

3차원 그래픽 데이터베이스를 위한 시점기반의 방향관계 표현 기법

(Representation Method of Viewpoint-based Directional
Relationship for 3-Dimensional Graphic Databases)

황종하[†] 백중환^{**} 황수찬^{***}

(Hwang Jong Ha) (Baek Joong Hwan) (Hwang Soochan)

요약 객체 사이에 존재하는 공간관계는 3차원 그래픽 이미지에 대한 내용기반 검색이 가장 자주 사용되는 조건 중의 하나이다. 그러나 기존 대부분의 공간관계에 대한 연구는 2차원 이미지에서 시점이 고정된 절대적인 방향관계에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 따라서 본 논문에서는 3차원 공간에서 관측자의 시점을 기준으로 객체 사이의 방향관계를 검색할 수 있는 시점기반 방향관계 표현 기법을 제시하고 이를 이용한 검색 기법에 대해서 기술한다. 본 논문에서는 3차원 방향관계의 표현을 위해 절대시점 기반의 2차원 공간관계 표현 기법인 2D 스트링을 확장한 3D 스트링 기법을 정의하였다. 또한 관측자를 기준으로 한 객체들 간의 상대적인 방향관계를 효율적으로 추출하기 위한 기법을 제시한다. 본 논문에서 제시한 기법은 3D 스트링으로 표현된 3차원 객체의 공간관계를 2차원+1차원으로 분리하여 처리하도록 함으로써 차원의 감소를 통한 시점기반 방향관계 검색 과정을 단순화할 수 있다는 장점을 갖는다.

키워드 : 방향관계, 시점, 데이터베이스, 3차원 그래픽, 공간관계, 내용기반 검색

Abstract Spatial relations among objects are one of the most frequently used searching criteria for a query based on the contents of 3-D images. However, the existing researches have mainly focused only the absolute directional relations based on a fixed viewpoint in 2-D images. So, this paper presents a representation method of viewpoint-based directional relations that enables spatial relations among objects to be retrieved based on a viewpoint of an observer. The retrieval technique based on our method is also described. In this paper, the notion of 3D string is defined to express the spatial relations in a 3-D space. A retrieval method based on relative directional relations among objects from a viewpoint of an observer is also presented. The proposed method simplifies the retrieval of viewpoint-based directional relations because 2D+1D scheme reduces the dimension.

Key words : directional relation, viewpoint, database, 3-dimensional graphics, spatial relation, content-based retrieval

1. 서론

객체 사이에 존재하는 공간관계(spatial relations)는 가장 관련된 그래픽 객체 혹은 이미지를 찾는 절의에서 자주

사용되는 조건 중의 하나이다. 그러나 공간관계에 따른 유사성의 결정은 공간관계의 모호성과 복잡성으로 인하여 하나의 공간관계 표현 기법을 사용하여 모든 공간관계를 표현하기는 어려운 실정이다. 공간관계는 크게 위상관계(topological relations), 방향관계(directional relations), 거리관계(distance relations)로 나뉘 볼 수 있다[1]. 위상관계는 이동(translation), 회전(rotation), 크기변경(scaling) 등과 같은 변환에 불변한 특성이 있으며 disjoint, contain, inside, equal, meet, covers, covered by, overlap 등과 같이 8개의 위상관계로 정형화되어 있다[2,3]. 그러나 방향관계는 아직 정형화되어 있지 않으며 기존 연구들은 절대적인 방향관계에 대한 연구가 주를 이루고 있다[4]. 2차원의 사

* 본 논문은 과학기술부 한국과학재단 지정 경기도 지역협력연구센터(RRC)인 한국항공대학교 인터넷정보검색연구센터의 지원에 의한 것임.

† 비 회 원 : 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부
hwangjh@hau.ac.kr

** 비 회 원 : 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부
jhbaek@hau.ac.kr

*** 종 신 회 원 : 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 교수
schwangs@hau.ac.kr

논문 접수 : 2002년 11월 25일

심사완료 : 2003년 1월 16일

진에 대한 좌우, 상하 혹은 동서남북과 같은 절대적인 방향 관계는 지리정보시스템, 이미지 분석 등에서 공간관계의 유사성 판단과 공간 질의를 위한 조건으로 자주 사용된다.

현재 대부분의 방향관계에 대한 연구들은 2차원 공간에서 객체간의 절대적인 방향을 주 대상으로 하고 있다. 그러나 최근 3차원 그래픽 분야에 대한 연구와 그 응용의 중요성이 증가함에 따라 기존 2차원 방향관계에 대한 연구의 확장과 3차원 공간에서 관측자의 시점을 기반으로 하는 방향관계 표현 기법 및 방향관계 검색에 대한 연구가 필요하게 되었다. 이러한 방향관계 검색에는 크게 동서남북 등과 같이 외부의 특성에 의해서 방향이 미리 결정되는 절대적인 방향관계 검색, 자신의 고유한 방향을 갖는 객체를 기반으로 하는 객체기반의 방향관계 검색, 관측자의 시점을 기반으로 하는 관측자 기반의 방향관계 검색으로 나뉘 볼 수 있다[5,6].

2차원의 지리정보시스템, 이미지 분석 등과 같은 응용에서는 관측자의 시점(viewpoint)은 이미지를 수직으로 바라보는 것으로 고정된다. 그러나 가상현실, 3차원 지리정보시스템 등과 같은 응용[7,8]에서는 관측자의 시점이 동적으로 변할 수 있으며, 관측자의 시점이 변화함에 따라서 객체 사이의 방향관계는 서로 다르게 평가되어 지기 때문에 이러한 응용에서는 관측자의 현재 시점에 기반한 객체 사이의 방향관계 정보는 필수적인 요소이다. 따라서 본 논문에서는 3차원 공간에서 관측자의 시점을 기반으로 객체 사이의 방향관계를 검색할 수 있는 방향관계 표현 기법과 검색 기법을 제시하고자한다.

본 논문에서는 기존의 2차원 방향관계 표현 기법 중 하나인 2D 스트링 기법[9]을 이용해서 시점기반의 3차원 방향관계를 표현할 수 있도록 확장한 3D 스트링 기법을 제시하도록 한다. 3차원 공간에 존재하는 객체를 각각 2차원과 1차원으로 분리 투영한 공간관계 정보를 이용하여 시점기반의 방향관계를 처리한다. 3차원의 공간관계를 2차원+1차원으로 표현하는 것은 차원을 줄여주기 때문에 보다 쉽게 방향관계 검색을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 3차원 공간에서 객체 사이의 좌우, 상하, 전후 등의 방향관계 검색을 2차원 공간과 1차원 공간에서의 방향관계 검색으로 변경하여 수행한다. 객체 사이의 전후, 좌우 방향관계 검색은 2차원 공간에서 수행하고 상하 방향관계 검색은 1차원 공간에서 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 관련연구에서는 기존 방향관계 기법에 대한 개념을 소개한다. 3장에서는 3차원 방향관계를 표현하기 위해서 본 논문에서 제안한 3D 스트링 기법과 시점기반의 방향관계 표현 기법에 대해서 기술한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺고 향후

연구에 대해서 소개한다.

2. 관련연구

방향은 각도, 방위각 등과 같이 수학이나 측량 등에서 자주 사용되는 정량적인 방향(quantitative direction)과 동서남북, 좌우, 상하 등과 같이 개략적인 방향을 나타내는 정성적인 방향(qualitative direction)으로 나뉘 볼 수 있다. 정성적인 방향은 정량적인 방향에 비해서 정확하지는 않지만 현실 세계에서 보다 쉽게 사용할 수 있고 응용에 따라서 방향을 세분화할 수 있기 때문에 정량적인 방향보다 선호된다.

2.1 2차원 공간에서의 방향관계

2차원 공간에서의 방향관계 모델은 원뿔기반(cone-based)의 방향 모델과 투영기반(projection-based)의 방향 모델로 나뉘 볼 수 있다. 원뿔기반의 방향 모델[5,10,11,12]은 기준 객체를 중심으로 각각 90° 혹은 45°를 갖으며 서로 중첩되지 않는 4개 혹은 8개로 영역으로 공간을 분할한다. 공간을 4개의 영역으로 공간을 분할하는 네 방향 시스템은 분할된 각 영역에 북동남서의 정성적인 방향을 할당한다. 반면에, 여덟 방향 시스템은 여기에 4개의 방향(북동, 남동, 남서, 북서)을 더 추가한다.

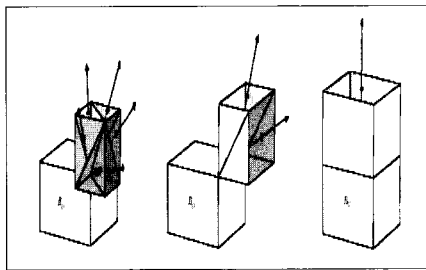
투영기반의 방향 모델[10]은 기준 객체를 지나는 수평선과 수직선을 사용해서 공간을 나눈다. 수평 선분은 남쪽과 북쪽 영역을 나누며, 반면에 수직 선분은 동쪽과 서쪽의 영역을 나눈다. 그래서 수직, 수평 선분은 공간을 4개의 사분면(북서, 북동, 남동, 남서)으로 나눈다. 네 사분면의 경우는 9개 영역(네 방향 영역, 네 방향 선분, 한 점)으로 구성된다. 4개의 방향 영역은 북동, 남동, 북서, 남서이고 4개의 방향 선분은 동, 서, 남, 북이며, 1개의 점은 기준 객체와 동일한 위치이다.

투영기반의 모델은 원뿔기반의 공간 분할 기법에 비해서 간략한 공간 추론을 통해 보다 다양한 추론 결과를 얻을 수 있으며, 또한 공간 데이터베이스에서 원뿔기반의 공간 분할 기법보다 구현하기 쉽다는 장점을 갖는다. 반면에 원뿔기반의 공간 분할 기법은 투영기반의 공간 분할 기법에 비해 16개, 32개 등과 같이 보다 높은 수의 정성적인 방향으로 확장하기 쉽다.

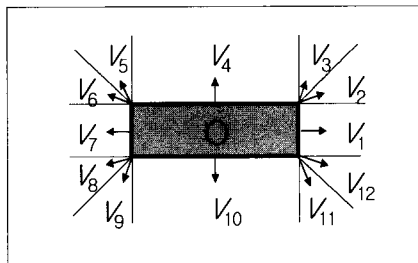
2.2 3차원 공간에서의 방향관계

3차원 공간에서 방향관계에 대한 연구로는 객체와 인접한 공간을 분할하여 객체 사이의 방향관계를 구하는 Vorweg 기법이 있다[13]. Vorweg 기법은 3차원 공간상의 두 객체 사이의 좌우, 상하, 전후 방향관계를 관측자의 시선을 기반으로 구한다. 이 기법에서는 그림 1(a)와 같이 객체를 직육면체로 근사화 시키고 직육면체의 각

면에 인접한 평면에 의해서 공간이 78개로 분할된다. 여기서 설명을 쉽게 하기 위해서 2차원 공간상의 객체에 대해서 설명한다. 그림 1(b)와 같이 객체(O)에 의해서 공간은 12개로 분할되고, 분할된 각 공간은 자신의 공간을 대표하는 방향 벡터(V_1, V_2, \dots, V_{12})를 갖는다.



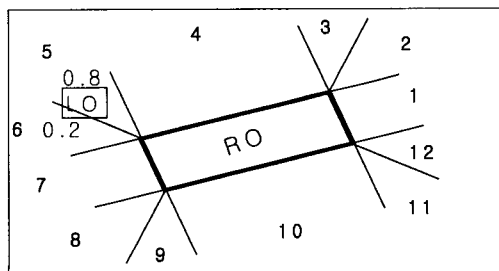
(a) 3차원 공간 분할



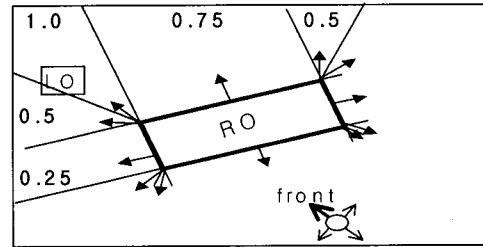
(b) 2차원 공간 분할

그림 1 Vorweg 기법의 공간 분할

그림 2(a)와 같이 공간상에 두 객체가 존재할 때 객체 LO는 객체 RO에 의해서 분할된 공간 중에서 5번과 6번 공간에 각각 80%, 20% 씩 걸쳐서 존재한다. 그림 2(b)와 같이 전방(front)을 나타내는 관측자의 시선 벡터가 주어졌을 때, 12개의 공간 중에서 객체 RO의 전방이라고 평가할 수 있는 공간은 다음과 같이 구할 수 있다.



(a) 공간상의 두 객체



(b) 관측자의 시선 벡터

그림 2 두 객체 사이의 공간 관계

전방을 표현하는 시선 벡터와 분할된 각 공간을 대표하는 방향 벡터 사이의 각이 90° 보다 작은 각을 갖는 공간이 객체 RO의 전방이라고 평가된다. 그래서 그림 2(b)와 같이 주어진 전방 시선 벡터에 대해서 5번 공간에 존재하는 객체는 100% 전방이라고 평가할 수 있고, 4번 공간에 존재하는 객체는 75% 전방이라고 평가할 수 있다. 그리고 3번과 6번 공간은 50%, 7번 영역은 25% 전방이라고 평가할 수 있으며, 나머지 공간은 주어진 전방 시선 벡터에 의해서 전방이 아니라고 평가할 수 있다.

객체 LO는 5번 공간에 80% 걸쳐있고 6번 공간에 20% 걸쳐 있으므로 객체 LO는 주어진 전방 시선 벡터에 대해서 객체 RO의 전방에 위치한다고 평가할 수 있다. Vorweg 기법은 주어진 방향 벡터에 대해서 전후, 좌우, 상하 방향에 대한 모든 가능성을 수치로 표현하여 해당 방향벡터에 대한 가장 유력한 방향을 찾는다. 이 기법에서는 참조 객체의 모양에 따라 공간 분할 영역이 달라지므로 주어진 방향 벡터와 반대의 방향 벡터라도 공간 분할 형태에 따라 반대 방향으로 평가되지 않을 수 있다[13].

3. 시점기반 방향관계 모델링

3.1 좌표계

3.1.1 3차원 객체 모델링

3차원 그래픽 데이터의 방향관계 모델링을 위해 본 문에서는 XML 기반의 3차원 그래픽 데이터 모델인 3DGML을 이용한다[14,15]. 3DGML에서는 객체지향 개념을 이용하여 하나의 의미 단위로서 3차원 객체를 표현하고 이들간의 3차원적인 공간관계를 첨가함으로써 복잡한 3차원 그래픽 이미지를 체계적이며 간단히 모델링 할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 본 모델에서 3차원 그래픽 이미지는 하나 이상의 3차원 객체와 이들간의 공간관계로 모델링 된다. 각각의 3차원 객체는 면과 선으로 구성하는 대신 모델이 제공하는 기본적인 3차원 객체들을 조합하여 표현한다.

3.1.2 좌표계

3차원 공간상에서 좌표계는 세 축의 방향관계에 따라 오른손 좌표계와 왼손 좌표계로 나뉘지고 좌표 표시 방법에 따라 직각 좌표계와 구면 좌표계로 나뉜다. 오른손 좌표계에서는 서로 수직하는 세 직선을 좌표축으로 사용하여 원점에서부터 떨어진 거리로 좌표값을 설정한다. 본 논문에서는 3차원 그래픽 객체의 위치 정보를 표현하기 위해서 3차원 직각 좌표계를 사용하였다.

3차원 직각 좌표계에서 정의된 객체 사이의 방향관계는 관측자를 중심으로 한 관측자 좌표계에서 서로 다른 방향관계로 결정된다. 그림 3과 같이 3차원 공간의 관측자 좌표계의 각 축은 관측자의 시점으로부터 참조점(reference point)으로 연결되는 view-축, 관측자의 오른쪽을 표현하는 right-축 그리고 관측자의 위쪽을 표현하는 up-축이 존재한다.

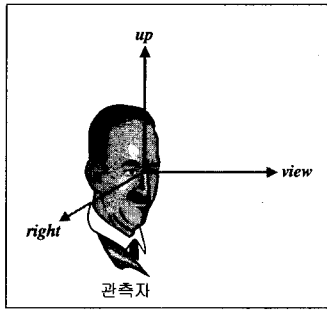


그림 3 관측자의 방향 벡터

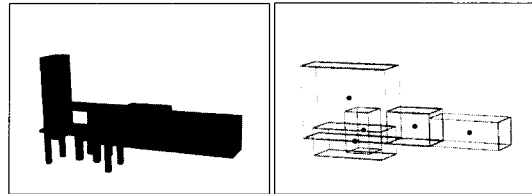
본 논문에서는 각각의 view, right, up-축을 가리켜 방향 벡터라고 한다. view-축은 view(시선) 벡터라 하고 right-축은 right 벡터 그리고 up-축은 up 벡터라고 한다. view 벡터는 객체 사이의 전후 방향관계를 결정하고 right 벡터는 좌우 방향관계, up 벡터는 상하 방향관계를 결정한다.

3.1.3 객체 근사화

이미지 내에 존재하는 객체 사이의 공간관계에 대해 관심을 갖는 경우 일반적으로 객체의 자세한 모양은 고려하지 않는다[13]. 그렇기 때문에 공간관계를 모델링할 때 공간 객체를 단지 한 점으로 표현하거나 객체의 영역을 표현하기 위하여 MBR(minimum bounding rectangle), MBE(minimum bounding ellipse), MBC(minimum bounding circle) 등으로 표현한다. 이렇게 객체를 근사화(approximation)해서 표현하게 되면 계산상의 효율성을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 그림 4와 같은 3차원 그래픽 이미지 내

의 각 객체를 MBR의 중심점으로 근사화해서 표현하였다. 그림 4(a)는 3차원 그래픽 이미지의 예이고 그림 4(b)는 그림 4(a)의 각 객체를 점으로 근사화한 예이다.



(a) 3차원 그래픽 이미지 (b) 객체 근사화

그림 4 객체 근사화

3.2 방향관계의 정의

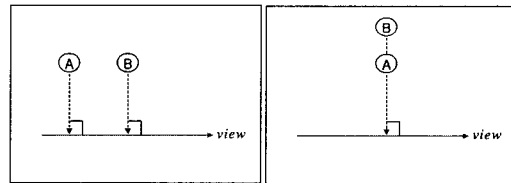
본 논문에서는 관측자의 시점을 기반으로 객체 사이의 전후, 좌우, 상하 방향관계를 다음과 같이 정의하였다.

정의 : 방향관계

v, r, u 를 각각 view, right, up 벡터라고 할 때, 객체 O_i 와 O_j 사이의 방향관계는 $O_i R_d O_j$ 로 표현한다. 이때 d 는 v, r, u 중에 하나의 방향 벡터를 의미하며 R_d 의 값은 $\{<, =\}$ 중의 한 값을 갖는다. 방향 벡터 d 에 투영된 객체의 선형 순서가 $O_i < O_j$ 일 때 다음과 같은 방향관계가 정의된다.

- ① R_u 이면 O_i 가 O_j 보다 앞쪽에 있음을 의미한다.
 - ② R_r 이면 O_i 가 O_j 보다 왼쪽에 있음을 의미한다.
 - ③ R_v 이면 O_i 가 O_j 보다 아래쪽에 있음을 의미한다.
- 방향 벡터 d 에 투영된 O_i, O_j 의 선형 순서가 $O_i = O_j$ 일 때는 다음과 같은 방향관계가 정의된다.
- ④ O_i 와 O_j 는 동일 위치에 있음을 의미한다. □

그림 5(a)와 같이 두 객체 A, B가 존재할 때, 본 논문의 방향관계 정의에 따라 두 객체 사이의 전후 방향관계는 view 벡터 상에 투영된 객체의 선형 순서와 같다. 따라서 객체A는 객체B보다 앞쪽에 위치한다고 결정된다.



(a) 전후 방향관계 (b) 동일 위치 방향관계

그림 5 방향관계 결정

그림 5(b)와 같이 두 객체 A, B는 서로 다른 위치에 존재하지만 본 논문의 방향관계 정의에 따라 동일 위치 관계이다. 객체 사이의 좌우, 상하 방향관계는 전후 방향관계와 유사하게 결정할 수 있다.

3차원 객체 사이의 공간관계를 표현하기 위해 본 논문에서는 3D 스트링 기법을 정의하였다. 3D 스트링은 절대 시점에 대해서 객체들의 상하, 좌우, 전후 방향관계를 표현하는 기법으로 2차원 공간관계를 표현하는데 사용되는 2D 스트링 기법을 확장한 것이다.

1D 스트링은 3차원 그래픽 이미지 내의 객체들을 좌표상의 어느 하나의 축으로 투영해서 얻어진 객체들의 선형 순서를 표현하는 것으로 공간관계에 참여하는 객체의 집합 V와 객체의 공간상의 순서 관계를 나타내는 공간 순서의 기호 집합 A로 구성된다. 순서 기호는 좌우, 상하, 전후 관계를 의미하는 "<"과 동일 위치 관계를 의미하는 "="이 있다. 3D 스트링은 3개의 1D 스트링 (S_u, S_v, S_w)로 표현한다. S_u 는 x-축 투영에 의해 좌우 관계를 표현하는 1D 스트링을 의미하며, S_v 는 y-축에 대한 상하 관계, S_w 는 z-축에 대한 전후 관계를 표현한다. 1D 스트링 S는 다음과 같이 정의된다.

$$S = \langle x_1 y_1 x_2 y_2 x_3 y_3 \dots x_n y_n \rangle$$

여기서 x_1, \dots, x_n 은 객체의 집합 V의 원소($x_1, \dots, x_n \in V$)이고 y_1, \dots, y_n 은 순서 기호 집합 A의 원소이다($y_1, \dots, y_n \in A$). 3D 스트링의 예로서 그림 6과 같이 3차원 공간에 위치한 2개의 객체 a, b를 고려해보기로 하자.

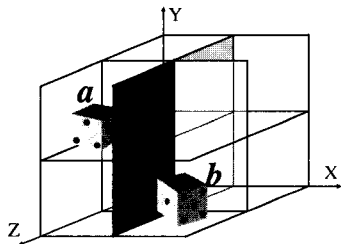


그림 6 3차원 공간상의 두 객체

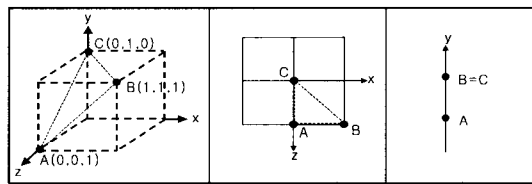
그림 6에서 객체 a, b를 x-축에 투영하면 객체a가 객체b의 왼쪽에 존재하므로 S_u 는 "a<b"이다. 객체를 y-축에 대해 투영하면 객체b가 객체a의 아래쪽에 존재하므로 S_v 는 "b<a"가 되고 객체를 z-축에 투영하면 객체a와 객체b는 동일 위치에 존재하므로 S_w 는 "a=b"이다. 따라서 3D 스트링의 값은 (a<b, b<a, a=b)가 되며, 객체a가 객체b의 왼쪽 위에 위치하며 앞에서 같은 지점에 있다는

것을 의미한다.

3.3 방향관계 결정 기법

3.3.1 2차원+1차원 공간

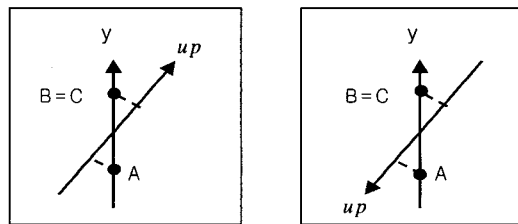
본 논문에서는 3차원 공간에 존재하는 객체를 각각 2차원의 xz-평면과 1차원의 y-축 선분에 투영하여 방향관계를 처리한다. 2차원의 xz-평면에 투영된 객체의 x-축과 z-축의 1D 스트링을 이용하여 좌우, 전후 방향관계를 처리한다. 상하 방향관계는 1차원의 y-축 선분에 투영된 객체의 y-축 1D 스트링을 이용하여 처리한다.



(a) 예제 객체 (b) 2차원 평면 (c) 1차원 선분

그림 7 2차원+1차원 공간의 예

그림 7(a)과 같이 3개의 객체 A, B, C가 존재할 때, 3차원 공간상에서 객체 사이의 방향관계는 그림 7(b), (c)와 같이 xz-평면에서의 좌우, 전후 방향관계와 y-축 선분에서의 상하 방향관계로 나뉘어 고려할 수 있다. 그림 7(c)와 같은 1차원 선분에 투영된 객체 사이의 상하 방향관계 결정은 그림 8과 같이 y-축과 up 벡터 사이의 각도가 90°보다 작을 때와 90°보다 클 때로 나누어 생각할 수 있다.



(a) 90°보다 작을 때 (b) 90°보다 클 때

그림 8 1차원 선분에 대한 방향관계

그림 8(a)과 같이 y-축과 up 벡터 사이의 각도가 90°보다 작을 때는 객체 사이의 상하 방향관계는 y-축의 1D 스트링과 동일하다. 즉, 객체A는 객체B보다 아래 위치하고 객체B와 객체C는 동일 위치에 존재한다(A<B=C). 그림 8(b)과 같이 y-축과 up 벡터 사이의 각도가 90°보다 클 때 객체 사이의 상하 방향관계는 90°보다 작을 때의

반대(reverse) 방향관계가 된다($B < C < A$).

3차원 공간을 2차원+1차원의 공간으로 고려하면 차원이 줄기 때문에 3차원 공간에서 직접 방향관계를 처리하는 것보다 쉽게 방향관계를 처리할 수 있다. 또한 기존 2차원의 방향관계 연구를 보다 쉽게 적용할 수 있다는 장점을 갖는다.

3.3.2 2차원 공간에서의 방향관계 결정 기법

본 절에서는 관측자의 방향 벡터를 기반으로 xz -평면에서 객체 사이의 좌우, 전후 방향관계를 결정하는 기법에 대해 설명한다.

(1) 방향관계 성질

관측자의 방향 벡터를 $d(d \in \{v, r, u\})$ 라 하고 O_i 에서 O_j 로 연결한 선분의 방향 벡터($O_i O_j$)를 l 이라 하고 두 벡터 d 와 l 이 이루는 각도를 $\alpha(0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ)$ 라고 하자. 이때 α 값이 90° 를 전후로 방향관계는 다음과 같은 성질을 갖는다.

성질 : 시점과 방향관계

$\alpha < 90^\circ$ 에서 $O_i R_d O_j$ 일 때, $\alpha > 90^\circ$ 에서는 $O_i R_d^{-1} O_j$ 이다. 여기서 R_d^{-1} 는 반대(reverse) 방향관계를 의미한다. □

그림 9(a)와 같이 $view$ 벡터에 대해서 α 가 90° 보다 작을 때 객체A가 객체B보다 앞쪽에 위치한다고 평가되었다면($A < B$), 그림 9(c)와 같이 α 가 90° 보다 크면 객체A가 객체B의 뒤쪽에 위치한다고 평가된다($B < A$). 즉, 관측자가 바라보는 방향이 반대가 되면 두 객체 사이의 방향관계는 또한 서로 반대 방향관계로 평가된다. 그림 9(b)와 같이 α 가 90° 일 때는 두 객체는 같은 위치에 투영되기 때문에 두 객체는 동일 위치에 있다고 평가된다

($A = B$). 이와 같이 α 가 90° 를 중심으로 객체 사이의 방향관계는 서로 반대가 된다. 좌우, 상하 방향관계 또한 전후 방향관계와 유사하게 결정할 수 있다.

그림 9(a), (c)와 같이 관측자의 시선 방향이 반대가 되면 두 객체 사이의 방향관계 또한 반대가 된다. 그러므로 시선과 x -축이 이루는 각이 $180^\circ \leq \alpha < 360^\circ$ 사이 일 때 방향관계는 $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ 사이에서 구하여 방향관계를 반대로 바꿔주면 된다[16,17].

(2) 동일 방향관계 영역

그림 10(a)과 같이 2차원 공간에 3개의 객체 A, B, C가 존재할 때, 모든 객체의 순서쌍을 연결하는 방향 선분과 x -축이 이루는 각도는 AB 가 225° , AC 가 116° , BC 는 76° 이다. 각 방향 선분에 대해 수직인 선분의 기울기를 구하면 다음과 같다. AB 에 대한 수직 선분의 기울기는 $135^\circ (= 225^\circ - 90^\circ)$ 이고 AC 는 $26^\circ (= 116^\circ - 90^\circ)$ 이다. 그리고 BC 는 $-14^\circ (= 76^\circ - 90^\circ)$ 이다. 여기서 -14° 는 346° 와 같으며, 이 값을 다시 180° 이하의 값으로 변환을 하면 $166^\circ (= 346^\circ - 180^\circ)$ 이다. 여기서 기울기가 180° 이상인 값을 180° 이하의 값으로 변환을 하는 이유는 모든 객체에 대한 방향관계를 $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ 사이에서 구하기 위해서이다. 구해진 수직 선분의 기울기 값을 오름차순으로 정렬하면 $BC:26^\circ$, $AB:135^\circ$, $AC:166^\circ$ 이 된다.

그림 10(a)과 같이 관측자의 시선이 $26^\circ < \alpha < 135^\circ$ 사이 일 때, 세 객체 사이의 방향관계는 항상 $\{B < A < C\}$ 이고 그림 10(b)과 같이 $135^\circ < \alpha < 166^\circ$ 사이에서는 $\{A < B < C\}$ 이다. 그리고 그림 10(c)과 같이 시선이 $166^\circ < \alpha < 206^\circ (= 180^\circ + 26^\circ)$ 사이에서는 $\{A < C < B\}$ 이다. 또한 앞에서 설명한 세 영역의 반대 영역 즉, 180° 를 더한 영역에서의 방향관계는 기존 영역의 방향관계와 반대가 된다.

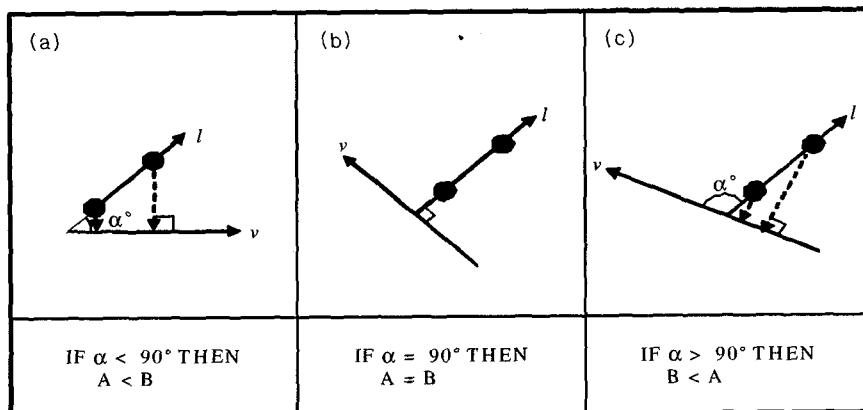


그림 9 시선에 투영된 객체

따라서 $206^\circ < a < 315^\circ$ 사이에서의 방향관계는 $26^\circ < a < 135^\circ$ 과 반대 방향관계인 $\{C < A < B\}$ 이다. 그리고 $315^\circ < a < 346^\circ$ 사이에서는 $\{C < B < A\}$ 이고 $346^\circ < a < 26^\circ$ 사이에서는 $\{B < C < A\}$ 이다.

여기서 설명되지 않은 $26^\circ, 135^\circ, 166^\circ$ 그리고 이것에 180를 더한 각도($206^\circ, 315^\circ, 346^\circ$)에서는 a 가 90° 가 되는 각도이므로 동일 위치 관계가 방향관계 내에 존재한다.

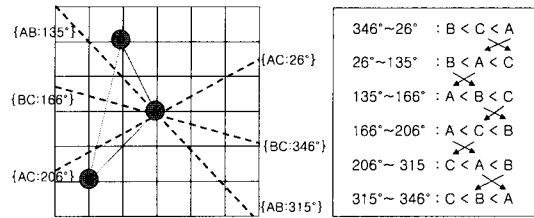
(3) 방향관계 변화

그림 11(a)은 그림 10에 대한 동일 방향관계를 갖는 모든 영역을 표현한 것이고 그림 10(b)은 관측자의 시선이 한 영역에서 다음 영역으로 변경될 때 방향관계의 변화를 표현한 것이다. 그림 11(a)과 같이 $346^\circ < a < 26^\circ$ 사이에서 방향관계는 $\{B < C < A\}$ 이고, a 값이 26° 보다 커질 때 객체 A, C 사이의 방향관계는 변경된다. 객체 A, C의 방향관계가 26° 에서 변경되는 이유는 방향 선분 AC에 대해 수직인 선분의 기울기가 26° 이기 때문이다. 그래서 $26^\circ < a < 135^\circ$ 사이에서 객체의 방향관계는 $\{B < A < C\}$ 가 된다. a 값이 135° 이상 이 되면 이번에는 객체 A, B의 방향관계가 변경된다. 그래서 $135^\circ < a < 166^\circ$ 사이에서는 $\{A < B < C\}$ 가 되고 다시 a 값이 166° 이상이면 객체 B, C의 순서가 변경되고 $166^\circ < a < 206^\circ$ 사이에서는 $\{A < C < B\}$ 가 된다. $166^\circ < a < 206^\circ$ 사이에서의 방향관계는 $346^\circ < a < 26^\circ$ 사이에서와 반대 방향이므로 방향관계는 $\{A < C < B\}$ 이 된다.

이와 같은 객체 사이의 방향관계 변화는 $26^\circ, 135^\circ, 166^\circ$ (반대 방향 : $206^\circ, 315^\circ, 346^\circ$)에서 발생한다. 이 값들은 두 객체를 연결하는 방향 선분에 대해서 수직인 선분의 기울기이다.

3.3.3 3차원 공간에서의 방향관계 결정 기법

그림 12(a)와 같이 3차원 공간상에 3개의 객체 A, B, C와 관측자의 방향 벡터가 주어졌을 때, 객체 사이의 방



(a) 동일한 방향관계 영역 (b) 방향관계의 변화

그림 11 동일한 방향관계 영역과 변화

향관계는 그림 12(b), (c)와 같이 2차원과 1차원 공간에서의 방향관계로 나눠 생각할 수 있다. 그림 12(a)에서 주어진 view 벡터를 xz-평면에 투영하면 그림 12(b)와 같이 x-축과 45° 를 이루고 right 벡터와는 315° 를 이룬다. 그리고 y-축과 up 벡터는 45° 각도를 이룬다. 3.3.2절에서 설명한 2차원 방향관계 결정 기법을 통해서 xz-평면에서 객체 사이의 좌우, 전후 방향관계를 구하면 좌우 방향관계는 $\{C < A < B\}$ 이고 전후 방향관계는 $\{A < B < C\}$ 이다. 그리고 y-축에 대한 상하 방향관계는 90° 보다 작으므로 y-축의 1D 스트링과 동일하다. 따라서 상하 방향관계는 $\{A < B < C\}$ 이다.

영역별 방향관계 변화를 계산할 때 영역의 경계를 이루는 객체의 쌍이 여러 개 존재할 때는 방향관계를 변경하고자 하는 두 객체는 서로 인접해야 한다는 점에 대한 고려를 해야한다. 예로서 그림 13에서 $63^\circ < a < 90^\circ$ 사이에서 객체 사이의 방향관계는 $\{A < D < E < B < C\}$ 이다. 이 방향관계가 90° ($\{AD\}, \{AE\}, \{BC\}, \{DE\}$)를 넘어 갈 때, 객체 AD, AE, BC, DE 사이의 방향관계를 변경해야 한다. 이때 방향관계를 변경하고자 하는 두 객체가 서로 인접해야 한다. 그래서 방향관계를 처리하는 순서는 객체 AD, AE, BC, DE 쌍의 순으로 변경하거나 혹은 객체

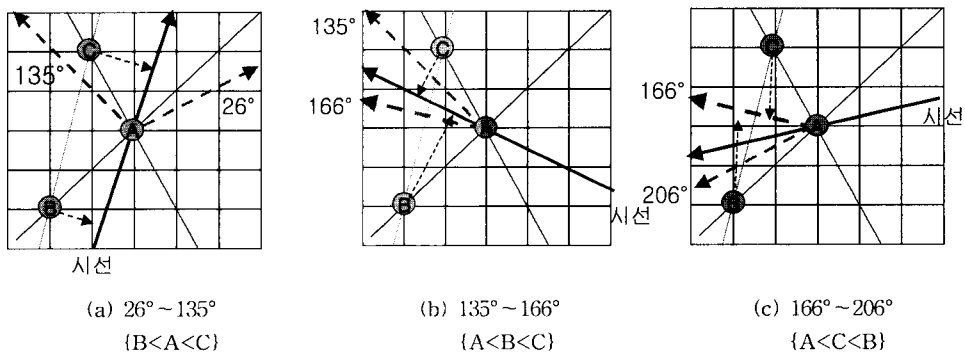
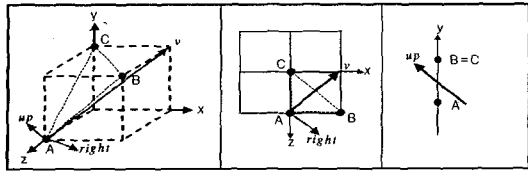


그림 10 동일한 방향관계를 갖는 영역



(a) 시선 (b) 2차원 평면 (c) 1차원 선분

그림 12 3차원 공간에 대한 방향관계

BC, DE, AE, AD 순으로 변경해야 한다. 그러면 $90^\circ < \alpha < 135^\circ$ 사이에서 객체 사이의 방향관계는 $\{E < D < A < C < B\}$ 가 된다.

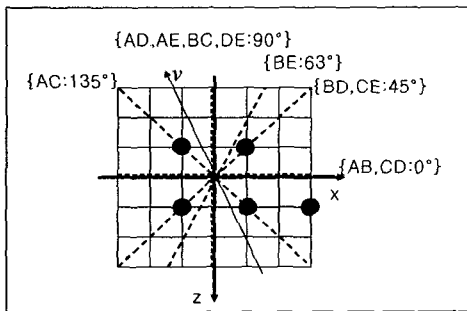


그림 13 동일 위치 관계를 갖는 여러 객체

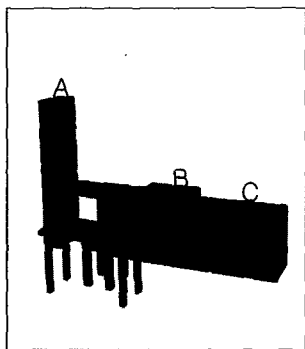
방향관계의 결정 예로 그림 14(a)를 고려해 보자. 그림 14(a)는 책꽂이, 책상, 의자 등으로 구성된 가구 세트에 대한 3차원 그래픽 이미지의 예제이며, 여기서 각 객체의 레이블은 객체 식별자이다. 그림 14(b)는 그림 14(a)의 3차원 그래픽 이미지의 객체를 점으로 근사화해서 xz -평

면에 투영한 모습과 동일 방향관계를 갖는 영역을 보인 것이다. 그림 14(c)에서 주어진 방향 선분은 관측자의 방향 벡터를 의미하며 이때의 객체 사이의 방향관계는 $\{E < D < A < B < C\}$ 이다. 그림 14(c)에서 주어진 관찰자의 방향 벡터가 *view* 벡터이면 방향관계 $\{E < D < A < B < C\}$ 은 전후 방향관계를 의미하고 방향 벡터가 *right* 벡터이면 방향관계는 좌우 방향관계를 의미한다.

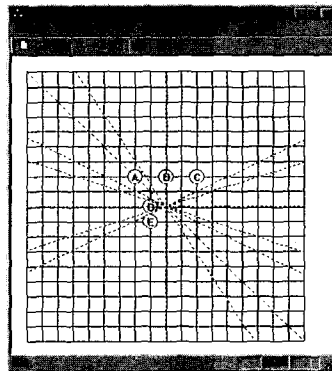
3.4 성능 분석

본 절에서는 방향관계 질의를 수행하기 위한 비용을 분석적 방법을 이용하여 두 객체 사이에서의 방향관계와 모든 객체 사이의 방향관계를 Vorweg 기법과 비교하고 그림 14(a)의 예를 이용하여 설명한다. 본 논문에서 제안한 기법을 이용하여 방향관계를 추출하기 위해서는 2차원 공간에서 좌우, 전후 방향관계, 1차원 공간에서 상하 방향관계를 각각 추출해야 한다.

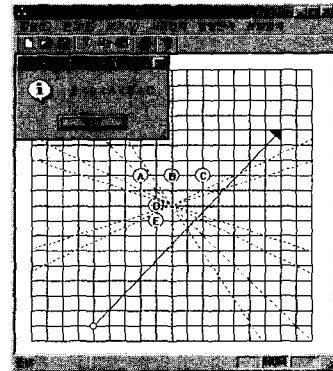
두 객체 사이의 좌우, 전후 방향관계를 추출하기 위해서는 주어진 방향 벡터를 만족하는 영역을 찾는 과정과 해당 영역에서의 두 객체의 방향관계를 찾는 과정으로 구성된다. 3차원 그래픽 이미지에 존재하는 객체의 수가 n 개 일 때, 두 객체 사이에서 발생 가능한 수직 선분의 수는 $n(n-1)/2$ 가 된다. 즉, 동일한 수직 선분이 존재하지 않는다면 최대 $n(n-1)/2$ 만큼의 영역이 존재하는 것이다. 따라서 질의에 관련된 영역 찾기 위한 반복 수행 횟수는 최대 $n(n-1)/2$ 가 된다. 여기서 질의에 관련된 두 객체 사이의 방향관계를 추출하는 위한 최대 반복 횟수는 n 이 되므로 본 논문에서 제안한 기법을 이용하여 2차원 공간에서 두 객체 사이의 좌우, 전후 방향관계를 식별할 경우 $O(n^2)$ 의 시간이 필요하다. 1차원 공간에서 두 객체 사이의 상하 방향관계는 y -축과 up 벡터가 이루는 각도에 의



(a) 예제 그래픽 이미지



(b) 2차원 평면 투영



(c) 방향관계 결과 표시

그림 14 3차원 그래픽 이미지 예제

해서 정해지며 $O(n)$ 의 시간이 필요하다.

본 논문에서 제안한 기법에서 모든 객체 사이의 좌우, 전후, 상하 방향관계 추출은 주어진 관측자의 시점에 동일한 방향관계를 갖는 영역을 찾아서 방향관계를 단순히 반환한다. 따라서 두 객체 사이의 방향관계를 추출하는 과정이 생각된다.

Vorwerg 기법을 이용하여 두 객체 사이의 방향관계를 추출하기 위해서는 관련된 두 객체의 쌍(pair)을 찾는 과정과 관측자의 시선 정보를 기반으로 기준 객체에 대한 목적 객체의 방향을 추출하는 과정으로 구성된다. 두 객체 사이에서 발생 가능한 객체 쌍의 수는 $n(n+1)/2$ 이다. 따라서 질의에 관련된 두 객체를 찾기 위한 반복 수행 횟수는 최대 $n(n+1)/2$ 이다. 그리고 그림 2.1(a)와 같이 기준 객체를 중심으로 78개 분할 영역이 존재한다. 따라서 목적 객체의 방향관계를 식별하기 위해 78번 반복 수행하며 관측자의 시선에 따른 기준 객체에 대한 목적 객체의 방향관계를 계산한다. 따라서 Vorwerg 기법을 이용하여 두 객체 사이의 방향관계를 식별할 경우 $O(n^3)$ 의 시간이 필요하다. 또한 Vorwerg 기법을 이용하여 모든 객체 사이의 방향관계를 식별하기 위해서는 객체의 수만큼 반복하여 방향관계를 계산하기 때문에 $O(n^3)$ 의 시간이 필요하다.

따라서 2차원 공간에서 두 객체 사이의 좌우, 전후 방향관계 식별은 두 기법 모두 $O(n^2)$ 으로 동일하고 상하 방향관계의 식별은 제안된 기법에서는 $O(n)$ 이다. 모든 객체 사이의 방향관계는 객체 사이의 모든 방향관계 정보를 유지하는 3D 스트링의 특성상 별도의 처리가 필요 없기 때문에 Vorwerg 기법보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

다음은 그림 14(a)의 예제 그래픽 이미지를 이용하여 성능 분석을 수행한 예이다. 그림 14(c)와 같이 방향 벡터가 주어졌을 때, 본 논문에서 제안한 기법을 이용하여 두 객체 A, B 사이의 방향관계를 추출하기 위해서는 먼저 모든 객체 쌍의 수직 선분에 의해서 분할된 각 영역에 대해서 질의로 주어진 방향 선분을 포함하는 영역을 찾는다. 그림 14(a)와 같이 5개의 객체로 구성될 수 있는 분할 영역은 그림 14(b)와 같이 최대 10개이다. 따라서 방향 선분을 포함하는 영역을 찾기 위한 최대 반복 횟수는 최대 10회이다. 그리고 x-축의 1D 스트링 ($E < D < A < B < C$)에서 객체 A, B 쌍의 방향관계를 찾기 위한 최대 반복 횟수는 5회이다.

본 논문의 기법에서는 모든 객체 쌍의 수직 선분에 의해서 분할된 각 영역에 대해서 객체 사이의 방향관계를 저장하고 있다. 그림 14(a)에서 만약 동일한 수직 선분을 갖지 않는다면 최대 10개 분할 영역을 갖는다. 따라서

주어진 방향 벡터에 대한 모든 객체 사이의 방향관계는 방향 벡터와 포함하는 영역을 찾아 해당 방향관계를 반환하면 된다.

Vorwerg 기법을 이용하여 두 객체 사이의 방향관계를 추출하기 위해서는 먼저 모든 객체 쌍 중에서 객체 A, B의 쌍을 찾아야 한다. 그림 14(a)와 같이 객체 5개로 완전 연결 그래프를 구성하기 위한 객체 쌍은 15개이다. 따라서 객체 A, B 쌍을 찾기 위한 최대 반복 횟수는 15이다. 그리고 그림 1(a)과 같이 기준 객체를 중심으로 78개의 분할 영역이 존재한다. 기준 객체에 대한 목적 객체의 방향을 추출하기 위해서는 최대 78개의 분할 영역 수만큼 반복해서 방향관계를 추출한다. 또한 모든 객체 사이의 방향관계를 식별하기 위해서는 두 객체 사이의 모든 방향관계를 식별해서 모든 객체 사이의 방향관계를 추출해야 한다.

4. 결론

객체 사이에 존재하는 공간관계는 가장 관련된 그래픽 객체 혹은 이미지를 찾는 질의에서 자주 사용되는 조건 중의 하나이다. 그러나 기존 대부분의 방향관계 연구는 2차원 이미지에서 동서남북 등과 같은 절대적인 방향에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 최근 가상현실, 3차원 지리 정보시스템, 3차원 그래픽 데이터베이스 등과 같은 분야에 대한 연구와 그 응용의 중요성이 증가함에 따라서 기존 2차원 방향관계에 대한 연구의 확장과 3차원 공간에서 관측자의 시점을 기반으로 하는 방향관계 모델링 기법에 대한 연구가 필요하게 되었다.

본 논문에서는 객체 사이의 방향관계를 방향 벡터에 투영된 객체의 선형 순서로 정의하였으며, 동일 위치 관계는 방향 벡터의 동일 위치에 투영된 객체로 정의하였다. 따라서 물리적으로는 서로 다른 위치에 있는 객체라도 방향 벡터에 투영된 위치가 같으면 동일 위치 관계이다.

본 논문에서는 기존 2차원 방향관계 표현 기법 가운데 하나인 2D 스트링을 확장해서 3차원 방향관계를 표현할 수는 3D 스트링 기법을 정의하였다. 또한 본 논문에서는 3차원 공간에 존재하는 객체를 각각 2차원과 1차원으로 투영하여 방향관계를 처리하였다. 3차원의 공간을 2차원 + 1차원으로 투영하여 방향관계를 처리하는 것은 차원을 줄여주기 때문에 보다 쉽게 방향관계 검색을 수행할 수 있으며, 또한 기존 2차원의 방향관계 연구를 쉽게 적용할 수 있다.

본 논문에서는 2차원+1차원 공간에서 방향관계 검색을 위한 방향관계 표현 기법을 제시하였으며, 방향관계 질의 예제에 대해서 설명하였다. 그리고 Vorwerg 기법과 분

석적인 성능 분석을 수행하여 본 논문에서 제시한 방향관계 질의 기법이 우수함을 보였다.

본 논문에서 제시한 시점기반의 방향관계 표현 기법은 3차원 지리정보시스템, 회전된 2차원 이미지의 방향관계, 로봇 내비게이션 등과 같은 응용에서 효율적으로 적용될 수 있을 것이다. 그리고 향후 연구로는 데이터베이스에 저장된 방대한 양의 3차원 그래픽 이미지를 효율적으로 검색하기 위한 방향관계 인덱스 기법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Guting., R. H., "An Introduction to Spatial Database Systems," *Vary Large Data Bases Journal*, Vol. 3, pp. 357-399, Oct., 1994
- [2] Egenhofer, M. J. and Franzosa, R., "Point-Set Topological Spatial Relations," *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol. 5, No. 2, pp. 160-174, 1991
- [3] Egenhofer, M. J. and Franzosa, R., "One the Equivalence of Topological Relations," *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol. 9, No. 2, pp. 133-152, 1992
- [4] Papadias, D., Egenhofer, M. J., and Sharma, J., "Hierarchical Reasoning about Direction Relations," *Proceedings of the 4th ACM Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 105-112, Nov., 1996
- [5] Shashi, S. and Xuan, L. "Direction as a Spatial Object: a Summary of Results," *Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 69-75, Nov., 1998
- [6] Xuan, L., Shashi, S., and Sanjay, C., "Processing Object-orientation-based Direction Queries: A summary of Results," *Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 69-76, Nov., 2000
- [7] Jie, S., "Visualizing 3-D Geographical Data with VRML," *IEEE Proceedings of the Computer Graphics International Conferences*, pp. 108-110, 1998
- [8] Menendez, R. G. and Bernard, J. E., "Flight Simulation in Synthetic Environments," *IEEE Proceedings of the Digital Avionics Systems Conferences*, Vol. 1, pp. 2.A.5.1-2.A.5.6, 2000
- [9] Chang, S. K., Shi, Q. Y., and Yan, C. W., "Iconic Indexing by 2-D Strings," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 9, No. 3, pp. 413-428, May, 1987
- [10] Frank, A. U., "Qualitative Spatial Reasoning: Cardinal Directions as an Example," *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol. 10, No. 3, pp. 269-290, 1996
- [11] Hong, J. H., *Qualitative Distance and Direction Reasoning in Geographic Space*, Ph. D. Thesis, Department of Surveying Engineering, University of Main, 1994
- [12] Peuquet, D. and Zhan, C. X., "An Algorithm to Determine the Directional Relationship Between Arbitrarily-Shaped Polygons in the Plane," *Pattern Recognition*, Vol. 20, No. 1, pp. 65-74, 1987
- [13] Vorwerg, C., Socher, G., Fuhr, T., Sagerer, G., and Rickheit, G., "Projective relations for 3D space: Computational model, application, and psychological evaluation," In *AAAI'97*, Providence, Rhode Island, pp. 159-164, 1997
- [14] Jongha, H., Keunghea, L., and Soochan, H., "3DGML: A 3-Dimensional Graphic Information Retrieval System," *Web Intelligence: Research and Development*, Vol. 2198, pp. 282-291, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 2001
- [15] 황종하, 황수찬, "3차원 그래픽 이미지를 위한 XML 데이터베이스 시스템," *정보과학회논문지:데이터베이스*, 29권 2호, pp.110-118, 2002, 4
- [16] Schlieder, C., "Representing Visible Locations for Qualitative Navigation," In *Piera, N., and Singh, M. G., editors, Qualitative Reasoning and Decision Technologies*, pp. 523-532, 1993
- [17] Schlieder, C., "Ordering Information and Symbolic Projection," In *Chang, S. K., Jungert, E., and Tortora, G., editors, Intelligent Image Database Systems*, pp. 115-140, 1996



백 중 환

1981년 한국항공대학교 통신공학과(공학사). 1987년 미국 오클라호마주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사). 1991년 미국 오클라호마주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사). 2001년 7월~2002년 6월 미국 캘리포니아 주립대학(샌디에고) 전기 및 컴퓨터공학과 방문교수. 1992년~현재 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부 부교수
관심분야: 영상처리, 패턴인식, 영상압축, 멀티미디어 등



황 중 하

1996년 2월 한국항공대학교 전자계산학과(이학사). 1998년 2월 한국항공대학교 컴퓨터공학과(공학석사). 1998년3월 ~ 현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 데이터베이스 시스템, 내용기반 검색 시스템, 소프트웨어 공학



황 수 찬

1984년 서울대학교 전자계산기공학과(공학사). 1986년 서울대학교 전자계산기공학과(공학석사). 1991년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학박사). 1995년 8월~1996년 7월 미국 캘리포니아 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 방문교수. 1991년 3월~현재 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부 부교수. 관심분야는 데이터베이스 시스템, 객체지향 시스템, 멀티미디어 시스템, 정보검색 시스템