https://doi.org/10.21289/KSIC.2021.24.6.891

다기준의사결정기법과 수정 A-STAR 알고리즘을 이용한 목적지 최적경로 탐색 기법 개발

Development of Destination Optimal Path Search Method Using Multi-Criteria Decision Making Method and Modified A-STAR Algorithm

최미형[1], 서민호[2*], 우제승[3], 홍순기[4]

Mi-Hyeong Choi[1], Min-Ho Seo[2*], Je-Seung Woo[3], Sun-Gi Hong[4]

〈Abstract〉

In this paper, we propose a destination optimal route algorithm for providing route finding service for the transportation handicapped by using the multi-criteria decision-making technique and the modified A-STAR optimal route search algorithm. This is a method to set the route to the destination centering on safety by replacing the distance cost of the existing A-STAR optimal route search algorithm with the safety cost calculated through AHP/TOPSIS analysis. To this end, 10 factors such as road damage, curb, and road hole were first classified as poor road factors that hinder road driving, and then pairwise comparison of AHP was analyzed and then defined as the weight of TOPSIS. Afterwards, the degree of driving safety was quantified for a certain road section in Busan through TOPSIS analysis, and the development of an optimal route search algorithm for the transportation handicapped that replaces the distance cost with safety in the finally modified A-STAR optimal route algorithm was completed.

Keywords : TOPSIS Algorithm, AHP Analysis, A-STAR Algorithm, The Transportation Handicapped, Safety Cost

1 주저자, ㈜경성테크놀러지, 책임연구원
E-mail: mhchoi@topkst.co.kr
2* 교신저자, ㈜경성테크놀러지, 책임연구원
E-mail: mhseo@topkst.co.kr
3 ㈜경성테크놀러지, 선임연구원, 선임연구원
E-mail: jswoo@topkst.co.kr
4 ㈜경성테크놀러지, 대표이사
E-mail: sghong@topkst.co.k

1 Main Author, KST Inc, Senior Researcher
2* Corresponding Author, KST Inc, Senior Researcher
3 KST Inc, Senior Researcher
4 KST Inc, CEO

1. 서 론

주로 전동휠체어 등의 전동이동장치를 이용하여 이동을 하는 교통약자의 대부분은 노인 및 장애인으로 구성되어 있고 이들은 일반인들에 비해 거동이 힘들거나 인지능력이 부족하여 안전사고에 대한 대비가 부족한 것이 사실이다. 교통약자법이 제정된지 15년이 지났음에도 불구하고, 아직 교통약자의 이동권을 보장하는 교통인프라의 구축은 미비한 실정이고, 또한 국내 도로의 대부분은 일반인 및 비장애인에 맞춰 설계·시공되어 실질적으로 교통약자의 이동권에는 큰 제약이 따른다. 이러한 시점에 비록 자원봉사자를 중심으로 교통약자 전용 지도구축에 대한 사업이 근래 진행되고 있지만, 산업체 중심의 지리정보 구축 방법으로 인한 재정난과 자원봉사자에 의존하는 구축인력구조로는 지속적인 과업 진행이 어려운 여건이다. 한편 근래 출시되는 상용 길찾기 서비스는 대부분 최근거리 및 교통량을 산정하여 최적의 경로를 제공하기 때문에 전동이동보조장치를 이용하는 대부분의 교통약자는 이러한 서비스를 이용하기도 쉽지 않다. 예를 들어, 이동 중 도로파손 또는 포트홀 등의 불량노면구간이 발생할 경우 전동이동장치의 주행이 불가능하고, 이는 자칫 대형 안전사고로 연계되는 잠재적 위험을 내포한다. 따라서, 교통약자를 위한 전용지도 제작 방법에 대한 방안이 강구되고 있고 최근 AI 기술을 접목한 VGI(Volunteered Geographic Information) 기반의 크라우드 맵핑(Crowd Mapping) 방안이 제시되고 있으며, 공간정보산업분야를 중심으로 적용 가능성이 제기되고 있다. 이와 더불어, 최근 교통약자의 이동편의를 위한 시도로써 교통약자의 보행에 방해가 되는 장애물이나 이동지원시설 및 편의시설을 정의하고, 이들이 경로에 포함되었을 때 방해가 되는 정도를 계산하는 기술들이 개발되고 있다. 이러한 기술들을 응용할 경우 최적 경로 탐색시 고려되어야 할 물리적 요소들이 정의될 수 있으며, 이를 이용할 경우 교통약자의 이동편의를 위한 경로탐색 기술개발이 가능해진다. 요약하자면, 본 연구에서는 궁극적으로 크라우드 맵핑을 이용한 VGI 기반의 교통약자 전용 지도 제작을 목표로 교통약자의 이동을 저해하는 물리적 요소를 정의하고 AHP/TOPSIS 분석을 통해 이를 비용(cost)으로 산정하는 수정 A-STAR 최적 경로 알고리즘을 제안한다.

2. 대표적 최적경로탐색 알고리즘

2.1 Graph 알고리즘

초기 경로탐색 알고리즘은 그래프(graph) 알고리즘에서 시작한다[2][3]. 이는 그래프상의 노드(node)와 링크(link)의 정보를 이용하여 경로를 찾아내는 기본적인 알고리즘이다. 그래프 알고리즘은 단일 출발지 최단 경로 문제를 해결하기 위해서 적용하는 기본적인 기술은 초기화와 완화가 있다. 초기화는 지도에서 각 노드의 정보를 초기화하는 과정이고, 각 노드는 출발노드에서부터 N 노드까지 움직이면서 이동한 최단 거리 정보와 최단 거리에 대해서 N 노드의 이전 노드를 나타내는 부모 정보를 초기화하여야 한다. 최단 노드의 경우 값이 작은 노드를 저장하기 때문에 모든 노드의 최단노드 정보를 무한대로 초기화하고, 부모노드는 아무런 값도 가지지 않게 초기화를 수행한다. 단, 출발노드는 0으로 저장하여 최단노드의 정의에 부합하게 초기화한다. 완화는 최단 경로를 검색하는 데 중요한 기술이다. 링크를 완화하는 과정은 중간경로에서 최단 경로를 개선할 수 있는

지 검사하는 과정과 개선할 수 있다면 최단노드와 부모노드를 갱신하는 과정으로 이루어진다.

2.2 Bellman-Ford 알고리즘

벨만포드알고리즘(Bellman-Ford algorithm)은 리차드벨만(Richard Bellman)과 레스터 포드(Lester Ford)에 의해서 개발되었고[2], 그들의 이름을 따서 명명되었다. 벨만포드 알고리즘은 가중치가 있는 그래프에서 단일 출발지 최단 경로 문제를 해결하는 알고리즘이다. 이때 링크의 가중치는 음수일 수 있다. 음의 가중치를 갖는 링크로 이루어진 순환 경로가 존재하면 순환경로에서 벗어나지 못하고 최단 경로 탐색에 실패하게 된다. 그래서 벨만포드 알고리즘에서는 음의 순환경로 존재여부를 판단할 수 있도록 개발되었다. 만약 경로를 검색하다가 순환경로가 없다면 최단 경로를 결정하고, 음으로 이루어진 순환경로가 존재하면 경로를 찾을 수 없음을 결정한다.

2.3 Dijkstra 알고리즘

다익스트라 알고리즘(Dijkstra algorithm)은 모든 링크의 가중치가 음이 아닌 경우에 가중 방향 그래프에서 단일 출발점 최단 경로 문제를 해결한다[2][3]. 따라서 이 절에서 는 모든 링크에 대해 가중치가 양의 수임을 가정한다. 또 효율적으로 구현하면 다익스트라 알고리즘의 수행시간은 벨만포드 알고리즘보다 빠르게 구현할 수 있다. 다익스트라 알고리즘은 출발노드로부터의 최단노드가 이미 결정된 정점들의 집합 클로즈드 리스트(Closed list)를 유지 관리한다. 이 알고리즘은 반복적으로 최단노드가 가장 작은 정점을 선택해서 클로즈드 리스트에 더하고 현재노드로 만들어 현재노드로부터 떠나는 모든 링크를 완화한다.

3. 전동이동보조장치의 주행위험 항목 정의

교통약자가 탑승하는 전동보장치의 주행환경은 크게 주행안전구간, 주행불편구간, 주행불가구간으로 구분할 수 있고, 이는 각각의 대분류 항목에 따라 다시 세부 도로 항목별로 구분된다. 즉, 도로홀(포트홀) 등의 불량노면 항목은 주행구간에 하나라도 있으며, 안전상의 문제로 도로불가지역으로 구분되어야한다. 따라서, 본 절에서는 부산시 사상구 현지 조사와 교통약자의 쉐도잉 동행을 통해서 수집한 도로조사 결과를 토대로 각각의 항목을 Table 1과 같이 정리하였다. 본 논문에는 자체 개발한 도로조사용 차량을 이용하여 부산시 사상구 관내 약1,000km에 해당하는 구간을 link 단위로 앞서 언급된 10개 도로항목에 대해 조사를 수행하였다. 예를 들어, 부산시 사상구 백양대로를 조사할 경우 경계석, 도로홀, 측구, 맨홀 등을 조사하여 속성으로 정의하고 이후 다기준의사결정기법(Multi-Criteria Decision Making Method)을 적용하여 교통약자전용 전동보조장치의 운행에 유리한 조건을 가지는 도로구간을 등급화하기 위해 내림차순 순위화한다.

Table 1. poor road objects

Division	Main catgegory	Detailed category
Road	Items that cannot be driven	curb
		road hole
		stairway
	Inconvenience to driving	gutter
		manhole
		damaged road
		braille block
		road crack
	Driving safety items	partial ramp
		normal block

4. 수정 A-STAR 알고리즘

4.1 기본형 A-STAR 알고리즘

A-STAR 알고리즘은 시작 노드만을 지정해 다른 모든 노드에 대한 최단 경로를 파악하는 다익스트라 알고리즘과 다르게 시작 노드와 목적지 노드를 분명하게 지정해 이 두 노드 간의 최단 경로를 파악할 수 있는 최적경로 탐색 알고리즘으로 휴리스틱 추정값을 통해 알고리즘을 개선할 수 있다. 이러한 휴리스틱 추정값을 어떤 방식으로 제공하느냐에 따라 얼마나 빨리 최단 경로를 파악할 수 있느냐가 결정되며, 일반적인 A-SATR 알고리즘의 link별 가중치는 거리에 의해 결정되나, 본 논문에서 서술하는 교통약자 전용 테마길 추천 알고리즘은 부산시 특정 관내 도로 link별로 설정한 안전 비용(cost)을 통해 이를 구현할 수 있고, 안전 비용은 실 도로조사를 통해 수집한 불량노면 도로항목에 대해 AHP/TOPSIS 분석을 이용하여 산출한다[2][3].

4.2 수정 A-STAR 최적경로탐색기법 제안

본 논문에서 제안하는 최적경로탐색기법은 AHP와 TOPSIS를 응용하여 A-SATR 알고리즘의 비용 산정에서 주행도로의 안전성을 정량화하고 출발지에서 목적지까지의 최단비용을 발생시키는 경로를 최적경로로 탐색하는 방법이다. 이때 비용 산정은 AHP/TOPSIS 분석을 통해 도로안전등급을 순위화하고 0~1로 정규화과정을 거친 후 각 도로 link에 도로안전등급을 할당한다. 이후 A-STAR 알고리즘의 비용을 0~1로 정규화된 안전등급으로 정의되면서 수정 A-SATR 최적경로탐색 알고리즘이 완성된다. 아래는 AHP와 TOPSIS를 이용한 안전비용 산정방법을 서술한다.

4.2.1 AHP 분석

AHP는 '의사결정의 목표 또는 평가기준이 다수이며 복합적인 경우, 이를 계층(hierarchy)화해, 주요 요인과 그 주요 요인을 이루는 세부 요인들로 분해하고, 이러한 요인들을 쌍대 비교(pairwise comparison)를 통해 중요도를 산출하는 분석 방법'이며, 직관적으로, '다수의 속성들을 계층적으로 분류하여 각 속성의 중요도를 파악함으로써 최적 대안을 선정하는 기법'으로 정의할 수도 있는 다기준의사결정방법의 하나이다. AHP는 의사결정요소들의 속성과 그 측정 척도가 다양한 다기준 의사결정문제에 효과적으로 적용되어 의사결정자가 선택할 수 있는 여러 가지 대안들을 체계적으로 순위화를 시키고, 그 가중치(weight)를 비율척도(ratio scale)로 도출하는 방법을 제시한다. AHP는 1970년대 Pennsylvania University Wharton School의 Thomas L. Saaty 교수가 미 국무부의 무기통제 및 군비축소에 관한 의사결정의 비능률을 개선하기 위해 개발하였으며, 인간의 사고 체계와 유사한 접근 방법으로서 문제를 분석하고 분해해 구조화할 수 있다는 점에서 공공부문투자사업의 의사결정과정에 적극적으로 활용되고 있다. Saaty가 제안한 AHP는 이렇게 정량적인 분석이 곤란한 의사결정 분야에 전문가들의 정성적인 지식을 이용하여 경쟁되는 요소의 가중치 또는 중요도를 구하는데 유용하게 응용될 수 있다는 점에서 수리적인 기법만을 활용한 기타의 분석방법에 대해 강점을 가진다. AHP는 인간이 의사결정시 두뇌가 단계적 또는 위계적 분석과정을 활용한다는 사실에 착안하여 개발되었다. 연구 결과에 의하면 사람은 문제를 해결할 때 다음의 세 가지 원칙을 따른다고 한다[1].

- 계층(hierarchy)적 구조의 설정
- 상대적 중요도(weight)의 설정
- 논리적 일관성 유지의 원칙을 따름

이러한 AHP는 다기준의사결정방법의 한가지로서 다수의 대안에 대해 쌍대비교를 통해 우선순위를 결정하며, 본 논문에서는 10개 인자에 대해 쌍대비교(pairwise comparison) 설문조사를 통해 얻어진 결과를 토대로 중요도의 우선순위를 매긴다.

Table 2. AHP procedure

Step	Description
Step 1	purpose definition
Step 2	Criteria/Attributes idenrification
Step 3	Alternatives selection
Step 4	hierarchy creation
Step 5	questionnaire design
Step 6	pairwise comparison matrix generation using Saaty's 9-point scale

본 논문에서 AHP(Analytic Hierarchy Process)는 TOPSIS 분석에 이용되는 속성들의 가중치 결정을 위해 활용되며, 설문에 응할 집단은 현재 진행중인 NIA(한국지능정보사회진흥원)가 주관하는 인공지능 데이터 구축사업에 참여중인 KST의 도로조사원의 설문을 수행할 예정이다. 설문지 설계는 총 2단계에 걸쳐 10개 인자에 대해 쌍대비교를 수행하도록 구성하였으며, 각 단계별 도로조사 항목은 Table 3과 같다.

Table 3. Classified poor road surface objects

stepI	STEPII	stepI	STEPII	stepI	STEPII
not driven	curb	bad driving	gutter	normal	partial ramp
	road hole		manhole		normal block
	stairway		damaged block		
			braille block		
			road crack		

설문은 부산시 관내 전동이동장치를 이용하는 교통약자 이동에 영향을 미치는 도로 인자의 중요도를 판별하기 위해 기본적으로 도로홀(포트홀), 연석, 도로계단 등의 “도로불가 인자 특성은 얼마나 중요한가”라는 것과 점자도로, 맨홀 등의 등의 “도로불편 인자 특성은 얼마나 중요한가”라는 점 및 부분경사로, 도로파손정상 등의 “도로안전 인자 특성은 얼마나 중요한가”라는 점 등으로 볼 수 있다. 이 3가지 항목을 2개씩 쌍대비교(pairwise comparison)를 할 경우 상대적으로 어느 것이 얼마나 더 중요하다고 생각하시는지에 대한 의견을 설문을 통해 의견을 수렴한다.

4.2.2 TOPSIS 분석

TOPSIS 알고리즘은 Hwang 과 Yoon에 의해 1981년 처음 제안된 것으로, 기본 TOPSIS 알고리즘은 Positive ideal soulution으로부터 거리상으로 가장 가깝고 negative ideal solution으로부터 거리상 가장 먼 거리에 있는 대안을 선택하는 기본 개념을 가진다[1]. Negative ideal solution이 비용 속성(Cost Attributes)을 최대화 시키는 반면 positive ideal solution은 이윤 속성(Benefit Attributes)을 최소화시키는 특징을 가지며 TOPSIS는 속성정보를 완전히 이용하고, 할당된 대안들의 순위 결정 방법을 제공하지만 독립적인 속성들의 선호도를 요구하지는 않는다. 이러한 기법을 적용하기 위해 속성값들은 반드시 수치로 나타난 정량적인 값이어야 하고, 속성들이 단조 증가 또는 단조 감소하는 추세를 가져야 하며, 정규화를 통해 같은 단위 조합을 가지도록 유도된다. TOPSIS는 이상적 해에 대한 유사성 판단을 통한 우선순위를 정하는 기법으로 이러한 이상적 해는 benefit 기준 또는 속성을 최대화시키고 cost 기준 또는 속성을 최소화시키는 것이고, Negative ideal solution은 cost 기준 또는 속성을 최대화시키고 benefit 기준 또는 속성을 최소화 시키는데

말하자면, 소위 benefit 기준 또는 속성들은 최대화를 위한 것이고 cost 기준 또는 속성은 최소화를 위한 것이다. 최고의 대안은 ideal solution에 기하학적으로 가장 가까운 것이며 negative ideal solution으로부터 가장 멀리 있는 것이다. 한편, 주행에 위험을 주는 도로등급 분류는 다수의 도로조사항목을 토대로 도로 영역들의 위험등급 순위를 정하는 것으로, 정의된 도로 속성을 기준으로 이상적 해를 계산하고 이에 기하학적으로 거리가 가까운 지점들을 우선순위로 결정하며 우선순위는 이상적 해에 기하학적으로 가장 가까운 지점이 된다. TOPSIS 분석을 통한 다기준의사결정 절차는 아래와 같이 계산된다.

① Decision Matrix 계산

$$D=\begin{bmatrix} x_{11}\cdots x_{1m} \\ \vdots \ \cdots \ \cdots \\ x_{n1}\cdots x_{nm} \end{bmatrix}$$

② Decision Matrix 정규화

$$R=\begin{bmatrix} r_{11}\cdots r_{1m} \\ \vdots \ \cdots \ \cdots \\ r_{n1}\cdots r_{nm} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}x_{ij}^2}} \quad i=1,\ ...,n, j=1,\ ...,m$$

③ Criteria Weighted Matrix 계산

$$D=\begin{bmatrix} w_{11}\cdots w_{1m} \\ \vdots \ \cdots \ \cdots \\ w_{n1}\cdots w_{nm} \end{bmatrix}$$

④ 가중 정규화 Decision Matrix 계산

$$v_{ij}=w_i r_{ij}=W\times R \quad j=1,\dots,n, i=1,\dots,m$$

⑤ Positive Ideal Solution 계산

$$A^{+}=v_1^{+},\ \dots,v_2^{+}=\{(\max_j v_{ij}\mid i\in I),(\min_j v_{ij}\mid i\in J)\}$$

⑥ Negative Ideal Solution 계산

$$A^{-}=v_1^{-},\ \dots,v_2^{-}=\{(\min_j v_{ij}\mid i\in I),(\max_j v_{ij}\mid i\in J)\}$$

⑦ Positive Separation 계산

$$S_j^{+}=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(v_{ij}-v_i^{+})^2} \quad j=1,\ ...,n$$

⑧ Negative Separation 계산

$$S_j^{-}=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(v_{ij}-v_i^{-})^2} \quad j=1,\ ...,n$$

⑨ Relational Proximity 계산

$$C_j=\frac{S_j^{-}}{S_j^{+}+S_j^{-}} \quad j=1,\ ...,n$$

이후, 대안들은 ideal solution으로부터의 각각의 상대적인 근접함에 따라 우선순위가 결정되고 상대적인 근접함이 높을수록 더 좋은 대안을 가지며, 최고의 대안은 ideal solution으로부터 가장 근접한 값이 된다. 전동보조장치의 주행을 위한 도로의 위험등급은 10개 도로조사항목을 속성값으로 하여 각 도로에 대해 해당 항목을 중심으로 TOPSIS 행렬이 계산되고 이때, 가중치는 AHP 분석을 통해 산출된 값을 사용한다.

결론적으로, AHP/TOPSIS 알고리즘을 적용할 경우 부산시 특정 관내의 도로 link(교차로와 교차로 사이를 하나의 link로 정의) 단위로 전동보조장치가 다니기에 편리한 순부터 불가능한 순서까지 도로를 등급화하여 GIS 정보화할 수 있고, 이는 다시 3.4절의 A-SATR 알고리즘의 비용(cost)값으로 활용된다.

5. 결 론

본 논문에서는 다기준의사결정기법인 AHP와

TOPSIS 알고리즘을 이용해서 A-STAR 최적경로 알고리즘의 비용을 산정하여 교통약자에 적합한 최적 경로 탐색 알고리즘을 제안하였다. 기존 상용 길찾기 방법은 거리와 교통량을 비용으로 산정하여 최적경로를 탐색하는 반면 본 연구에서 제안하는 방법은 전동이동보조장치의 이동을 저해하는 요소를 정의하고 이를 도로상태에 반영하여 관내 도로를 등급화함으로써 안전등급을 비용으로 정의하여 최적경로를 탐색하는 방법이다. 이는 교통약자의 이동을 위해 최대한 안전을 고려하여 목적지까지의 경로를 자동 설정해줌으로써 근래 VGI 기반의 교통약자 길찾기 서비스에 활용될 수 있을 것으로 기대하며, 향후 실제 구현을 통하여 스마트폰 및 태블릿 PC 등의 손쉽게 주변에서 접할 수 있는 플랫폼에 탑재하여 실증을 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21RITD-C162016-01, 국토교통부)

참고문헌

[1] 서민호, “공간정보와 다기준의사결정 기법을 이용한 인공함양 적지선정에 관한 연구”, 박사학위논문, 동아대학교 대학원, 2017
[2] 서우진, “A* 알고리즘의 하드웨어 구조 설계”, 석사학위논문, 경북대학교 대학원, 2010
[3] 안창환, “공간정보 유형별 수문지형인자 자동산정기법 개발”, 박사학위논문, 경남대학교, 2012
[4] 조홍규, “다기준의사결정 방법론을 활용한 건축물의 지속가능성 평가모형 개발에 관한 연구”, 박사학위논문, 경기대학교, 2013
[5] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest and C. Stein, "Introduction to Algorithms", 2rd ed., The MIT Press, pp. 580-619, (2001).

(접수: 2021.11.09. 수정: 2021.11.30. 게재확정: 2021.12.01.)