

Intelligent Optimal Route Planning Based on Context Awareness*

Hyun Jung Lee**, Yong Sik Chang***

Recently, intelligent traffic information systems have enabled people to forecast traffic conditions before hitting the road. These convenient systems operate on the basis of data reflecting current road and traffic conditions as well as distance-based data between locations. Thanks to the rapid development of ubiquitous computing, tremendous context data have become readily available making vehicle route planning easier than ever.

Previous research in relation to optimization of vehicle route planning merely focused on finding the optimal distance between locations. Contexts reflecting the road and traffic conditions were then not seriously treated as a way to resolve the optimal routing problems based on distance-based route planning, because this kind of information does not have much significant impact on traffic routing until a complex traffic situation arises. Further, it was also not easy to take into full account the traffic contexts for resolving optimal routing problems because predicting the dynamic traffic situations was regarded a daunting task.

However, with rapid increase in traffic complexity the importance of developing contexts reflecting data related to moving costs has emerged. Hence, this research proposes a framework designed to resolve an optimal route planning problem by taking full account of additional moving cost such as road traffic cost and weather cost, among others. Recent technological development particularly in the ubiquitous computing environment has facilitated the collection of such data.

This framework is based on the contexts of time, traffic, and environment, which addresses the following issues. First, we clarify and classify the diverse contexts that affect a vehicle's velocity and estimates the optimization of moving cost based on dynamic programming that accounts for the context cost according to the variance of contexts. Second, the velocity reduction rate is applied to find the optimal route (shortest path) using the context data on the current traffic condition. The velocity reduction rate infers to the degree of possible velocity including moving vehicles' considerable road and traffic contexts, indicating the statistical

* This work was supported by grant No. R01-2006-000-10303-0 from the Basic Research Program of the Korea Science and Engineering Foundation.

** Research Professor of MIS, Korea University Business School

*** Corresponding author, Associate Professor, Department of e-Business, Hanshin University

or experimental data. Knowledge generated in this paper can be referenced by several organizations which deal with road and traffic data. Third, in experimentation, we evaluate the effectiveness of the proposed context-based optimal route (shortest path) between locations by comparing it to the previously used distance-based shortest path.

A vehicles' optimal route might change due to its diverse velocity caused by unexpected but potential dynamic situations depending on the road condition. This study includes such context variables as 'road congestion', 'work', 'accident', and 'weather' which can alter the traffic condition. The contexts can affect moving vehicle's velocity on the road. Since these context variables except for 'weather' are related to road conditions, relevant data were provided by the Korea Expressway Corporation. The 'weather'-related data were attained from the Korea Meteorological Administration. The aware contexts are classified contexts causing reduction of vehicles' velocity which determines the velocity reduction rate.

To find the optimal route (shortest path), we introduced the velocity reduction rate in the context for calculating a vehicle's velocity reflecting composite contexts when one event synchronizes with another. We then proposed a context-based optimal route (shortest path) algorithm based on the dynamic programming. The algorithm is composed of three steps. In the first initialization step, departure and destination locations are given, and the path step is initialized as 0. In the second step, moving costs including composite contexts into account between locations on path are estimated using the velocity reduction rate by context as increasing path steps. In the third step, the optimal route (shortest path) is retrieved through back-tracking.

In the provided research model, we designed a framework to account for context awareness, moving cost estimation (taking both composite and single contexts into account), and optimal route (shortest path) algorithm (based on dynamic programming). Through illustrative experimentation using the Wilcoxon signed rank test, we proved that context-based route planning is much more effective than distance-based route planning. In addition, we found that the optimal solution (shortest paths) through the distance-based route planning might not be optimized in real situation because road condition is very dynamic and unpredictable while affecting most vehicles' moving costs.

For further study, while more information is needed for a more accurate estimation of moving vehicles' costs, this study still stands viable in the applications to reduce moving costs by effective route planning. For instance, it could be applied to deliverers' decision making to enhance their decision satisfaction when they meet unpredictable dynamic situations in moving vehicles on the road. Overall, we conclude that taking into account the contexts as a part of costs is a meaningful and sensible approach to in resolving the optimal route problem.

Keywords : Context-aware, Optimal Route Planning, Dynamic Programming

상황인식 기반 지능형 최적 경로계획

이 현 정, 장 용 식

I. 서 론

지능형 교통체계 및 첨단 교통정보체계는 1990년대 중반부터 우리나라에 도입되어 구축되기 시작하였다. 이에 따라 도로 및 교통상황 등의 자료가 가공 처리되어 현재의 교통상황을 반영한 가까운 미래의 교통상황 예측 등이 가능하게 되었다(Kim and Lee, 2006). 즉, 이동차량의 경로 설정에 상황자료들을 활용할 수 있는 환경이 조성되었다고 볼 수 있다.

경로계획과 관련된 기존 연구들은 경로 최적화 모형과 관련하여 배송지점들 간의 거리에 기반한 최적화 문제해결에 주로 중점을 두었다. 기존의 연구에서 경로 최적화 문제에 상황정보를 주요하게 고려하지 않았던 이유는 교통상황이 복잡해지기 이전에는 상황정보가 경로 최적화를 결정하는 주요한 역할을 하지 못했고, 실제로 차량이 이동 중에 접할 수 있는 다양한 상황을 경로계획에 반영하기가 쉽지 않아 이를 고려한 경로 최적화 연구가 쉽지 않았기 때문이었다. 그러나 도로 교통량의 증가와 함께 차량들의 이동이 빈번해 지면서 교통상황이 경로 이동 비용에 미치는 효과가 매우 커지고 있다. 따라서, 교통상황을 고려하여 경로 이동 비용을 최소화하는 경로계획의 최적화 요구가 대두되고 있다. 예를 들어, 교통 분야에서 발생하는 사회경제적 비용(교통 혼잡, 물류 및 교통사고에 의해 발생하는 비용)이 2004년 기준으로 GDP의 21.9%인 약 170조 원에 이르고, 물류비용 중 수송비가 차지하는 비율이 선진국에 비해 상당히 높아 고비용 원가에 영향을 주고 있다. 2004년 기준으로 물류비용 중 수송비가 차지하는 비율을 살펴보면, 미국 62.7%, 일본 62.2% (2003년 기준)임에 비해 한국은 76.5%로(Kang *et al.*, 2005) 매우 높은 비중을 차지하고 있다. 또한 교통선진국들은 교통상황 안내, 도로기상 정보 등을 운전자에게 제공함으로써 편의를 제공하고, 차량 간의 유선통신 중심의 서비스, 노변장치, 차량과 차량 간 및 차량 자체,

주변 시설물과의 통신을 가능하게 하는 첨단기술개발을 추진하고 있다(Kang *et al.*, 2005). 따라서 본 연구에서는 유비쿼터스 기술의 상용화에 따른 교통 및 날씨와 관련된 상황정보를 이용하여 상황에 의해 발생 가능한 추가적인 이동비용을 고려한 경로 최적화 문제를 제안하고자 한다.

상황정보에 대한 정의는 다음과 같다. 즉, 사용자가 처한 위치나 환경 등의 특정 상황(Dey *et al.*, 2000; Korkea-aho, 2000; Kim, Bae and Kim, 2004)을 일컬으며, 객체를 식별할 수 있는 식별자를 위한 식별 정보, 장소, 좌표, 속도 및 가속도 등이 포함된 공간적 정보, 현재 시간, 요일, 계절 등이 포함된 시간적 정보, 기온, 습도, 밝기, 소음을 나타내는 환경적 정보 등으로 나누어진다. 이에 기반한 상황인식 서비스는 사용자가 처한 위치나 환경 등의 특정 상황을 인지하여 사용자의 요구에 부응하도록 제공되는 서비스 또는 사용자가 입력한 정보와 상황 정보들이 결합되어 사용자가 처한 상황에 맞게 사용자가 원하는 수준으로 조정되어 제공되는 지능형 서비스라고 할 수 있다(Herma *et al.*, 2003). 지능형 서비스는 국내에서 교통, 기상, 도로 조건에 맞게 속도를 가변적으로 제공하여 양호한 교통흐름을 가능하게 하는데 활용되고 있다. 미국의 경우에도 공사구간, 어린이 보호구역내의 도로구간, 터널 및 교량부근의 도로구간, 혼잡구간 등으로 구간을 구분하여 가변속도를 제어하고 있다.

특히, 미국 뉴저지 지역은 가변속도를 제공하는 기준으로 사고, 혼잡, 공사, 날씨(눈, 결빙, 안개) 등의 상황을 고려하고 있다. 독일은 교통량, 속도, 안개, 바람 등의 자료를 바탕으로 가변속도를 제공하는 방식을 적용하고 있으며, 영국은 교통량에 따른 가변 속도를 제공하고 있다(Kim and Lee, 2006).

본 연구에서는 앞서 살펴본 상황 활용 사례들을 참조하여, 다음과 같은 관점에서 동적 상황 기반 이동경로 최적화 체계를 제시한다. 첫째, 이동 차량의 속력에 영향을 줄 수 있는 다양한 상

황들을 분류하고, 각 상황의 변화에 따른 상황비용(동적인 상황변화에 따라 발생 가능한 비용)을 고려하여 동적 계획법에 기반한 이동비용 최적화에 초점을 둔다. 둘째, 상황인식에 따른 최적 경로설정을 위해 상황별 감속률 지식을 활용한 다. 상황별 감속률은 상황비용을 산출하는 지식으로 상황에 따른 속도의 감속 정도를 의미한다. 상황별 감속률은 통계적 또는 경험적 지식을 이용하여 산출할 수 있는데, 본 연구는 도로 관련 정보를 취급하는 기관의 자료를 활용하여 추론한다. 셋째, 본 연구의 효과 검증을 위해 거리 기반 이동비용과 상황 기반 이동비용을 비교하여 상황 기반 최적 경로의 효과를 검증한다. 이동차량의 배송경로 최적화에서는 상황정보 고려없이 법정 최고 속력에 기반해 경로를 최적화한 경우와 상황정보를 함께 고려하여 경로 최적화 경우를 비교 실험하였다. 실제적인 응용에서는 차량의 이동 평균 속력을 고려한 경로 계획이 하나의 대안이 될 수 있을 것이다.

이동 중인 차량의 경로계획은 속도를 포함한 다양한 상황에 영향을 받을 수 있다. 즉, 이동 중에 배송프로세스 내의 내부상황이 아닌 외부의 영향에 의해 발생 가능한 외부상황 기반의 이동비용 최소화화를 위한 경로계획을 초점으로 한다. 본 연구는 20번의 실험적 예시에 관한 가설검증을 통해 거리 기반 최적 경로가 복합상황에서는 49.6% 오차가 있으며, 복합상황 기반 최적 경로가 실제적으로 거리 기반 최적 경로에 비해 33.5% 더 효과적임을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서 최적 경로계획 및 상황정보서비스 등과 관련된 문헌들을 살펴보고, 제 III장에서는 상황 기반 차량의 이동경로계획을 위한 상황 인식, 상황에 따른 이동시간 추론을 위한 상황별 감속률 지식 및 추론 방법, 그리고 상황 기반 최적 경로계획 모형과 동적 계획법에 기반한 최적 경로계획 알고리즘을 제시한다. 제 IV장에서는 상황 기반의 경로계획 모형에 대한 실험과 가설검정을 통해 효

과를 보이고, 제 V장에서는 본 연구의 결론 및 향후 과제에 대해 살펴보기로 한다.

II. 문헌연구

상황정보인지 서비스는 인지된 상황을 사용자의 요구에 따라 가공하여 사용하는 서비스이다. 또한, 상황정보 기반 지능형 서비스는 사용자의 상황 입력 정보와 기타 상황 정보들이 결합되어 사용자의 상황에 맞게 가공되어 제공되는 서비스(Herma *et al.*, 2003)라고 볼 수 있다. 따라서, 상황정보서비스 또는 상황정보 기반 지능형 서비스는 현재 교통체계에 활용되고 있으며, 관련된 예는 다음과 같다. 첨단차량 정보시스템(TRAVERSE: Travel technology)은 지능형 교통체제로 실시간 교통혼잡 정보나 여행자 정보를 제공하고, 첨단교통관리 시스템(Advanced Traffic Management System: ATMS)은 상습 혼잡지역이나 사고 혼잡 지점의 신속한 처리를 지원한다. 첨단화물 운송 시스템(Commercial Vehicle Operations: CVO)은 GPS를 이용해 이동하는 차량의 위치, 운송상태 등을 파악하여 최적의 배송경로 제공 및 실시간 업무지시로 운송경비를 줄이고 배송효율을 높여 주며, 첨단차량도로 시스템(Automated Vehicle Highway System: AVHS)은 차량과 도로에 첨단장비를 부착시켜 교통사고를 줄인다. 또한, 첨단차량인식 및 통제 시스템(Automatic Vehicle Identification and Control: AVIC)은 개별차량들을 확인하고 위치를 알려준다(Oh, 2004).

또한, 실제적으로 상황에 기반한 동적인 교통정보의 제공은 운전자들의 의사결정에 영향을 미친다는 연구결과가 있다(Oh, 2004). 미국 캘리포니아주 샌프란시스코시에서 실시간 교통정보를 여러 가지 전달매체를 통하여 시민들에게 전달했을 때 운전자들의 의사결정 행태를 살펴보면 다음과 같다. 교통정보를 받은 이용자 중 인터넷 사이트를 이용한 경우 81%, 전화를 이용한 경우 45%, 라디오나 텔레비전을 이용하여 실시간 교통정보

를 받은 이용자는 25%가 통행계획을 변경한 것으로 나타났다. 즉 동적인 상황정보의 인식이 정보이용자의 의사결정에 상당한 영향을 미치고 있음을 보여준다(Lyytinen *et al.*, 2002; Oh, 2004). 그러나, 첨단교통체제가 교통량 통제와 교통사고 감소를 위해 전세계적으로 활용되고 있으며 첨단 교통체제에 의해 인식된 정보의 활용이 의사결정지원 등에서 매우 중요할 수 있음에도 불구하고, 현재는 인식된 상황정보(교통정보포함)가 이용자의 목적에 맞게 가공되어 활용 되지 못하고 있다. 실제로 인터넷, TV, 라디오 등을 통해 인식된 교통 정보에 따라 운전자들의 상당수가 출발시간이나 노선선택을 변경하였는데, 변경한 의사결정이 운전자에게 최적의 경로를 제공했는지에 대해서는 검증되지 않는다. 따라서, 교통상황을 고려하여 비용을 포함한 최적화된 경로 제공이 가능하다면 물류시스템 등에 첨단 교통정보 등이 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

현재, 많은 운전자들이 사용하고 있는 내비게이터에서 제공하는 이동경로 설정의 한계점(Borriello *et al.*, 2005)을 국내의 대표적인 내비게이터인 맵피v5.5와 아이나비를 살펴보면 다음과 같다. 맵피의 경우 v5.5에서 유고정보(Road Traffic Message)와 해당 도로의 교통혼잡정보(Congestion Travel Time)를 반영한 경로 안내를 제공하는데, 유고정보나 혼잡정보는 상황의 경중에 기반하여 가중치를 설정하고 이에 따른 경로 안내를 한다. 그러나, 경로 안내가 여러 상황정보에 기반한 최적 경로를 제공하고 있지는 않다. 예를 들어, 이동도로가 고속도로인지 일반도로인지를 먼저 설정하면 해당 도로의 상황을 고려한 최적 이동경로를 제공하고 있다. 즉, 경북 문경에서 의정부까지 이동할 때 제시되는 최적 경로는 고속도로 내에서 가능한 최적 경로 또는 일반도로 내에서 가능한 최적 경로가 제시된다. 고속도로와 일반도로를 동시에 고려한 혼합 경로설정을 위해서는 사용자가 수동적으로 구간에 따른 이용도도를 정의할 수 있다. 따라서 경로계획설정에 있어 상황

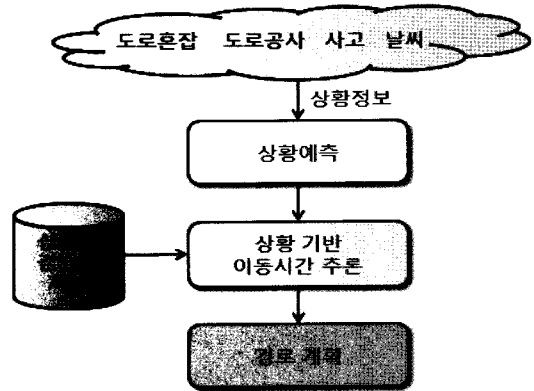
정보에 따른 자동으로 최적 경로설정이 제공되고 있지는 않다. 아이나비의 경우는 버스, 지하철, KTX 등의 다양한 대중교통정보와 3D정보를 제공하지만 상황비용을 고려한 최적 경로를 제공하고 있지는 않고 있다. 본 연구에서 제안하는 상황정보를 고려한 경로계획은 물류차량이 다양한 경로상황(Spreitzer *et al.*, 1993; Siewiorek, 2002)에 따라 즉각적인 상황인식에 따른 의사결정을 지원하거나, 운전자에게 최적 경로의 실시간 제공 등으로 이동비용을 줄일 수 있다(Brown *et al.*, 1997; Gordon *et al.*, 2002).

한편, 기존의 거리 기반 최적화 경로계획모형은 TSP(Traveling Salesman Problem)(Bellmore *et al.*, 1968)에 기반을 둔 배송을 위한 VRP(Vehicle Routing Problem)(Reynolds, 2001), VRPTW(Vehicle Routing Problem with Time Windows)(Kulkarni *et al.*, 1985), PDPTW(Pickup and Delivery Problem with Time Windows) (Solomon *et al.*, 1998) 등이 있으며, 동적 계획법도 한 방법으로 이용되고 있다(Murty, 1995). 이들 모형은 배송경로 계획 수립 당시의 배송지점 간 거리 또는 이동시간을 이용하여 배송차량의 총 이동 거리 또는 시간을 최소화하는 배송경로를 수립한다. 그러나, 실제 배송차량의 이동 시간은 계획 당시와 다르게 배송경로를 따라 운행하는 시점에서 주변 상황에 많은 영향을 받게 된다. 유비쿼터스 환경에서는 배송차량의 이동시간에 영향을 줄 수 있는 상황요인들의 정보수집과 상황인식이 사전에 가능하기 때문에, 상황변화를 미리 예측하여 최적 배송 경로를 계획하는 것은 물류비용을 줄이고 공급망을 더 효과적으로 관리하는 방법이 요구된다. 이러한 문제를 풀기 위하여 차고지 밖의 이동차량을 고려하는 동적 배송경로문제에 관한 연구의 필요성이 크게 인식되어 왔다. 동적 배송경로 모형은 기존의 계획된 경로에 새로운 배송요구를 포함하는 방법으로, TSP, VRP, PDPTW에 관한 여러 동적인 모형이 연구되었고(Larsen *et al.*, 2008), 온라인 B2C 배송요구를 위한 동적인 VRP

모형은 좋은 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다 (Du et al., 2005). 그러나, 앞선 연구들에서는 배송 경로 상에서 발생 가능한 교통상황이나 외부 상황 등을 경로계획에 고려하는 것은 미비하였다. 즉, 환경적 상황도 경로계획에 영향을 미침을 확인하고 이에 따른 상황정보의 체계적인 분류 및 상황인식과 모형과의 연계성에 근거한 연구방법이 요구되고 있다. 최근 유비쿼터스 환경에서 배송관련 상황을 인지하여 차고지와 이동 중인 차량을 포함하여 최적 배송경로를 수립하는 u-MDPDPTW 모형(Chang et al., 2007) 등이 연구되었다. 그러나, 이 연구도 이동차량의 이동 거리 최적화에 연구의 중점을 두었으며 이동 중에 발생할 수 있는 다양한 외부 상황변화들을 이동 비용에 포함시키지는 못했다. 총 이동시간 최소화를 목적으로 하는 기존 연구들은 문제를 푸는 시점의 두 지점간 이동 가능시간을 이용하기 때문에 실제 그 지점을 지나게 될 때의 도로나 날씨 등의 상황변화를 반영하지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 경로 구간별 상황들을 반영함으로써 계획과 실제 이동 시의 경로 오차가 보다 적은 최적화된 경로계획 방법을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 상황인식 기반 경로계획 모형

차량이 임의의 두 지점 간을 이동할 때 발생하는 다양한 경로상황은 차량의 속력을 늦추어 이동시간을 크게 만들기 때문에 계획 대비 실제 이동시간은 많은 차이가 발생할 수 있다. 따라서,



<그림 1> 상황 기반 이동경로계획 모형

경로계획 시점에서는 구간별 이동시점의 상황을 예측하는 것과 상황에 따른 이동시간을 추론하는 것이 상당히 중요하다.

<그림 1>은 도로의 다양한 상황을 파악하여 각 구간별 이동시점에서의 상황을 예측하고, 상황별 감속률 지식을 이용하여 실제 이동 시와 비슷한 이동시간을 추론해서, 경로를 계획하는 상황 기반 이동경로계획 모형을 나타낸 것이다.

3.1 상황예측

이동 중인 차량의 최적 경로계획 수립을 위해 동적 비용에 영향을 줄 수 있는 상황요인으로는 앞서 언급한 바와 같이 교통상황과 관련된 혼잡, 공사, 사고 및 날씨상황을 고려한다. 이동비용에 영향을 주는 상황요인에 따른 일반적인 필요정보를 살펴보면 다음 <표 1>과 같다.

이동 중에 있는 차량은 구간별, 이동 시점별,

<표 1> 이동비용에 영향을 주는 상황 요인별 필요정보


상황요인	필요 정보
혼잡	이동시점의 구간별 통계적 정체현황과 평균이동속력
공사	이동시점의 구간별 공사에 따른 평균 이동속력 및 공사 예정시간
사고	이동시점의 구간별 현재 사고에 의한 이동 속력 및 사고처리 예상 시간
날씨	이동시점의 구간별 날씨에 대한 평균 이동속력 및 날씨 지속시간

<표 2> 이동비용에 영향을 주는 상황요인 및 상황의 예

상황 요인		상 황	
구간	출발지	부천, 수원, 인천, 대구, 천안, 강릉 등	
	도착지	서울, 부산, 대구, 전주, 광주, 춘천 등	
시간	출발일시	2008-05-06 09:00:00, 2008-05-06 10:00:00 등	
상황요인	혼잡	집회, 행진, 공사, 휴가, 귀경, 명절 등	
	공사	물청소, 거리청소, 노면보수, 지하철 공사, 도색작업, 도로보수 등	
	사고	추돌, 접촉, 고장차량, 전복, 전소, 도로 파괴, 도로유실 등	
	날씨	비(강우량)	강도: 매우 조금, 조금, 다소, 다소 많음, 많음, 매우 많음 종류: 이슬비, 기단소나기, 소나기, 집중호우, 호우경보, 호우 주의보, 호우, 지역폭우, 태풍강도(지수) 등
		눈(강수량)	강도: 매우 조금, 조금, 다소, 다소 많음, 많음, 매우 많음 등 종류: 가루눈, 눈싸라기, 싸라눈, 진눈깨비, 태풍눈, 함박눈 등
		안개(가시거리)	강도: 짙음, 다소 등 종류: 강안개, 냉각안개, 복사안개, 산안개, 역전안개, 얇은 안개, 이류안개, 전선안개, 증기안개, 증발안개, 활승안개 등
		특보	강풍, 호우, 한파, 건조, 해일, 풍랑, 태풍, 대설, 황사, 폭염
바람(풍속)		매우 약, 약, 다소, 다소 강, 강, 매우 강	

그리고 상황 요인별 다양한 상황에 따라 이동 비용이 달라질 수 있다. 즉, 교통의 흐름에 영향을 주는 요소는 매우 복합적으로 발생하게 된다. 다음 <표 2>는 이동 중에 있는 차량의 이동

비용에 영향을 줄 수 있는 가능한 상황을 보여준다. 이동비용은 구간별, 시점별, 그리고 상황요인인 혼잡, 공사, 사고, 날씨에 따라 다르며, 각 상황 요인별로도 다양한 상황에 따라 달라지게 된



혼잡계산기

① 과거 교통정보를 분석한 것으로 교통량, 사고, 기상상황 등에 따라 변동될 수 있으니 운행 참고자료로만 활용하시고 출발 전에 교통상황을 반드시 확인하시기 바랍니다.

■ 소통원활 (70 Km/h 이상) ■ 서행 (30~70 Km/h) ■ 정체 (30 Km/h 이하) ■ 정보없음

· 노선선택:

· 요일선택:

Home > 교통통계 > 혼잡계산기

■ 소통원활 (70 Km/h 이상) ■ 서행 (30~70 Km/h) ■ 정체 (30 Km/h 이하) ■ 정보없음

1역선택

구간	길이 (km)	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
한남대교남단IC >>잠원IC	1.3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
잠원IC >>반포IC	0.7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
반포IC >>서초IC	2.3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
서초IC >>양재IC	2.65	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

<그림 2> 혼잡(정체) 정보(자료원: 한국도로공사)

공사 통제 예정정보

Home > 고속도로 이용안내 > 공사/통제 예정정보

▪ 일자검색
 ▪ 권역검색 ▪ 노선검색

1	2008/11/12 07:00	2008/11/12 18:00	영동선	장평 IC~속사 IC
2	2008/11/12 07:00	2008/11/12 18:00	영동선	횡계IC~강릉JCT
3	2008/11/12 07:00	2008/11/12 18:00	영동선	둔내IC~면원IC

(a) 노선별 공사 통제 예정정보

공사 통제 예정정보

Home > 고속도로 이용안내 > 공사/통제 예정정보

이정(방향) 장평 IC~속사 IC (강릉종점)
구간 188.8 Km ~ 188.8 Km
차단차로 강릉방향:2차로 차단, 1차로 소통
전체차로 2

갓길 측구 보수작업

(b) 공사통제 1의 상세내용

<그림 3> 공사/통제정보(자료원: 한국도로공사)

다. 예를 들어, 비의 경우에 이슬비, 소나기, 집중 호우 등에 따라, 그리고 사고의 경우도 사고의 경중과 사고유형에 따라 다르다.

이들이 제공하는 자료는 해당 기관이 필요로 하는 목적에 맞게 정리된 자료로 본 연구에서는 최적 경로설정을 위한 활용 목적에 맞게 의미 있는 자료로 가공하는 것이 요구된다. 본 연구에서는 상황정보에 기반한 경로 최적화 설정을 위해서 도로와 관련된 상황정보는 도로공사(www.ex.co.kr)로부터, 날씨 변화에 따른 상황정보는 기상청(www.kma.go.kr)의 자료를 참고하였다.

즉, <그림 2>의 혼잡(정체) 정보, <그림 3>의

공사 통제 예정정보, <그림 4>의 현재 발생 중인 사고 정보, 그리고 <그림 5>의 현재 날씨상황 및 예보정보 등이 그 예이다. <그림 2>의 경우, 각 노선별 토요일과 일요일의 혼잡(정체) 정보를 시간대별로 보여주고 있다. 시간별로는 오전 출근 시간과 오후 부터 저녁시간 대까지는 정체현상으로 이동시간에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

<그림 3>의 (a)는 일자별, 권역 및 노선별로 공사시간을 제공하는 공사 통제 예정정보를 나타낸다. <그림 3>의 (b)는 점선 내의 공사통제 1의 상세내용으로 이정, 공사구간, 전체 차로 및 차로 차단 정보 등이 있으며, 전체 차로는 2차선이

며 2차로에서 공사 중인 예를 보여주고 있다. 이 경우, 차선 불용도는 1/2로서 속력이 훨씬 줄어드는 결과를 초래한다. <그림 4>는 현재 발생한 노선별 사고, 사고 유형, 사고내용 및 처리상황을 실시간으로 나타내는 정보이다. <그림 5>는 지역별로 강수량을 포함한 기온, 바람의 풍향, 풍속, 기압에 대한 현재 및 예측 날씨 정보를 보여주고 있다.

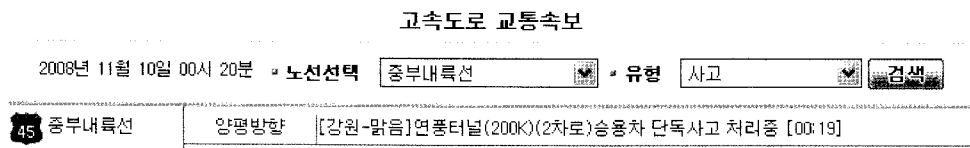
3.2 상황 기반 이동시간 추론

본 연구에서는 이동차량의 이동계획 수립에 있어서 예측된 비용보다 경로 상황의 변화에 따라 상황비용이 추가되는 경우 이동계획의 변경이 필요함을 기본가정으로 한다. 이동계획 수립에서 참조되는 속력 값은 예를 들어 시내의 경우 '소통원활'에 해당하는 값을 평균속력으로 가정하였고, 상황 변화에 따라 감소되어 비용이 증가하는 경우를 고려하여 이동계획 수립에 초점을 두었다. 평균속력 이상의 경우로 가속하는 것은 교통 관련법에 위반되므로 본 연구에서는 이를 배제하였다. 그러나 실제적인 활용의 경우에는 실시간으로 측정되는 구간별 평균속력을 이용하여 상황을 고려한 경로계획에 응용이 가능하다.

즉, 이동시간 추정을 위한 상황별 감속률은 상황구분에 따른 상황 값들에 근거하여 가정할 수 있다. 상황변수인 혼잡, 공사, 사고 및 날씨 등은 이동차량의 외부환경에 따라 변화하는 상황으로 차량 스스로 통제 할 수 없다. 이와 같은 상황을 고려한 상황기반 경로계획 수립에서의 이동비용은 운행 상황에 따른 이동시간으로 가정한다. 각 구간별 이동시간은 속력에 영향을 받으므로 교통 흐름으로 인해 속력에 영향을 줄 수 있는 상

황들을 정의하고 각 상황에 해당하는 상황별 감속률을 정의한다. 상황별 감속률은 한국도로공사의 속력자료(<http://www.roadplus.co.kr/main.do>) 및 재해대비계획(<http://incheon.go.kr/bangjae/ervlet/main>) 등의 자료에 근간한다.

예를 들어, 한국도로공사의 교통대책 상황에 따르면 적설량이 2cm 미만인 경우 평상시 운행속도의 20% 감속 운행을 권고하고 있으며, 2cm 이상인 경우 운행속도의 50% 감속 운행을 권고하고 있다. 그러나 기상청의 날씨정보의 분류는 도로공사의 교통상황 분류와는 다른 정보체계를 가지고 있어 날씨와 도로상황 정보간의 대응을 통한 정보 활용을 위해서는 자료의 가공이 요구된다. 혼잡의 경우는 시내도로와 고속화 도로에 따라 상황구분인 정체, 지체, 서행 및 소통원활에 따른 상황 값의 정의가 각각 다르다. 예를 들어, 시내에서 20km 이내인 경우 지체에 해당하나, 고속화 도로에서는 정체에 해당한다. 소통원활의 경우도 시내도로인 경우 60km 이상이지만, 고속화 도로의 경우 80km 이상을 소통원활로 본다. 공사 및 사고 상황의 경우도 <표 2>에서 제시한 바와 같이 다양한 상황이 발생가능하나 실제적으로 차량의 속력에 영향을 미치는 것은 공사 및 사고에 따른 차선의 불용도이다. 본 연구에서 이동 차량의 감속률은 차선의 불용도에 비례한다고 가정한다. 전 차선이 주행 불가할 때는 감속이 1로서 차량의 속력이 0인 정지한 상태가 된다. 시내도로의 혼잡상황인 정체는 시속 10km 이내의 상황 값으로 이는 소통원활이 시속 60km로 가정한다면 5/6에 해당한다. 따라서, 감속률은 0.83로 계산할 수 있으며, 지체는 시속 20km로 4/6에 해당되어 감속률은 0.67, 서행은



<그림 4> 사고정보(자료원: 한국도로공사)

시속 50km로 1/6이 감속되어 감속률은 0.17로 둘 수 있다. 같은 방법으로 고속화 도로의 경우 소통원활을 시속 100km로 둘 때 정체는 0.7, 지체는 0.6, 서행은 0.5의 감속률이 된다. 날씨에서 눈의 적설량이 10cm 이상일 때 교통제한 및 운행정지에 해당되어 해당도로를 사용하는 것이 불가능하다고 가정하고 감속률은 1로 하였다. 이에 따른 각 상황의 상황 값에 의한 이동 차량의 세부적인 상황별 감속률은 <표 3>과 같다.

상황별 감속률을 근거로 각 상황을 반영하는 차량의 속력과 이동시간 추정을 수식으로 표현하기로 한다. 이를 위해 출발지점에서 도착지점에 해당하는 구간 내에서 차량이 이동하는 동안의 상황에 대해 출발지점에서 예측한 해당 구간 내에서의 상황이 도착지점에 도착할 때까지 지속된다고 가정한다. 또한, 두 개 이상의 상황이 동시에 발생하는 복합상황의 경우는 감속효과가 가승적으로 영향을 미친다고 가정한다. 이를 표현하기 위해 필요한 수학적 기호와 수식은 다음과 같다.

- x, y : 위치 색인을 의미하며, (x, y) 는 x 에서 y 로의 경로로 구간 내에서 상황이 동일함.
- k : 상황 색인으로 $k \in K(x, y)$ 이며, $K(x, y)$ 는 $(x,$

$y)$ 경로 상의 상황 집합을 의미함.

$S_0(x, y)$: 거리 기반 환경에서 x 에서 y 까지의 이동 거리, $S_0(x, y) = S_0(y, x)$.

$V_0(x, y)$: 거리 기반 환경에서 (x, y) 경로 상의 평균 이동 속력, $V_0(x, y) = V_0(y, x)$.

$T_0(x, y)$: $S_0(x, y)$ 를 $V_0(x, y)$ 로 이동할 때 소요되는 거리 기반 이동 시간.

$V(x, y; k; t_x)$: 상황 기반 환경에서 x 지점에서 시점 t_x 에서, 상황요인 k 를 반영할 때 (x, y) 경로 상의 평균 이동 속력.

$T(x, y; k; t_x)$: 상황 기반 환경에서 $S_0(x, y)$ 를 $V(x, y; k; t_x)$ 로 이동할 때 소요되는 시간.

$\alpha(x, y; k; t_x) = V(x, y; k; t_x) / V_0(x, y)$: x 지점에서 시점 t_x 에서 (x, y) 경로 이동 시에 k 상황에 의해 이동속력이 줄어드는 감속률, $0 \leq \alpha(x, y; k; t_x) \leq 1$.

$C_n(y, z)$: 최초 출발지에서 n 단계의 (y, z) 경로 상에 있는 출발지 y 를 거쳐 도착지 z 까지 가는데 걸리는 총 이동시간

감속효과가 가승적으로 영향을 미치는 복합상황 기반 속력의 변화 $V(x, y; K(x, y); t_x)$ 와 구간별 이동 소요시간 $T(x, y; K(x, y); t_x)$ 는 각각 식 (1), 식 (2)와 같다.

도시별 현재날씨

시간: 종합** 2008.08.12.10:00 NOW -12시간 -3시간 -1시간 +1시간 +3시간 +12시간

[기상실황표] 2008년 8월 12일 10시

지 점	날씨			기온(°C)			강수		바람		기압(hPa)			
	현재일기	시정 km	운량 1/10	중하 운량	현재 기온	이슬점 온도	볼래 지수	일강수 mm	습도 %	풍향	풍속 m/sec	해면 기압	변화 경향	기압 변화량
서울	흐림	16	9	4	25.6	22.0	76	62.0	81	북동	3.0	1009.6		
백령도	구름많음	15	8	5	25.6	24.5	77	3.5	94	남동	2.6	1009.0		
동두천	비 끝남	15	10	6	25.0	23.0	76	17.0	89	서남서	2.1	1009.4		
문산	흐림	12	10	4	25.9	23.3	77	17.0	86	동북동	0.8	1009.4		
인천	흐림	15	10	6	26.5	22.7	77	5.5	80	동남동	0.8	1009.1		
수원	비 끝남	12	9	6	27.1	24.5	79	19.5	86	동	3.9	1009.4		

<그림 5> 날씨정보(자료원: 기상청)

<표 3> 상황별 감속률 지식

상황 구분		상황 값		감속률
혼잡	시내도로	정체	시속 10km 이내	감속 0.83
		지체	시속 20km 이내	감속 0.67
		서행	시속 30~50km	감속 0.17
		소통원활	시속 60km 이상	감속 0
	고속화도로 (고속도로, 전용차로, 간선도로)	정체	시속 20~30km	감속 0.7
		지체	시속 30~40km	감속 0.6
		서행	시속 40~50km	감속 0.5
		소통원활	시속 80~100km	감속 0
공사	차선 불용도 f/n , $f=1, 2, \dots, n$ (n : 이동 차선 수, f : 불용 차선 수)		감속 f/n	
사고	차선 불용도 f/n , $f=1, 2, \dots, n$ (n : 이동 차선 수, f : 불용 차선 수)		감속 f/n	
날씨	비(강수량)	매우조금	강수량 1mm 미만	감속 0
		조금	강수량 5mm 미만	감속 0.1
		다소	강수량 5~20mm 미만	감속 0.3
		다소 많음	강수량 20~80mm 미만	감속 0.5
		많음	강수량 80mm 이상: 주의보	감속 0.6
		매우 많음	강수량 150mm 이상: 경보	감속 0.7
	눈(적설량)	매우조금	신적설량 0.2cm 미만	감속 0.2
		조금	신적설량 1cm 미만	감속 0.2
		다소	신적설량 1~5cm 미만	감속 0.5
		다소 많음	신적설량 5~10cm 미만	감속 0.7
		많음	신적설량 10~20cm 미만	감속 1
		매우 많음	신적설량 20cm 이상	감속 1
	바람(풍속 m/s)	매우 약	1 이하(최대순간 풍속 2이하)	감속 0
		약	2~4(최대순간 풍속 3~7)	감속 0
		다소	5~8(최대순간 풍속 8~12)	감속 0
		다소 강	9~12(최대순간 풍속 13~18)	감속 0.1
		강	13~17(최대순간 풍속 19~25) : 강풍 주의보	감속 0.3
		매우 강	18 이상(26 이상): 강풍 경보	감속 0.4
	가시거리 (안개, 폭설, 폭우 등)	짧음	100m 이내	감속 0.7
		다소	100~500m 이내	감속 0.5

$$V(x, y; K(x, y); t_x) = V(x, y) \prod_{k \in K(x, y)} \{1 - \alpha(x, y; k; t_x)\} \quad (1)$$

$$T(x, y; K(x, y); t_x) = T(x, y) / \prod_{k \in K(x, y)} \{1 - \alpha(x, y; k; t_x)\} \quad (2)$$

최초 출발지에서 n 단계의 (y, z) 경로 상에 있는 출발지 y 를 거쳐 도착지 z 까지 가는데 걸리는 총 이동시간 $C_n(y, z)$ 는

$$C_n(y, z) = \begin{cases} T(y, z, K(y, z); t_y) & \text{for } n = 1, \\ C_{n-1}(y, z) + T(y, z, K(y, z); t_y) & \\ \text{for } n \geq 2. \end{cases} \quad (3)$$

3.3 상황 기반 경로계획 최적화 알고리즘

동적 계획법에 기반한 상황 기반 경로계획 알고리즘은 초기화, 각 구간별 이동시간 추론, 최적 경로 출력의 세 단계로 나누어진다. 초기화 과정에서는 출발지, 목적지, 경로 단계를 초기화한다. 경로 단계별 구간별 이동시간은 이동 중 발생 가능한 상황을 고려하여 추론한다. 추론된 경로들은 목적지부터 출발지까지 백트래킹 과정으로 최적 경로 상의 도시를 순서대로 제시한다. <표 4>는 상황 기반 경로계획 알고리즘을 나타낸 것이다.

IV. 상황 기반 경로계획의 예와 효과검증

4.1 상황예측의 예

임의의 도시를 오전 9시에 출발하여 임의의 도착지에 가장 빨리 도착할 수 있는 최적 경로를 찾고자 한다. <그림 6>은 상황 기반 최적 경로계획의 예시를 위한 13개 도시에 대한 연결망, 이동 시간 및 9시 부터 24시까지의 각 상황을 나타낸 것이다. 북부지역인 1, 2, 3, 5, 8, 11은 비가 다소 오는 편(감속률 = 0.3)으로 예보되고 있으며, 3에서 5로, 그리고 10에서 7로 가는 도로에서

는 9시 직전에 차선불용도가 2/4인 사고(감속률 = 0.5)가 나서 10시경에 처리가 완료될 예정이다. 한편, 4에서 6, 7에서 9로 가는 도로에는 9시부터 10시 까지 차선불용도가 2/4인 공사(감속률 = 0.5)가 예정되어 있다. 또한, 3과 5, 3과 6, 7과 10사이의 도로에는 왕복으로 9시 부터 10시, 16시 부터 20시 까지 혼잡한 상황으로 정체(감속률 = 0.5)가 예상되고 있다. <표 5>는 구체적인 각 상황을 기술한 것이다.

4.2 경로계획과 효과검증

경로계획을 위해, 앞서 언급한 바와 같이 이동 상황은 각 구간별 출발시점에서의 상황이 각 구간 내에서는 동일하다고 가정한다. 따라서, 상황 기반 구간별 이동 소요시간과 총 이동시간은 식 (2)와 식 (3)을 이용한다.

도시 3을 9시에 출발하여 도시 7로 가는(도시 3, 도시 7) 경로를 고려해 보자. <그림 7>은 거리 기반과 복합상황 환경에서의 최적 경로를 각각 나타낸 것이며, <표 6>은 (도시 3, 도시 7) 경로 간 거리 기반과 복합상황 기반에서의 총 이동시간을 비교한 것이다. 거리 기반의 최적 경로는 3 → 5 → 7로 총 1.3시간이 소요된다. 각 구간별로 보면 3 → 5구간은 0.8시간, 5 → 7구간은 0.5시간이 소요된다. 한편, 복합상황에서의 최적 경로는 3 → 6 → 7로 총 3.2시간이 소요될 것으로 추정된다. 각 구간별로 보면 3 → 6구간은 1시간 × 1/(1 - 0.5(혼잡상황의 감속률)), 6 → 7구간은 0.6시간 × 1/(1 - 0.5(혼잡상황의 감속률))이 소요된다. 그런데, 거리 기반의 최적 경로인 3 → 5 → 7이 복합상황이 적용될 때는 각 구간별로 3 → 5구간은 0.8시간 × 1/((1 - 0.3(날씨상황의 감속률)) × (1 - 0.5(사고상황의 감속률))) × (1 - 0.5(혼잡상황의 감속률))로 4.57시간이 경과되고, 5 → 7구간은 공사가 끝난 뒤에 지나게 됨으로 감속요인이 없기 때문에 0.5시간이 걸린다. 따라서, 거리 기반 최적 경로로 실제 이동 시의 상황에 의해 최적

<표 4> 상황 기반 경로계획 알고리즘

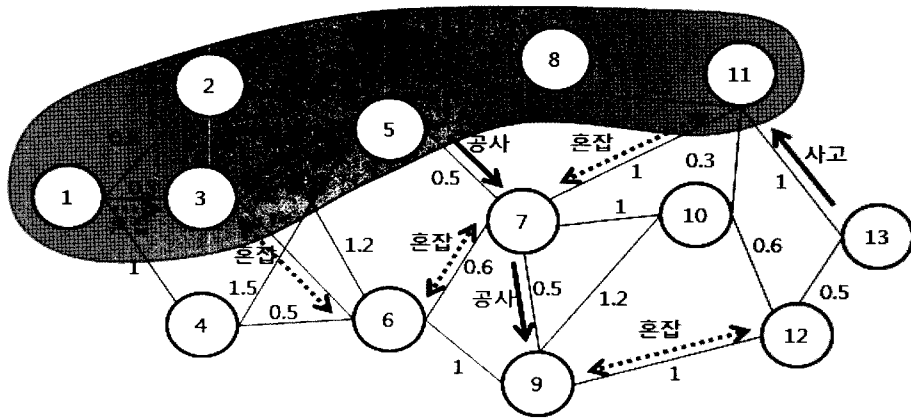
```

// Step 1: 초기화
Set  $s$ (출발지),  $g$ (목적지),  $t_s$ (출발지 출발시간);
// 경로단계의 초기화
Set  $n \leftarrow 0$ ;
// 각 경로상의 출발지 초기화
 $X \leftarrow \{s\}$ ;

// Step 2: 경로 단계별 구간별 이동시간 추론
While  $X \neq \phi$ 
  // 경로단계 증가
   $n \leftarrow n + 1$ ;
  // 각 경로 상의 모든 도착지 초기화
   $Z \leftarrow \phi$ 
  searchStop  $\leftarrow$  false
  For each  $x \in X$ 
    // 각 경로 상의 출발지  $x$ 와 연결된 모든 도착지 추출
     $Y \leftarrow$  getPathCity( $x$ );
     $Z \leftarrow Z \cup Y$ 
    For each  $y \in Y$ 
      // ( $x, y$ ) 경로 간 거리 기반 이동시간 추출
       $T_n(x, y) \leftarrow$  extractDistanceBasedTime( $x, y$ )
      // ( $x, y$ ) 경로 내의 상황 인식
       $K(x, y) \leftarrow$  recognizeContext( $x, y$ )
      // ( $x, y$ ) 경로 간 상황별 감속률에 따른 상황 기반 이동시간 추론
       $T(x, y; K(x, y); t_s) \leftarrow$  inferContextBasedTime( $x, y, K(x, y), t_s$ )
      // 출발지  $s$ 에서  $x$ 를 경유한  $y$ 까지의 총 이동시간 계산
       $C_n(x, y) \leftarrow$  calculateTotalTime( $x, y$ );
      // 각 단계별 정보 기록
      Store  $n, x, y, C_n(x, y)$ ;
    End For
  End For
  If  $g \in Y$ 
    // 목적지까지의 여러 경로 중 최소 이동시간과 해당 경로 추출
     $\{minGoalTime, g^*\} \leftarrow$  getMinGoal( $g$ )
    //  $n$ 단계까지의 모든 경로( $g^*$  제외)가  $g^*$ 의 최소 이동시간보다 크면 경로탐색 종료
    If  $minGoalTime < getMinPath(Z)$ 
      searchStop  $\leftarrow$  true;
    End If
  End If
  If searchStop = true
    Break;
  End If
End For
If searchStop = true
  Break;
End If
// 도착지를 새로운 출발지로 지정
 $X \leftarrow Z$ 
End While

// Step 3: Back tracking에 의한 최적 경로 출력
// 경로 상의 도착지 초기화
 $P \leftarrow \phi$ 
// 목적지까지의 최적 경로 단계 추출
 $m \leftarrow$  getStep( $g^*$ )
 $y = g$ 
 $P \leftarrow P \cup \{y\}$ 
 $n \leftarrow m$ 
While  $n > 0$ 
  //  $n$  경로단계에서 경로상의  $y$ 까지의 총 이동시간이 가장 짧은  $x$  추출
   $x \leftarrow$  getMinCity( $y, n$ );
   $P \leftarrow P \cup \{x\}$ 
   $y \leftarrow x$ 
   $n \leftarrow n - 1$ ;
End While

```



<그림 6> 도시간 상황지도

<표 5> 9시~24시 사이의 도시 간 발생 또는 예정 상황과 감속률

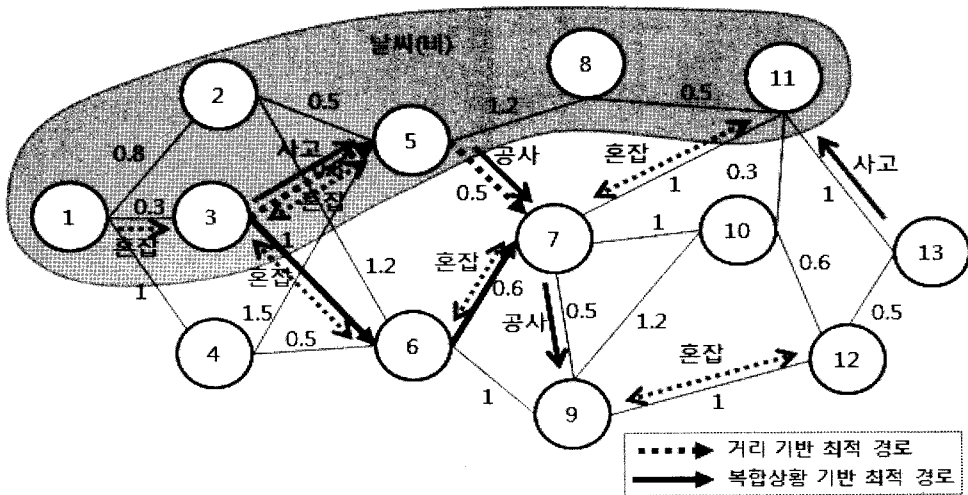
출발지	도착지	상황 구분	상황 값	상황발생(예정)시간	상황종료예정시간	감속률*
1(2)	2(1)	날씨(비)	다소	09:00	22:00	0.3
1(3)	3(1)	날씨(비)	다소	09:00	22:00	0.3
2(5)	5(2)	날씨(비)	다소	09:00	22:00	0.3
3(5)	5(3)	날씨(비)	다소	09:00	22:00	0.3
5(8)	8(5)	날씨(비)	다소	09:00	22:00	0.3
8(11)	11(8)	날씨(비)	다소	09:00	22:00	0.3
3	5	사고	차선불용도 2/4	09:00	10:00	0.5
13	11	사고	차선불용도 2/4	09:00	10:00	0.5
5	7	공사	차선불용도 2/4	11:00	13:00	0.5
7	9	공사	차선불용도 2/4	09:00	14:00	0.5
1	3	혼잡(고속화도로)	서행	09:00	11:00	0.5
3(5)	5(3)	혼잡(고속화도로)	서행	09:00	20:00	0.5
3(6)	6(3)	혼잡(고속화도로)	서행	09:00	20:00	0.5
6(7)	7(6)	혼잡(고속화도로)	서행	09:00	20:00	0.5
7(11)	11(7)	혼잡(고속화도로)	서행	09:00	20:00	0.5
9(12)	12(9)	혼잡(고속화도로)	서행	09:00	20:00	0.5

주) *는 상황 값에 대응하는 <표 1>의 감속률을 의미함.

경로가 아닌 경우가 발생하게 되어 이동비용이 더 들게 되는 예를 볼 수 있다.

거리 기반의 최적 경로가 각 상황이 적용됨에

따라 최적 경로와 이동시간이 변하는 현상을 상세히 보기 위하여 <표 7>과 같이 (도시 1, 도시 13)간 최적 경로와 이동시간을 각 모형별로 살펴



<그림 7> (도시3, 도시7)의 최적 경로 비교

<표 6> (도시 3, 도시 7) 경로간 거리 기반과 복합상황 기반의 총 이동시간 비교(단위: hr)

경로	거리 기반 이동시간	복합상황 기반 이동시간
3 → 5 → 7	1.3	5.07
3 → 6 → 7	1.6	3.2

<표 7> (도시1, 도시13)에 대한 모험별 최적 경로와 이동시간(단위: hr)

모형 구분		최적 경로 (이동시간)	거리 기반 최적 경로(a)에 대한 상황 적용 시의 이동시간
거리 기반		1→3→5→7→9→12→13 ^a (3.6)	-
단일상황 기반	날씨 상황	1→4→6→9→12→13 ^a (4.0)	4.07
	사고 상황	1→4→6→9→12→13 ^a (4.0)	4.4
	공사 상황	1→4→6→9→12→13 ^a (4.0)	4.1
	혼잡 상황	1→2→5→7→10→12→13 ^a (4.24)	6.34
복합상황 기반		1→2→5→7→10→12→13 ^a (4.46)	8.93

본다. 거리 기반 최적 경로는 1 → 3 → 5 → 7 → 9 → 12 → 13로 이동시간은 3.6시간이 소요된다.

날씨상황에서는 최적 경로가 1 → 4 → 6 → 9 → 12 → 13로 이동시간은 4.0시간이 소요되며, 거리

기본 최적 경로 1 → 3 → 5 → 7 → 9 → 12 → 13 을 지날 때는 4.07시간으로 0.07시간이 더 걸리게 된다. 사고, 공사, 혼잡의 단일상황에 맞는 최적 경로와 이동시간은 1 → 4 → 6 → 9 → 12 → 13 (4.0시간), 1 → 4 → 6 → 9 → 12 → 13(4.0시간), 1 → 2 → 5 → 7 → 10 → 12 → 13(4.24시간)가 되며, 복합상황은 1 → 2 → 5 → 7 → 10 → 12 → 13(4.46 시간)로 여러 상황이 겹침으로 인해 최적 경로 이동시간도 증가하게 된다. 거리 기반 최적 경로가 사고, 공사, 혼잡, 복합상황이 적용되면 실제 이동시간은 각각 4.4시간, 4.1시간, 6.34시간, 8.93 시간으로 더 길게 됨을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하는 상황 기반 최적 경로의 유용성을 보이기 위해 거리 기반 최적 경로의 오차와 상황 기반 최적 경로의 효과 측정을 위한 지표를 제시하였다. 지표에 관련된 표기의 정의는 다음과 같다.

$T_{\text{거리 기반 최적 경로}}$: 거리 기반 최적 경로의 이동시간.

$T_{\text{거리 기반 최적 경로의 상황 적용}}$: 거리 기반 최적 경로에 대한 상황 적용 시의 이동시간.

$T_{\text{상황 기반 최적 경로}}$: 상황 기반 최적 경로의 이동시간.

거리 기반 최적 경로의 오차는 식 (4)와 같이 거리 기반 최적 경로에 대한 상황 적용 시의 이동시간 대비 그 값과 거리 기반 최적 경로의 이동시간 차이로 측정할 수 있다. 오차 값이 0이면 거리 기반 최적 경로가 상황이 주어지더라도 같은 값을 갖는다는 것을 의미한다. 한편, 1에 가까우면 가까울수록 거리 기반 최적 경로가 실제 이동 시에는 상황에 의해 더 많은 지체가 생겨 그 차이가 큼을 의미한다. 한편, 상황 기반 최적 경로의 효과는 식 (5)와 같이 거리 기반 최적 경로에 대한 상황 적용 시의 이동시간 대비 그 값과

상황 기반 최적 경로의 이동시간 차이로 측정할 수 있다. 효과치가 0이면 상황 기반 최적 경로로 이동하는 것은 거리 기반 최적 경로에 상황이 적용된 이동시간과 큰 차이가 없기 때문에 효과가 적다는 것을 의미한다. 한편, 1에 가까울수록 상황 기반 최적 경로의 이동시간은 거리 기반 최적 경로가 실제 이동 시 상황에 의해 지체되는 이동시간에 비해 훨씬 작으며, 따라서 상황 기반 최적 경로로 이동하는 것이 효과가 큼을 의미한다.

거리 기반 최적 경로 오차(%)

$$= (T_{\text{거리 기반 최적 경로의 상황 적용}} - T_{\text{거리 기반 최적 경로}}) \times 100 / T_{\text{거리 기반 최적 경로의 상황 적용}} \quad (4)$$

상황 기반 최적 경로 효과(%)

$$= (T_{\text{거리 기반 최적 경로의 상황 적용}} - T_{\text{상황 기반 최적 경로}}) \times 100 / T_{\text{거리 기반 최적 경로의 상황 적용}} \quad (5)$$

복합상황에서의 거리 기반 최적 경로 오차와 복합상황에서의 상황 기반 최적 경로 효과를 검증하기 위하여 <표 8>과 같이 20번의 실험을 통해 출발지와 도착지에 대한 이동시간을 측정하여 비교하였다. 이동시간은 거리 기반 최적 경로의 거리 기반 최소 이동시간, 상황 기반 최적 경로의 상황 기반 최소 이동시간을 비교하였다. 효과적 실험을 위하여 <그림 7>과 <표 5>의 도시간 경로 및 상황을 MS Access 데이터베이스에 저장하고 Java 어플리케이션을 개발하여 20 가지의 출발지와 도착지를 무작위로 추출하여 최적 경로와 이동시간을 측정하였다.

실험번호1은 도시 3에서 도시 7까지의 경로에 대한 실험으로 거리 기반 최적 경로는 3 → 5 → 7로, 1.3시간이 소요된다. 같은 경로가 복합상황이 적용되는 실제 상황에서는 5.08시간으로 더 많은 시간이 소요되게 된다. 그런데, 복합상황 기반 최적 경로 3 → 6 → 7을 지나면 3.2시간이 소요되어 실제 상황에서 더 짧은 시간으로 이동

<표 8> 모형별 최적 경로와 이동시간

실험번호	(출발지, 도착지)	최적 경로(이동시간(hr))	
		거리 기반	복합상황 기반
1	(3, 7)	3 → 5 → 7 (1.3 ^b , 5.08 ^c)	3 → 6 → 7 (3.2)
2	(1, 13)	1 → 3 → 5 → 7 → 9 → 12 → 13 (3.6 ^b , 8.93 ^c)	1 → 2 → 5 → 7 → 10 → 12 → 13 (4.46)
3	(3, 13)	3 → 5 → 7 → 9 → 12 → 13 (3.3 ^b , 8.08 ^c)	3 → 6 → 9 → 10 → 12 → 13 (5.3)
4	(1, 9)	1 → 3 → 5 → 7 → 9 (2.1b, 6.43 ^c)	1 → 4 → 6 → 9 (2.5)
5	(4, 11)	4 → 6 → 7 → 11 (2.1b, 3.7 ^c)	4 → 6 → 9 → 10 → 11 (3.0)
6	(13, 9)	13 → 12 → 9 (1.5b, 2.5 ^c)	13 → 12 → 10 → 9 (2.3)
7	(13, 7)	13 → 12 → 9 → 7 (2.0 ^b , 3.0 ^c)	13 → 12 → 10 → 7 (2.1)
8	(1, 10)	1 → 3 → 5 → 7 → 10 (2.6 ^b , 6.93 ^c)	1 → 2 → 5 → 7 → 10 (3.36)
9	(11, 6)	11 → 7 → 6 (1.6 ^b , 3.2 ^c)	11 → 10 → 9 → 6 (2.5)
10	(5, 11)	5 → 7 → 11 (1.5 ^b , 2.5 ^c)	5 → 7 → 10 → 11 (1.8)
11	(1, 11)	1 → 3 → 5 → 7 → 11 (2.6 ^b , 7.93 ^c)	1 → 2 → 5 → 7 → 10 → 11 (3.66)
12	(2, 11)	2 → 5 → 7 → 11 (2.0 ^b , 3.22 ^c)	2 → 5 → 7 → 10 → 11 (2.51)
13	(1, 5)	1 → 3 → 5 (1.1 ^b , 5.43 ^c)	1 → 2 → 5 (1.86)
14	(4, 13)	4 → 6 → 9 → 12 → 13 (3.0 ^b , 4.0 ^c)	4 → 6 → 7 → 10 → 12 → 13 (3.8)
15	(2, 13)	2 → 5 → 7 → 9 → 12 → 13 (3.0 ^b , 4.65 ^c)	2 → 5 → 7 → 10 → 12 → 13 (3.32)
16	(5, 13)	5 → 7 → 9 → 12 → 13 (2.5 ^b , 4.0 ^c)	5 → 7 → 10 → 12 → 13 (2.6)
17	(1, 7)	1 → 3 → 5 → 7 (1.6 ^b , 5.93 ^c)	1 → 2 → 5 → 7 (2.36)
18	(13, 5)	13 → 12 → 9 → 7 → 5 (2.5 ^b , 3.5 ^c)	13 → 12 → 10 → 7 → 5 (2.6)
19	(7, 1)	7 → 5 → 3 → 1 (1.6 ^b , 3.22 ^c)	7 → 5 → 2 → 1 (2.36)
20	(6, 13)	6 → 9 → 12 → 13 (2.5 ^b , 3.5 ^c)	6 → 9 → 10 → 12 → 13 (3.30)

주) b는 거리 기반 최적 경로의 이동시간을, c는 거리 기반 최적 경로에 상황 적용 시의 이동시간을 의미함.

할 수 있다. 즉, 거리 기반 최적 경로 오차는 식 (4)에서 $(5.08-1.3) \times 100 / 5.08 = 74.4(\%)$ 이며, 복합상황 기반 최적 경로 효과는 식 (5)에서 $(5.08-3.2) \times 100 / 5.08 = 37.0(\%)$ 가 된다. 20번의 실험에 대한 거리 기반 최적 경로의 평균오차는 49.6%로 거리 기반 최적 경로가 실제 이동 시는 그 보다 상당히 큰 이동시간을 감수해야 함을 알 수 있다. 이에 비해, 복합상황 기반 최적 경로의 평균효과는 33.5%로 실제 상황에서 거리 기반 최적 경로를 택했을 때 보다 훨씬 경제적으로 이동할 수 있음을 알 수 있다.

비교 대상이 되는 두 모형 간 이동시간 차이의 여부를 분석하였다. 각 모형의 표본 수가 20개로 적기 때문에 Wilcoxon 부호순위검정의 비모수 통계분석을 이용하여 이동시간 차이를 검증하였다. 먼저, 거리 기반 최적 경로 이동시간과 거리 기반 최적 경로에 복합상황이 적용될 때의 이동시간 비교를 위해 다음 가설 1을 설정하였다.

H_0 : 거리 기반 최적 경로의 이동시간과 거리 기반 최적 경로에 복합상황이 적용될 때의 이동시간은 차이가 없다.

H_1 : 거리 기반 최적 경로에 복합상황이 적용될 때의 이동시간은 거리 기반 최적 경로의 이동시간보다 크다.

검정결과, 부호순위통계량 $T^+ = 210$ 에 대한 정규근사치 $Z = 4.38 \geq 1.65$ 이므로 가설 1의 귀무가설 H_0 가 기각된다. 즉, 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 거리 기반 최적 경로가 복합상황이 적용되면 이동시간은 증가한다고 할 수 있다. 한편, 거리 기반 최적 경로에 복합상황이 적용될 때의 이동시간과 복합상황 기반 최적 경로의 이동시간 비교를 위해 다음 가설 2를 설정하였다.

H_0 : 복합상황 기반 최적 경로의 이동시간과 거리 기반 최적 경로에 복합상황이 적용

될 때의 이동시간은 차이가 없다.

H_1 : 거리 기반 최적 경로에 복합상황이 적용될 때의 이동시간은 복합상황 기반 최적 경로의 이동시간보다 크다.

T^+ 는 가설 1의 결과와 같기 때문에 가설 2의 귀무가설 H_0 가 기각된다. 즉, 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 거리 기반 최적 경로에 복합상황이 적용될 때의 이동시간이 복합상황 기반 최적 경로의 이동시간보다 크다고 할 수 있다.

실험결과, 외부 상황이 도로에 영향을 미치면 최소 이동시간을 갖는 최적 경로는 상황에 따라 달라질 수 있고, 이동시간이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 상황에 따라 최적해는 다양하게 변하게 되는데, 본 연구에서 제시한 상황 기반 최적 경로는 현실적으로 유용하게 응용될 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 차량이 이동 중에 직면할 수 있는 다양한 상황변화들을 고려한 상황기반 경로 계획 최적화 모형을 제시하였다. 유비쿼터스 환경에서는 상황인식에 의해 차량이 이동 중에 발생하는 다양한 상황변화를 인식할 수 있으며, 이를 활용하여 비용의 변화를 경로계획에 동적으로 반영하는 것이 가능하므로 이를 경로 계획에 반영하는 것이 매우 중요하다.

상황기반의 경로계획을 위해 각 경로 상의 상황 인식, 상황별 감속률 지식을 이용한 단일상황 및 복합상황에서의 이동시간 추정, 그리고 동적 계획법의 최적 경로계획 알고리즘을 이용한 세 단계의 경로계획 연구모형과 지식학의 방법을 제시하였다.

또한, 다수 상황에서의 실험과 Wilcoxon 부호 순위검정의 비모수 통계분석을 통해 기존의 거리 기반보다는 상황 기반의 경로계획이 더 효과적임을 검증하였으며, 단일상황보다는 복합상황

을 반영하는 것이 더 현실적임을 보였다. 즉, 배송 프로세스에서 발생할 수 있는 상황 이외에 배송 중 도로상황에 영향을 미치는 환경의 변화에 따른 상황을 경로계획에 반영하는 것이 보다 효과적임을 실험을 통해 확인하였다.

실제적으로, 본 연구에서 제시된 모형은 배송 차량의 배송경로 수립이나 물류 등에서 배송비용 등의 절감을 위해 매우 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구는 법정 최적 속도에 기반해서 복

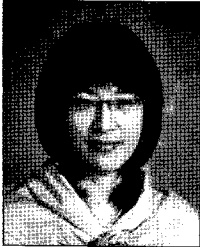
합상황에서의 감속효과가 가승된다는 가정 하에 이루어졌다. 그러나, 유비쿼터스 컴퓨팅이 실생활 적용화 속도가 빠르게 진행되면서 해당구간 시간대 등에 따라 바뀌는 평균속도에 따라 감속효과뿐 아니라 가속효과에 따른 비용 증감에 대한 연구가 향후에 요구된다. 또한, 이동 상황 중에 발생할 수 있는 다양한 상황에 따른 상황별 감속률의 지식화를 위해 도로 및 날씨에 관한 정확한 정보수집 방법론 등에 대한 고려도 필요하다.

〈References〉

- [1] Bellmore, M. and Nemhauser, G.L., "The Traveling Salesman Problem: A Survey," *Operations Research*, Vol. 16, 1968, pp. 538-558.
- [2] Borriello G., Chalmers, M., LaMarca, A. and Nixon, P., "Delivery Real-World Ubiquitous Location Systems," *Communication of the ACM*, Vol. 48, No. 3, March 2005, pp. 36-41.
- [3] Brown, P.J., Bovey, J.D. and Chen, X., "Context-Aware Applications: From the Laboratory to the Marketplace," *IEEE Personal Communications*, 1997, pp. 58-64.
- [4] Chang, Y.S. and Lee, H.J., "Vehicle Routing Based on Pickup and Delivery in a Ubiquitous Environment: u-MDPDPTW," *Korea Intelligent Information Systems*, Vol. 3, No.1, 2007, pp. 49-58.
- [5] Dey, A.K. and Abowd, G.D., "Toward a Better Understanding of Context and Context-Awareness," GVU Technical Report GIT--GVU-99-22, College of Computing, Georgia Institute of Technology, 2000.
- [6] Du, T.C., Li, E.Y. and Chou, D., "Dynamic Vehicle Routing for Online B2C Delivery," *Omega*, Vol. 33, 2005, pp. 33-45.
- [7] Gordon, B.D., "Anytime/Anyplace Computing and the future of knowledge work," *Communication of the ACM*, Vol. 45, No. 12, 2002, pp. 67-73.
- [8] Kang, Y.S., Oh, C., and Kim, B., "A Study on Direction and Strategy of Ubiquitous Environment for Transportation," ISBN 89-5503-210-2, The Korea Transport Institute, Nov. 2005.
- [9] Kim, J.H., Bae, J.S. and Kim, S.H., "Context-Aware Services in Next Generation Mobile Communication Networks," *ET Trends (ISSN 1225-6455)*, Electronic and Telecommunications Research Institute, Vol. 19, No. 3, June 2004, pp. 32-40.
- [10] Kim, K.O. and Lee, E.M., "A Study for Highway Operation and Control Methodology Utilizing Advanced Traffic Information," The Korea Transport Institute, April 2006.
- [11] Korkea-aho, M., "Context-Aware Applications Survey," In Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing, 2000.
- [12] Kranenburg, H.van, Salden, A., Eertink, H., Eijk, R.van and Heer, J.de, "Ubiquitous Attentiveness-Enabling Context-Aware Mobile

- Applications and Services," *LNCS 2875, Ambient Intelligence*, ISSN 0302-9743, 2003, pp. 76-87.
- [13] Kulkarni, R.V. and Bhawe, P.R., "Integer Programming Formulation of Vehicle Routing Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 20, 1985, pp. 58-67.
- [14] Larsen, A., Madsen, O.B.G. and Solomon, M.M., "Recent Developments in Dynamic Vehicle Routing Systems," In B. Golden, S. Raghavan, E. Wasil, *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Springer, 2008, pp. 199-218.
- [15] Lyytinen, K. and Yoo, Y., "Research Commentary: the Next Wave of Nomadic Computing," *Information Systems Research*, Vol. 13, No. 4, 2002, pp. 377-388.
- [16] Murty, K.G., *Operations Research: Deterministic Optimization Models*, Prentice Hall, 1995.
- [17] Oh, D.S. and Kim, D.h., "Ubiquitous Transportation Systems, UTS," *Nation Information Society Agency*, May 2008.
- [18] Oh. S.H., "KRIHS FOCUS_ITS: Intelligent Transportation Systems," *Korea Research Institute for Human Settlements*, Total Vol. 268, Feb. 2004.
- [19] Reynolds, J., *Logistics and Fulfillment for e-Business-A Practical Guide to Mastering Back Office Functions for Online Commerce*, CMP Books, New York, 2001.
- [20] Siewiorek, D.P., "New Frontiers of Application Design," *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 12, 2002, pp. 79-82.
- [21] Solomon, M.M. and Desrosiers, J., "Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems," *Transportation Science*, Vol. 22, No. 1, 1998, pp. 58-67.
- [22] Spreitzer M. and Theimer, M., "Scalable, Secure, Mobile Computing with Location Information," *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, 1993, pp. 27-28.

◆ About the Authors ◆



Hyun Jung Lee

Hyun Jung Lee is a Research Professor at Korea University Business School. She received her PhD at Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST). She has published several papers in journal of Decision Support Systems, Korea Intelligent Information Systems, and so on. She has also presented her papers in world class conferences. Her current interesting research issues are ubiquitous computing applications, service science, e-Commerce, intelligent information systems, and so on.



Yong Sik Chang

Yong Sik Chang is an Associate Professor in the Department of e-Business at Hanshin University. He received his PhD from Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST) and had industrial experiences of developing MIS and e-Commerce applications. He has authored several books on e-Commerce and published several papers in the following journals: Decision Support Systems, OMEGA, Expert Systems with Applications, Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce. His current research interests are in the fields of e-Commerce and intelligent information systems.