanSyckel, G. Schiele, and C. Becker, "A survey on engineering approaches for self-adaptive systems," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 17, pp. 184-206, 2015.

[6] Simulation of Urban MObility, <http://sumo-sim.org>



(그림 6) 시뮬레이터 GUI와 대상 도로망

1) 초기 시뮬레이션을 통해 대상 네트워크의 상태가 정상상태 (Steady state)가 될 때까지의 시간을 고려하여 정상상태 이후부터 1시간 분량의 교통 데이터를 수집한다.