

쿼드트리 기반의 공간분할 기법을 활용한 경로 생성 방안에 관한 연구

Study on the Method to Create a Pedestrian Path Using Space Decomposition based on Quadtree

가 칠 오* 우 호 석** 유 기 윤***
Chill O Ga Ho Seok Woo Ki Yun Yu

요 약 최근들어 대표적인 위치기반 서비스인 내비게이션은 기존 차량 중심의 서비스에서 보행자 중심의 서비스로 그 대상이 확대되고 있다. 이에 따라 최근에 보행자 내비게이션 관련하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만, 내비게이션에서 가장 중요한 경로 서비스에 있어 대부분의 경우 차량 내비게이션에서 널리 활용되고 있는 노드/링크 네트워크 모델을 그대로 활용함으로써 한계점을 드러내고 있다. 그 이유로는 보행자는 차량과 달리 이동 공간이 도로로 한정되어 있지 않으며, 회전 규제, 방향 등에 제약을 받지 않고 보행이 가능한 공간에서 자유롭게 이동하는 등 보행 관련 특성들을 제대로 반영하지 못하기 때문이다. 특히, 공원, 광장 등의 오픈 스페이스(open space)는 보행자가 많이 활용하는 공간임에도 불구하고 이에 대한 대안을 제공하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 게임 및 로봇틱스 분야에서 객체의 이동을 계획하는 모션 플래닝(motion-planning) 기법을 응용하여 보행자 내비게이션 서비스에 적합한 경로 생성 기법을 제시하고, 그 활용 가능성을 테스트하였다.

키워드 : 보행자 내비게이션, 노드/링크 네트워크 모델, 모션 플래닝

Abstract Recently, the target of navigation system is moving from the cars to pedestrians. Many researches are in progress regarding pedestrian navigation. However, in most cases, the path-finding is based on the existing node/link network model, which is widely used for the car navigation, and thus showing its limitation. The reasons are that a) unlike with a car, the paths that pedestrians take are not limited to the roads, b) pedestrians are not restricted in rotation or direction, and c) they can freely move within the walkable space. No alternatives have been offered yet, especially for openspaces such as a park or square. Therefore, in this research, we suggested appropriate methods to create paths that can be used in pedestrian navigation service, by using motion-planning technology, which is used in the field of robotics for planning the motion of an object, and conducted tests for their applicability.

Keywords : Pedestrian Navigation, Node/link Network Model, Motion-planning

1. 서 론

이미 널리 활용되고 있는 차량용 내비게이션은 위치기반 서비스의 가장 대표적인 사례로 인지되고 있으며, 최근에는 이와 더불어 관광지, 도심지, 대형 실내 공간 등에서 보행자에게 길안내 서비스를 제공하는 보행자 내비게이션이 새로운 핵심 콘텐츠로 주목 받고 있다[1][2]. 일반적으로 차량용 내비게이

션에서는 실제계의 도로와 교차점을 선과 점 데이터로 표현하고 경로 탐색이 효과적으로 수행될 수 있도록 구조화한 노드/링크 네트워크 모델[3]을 활용하고 있다. 최근 이루어지고 있는 보행자 내비게이션 연구들은 이러한 차량용 내비게이션의 노드/링크 네트워크 모델을 기반으로 보행자를 위한 보행 경로 데이터를 확장하여 구축하고, 기존 기술을 적용하는 방향으로 진행되고 있다.

† 이 논문은 국토해양부 첨단도시기술개발 사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업 과제의 연구비 지원(O7국토정보C04)에 의해 수행되었음.

* 서울대학교 건설환경공학부 박사과정 crow75@snu.ac.kr

** 서울대학교 건설환경공학부 석사과정 hospi82@snu.ac.kr

*** 서울대학교 건설환경공학부 교수 kiyun@snu.ac.kr(교신저자)

진행된 연구들을 살펴보면, Yuefeng 외 3인은 기존 차량과 대중교통 네트워크에 보행자 네트워크를 확장할 수 있는 모델을 제시하였다. 이 연구에서 보행자를 위한 시설물인 횡단보도, 육교, 지하도등을 지오메트리 특성에 따라 포인트, 라인, 폴리곤으로 정의하고 연계하여 보다 정교한 보행자 네트워크 모델을 제시하였다[4]. Elias는 보행자 도로 네트워크를 효율적으로 생성하기 위하여 다양한 목적으로 구축된 디지털 맵들을 활용하여 보행자에 특화된 네트워크 생성 기법을 제시하였다. 이를 위해 실외 공간에 대해서는 지형도, 지적도를, 실내 공간에 대해서는 건물 평면도를 활용하여 관련 영역을 추출 및 통합하여 보행자 네트워크를 구축하였다[5]. 하지만, 보행자는 목적지 방향으로 가지적으로 확보된 공간을 따라 이동하는 특성을 가지고 있다. 즉, 차량과 달리 이동 공간이 도로만으로 제한되지 않으며 중심선을 따라 이동하지 않기 때문에 기존의 노드/링크 네트워크 모델로 보행 경로를 표현하기에는 부적합하다. 특히, 기존 모델로는 공원, 광장, 운동장 등 보행자가 특정 방향과 경로에 제약을 받지 않고 자유롭게 이동할 수 있는 공간(open space)을 효과적으로 표현하는데 한계가 존재한다.

따라서, 이와 같은 특징들을 효과적으로 지원하기 위한 연구들도 진행되고 있다. Zheng Pan 외 5인은 보행 영역에서 자유롭게 이동할 수 있도록 해당 공간과 공간 내 장애물들을 폴리곤으로 정의하고 폴리곤을 구성하는 결절점들 간에 가상의 네트워크를 생성하여 경로 탐색이 가능한 ESPO(Euclidean shortest path with obstacles) 알고리즘을 제시하였다[6]. Jianghua 외 4인 역시 주차장, 광장 등 자유롭게 접근할 수 있는 보행 영역은 차량 네트워크와 가장 차별화된 보행자 네트워크의 중요한 특성으로 언급하고 이에 대한 방안을 제시하였다. 이 연구에서는 보행 영역을 단순화된 컨벡스(convex) 및 컨케이브(concave) 폴리곤으로 표현하고 출입구 정보를 통하여 노드/링크 모델에 통합된 보행자 네트워크 생성하여 이와 같은 공간을 가로지를 수 있는 경로를 생성하였다[7]. 하지만, 보행 공간(open space)에 대한 Zhen Pan 외 5인과 Jianghua 외 4인의 연구 역시 폴리곤을 구성하는 결절점들 간의 라인만 활용하므로 완벽한 보행 경로를 생성하는데 한계점을 가지고 있다. Walter 외 2인은 위와 같은 문제점을 언급하고 기존 벡터 환경에서 분석되던 보행 경

로를 래스터 환경에서 분석하였다. 이를 위해 벡터 공간을 래스터로 변환하고 모폴로지 연산을 반복적으로 수행하여 보행 공간을 한 픽셀로만 이루어진 뼈대를 기반으로 경로를 산정하였다[8]. 이 연구는 노드/링크 네트워크 모델을 직접 구축하지 않고 실세계 지형·지물을 활용하여 기존 벡터 모델 보다 이상적인 보행 네트워크를 생성한다는 장점이 있다. 하지만, 래스터 공간에 대하여 스켈레톤(skeleton)을 수행함으로써 여전히 객체와 객체 사이의 중심을 따라 이동하는 문제점이 존재한다. Pun-Cheng 외 2인은 노드/링크 네트워크를 생성하고 갱신하는데 어려움과 보행자에 적합한 경로 서비스의 부재를 지적하고, 이를 위해 모션 플래닝 기법을 적용하였다. 보행이 가능한 공간과 장애물을 이용하여 exact cell decomposition 기법으로 공간을 다양한 형태의 셀로 분할하고, 이렇게 분할된 셀들의 인접관계로 네트워크 모델을 생성하여 경로를 산정하였다[9]. 이 연구는 노드/링크를 직접 구축하는 과정을 제거하고 중심선을 따라 이동하지 않는다는 장점이 존재한다. 하지만, 이 기법은 셀들이 불규칙한 형태로 분할되어 매우 단순하거나 자연스럽지 못한 경로를 생성될 수 있는 문제점이 존재한다.

이에 따라 본 연구에서는 위에서 언급한 바와 같이 노드/링크 네트워크 모델을 보행자 내비게이션에 그대로 적용하였을 경우 발생하는 문제점들을 제거하여 보행자에게 적합한 경로 생성 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 가상의 공간 또는 물리적인 공간에서 이동 객체가 주변 환경 정보를 이용하여 주어진 위치로부터 목적지까지 장애물과 충돌하지 않는 이동 경로를 계획하는 모션 플래닝 기법[10]에 기반하고 있다. 특히, 공간을 구조화하는 방법으로 게임 및 로봇틱스에서 많이 활용되고 있는 쿼드트리 분할 기법을 활용하여, 선형으로 추상화되는 기존 모델과 달리 모든 보행 공간을 활용한 경로 탐색이 가능케 하였다. 즉, 본 연구에서 가상의 공간 또는 물리적인 공간은 실세계의 보행 공간, 이동 객체는 보행자, 장애물은 실세계 공간에서 보행할 수 없는 지형·지물이 되며 이를 통하여 계획된 이동 경로가 보행 경로가 된다.

2. 보행 경로 생성 기법

본 연구의 프로세스는 그림 1과 같이 우선, 보행

공간을 정의하고, 이를 래스터 데이터로 변환하는 pre-processing 단계, 공간분할과 이를 기반으로 보행 경로 탐색을 위한 데이터 구조 생성 및 보행 경로를 생성하는 main-processing 단계, 마지막으로 생성된 보행 경로를 보정하는 post-processing 등 세 단계로 구성된다.

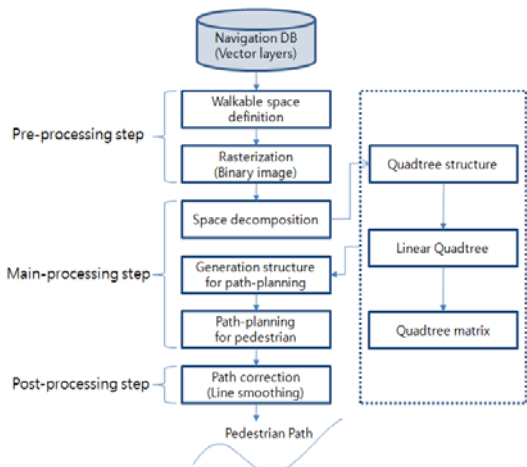


그림 1. 연구 흐름도

2.1 Pre-processing step

도시 및 건물에 대한 공간 계획을 연구하는 스페이스 신택스(space syntax) 분야에서는 보행이 가능한 공간을 오픈 스페이스(open space)로 정의하고 있다[11][12]. 오픈 스페이스는 실세계 공간에서 건물, 하천, 자동차 전용 도로 등 장애물(obstacles)을 제외하고 보행자가 자유롭게 이동할 수 있는 공간을 의미한다. 보행 경로를 생성하기 위해서는 보행자가 이동할 수 있는 보행 공간 즉, 오픈 스페이스

에 대한 정의가 가장 먼저 선행되어야 한다. 오픈 스페이스는 지형도, 지적도 등 다양한 목적으로 구축된 GIS 레이어들의 조합으로 생성할 수 있다. 본 연구에서는 내비게이션 데이터 중 디스플레이를 위한 배경 레이어를 활용하여 전체 공간을 구성하는 경계 폴리곤에서 보행이 불가능한 시설물들을 제외(clipping)한 폴리곤(complex polygon with holes)을 구성하였다. 이와 같은 폴리곤은 보행 가능 여부를 속성값으로 가지는 이진 래스터 영상으로 변환하여 공간 분할을 수행하기 위한 입력 데이터로 사용된다.

2.2 Main-processing step

2.2.1 오픈 스페이스 분할

계층적 분할 특성을 가지는 쿼드트리는 공간을 적은 수의 노드들로 표현함으로써 저장 용량을 줄이고 연산 비용을 효과적으로 줄일 수 있는 장점을 가지고 있어 다양한 분야에서 응용되고 있다.[13]. 본 연구에서는 이동 공간이 중심선으로 한정되는 기존 노드/링크 네트워크 모델의 단점을 극복하기 위하여 보행이 가능한 모든 이동 공간을 경로 탐색에 활용하기 위해 쿼드트리 공간 분할 기법을 활용하였다.

쿼드트리 분할은 앞서 pre-processing 단계에서 생성된 이진 래스터 영상에 대해서 수행한다. 우선, 전체 공간을 최상위 노드로 시작하여 해당 공간이 동질하지 않은 속성을 가지고 있으면 동일한 크기를 가지는 4개의 자식 노드들로 분할한다. 이 프로세스를 모든 노드가 하나의 속성을 가질 때까지 반복 수행하며, 그 결과로 쿼드트리는 종단 노드가 아닌 모든 노드들이 4개의 자식 노드들을 가지는 계

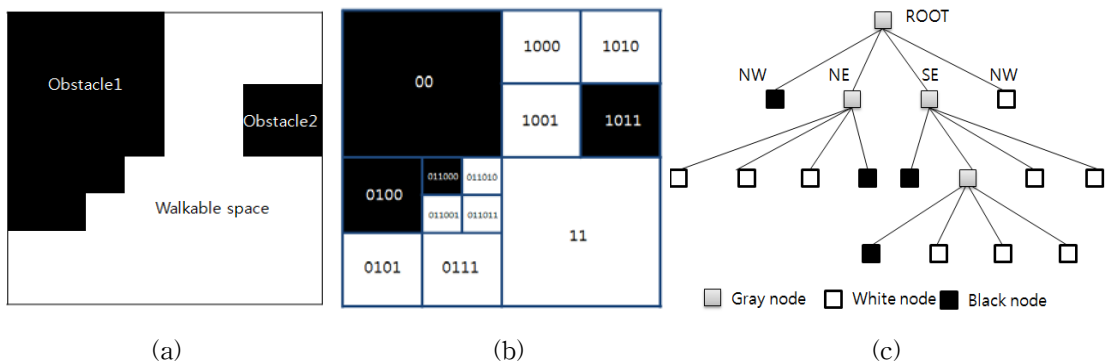


그림 2. 가상 공간의 쿼드트리 분할 예

층화된 트리구조를 갖는다. 그림 2는 가상의 공간이 쿼드트리로 분할된 예시를 나타내며, 본 연구에서 생성된 쿼드트리는 보행 가능 노드(white node), 보행 불가능 노드(black node) 그리고 이러한 노드들이 함께 존재하는 노드(gray node)의 세 가지 타입의 노드들로 구성된다.

2.2.2 보행 경로 탐색을 위한 데이터 구조 생성

분할된 쿼드트리를 이용하여 경로 탐색을 수행하기 위해서는 현재 노드에서 목적지 노드로 이동하는 과정이 필요하다. 만일 보행 공간이 동일 격자로 분할이 된다면 현재 노드에서 다음 노드로 이동하기 위해서는 8방향(horizontal, vertical and diagonal direction)과 격자의 크기만을 고려하면 된다. 하지만, 그림 2(b)와 같이 다양한 크기의 노드들로 분할된 쿼드트리 상에서 현재 노드에서 인접 노드로 이동하는 문제는 상당히 까다로운 문제가 된다. 쿼드트리 상에서 인접 노드 탐색 기법은 Samet[14]에 의해 처음 제시되었으며 특히, Gargantini는 공간을 분할하는 과정에서 자식 노드들을 NW, NE, SW, SE 방향에 따라 4진수(0, 1, 2, 3)를 부여하여 노드의 분할 레벨과 위치를 쉽게 판단할 수 있는 선형 쿼드트리를 고안하였다[15]. 이 선형 쿼드트리의 구조는 나머지(modulo) 연산을 통하여 간결하게 인접

노드의 코드를 도출할 수 있는 장점을 가지고 있다. Vörös는 Gargantini의 선형 쿼드트리의 4진수 코드를 2진수(00, 10, 01, 11) 형태로 표현하고 비트 연산을 통하여 더욱 간결하게 인접 노드를 찾는 방법을 제시하였다[16]. 하지만, 앞서 언급한 기법들은 가로(horizontal)와 세로(vertical) 방향만을 탐색하는 알고리즘이다. 최단 거리로 자유롭게 이동하는 보행자의 특성을 반영한 경로를 생성하기 위해서는 가로와 세로 방향 외에 대각 방향으로도 이동이 가능하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 구현의 용이함과 탐색 속도를 고려하여 Vörös의 알고리즘을 기반으로 대각 방향의 이웃 노드까지 탐색 가능한 알고리즘[17]으로 확장하여 본 연구에 적용하였다. 그림 3은 본 연구에서 인접 노드를 탐색하기 위해 활용한 모든 케이스를 나타낸다.

보행 경로를 생성하기 위해 인접 노드를 탐색할 경우, 선형 쿼드트리는 인접 노드의 존재 여부와 선형 코드를 판단하는데 있어서는 효과적이지만, 목적지 방향으로 확산을 수행하면서 실제 노드의 보행 가능 여부 즉, 노드의 속성을 검색하기 위해서는 매번 트리를 탐색해야 하는 단점을 가지고 있다. 이러한 탐색의 비효율성은 매트릭스 쿼드트리(matrix quadtree) 구조를 함께 사용함으로써 보완할 수 있다[16]. 매트릭스 쿼드트리는 쿼드트리의 매트릭스

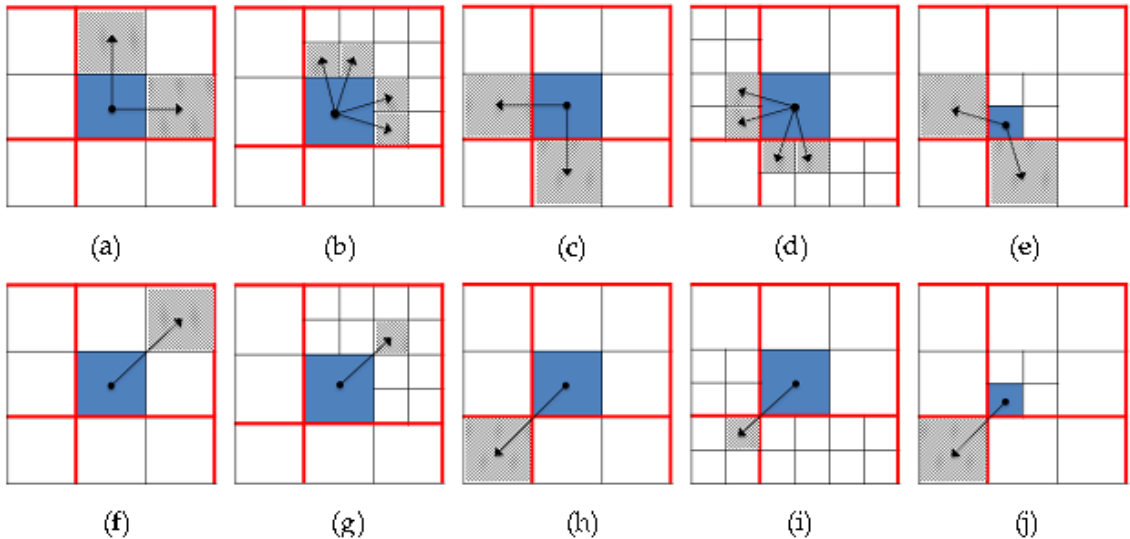


그림 3. (a) edge inner equal, (b) edge inner smaller, (c) edge outer equal
 (d) edge outer smaller, (e) edge outer larger, (f) vertex inner equal, (g) vertex inner smaller
 (h) vertex outer equal, (i) vertex outer larger, (j) vertex outer smaller

표현으로 보행 공간($2^N \times 2^N$)에 대하여 쿼드트리 매트릭스(R)은 모든 gray 노드들(P_i)의 열벡터로 구성된다. Gray 노드(P_i)는 다시 4개의 자식 노드들($Q^{im}(m=1, 2, 3, 4)$)의 속성값으로 구성되며, 자식 노드들의 속성값은 gray 노드의 경우 다음 gray 노드의 행을 가리키는 포인터, white 노드는 -1, black 노드는 0의 값으로 할당된다. 표 1은 그림 2(b)에 대한 매트릭스 쿼드트리를 나타낸다.

$$R = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_L]^T \quad (1)$$

$$P_i = (Q_{i1}, Q_{i2}, Q_{i3}, Q_{i4}) \quad (2)$$

$$Q_{im} = \begin{cases} \text{row value,} & \text{for gray node} \\ -1, & \text{for white node} \\ 0, & \text{for black node} \end{cases} \quad (3)$$

표 1. 쿼드트리 매트릭스 예

direction gray node	00	10	01	11
1	0	2	3	-1
2	-1	-1	-1	0
3	0	4	-1	-1
4	0	-1	-1	-1

선형 쿼드트리와 매트릭스 쿼드트리는 모두 top-down 방식으로 구축되어 선형 코드 앞의 두 비트부터 순차적으로 매트릭스 쿼드트리의 각 열의 값과 매칭이 된다. 예를 들어, [그림 2(b)]의 선형 코드 '011011'의 노드는 처음 두 비트 '01'은 쿼드트리 매트릭스의 첫 번째 행에서 3의 속성 값을 갖는다. 3은 양수로 다음 gray quad에 대한 row 값을 나타내므로 세 번째 행으로 이동한다. 세 번째 행에서 다음 두 비트 '10'의 속성 값은 4로 이 역시 다음 row를 나타내며, 네 번째 행에서 마지막 두 비트 '11'은 -1의 속성 값을 가지므로 011011 쿼드는 보행이 가능한 쿼드임을 알 수 있다. 이들 간의 관계를 통하여 탐색된 인접쿼드의 속성, 즉 보행이 가능한 영역과 보행이 불가능한 영역을 판단하면서 목적지 노드까지 인접 노드를 확장할 수 있다.

2.2.3 보행 경로 탐색

경로 탐색은 앞서 언급한 인접 노드 확산 기법을 활용하여 출발지를 포함하는 노드를 시작으로 목적지를 포함하는 노드까지 보행이 가능한 노드들을

대상으로 수행된다. 본 연구에서는 (4)의 평가함수를 가지는 A* 알고리즘[18]을 적용하였다.

$$f(c) = g(c) + h(c) \quad (4)$$

여기서 $g(c)$ 는 출발지 노드에서 임의의 c 노드까지의 누적 거리를 나타내며, $h(c)$ 는 c 노드에서 목적지 노드까지 남은 거리의 휴리스틱 정보(euclidean distance)를 의미한다. 출발지 노드의 선형 코드를 입력으로 선형 쿼드트리의 인접 노드 탐색 기법을 이용하여 모든 방향(horizontal, vertical, diagonal direction)의 인접 노드 리스트를 계산한다. 이 리스트의 선형 코드들을 매트릭스 쿼드트리의 입력값으로 제공하고 해당 쿼드의 속성을 취득하여 보행이 가능한 쿼드들을 대상으로 반복 수행함으로써 보행 경로를 도출한다.

2.3 Post-processing step

쿼드트리에 기반한 경로 탐색은 모든 보행 공간을 활용함으로써 기존 중심선을 기반으로 생성된 경로보다 보행자에게 적합한 경로를 제공할 수 있다. 하지만, 공간 분할 과정에서 보행 공간과 장애물의 형상 및 배치에 따라 다양한 크기의 노드들이 생성되며 보행 경로는 이 노드들의 중심점을 따라 생성이 되기 때문에 노드 사이즈의 변화가 큰 구간에서는 매끄럽지 못한 보행 경로를 생성할 수 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 주변 버텍스들과의 평균 중심점 이동을 통하여 해당 버텍스의 위치를 이동시켜 라인을 보정하는 McMaster's Slide Averaging algorithm[19]을 활용하였다. 하지만, smoothing을 수행하는 과정에서 이동되는 버텍스가 보행이 불가능한 영역에 위치할 수 있기 때문에 이동되는 버텍스 위치를 포함하는 노드 속성을 판단하여 보행이 가능한 노드일 경우에만 line smoothing을 제한적으로 수행하였다. 또한, 보행이 가능한 공간에 대해서 버텍스의 이동이 임계 거리(1m) 이하를 만족할 때까지 반복 수행함으로써 보행이 불가능한 공간을 회피한 최단의 경로를 생성할 수 있도록 하였다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험 데이터

본 연구의 실험 데이터는 내비게이션 데이터의

배경 레이어를 활용하였으며, 테스트는 Visual studio.Net 2008의 C# 언어로 수행하였다. 테스트 영역으로는 서울대학교 그림 4를 선정하였다. 캠퍼스 내에는 도로, 운동장, 녹지 등 다양한 지형·지물이 존재하며 대부분 보행이 가능한 공간으로 보행자 경로를 테스트하기에 적절하기 때문이다. 또한, 무엇보다 현재 대부분의 내비게이션 업체에서 아파트 단지, 대학 캠퍼스 등과 같이 건물들의 집합으로 구성된 영역 내까지 도로 네트워크를 구축하여 제공하지 않고 있기 때문에 본 연구의 목적으로 테스트하기에 매우 적합하다고 할 수 있다.

캠퍼스를 포함하는 경계 레이어에서 시설물 등은 보행이 불가능한 영역으로 제외하고, 이 외의 영역은 보행이 가능한 영역으로 정의하였다. 이 중 캠퍼스 내의 도로는 차량과 보행자에 대하여 특별한 제한이 없기 때문에 포함시켰으며, 건물의 내부 공간에서도 보행이 가능하지만 본 연구에서는 실외 환경만을 대상으로 하여 실내 환경은 제외하였다. 정의된 공간은 공간 분할을 수행하기 위하여 보행 가능 여부를 표현하는 이진 영상으로 변환하였다[그

림 5]. 변환된 이진 영상을 쿼드트리로 공간 분할할 때, 분할되는 노드의 최소 사이즈가 경로 탐색의 성능과 생성된 경로의 품질에 영향을 미치게 된다. 노드의 최소 사이즈를 너무 크게 설정하면 실제 보행이 가능한 공간임에도 불구하고 보행이 불가능한 노드로 생성되어 우회도로를 탐색하거나 경로 탐색을 실패할 수 있다. 이에 반해 너무 작게 설정하면 탐색 비용이 증가하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 보행자가 실제 이동할 수 있는 폭을 고려하여 1m로 설정하였다. 그림 6은 이진 영상에 대하여 쿼드트리 분할을 수행한 결과를 나타내며, white 노드들이 실제 경로 탐색에 활용되는 보행 노드가 된다.

3.2 실험 결과

다음은 임의의 출발점과 목적지에 대하여 본 연구에서 제안한 기법을 적용한 최단 보행 경로의 결과를 나타낸다. 첫 번째 케이스는 비교적 넓은 공간을 포함하는 오픈 스페이스에 대한 테스트로 그림 7은 인접 노드 확산 시 일반적인 모션 플래닝에서와 같이 가로와 세로 방향만을 고려한 결과를 나타



그림 4 테스트 영역(서울대학교 캠퍼스)



그림 5. 이진 영상

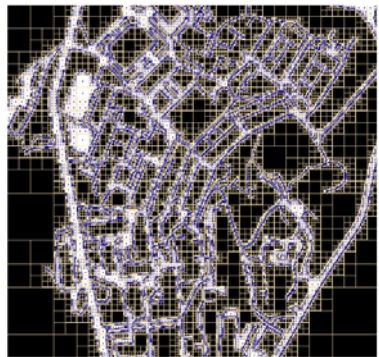


그림 6. 쿼드트리 분할



그림 7. 테스트1(가로, 세로)



그림 8. 테스트1(가로, 세로, 대각)



그림 9. 테스트1(경로 보정)



그림 10. 테스트2(가로, 세로) 그림 11. 테스트2(가로, 세로, 대각) 그림 12. 테스트2(경로 보정)

내며, 그림 8은 대각 방향까지 확장한 경로를 나타낸다. 대각 방향을 고려하지 않을 경우 탐색되는 노드의 수는 줄어들지만, 그 결과로 생성된 경로에 계단 현상이 많이 발생함을 알 수 있다. 이에 반하여 모든 방향을 고려한 경우는 최소 8방향에서 인접 노드 사이즈에 따라 거의 모든 방향으로 이동이 가능함으로써 더욱 자연스러운 경로가 생성되었다. 하지만, 노드 사이즈의 변화가 큰 구간에서는 생성된 경로에서 여전히 부분적으로 계단 현상이 나타남을 확인할 수 있었다. 그림 9는 경로 보정을 통하여 이러한 문제점까지 제거한 경로를 나타내며, 이와 같은 결과는 보행이 가능한 실세계 공간에서 최단 거리로 이동하는 보행자의 이동 패턴과 가장 유사한 경로라 할 수 있다. 두 번째 케이스는 대각방향의 고려 여부에 따라 동일한 출발지와 목적지에 대해서 서로 다른 경로가 생성되는 케이스를 나타낸다. 우선, 그림 10은 가로와 세로 방향만을 고려했을 경우에 생성된 경로와 그 과정에서 탐색된 모든 인접 노드(orange lines)를 나타낸다. 그림 11은 대각 방향을 포함하여 생성된 결과로 그림 10에 비하여 더욱 효율적인 경로(more shortest)가 생성되었다. 이와 같은 결과는 노란 원으로 표시한 구간에서 대각 방향으로 이어진 공간을 탐색하지 못하여 우회 경로를 탐색하였기 때문이며, 대부분 실제 폭이 좁은 공간에서 주로 발생하였다. 이러한 문제점은 공간 분할 과정에서 노드의 최소 사이즈를 더욱 작게 설정함으로써 해결될 수 있다. 하지만, 최소 사이즈를 작게 설정하면 저장 용량과 탐색 속도에 영향을 미치므로 보행자가 이동 할 수 있는 적절한 임계치(width)로 설정하고, 그림 11과 같이 전 방향으로 인접 노드를 탐색할 수 있도록 적용하는 것이

효율적인 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

위와 같은 결과가 기존 노드/링크 네트워크 모델에 비하여 시각적, 정량적으로 어떠한 차이를 보이는지 분석하기 위하여 동일한 공간에 대해 스켈레톤 알고리즘을 적용 후 벡터 포맷으로 변환하여 가상의 노드/링크 네트워크 모델을 생성하였다.

그림 13은 동일한 구간에 대하여 노드/링크 네트워크 모델(green line)과 본 연구에서 제시한 기법(red line)을 적용하여 탐색된 보행 경로를 나타낸다. 그림에서 보는 것과 같이 기존 노드/링크 네트워크 모델을 기반으로 생성된 경로는 중심선(yellow line)을 따라 생성되는 반면 본 연구에서 제안한 기법은 모든 공간을 활용한 경로 탐색을 수행함으로써 실세계에서 보행자가 이동하는 경로와 더욱 유사한 경로가 생성됨을 알 수 있다.



그림 13. 보행 경로 비교

그림 14는 위와 같은 결과를 정량적으로 분석하기 위하여 임의의 20개 구간에 대해 점차적으로 구간을 확장하면서 탐색한 경로의 길이를 비교한 그래프를 나타낸다. 그래프에서 보듯이 본 연구에서

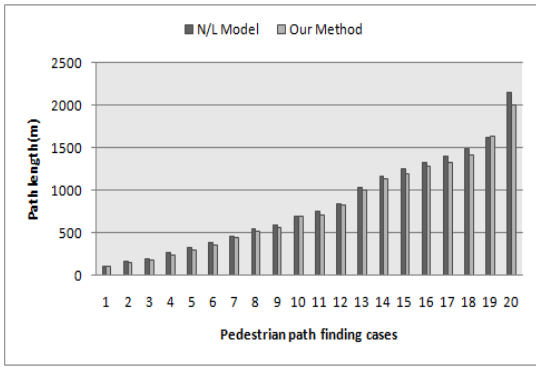


그림 14. 보행 경로 비교(length)

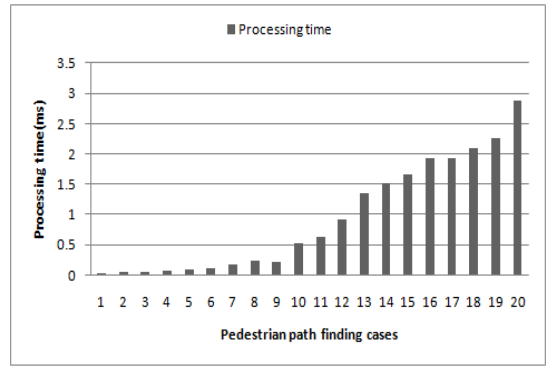


그림 15. 보행 경로 비교(processing time)

제시한 기법이 거의 모든 경우에 짧은 경로가 탐색되었으며, 탐색 구간이 길어질수록 그 차이는 더욱 커짐을 알 수 있었다. 하지만, 19번째 케이스에서는 한 구간에서 보행 공간의 폭이 분할되는 쿼드의 최소 사이즈(1m)보다 작아 우회 경로가 탐색되어 오히려 본 연구에서 제시한 기법이 23m 긴 경로가 탐색됨을 알 수 있었다. 마지막으로 일반적으로 모바일 단말기에서 서비스되는 보행자 내비게이션을 고려했을 때, 보행 경로의 유효성 뿐만 아니라 탐색 시간 역시 중요한 지표가 되므로 각 구간에서 탐색에 소요된 시간을 그림 15의 그래프에 나타내었다. 약 1km 미만의 보행 경로를 생성하는 시간은 거의 모든 구간에서 0.5초 미만의 시간이 소요되었지만, 1km 이상의 구간에 대해서는 상대적으로 큰 폭으로 탐색 시간이 증가함을 알 수 있었다. 이는 경로 탐색 과정에서 탐색 구간이 길어질수록 탐색해야 하는 인접 쿼드가 큰 폭으로 증가하기 때문으로 이에 대한 개선 방안이 필요할 것으로 판단된다. 하지만, 이동 수단이 도보인 보행자 내비게이션의 특성 상 탐색 구간이 길지 않으며 특히, 관광지, 대학 캠퍼스, 놀이 동산 등 기존 노드/링크 네트워크 모델로 표현하기 어려운 넓은 오픈 스페이스를 많이 포함하는 지역에 대해서는 매우 효율적인 활용 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

기존 노드/링크 모델은 도로를 따라 이동하는 차량에 대해서는 효과적이지만, 이동의 자유도가 높고 오픈 스페이스를 많이 활용하는 보행자에게는 적합하지 않으며 대부분 현장 조사와 수작업을 통하여

구축되므로 많은 시간과 비용이 드는 단점이 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 보행자 경로를 생성하는데 있어 이와 같은 기존 모델의 단점을 보완하기 위하여 모션 플래닝 기법을 적용한 새로운 보행 경로 생성 기법을 제시하였다. 이를 위해 보행 공간을 쿼드트리 구조로 분할하고, 쿼드트리 상에서 경로 탐색 시 자유로운 이동 경로가 생성될 수 있도록 전 방향 인접 노드 확산 기법을 적용하였으며, 생성된 경로를 보정함으로써 더욱 효과적이고 시각적으로 이상적인 경로를 생성하였다. 또한, 제시한 기법을 실제 세계의 대학 캠퍼스 공간에 대하여 기존 노드/링크 네트워크 모델과 비교 분석을 수행함으로써 별도의 보행 네트워크를 구축하지 않고 자유롭게 이동이 가능한 보행 경로를 효과적으로 생성할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 제시한 기법은 보행자를 위한 도로 네트워크 구축 방법 및 경로 생성 기법에 대한 기술이 확립되지 않은 현실점에서 한 가지의 방안이 될 수 있을 것이라 판단된다. 특히, 관광지, 대학 캠퍼스, 놀이 공원 등 기존 노드/링크 네트워크로 표현하기 어려운 넓은 오픈 스페이스가 존재하는 공간에 대해서 효율적인 방안이 될 수 있을 것이다. 본 연구에서 확인하였듯이 탐색 속도의 개선과 횡단보도, 지하도, 육교 등 다양한 보행 시설물을 연계하고 건물의 평면도를 활용하여 실내·외를 통합한 보행 경로 생성에 관한 연구를 향후 연구로 수행하고자 한다.

참고 문헌

[1] Elias, B., Hampe, M. and Sester, M., 2004. "Adaptive visualisation of landmarks using an M

- RDB”, Map-based Mobile Services Theories, Methods and Implementations. Springer, pp. 75-88.
- [2] 박인혜, 이지영, 2009, “실내 공간에서의 시간 가변적 최적 경로 탐색”, 한국GIS학회지, 제17권, 제3호, pp.361-370.
- [3] Goodchild, M. F., 2000, “GIS and Transportation: Status and Challenges”, GeoInformatica, Vol 4. pp.127-139.
- [4] Yuefeng Liu, Ting Liu, Min Lu and Huabo Sun, 2009, “Study on the Pedestrian Network Model Oriented to Pedestrian Navigation”, 2009 Third International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, pp. 465-470.
- [5] Elias, B., 2007, “Pedestrian navigation - Creating a tailored geodatabase for routing”, In Proceeding from 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, pp. 41-47.
- [6] Zheng Pan, Lei Yan, Adam C., Winstanley, A. Stewart Fotheringham and Jianghua Zheng, 2009, “A 2-D ESPO Algorithm and Its Application in Pedestrian Path Planning Considering Human Behavior”, 2009 Third International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, pp. 485-491.
- [7] Jianghua Zheng, Adam C. Winstanley, Zheng Pan and Seamus Coveney, 2009, “Spatial Characteristics of Walking Areas for Pedestrian Navigation”, 2009 Third International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, pp. 452-428.
- [8] Walter, V., Kada, M. and Chen, H., 2006, “Shortest path analyses in raster maps for pedestrian navigation in location based systems”. International Symposium on Geospatial Databases for Sustainable Development, Goa, India, ISPRS Technical Commission IV (on CDROM) Ebenfalls erschienen in GIS 2006, pp. 8-11.
- [9] PUN-CHENG, L.S.C., TANG, M.Y.F. and CHEUNG, I.K.L., 2007, “Exact cell decomposition on base map features for optimal path finding”, International Journal of Geographical Information Science, 21(2), pp. 175 - 185.
- [10] M. de Berg, M. van Kreveld, M. Overmars and O. Schwarzkopf, 2000, “Computational Geometry: Algorithms and Applications(second edition)”, Springer.
- [11] Jiang, B., Liu, X., 2010, “Automatic generation of the axial lines of urban environments to capture what we perceive”, International Journal of Geographical Information Science, 24(4), pp. 545 - 558.
- [12] 전철민, 2006, “GIS 기반 Space Syntax를 이용한 대중교통 접근성”, 한국공간정보시스템학회, 제8권, 제3호, pp.25-33.
- [13] Srikanta Patnaik, 2007, “Robot Cognition and Navigation: An Experiment with Mobile Robots”, Springer.
- [14] Samet, H., 1982, “Neighbor finding techniques for images represented by quadtrees”, Computer Graphics and ImageProcessing, 18(1), pp. 37-57.
- [15] Gargantini, I., 1982, “An Effective Way to Represent Quadtrees”, Communications of ACM, 25(12), pp. 905-910.
- [16] Vörös, J., 1997, “A strategy for repetitive neighbor finding in images represented by quadtrees”, Pattern Recognition Letters, 18(1997), pp. 955 - 962.
- [17] 우호석, 가칠오, 유기운, 2010, “보행 경로 생성을 위한 쿼드트리 인접 쿼드 확산 기법”, 한국지형공간정보학회 춘계학술대회, pp. 197-200.
- [18] Hart, P. E., Nilsson, N. J. and Raphael, B., 1968, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths”, IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4 4 (2), pp. 100 - 107.
- [19] McMaster, R. B., Shea, K. S., 1992, “Generalization in digital cartography”, Association of American Geographers.

논문접수 : 2010.06.25
수정일 : 2010.09.27
심사완료 : 2010.10.04



가 칠 오

2003년 한성대학교 정보시스템 공학사
2006년 서울대학교 대학원 건설환경공학 공학석사
2008년~현재 서울대학교 대학원 건설환경공학 박사 학위 과정



우 호 석

2009년 서울대학교 지구환경시스템공학 공학사
2009년~현재 서울대학교 대학원 건설환경공학 석사 학위 과정



유 기 운

1988년 연세대학교 토목공학 공학사
1990년 연세대학교 대학원 토목공학 공학석사
1998년 Ph.D. GIS, University of Wisconsin at Madison
1988년~2000년 건설교통부 사무관, 서기관
2000년~현재 서울대학교 건설환경공학부 부교수