

3D 가상환경에서 개인화된 투어 가이드 생성 기법

송특섭^{0*} 김학근^{**} 최윤철^{**} 임순범^{***} 최병갑^{*} 서의현^{*}

teukseob@mokwon.ac.kr⁰, {air153, ychoy}@rainbow.yonsei.ac.kr, *sblim@sookmyoung.ac.kr, {bkchoi, ehsuh}@mokwon.ac.kr

Personalized Tour Guide Generation Techniques in 3D Virtual Environment

T.S. Song^{0*}, H.K. Kim^{**}, Y.C. Choy^{**}, S.B. Lim^{***} B.K. Choi, E.H. Suh

⁰Division of Computer Engineering, Mokwon University

^{**}Department of Computer Science, Yonsei University

^{***}Department of Multimedia Science, Sookmyung Women's University

요 약

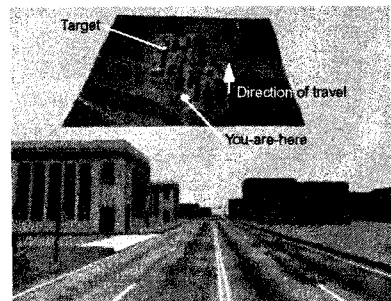
가상환경 탐색 항해 기법을 설계했다. 3차원 가상환경은 입체적 시각 정보를 통해서 사용자가 가상환경을 현실로 받아들이고 마치 현장에 위치해 있는 것과 같은 감각을 느끼게 한다. 이러한 감각에 의지해서 사용자는 진지하고도 적극적으로 가상환경에 참여할 수 있다. 3차원 가상환경이 지닌 이러한 장점은 오락 프로그램의 흥미 증진, 교육 및 군사훈련의 효과 향상, 의료분야의 신기술개발 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나 3차원 가상환경은 현실 세계에 비해 빈약한 공간 인지 정보로 인해 자신의 위치를 인지하기 못하거나 원하는 목표물을 찾는 데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 가상환경을 구성하는 물리적인 정보와 가상환경의 외부 정보를 토픽맵(Topic Map)에서 제시 하는 기법을 사용하여 공간 인지 지식을 모델링 하였고, 현실세계에서 인간의 두뇌에서 이루어 지는 과정과 유사하게 3차원 가상환경 내에서도 길찾기가 가능하도록 인지맵(cognitive map)기법을 적용하여 처음 가상환경에 방문한 사용자라도 쉽게 목표물에 접근할 수 있는 개인화된 투어가이드 기법을 개발 하였다.

1. 서 론

개인용 컴퓨터성능의 향상과 초고속 인터넷의 보급으로 인해 3차원 가상현실은 기존의 연구실 위주의 연구에서 이제 누구나 쉽게 접할 수 있는 분야이다. 기존의 2차원 위주의 정보전달에 비해 3차원 가상환경은 입체적인 정보 전달이 가능하다. 3차원 가상환경은 사용자가 실제 환경에 빠져있는 듯한 느낌을 받게 하는 몰입감(Immersion), 다른 사용자와 상호작용(Interaction) 할 수 있게 하는 임장감(Presence)등의 장점을 갖고 있다.

3차원 가상환경은 입체적 시각 정보를 통해서 사용자가 가상환경을 현실로 받아들이고 마치 현장에 위치해 있는 것과 같은 감각을 느끼게 한다. 이러한 감각에 의지해서 사용자는 진지하고도 적극적으로 가상환경에 참여할 수 있다. 3차원 가상환경이 지닌 이러한 장점은 오락 프로그램의 흥미 증진, 교육 및 군사훈련의 효과 향상, 의료분야의 신기술개발 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 3차원 가상환경으로부터 사용자가 사실감(Reality)과 임장감을 느끼기 위해서는 사용자와 환경사이에 상호작용(Interaction)이 효과적으로 이루어져야 한다. 상호작용은 적용되는 단계 및 기술에 따라서 탐색항

해(navigation), 선택(selection), 조작(manipulation)으로 분류된다[1]. 이 중에서도 사용자가 자신이 의도한대로 환경 내에서 이곳저곳을 방문할 수 있는 탐색항해는 가장 우선적으로 수행되는 중요한 기술이다.



[그림 1] 2차원 지도를 활용하여 길 찾기(wayfinding) 시스템 예 [2]

Daken [1]은 탐색항해는 길찾기(wayfinding)과 이동(traveling)으로 이루어진다고 정의하였다. 여기서 길찾기(wayfinding)은 다시 목표물(target)을 찾고 목표물에도 달하는 경로를 설계하는 것으로 정의하였다. 이동(traveling or locomotion)은 한 장소에서 다른 장소로

본 연구는 한국과학재단 목적기초 연구(R01-2004-000-10117-0(2004))지원으로 수행되었음.

이동하는 것이다. 3차원 가상환경에서의 실제 이동은 마우스, 조이스틱, 키보드와 같은 다양한 디바이스가 개발되어 있지만 길찾기(wayfinding)에 대해서는 주로 가상환경 내부 정보를 사용한 연구가 이루어 졌기 때문에 사용자의 개인의 특성이나 가상환경 외부의 정보를 활용한 연구는 부족하다.

따라서, 본 논문에서는 가상환경의 내부 정보와 외부 정보 그리고 사용자의 요구 사항을 반영한 길찾기 기법에 대해 연구 하였다.

가상환경에서 탐색항해 중 길찾기(wayfinding)는 현실 세계에서 보다 빈약한 공간인지 정보(spatial cognitive information)로 인해 많은 어려움에 직면하게 된다. 공간인지 정보는 “환경 구성체계를 이해함으로써, 자신의 위치를 인지하고, 원하는 목표/목적지로 이동하는 경로를 찾아내는데 필요한 정보”라고 정의 할 수 있다[3]. 현실 세계에서라면 주변 환경을 통해서 소리, 냄새, 빛 등 탐색항해에 필요한 다양한 정보를 특별한 장치를 통하지 않고도 제공 받을 수 있으나 가상환경에서는 시각정보 위주의 극히 제한적인 정보에 의존한다. 이러한 빈약한 공간인지 정보를 가지고 가상환경을 탐색항해 하는 사용자는 환경 전체구조를 이해하지 못하게 되며, 자신의 위치를 분간하지 못하게 된다. 이러한 상태에 처한 사용자는 더 이상 의미 있는 탐색항해가 불가능 하다.

이러한 탐색항해의 어려움을 보완하기 위해 탐색항해 도구(navigation aid)에 대한 연구가 진행되고 있다 [4-8]. 탐색항해 도구는 사용자가 전체 환경 구조를 빠르게 이해할 수 있도록 가상환경 외부에서 요약된 환경 정보를 제공하여 도움을 주는 형태를 가지고 있다. 그러나 사용자가 탐색항해를 위해서 참조하기를 원하는 대상은 가상환경의 구조 정보뿐 아니라 가상환경에 위치한 목표/목적지들에 대한 의미정보(semantic information)란 용도, 역사, 재질 등 추상적인 개념을 포함한다. 따라서 의미정보를 포함하는 탐색항해 도구 개발이 절실하나, 탐색항해를 위한 참조 대상을 의미정보 영역까지 확대했을 때 증가하는 정보의 양은 폭발적이어서 기존의 방법으로는 관리가 불가능하며, 기존의 가상환경 내부 정보를 활용한 탐색항해 연구에서 의미정보와 사용자의 요구사항을 반영한 연구를 필요로 하고 있다.

본 논문에서는 가상환경내부 정보와 의미정보를 연결하기 위해 토픽맵(Topic Map)[9,10] 기술을 3차원 가상환경에 적용했다. 토픽맵은 정보 자원들을 상호 연관성에 따라 연결하고 조직하여 지식 구조를 기술할 수 있도록 제정된 ISO(International Organization for Standardization) 표준이다. 이는 대용량의 비구조화되고 비조직화된 정보를 효율적으로 관리하기 위한 방법이다.

한편, 길찾기 과정을 인간의 두뇌 내부에서 이루어지는 공간정보 처리 과정과 유사하게 3차원 가상환경에서 경로탐색 시스템을 개발 위해서 인지맵(cognitive map)의 개념을 적용 하였다[3]. 본 논문에서 제시하는 탐색항해 보조 도구는 다음의 3가지의 요소를 고려하였다.

- 인간의 공간지식 처리 과정: 사용자가 가상환경에 방문해서 목표를 선택 하는 과정을

실제 환경에서 인간이 목표를 선정하고 탐색하는 과정과 유사 하게 설계한다. 실제 환경에서는 사용자는 목표물을 선택할 때 주변의 다양한 정보를 참조하여 목표를 선택하고 경로를 탐색한다. 이러한 과정을 3차원 가상환경의 탐색항해에 적용한다.

- 인간의 공간인지 지식의 모델링: 인간의 목표탐색과 경로 탐색과정을 3차원 가상환경에 적용하기 위해 3차원 가상환경의 다양한 정보를 공간인지 정보로 사용하기 위해 모델링을 한다.

- 개인화된 투어코스 생성 기법: 처음으로 방문한 사용자는 가상환경에 대한 예비 지식이 없기 때문에 어디서 무엇을 찾아야 할지 모르는 혼란스러운 환경에 놓이게 된다. 본 논문에서 제시하는 시스템은 처음으로 방문한 사용자라 할지라도 가상환경에 여러 번 방문하여 익숙한 사용자가 거처게 되는 경로와 유사한 경로를 추천한다.

2. 관련연구

3차원 가상환경에서 수행하는 기본적인 중요한 활동 중의 하나는 탐색항해이다. 그러나 가상환경에서의 탐색항해는 빈약한 정보로 인해 매우 어렵다. 따라서 많은 사람들이 쉽게 사용할 수 있는 가상환경을 구축하기 위해서 효과적인 길찾기 도구 개발은 절실한 과제이다.

본 장에서는 그동안 연구되었던 탐색항해 도구에 대하여 정리하였다. 또한 사람들의 머릿속에서 이루어지는 활동으로서 환경에 대한 정보를 저장하고 활용하는 인지맵(cognitive map)을 소개하고, 이를 모델링하여 가상환경에서 탐색항해 도구로 적용할 기술로서 토픽맵을 소개했다.

2.1 탐색항해 도구

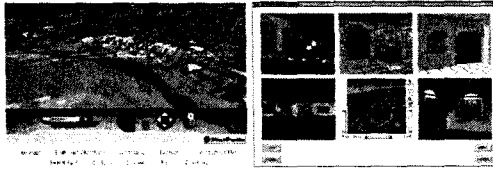
탐색항해는 복잡한 인지과정의 결과로 진행된다. 그 중에서도 기억은 탐색항해의 성과와 깊은 연관성을 가진다. 사용자가 환경구조를 기억하는데 지나친 부담을 가질 때 탐색항해의 효율이 급격히 떨어진다[3]. 이때는 외부 보조도구를 사용하여 사용자의 인지적 부담을 줄여 줄 필요가 있다. 그동안 3차원 가상환경 분야에서는 다양한 형태의 탐색항해 도구에 대한 연구가 있었다.



[그림 2] worldlet 탐색항해 보조도구 예

[그림 2]는 대표적인 탐색항해 도구인 월드렛(worldlet)

의 예이다.



[그림 3] 인지맵(cognitive map) 탐색항해 도구

Elvins[4]는 랜드마크의 가독성이 길 찾기의 성패를 결정할 수 있는 중요한 요소임을 주장했다. 랜드마크는 자체적인 특징 즉 3차원적인 모양, 크기, 그리고 질감 등을 표현할 뿐 아니라, 환경 전체구조를 이해하는 지식 및 절차적 지식을 표현하는데 활용된다. 따라서 적절한 랜드마크의 활용은 효과적인 탐색항해에 결정적 영향을 주고 있음을 증명했다. [그림2]는 3차원 가상환경에서 랜드마크와 그 주변의 이미지로 환경을 요약한 월드렛(worldlet) 탐색항해 도구를 보여준다.

Ramloll[5]등은 공간정보를 좌표체계로 모델링하는 대신에 여행자의 기억을 통해 경험한 지역을 모델링하는 방법을 제안했다. 이 연구에서는 가상환경을 소단위 영역으로 구분하고, 영역 안으로 진입, 영역 밖으로 퇴장, 영역 내 특정 지점으로 구분하여 저장 및 검색하도록 탐색항해 도구를 구성했다. 이렇게 함으로써 사용자는 환경구조를 조직적으로 기억하게 되었고 재사용도 용이 했음을 증명해 보였다.

액티브월드[11]는 웹 환경에서 상용화된 3차원 가상 환경 커뮤니티이다. 액티브월드(Active-world)에서는 탐색항해 도구로 메뉴테이블을 제공한다. 메뉴테이블은 공통점을 가진 주제들을 그룹지어 묶고, 주제들의 수준을 따라서 계층적으로 형태의 탐색항해 도구이다. 계층적으로 구성된 메뉴테이블은 넓은 범위로부터 점차로 좁은 범위로 대상리스트를 좁혀가면서 목표를 선택하도록 설계되었다. 탐색항해 도중에 다른 그룹으로 탐색범위를 이동하려면 탐색항해 목표/목적지를 포함하는 단계까지 그 범위를 일반화 했다가 다시 대상리스트를 좁혀가는 심화 탐색항해를 해야 한다.

그러나 위의 연구들은 주로 가상환경 내부 정보만을 활용한 탐색항해 도구를 개발했기 때문에 사용자의 관심사항이나 가상환경 외부의 정보를 활용하지 못했다.

2.3 토픽맵 (Topic Map)

토픽맵은 ISO/IEC 표준의 지식표현 기술로서 정보자원의 구성, 추출, 검색에 대한 새로운 이론적 배경을 제시하고 있다[9,10]. 토픽맵은 지식과 정보의 분산 관리를 위해서 지식계층(Knowledge Layer)과 정보계층(Information Layer)으로 구성된 이중구조를 가진다. 지식계층은 토픽(topic)과 그들 사이의 연계(association)를 통하여 지식구조를 표현하고 있다. 지식계층의 중심요소인 토픽은 말하려는 대상을 한 단어로 표현한 것이다. 표현 대상은 물리적으로 존재하든지 또는 물리적으로 존재하지 않는 모든 것을 포함한다. 연계는 이러한 토픽들 사이의 관계를 정의한다. 정보계층은 토픽을 자세하게 설

명해주고, 구체화해주는 자원들의 저장소이다. 자원들은 다양한 형태의 정보로서 텍스트, 그래픽, 오디오 등으로 만들어져 있다. 어커런스(occurrence)는 지식계층의 토픽과 정보계층의 자원들 사이를 연결해 준다.

2.4 인지맵

사전적 의미에서 인지맵은 장소에 대한 심리적 이미지라 할 수 있다. 3차원 가상환경에서 사람들은 환경에 대한 정보를 저장하고, 탐색항해 과정에서 인지맵을 활용한다. Downs [2]는 인지맵을 “일상적인 환경에서 관심이 있는 장소를 방문하고, 이를 다시 회상하는 동안에 사람들의 마음속에 일어나는 학습 과정”이라고 정의하고 있다. 또한 이를 표현하는 방법에 대해서는 다양한 기호를 사용할 것을 제안했다. 이러한 기호는 지형지도, 언어적 제스처, 또는 시각적 이미지를 사용할 수 있다. 인지맵 구축에 있어서 문제점으로는 사람들을 둘러싸고 있는 환경이 넓고, 복잡하고, 유동적이기 때문에 이들 모두에 대한 세세한 정보를 처리하는 것은 불가능하다고 밝히고 있다. 다운즈는 환경 현상에 대하여 기본적으로 두 가지 타입의 정보만을 포함하는 인지맵을 제안했다.

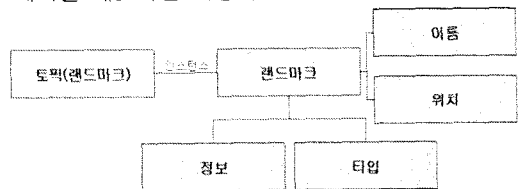
- 장소 정보 : 거리와 방향을 주 요소로 한 외면적 형태의 공간 정보
- 속성 정보 : 자연현상을 설명 또는 평가하는 형식으로 표현

3. 공간지식 모델링

본 장에서는 3차원 가상환경 탐색항해를 위해 가상환경의 내부 정보와 외부 정보의 의미 정보를 토픽맵 기법을 적용하여 모델링한 공간지식 모델링 기법에 대해 소개한다.

3.1 랜드마크 지식

랜드마크는 3차원 가상환경의 특정장면을 2차원 사진형태로 표현한 것이다. 사진이 실세계를 2차원 평면에 투사해 놓은 것처럼, 랜드마크는 전체 가상환경에서 시야각 크기만큼의 영역만을 추출해낸 3차원 이미지이다. 가상환경에 들어온 새로운 사용자는 랜드마크의 위치, 그리고 그와 연결된 탐색항해에 관련된 역할 등을 익혀감으로써 환경에 대한 이해의 폭을 넓혀 나간다. 예를 들어 빌딩의 현관을 들어서면 로비를 지나서 방을 찾아 들어갈 수 있고, 또는 계단을 통해 상하층으로 이동해 갈 수 있다는 이해를 통해 공간지식을 얻게 된다. 랜드마크는 지역을 대표하는 특성을 갖는다.



[그림 4] 랜드마크 토픽맵 구성도

따라서 랜드마크는 그 지역의 중심에 위치하며, 주변 환

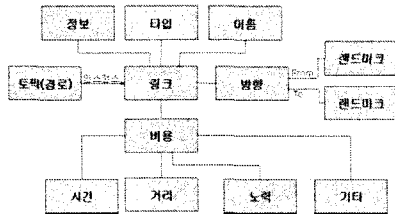
경로부터 두드러진 크기, 색상 모양 등을 통해 쉽게 눈에 띄고, 기억되고, 또한 지역적 특징을 연상할 수 있어야 한다. 랜드마크는 대표하는 지역의 위상에 따라 계층적 구조를 갖는 특징이 있다. [그림 4]와 <표 1>은 랜드마크를 랜드마크 토픽(Topic)으로 구성하기 위한 개념과 설명이다.

<표 1> 랜드마크 토픽맵 구성 설명

Topic	설명
Name	랜드 마크 이름
Type	랜드마크의 형태
Location	랜드마크의 물리적 위치
Information	랜드마크에 대한 추가적인 정보

3.2 경로지식(Route Knowledge)

경로 지식은 랜드마크 사이의 연결 관계에 대한 지식을 관리 하기 위한 것으로 물리적인 정보와 의미적인 정보를 포함한다. 다음 [그림 5]는 경로 지식을 토픽맵으로 구축하기 위한 구성도이다.



[그림 5] 경로지식 토픽맵 구성도

4. 투어 코스 생성 기법

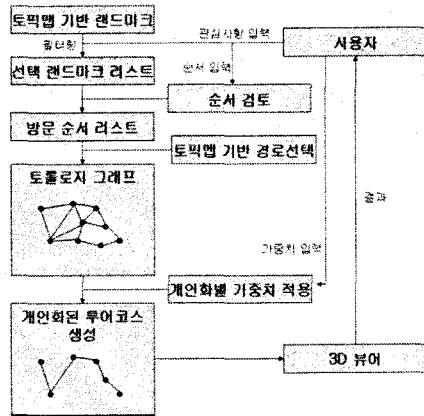
본 장에서는 사용자의 관심사항을 반영하여 사용자별로 적합한 투어코스를 제시하는 기법에 대해 설명한다.

4.1 시스템 개요

본 논문에서 제시한 탐색항해 보조 도구는 가상환경에 익숙하지 않은 사용자가 효과적으로 3차원 가상환경을 탐색항해 할 수 있게 하는 도구이다. 본 논문에서 제안한 시스템은 단순히 최단거리를 추천하는 것이 아니라 사용자가 입력한 관심사항을 고려하여 적합한 투어코스를 생성한다. 사용자에게 적합한 투어 코스를 생성하기 위해 3장에서 설계한 시맨틱 정보를 기반으로 생성하게 된다. 다음 [그림 6]은 본 논문에서 제안하는 전체적인 시스템 구성도이다.

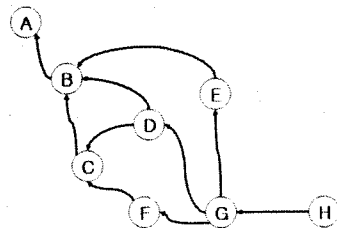
탐색항해를 위해서 사용자는 중간에 방문 하게 될 랜드마크를 선택한다 그러면 시스템에서는 선택된 랜드마크로 랜드마크들의 연관 관계인 토폴로지를 구성한다. 사용자는 자신의 관심사항 3가지 즉 interest, order, cost-weight를 입력한다. 그러면 시스템에서는 사용자의

관심사항을 반영하여 최적의 투어코스를 생성한다.



[그림 6] 개인화된 투어 코스 생성

본 논문에서 제시한 방법은 [그림 6]과 같이 사용자가 입력한 정보를 기반으로 전체 3D 가상환경의 랜드마크를 중첩 탐색항해에 필요한 랜드마크들만 선택하는 필터링 단계를 거치고, 선택된 랜드마크들로 선택리스트(SLL: Selected Landmark List)를 생성한다. 다음으로 방문 순서를 결정하기 위한 방문순서 리스트(VOL: Visit Order List)를 생성하고 다음단계로 토폴로지 그래프(Topology Graph)를 생성한다. 생성된 토폴로지 그래프를 기반으로 비용 가중치(Cost-Weight) 적용하여 최종적인 투어코스를 생성한다.



[그림 7] 선택된 랜드마크를 중심으로 생성된 토폴로지 그래프 예

4.2 개인화된 투어 코스 생성

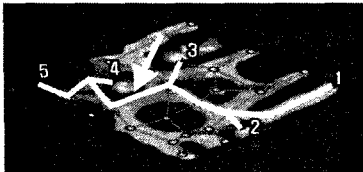
개인화된 투어 코스 생성 기법은 시스템에서 생성한 토폴로지 그래프에 비용 가중치(Cost-Weight)와 비용 토픽(Cost Topic)을 적용하여 생성한다. [그림 3]에서 제시한 것과 같이 비용 토픽(Cost Topic)은 시간(Time), 거리(Distance), 비용(Expense), 노력(Effort)으로 구성되어 있다. 다음 [수식 1]은 전체적인 경비를 계산하기 위한 것으로 "C"는 경비(Cost) "W"는 가중치를 의미한다. 여기서 가중치는 사용자에게 의해 입력되는 값이기 때문에 사용자 개개인에 따라 다르게 입력된다. 선택된 랜드마크들을 기반으로 생성된 토폴로지 그래프에 모든 비용을 비용이 가장적은 방문순서 리스트(VOL)를 생성하게 된다. 여기에는 사용자의 관심사항 뿐만 아니라 사용자의

$$Cost = \frac{C_{time} \times W_{time} + C_{distance} \times W_{distance} + C_{expense} \times W_{expense} + C_{effort} \times W_{effort}}{W_{total}}$$

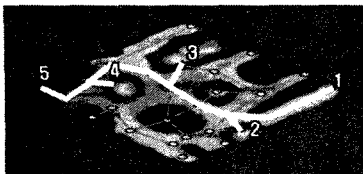
[수식 1]

가중치 까지 고려 되기 때문에 사용자 개인에게 가장 적합한 투어 코스를 생성하게 되며 이를 우리는 "개인화된 투어 코스"라 부르고 있다.

다음 [그림 8, 9]에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제시한 기법은 최단 거리 뿐만 아니라 사용자의 입력에 따라 다양한 투어 코스를 생성한다. 다음 [그림 8]은 최단 거리 노선이지만 우선순위를 노력비용(effort cost)로 하게되면 [그림 9]와 같이 코스가 생성된다. 이유는 [그림 8]에서 화살표가 가르키는 부분의 경사로 인해 최소 노력 경로는 [그림 9]로 추천된다.



[그림 8] 최단거리로 추천된 경로



[그림 9] 사용자의 관심사항을 고려하여 추천된 최소비용 경로

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구는 인간의 사고와 유사한 방법으로 3차원 가상 환경 탐색항해 시스템에 대해 소개했다. 3차원 가상환경은 입체적 시각 정보를 통해서 사용자가 가상환경을 현실로 받아들이고 마치 현장에 위치해 있는 것과 같은 감각을 느끼게 한다. 3차원 가상환경이 지닌 이러한 장점은 오락, 게임, 교육, 군사훈련, 의료분야등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나 3차원 가상환경은 현실 세계에 비해 빈약한 공간 인지 정보로 인해 자신의 위치를 인지하기 못하는 위치 상실이나 원하는 목표물을 찾는 데 많은 어려움이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 많은 연구가 있었으나 기존의 연구들은 가상환경 내부의 정보만을 활용하기 때문에 실세계에서 인간이 길찾기나 목표물을 찾는 것과는 거리가 있었다. 따라서 본 연구에서는 가상환경을 구성하는 물리적인 정보와 가상환경의 외부 정보를 토픽맵(Topic Map)에서 제시 하는 기법을 사용하여 공간 인지 지식을 모델링 하였고, 현실세계에서 인간의 두뇌에서 이루어 지는 과정과 유사하게 3차원 가

상환경 내에서도 길찾기 가능하도록 인지맵(cognitive map)기법을 적용하여 처음 가상환경에 방문한 사용자라도 쉽게 목표물에 접근할 수 있는 개인화된 투어가이드 기법을 개발 하였다.

6. 참고 문헌

- [1] R. Darken, J. Sibert, "Wayfinding Strategies and Behaviors in Large Virtual Worlds", Proceedings of the ACM CHI '96, Vancouver, 1996, pp. 142-149.
- [2] R. Darken, H. Cevik, "Map Usage in Virtual Environments: Orientation Issues," IEEE Virtual Reality Conference 1999 (VR'99) pp. 133-140, 1999
- [3] R. Downs, D. Stea, "Maps in Minds : Reflections on Cognitive Mapping," Harper & Row, New York, 1977.
- [4] T. Elvins, D. Nadeau, D. Kirsh, "Worldlets - 3D Thumbnails for Wayfinding in Virtual Environments," In Proceedings of UIST'97, pp.21-30, 1997.
- [5] R. Ramloll, D. Mowat, "Wayfinding in virtual environments using an interactive spatial cognitive map," Information Visualization, London, 2001.
- [6] C. Santos, P. Gros, P. Abel, D. Loisel, N. Trichaud, J. Paris, "Metaphor-Aware 3D Navigation," INFOVIS Salt Lake, pp. 155-165, 2000.
- [7] S. Desney, T. Gergle, G. Peter, R., "Physically large displays improve path integration in 3D virtual navigation tasks," Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 439 - 446, 2004
- [8] P. Sadeghian, M. Kantardzic, O. Lozitskiy, Y. Lozitskiy, "VR distributed architecture and communication: Preview of recommended routes in large-scale virtual environments" Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications 35-42, 2006
- [9] A. Nordborg, "Topic Maps," Master's thesis in Goteborg University, pp.14-18, 2002.
- [10] J. Park, S. Hunting, "XML Topic Maps," Addison-Wesley, 2003.
- [11] "Active world," available online at <http://www.activeworlds.com/>.