최적탐색거리를 이용한 최근접질의의 처리 방법

선 휘 준† · 황 부 현†† · 류 근 호†††

요 약

공간 데이타베이스 시스템에서 취급되는 여러 유형의 공간질의들 중 주어진 위치에서 가장 가까운 공간객체를 찾는 최근접질의는 매우 빈번히 발생한다. 최근접질의의 성능을 높이기 위해서는 색인에서 검색되는 노드의 수를 최소화할 수 있어야 한다. 기존의 방법은 이차원 검색공간에서 최근접질의의 처리만을 고려하였으며, 검색되는 노드의 수를 정확히 줄이지 못하였다.

본 논문에서는 최적탐색거리를 제안하고 그 특성을 정리하였다. 제안된 최적탐색거리는 최근접질의 처리시 검색될 노드들을 정확히 선정하기 위한 새로운 검색거리 측도이다. 우리는 최적탐색거리를 R-트리에 적용한 최근접질의 처리 알고리즘을 제안하고 기존의 방법에 비해 질의처리의 결과가 더 정확함을 증명하였다.

The Method to Process Nearest Neighbor Queries Using an Optimal Search Distance

Hwijoon Seon† · Buhyun Hwang†† · Keunho Ryu†††

ABSTRACT

Among spatial queries handled in spatial database systems, nearest neighbor queries to find the nearest spatial object from the given location occur frequently. The number of searched nodes in an index must be minimized in order to increase the performance of nearest neighbor queries. An Existing approach considered only the processing of an nearest neighbor query in a two-dimensional search space and could not optimize the number of searched nodes accurately.

In this paper, we propose the optimal search distance and prove its properties. The proposed optimal search distance is the measurement of a new search distance for accurately selecting the nodes which will be searched in processing nearest neighbor queries. We present an algorithm for processing the nearest neighbor query by applying the optimal search distance to R-trees and prove that the result of query processing is correcter than the existing approach.

1. 서 론

기존의 데이타베이스 시스템은 숫자나 문자열과 같은 단순한 형태의 데이타를 처리하는데 주력해 왔다. 그러나 컴퓨터지원설계, 지리정보시스템, 화상처리, VLSI 설계 등과 같은 최근의 응용분야에서는 더욱 복잡하고 많은 양의 공간적인 성질을 갖는 데이타 처리가 요구되며, 이러한 데이타를 효율적으로 관리하기 위한 공간 데이타베이스 시스템이 또한 요구된

※본 논문은 96년도 충북대학교 국책연구비 지원에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원:서남대학교 전산정보학과 전임강사
†† 정 회 원:전남대학교 전산학과 교수
††† 종신회원:충북대학교 컴퓨터과학과 교수

논문접수:1997년 3월 11일, 심사완료:1997년 8월 26일

다[6, 9].

공간 데이타베이스 시스템에서 취급되는 공간질의는 점질의(point query), 영역질의(region query), 최근접질의(nearest neighbor query), 교차질의(intersection query), 포함질의(containment query), 공간조인(spatial join) 등이 있으며, 시스템의 전체적인 성능을 향상시키기 위해서는 공간질의의 효율적인 처리방법이 필요하다[2, 3, 4].

공간 데이타베이스 시스템에서 취급되는 여러 유형의 공간질의들 중 주어진 위치에서 가장 가까운 공간객체(이하 객체라 함)를 찾는 최근접질의는 매우 빈번히 발생하며, 점 및 영역질의 등 다른 유형의 질의에 비하여 처리비용이 많이 요구되는 질의이다.

예를 들면, "경도가 15°에서 30° 사이이고 위도 120°에서 130° 사이에 있는 도시로부터 가장 가까운 병원을 찾아라"와 같은 최근접질의의 처리는 연산 및 보조기억장치 접근을 위한 많은 처리시간이 요구된다. 보조기억장치의 접근시간은 연산시간에 비해 상대적으로 매우 크기 때문에 최근접질의의 검색성능을 높이기 위해서는 보조기억장치의 접근횟수를 최소로 할 수 있는 질의처리방법이 반드시 필요하다.

최근까지 이러한 최근접질의를 처리하기 위한 몇몇 연구가 있었다[7, 12, 13]. 그러나 R-트리 유형의 색인구조에 적용하기 위한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 또한 대부분 질의기준이 선분과 다각형이 아닌 점으로 표현되는 점객체를 고려하였으며, 최근접질의의 처리에 따른 비용을 최적화하지 못했다.

본 논문에서는 객체를 최소경계사각형으로 표현하는 공간색인방법들[1, 5, 14] 중에서 R-트리를 이용한 최근접질의 처리방법을 고려한다. R-트리에서 최근접질의를 처리하기 위한 기존의 방법들은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

첫째, [11]에서는 R-트리를 이용하여 최소거리와 최대탐색거리에 의해 최근접객체를 찾는 방법을 제시하였다. 그러나 이 방법은 질의기준이 되는 객체 또는 위치가 점일 경우만 적용 가능하며, 질의기준이 선분 또는 다각형일 경우에는 최근접질의를 처리하기 위한 새로운 방법이 요구된다.

둘째, [15]에서는 R-트리를 이용하여 질의기준이 되는 객체가 점이 아닌 다각형일 경우에 최소근접객체를 찾는 방법을 제시하였다. 제시된 방법에서는 최근접질의 처리시 불필요한 노드의 검색을 피하기 위해, [11]에서 제시한 최소거리와 최대탐색거리 개념을 확장하여 이용하였다. 그러나 이 방법은 2차원 검색공간에서 발생하는 최근접질의 처리에만 적용할 수 있으며, 객체 또는 부검색공간이 차지하는 영역을 나타내는 최소경계사각형들 간의 겹침을 고려하지 않았다. 또한 두 개의 최소경계사각형 간에 마주하는 대각선상의 꼭지점을 이용하여 최대탐색거리를 계산하기 때문에 검색되는 노드의 수를 정확히 줄이지는 못했다. 따라서 색인의 검색시 하위레벨로 내려갈수록 불필요한 노드들의 수가 누적됨으로 보조기억장치의 접근횟수가 증가하게 된다.

본 논문에서는 최소근접질의를 처리할 경우 검색되는 노드의 수를 최소로 하기 위한 새로운 검색거리 측도인 최적탐색거리를 정의하고 이에 기초한 최근접질의 알고리즘을 제안한다. 최적탐색거리는 질의기준으로부터 객체 또는 부검색공간들이 반드시 존재하는 거리이며, 이를 R-트리에 적용한 최근접질의 알고리즘은 보조기억장치의 접근횟수를 최소화하고 질의결과를 빠르고 정확하게 산출할 수 있다. 따라서 정적 및 동적인 환경에서 발생하는 최근접질의 처리시 질의기준의 유형에 관계없이 이에 따른 비용을 최소화할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 관련연구인 2장에서는 기존의 최근접질의 처리방법을 알아보고 이에 따른 문제점들을 논한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 최적탐색거리를 정의하고 그 특성을 정리한다. 그리고 이를 R-트리에 적용한 최근접질의 알고리즘을 기술하고 기존의 방법에 비해 질의처리 결과가 더 정확함을 증명하였다. 끝으로 4장에서는 결론을 내린다.

2. 관련연구

2.1 질의 점에 의한 최근접질의

[11]에서는 R-트리를 이용하여 주어진 질의기준이 되는 객체 또는 위치가 점일 경우 가장 가까운 다각형 객체를 찾는 방법을 제시하였다. 이 방법은 다차원 검색공간에서 주어진 질의 점으로부터 객체 또는 부검색공간을 나타내는 최소경계사각형까지의 최소거리(minimum distance: MINDIST)와 최대탐색거리(minimax distance: MINMAXDIST)를 계산하여 트리에

서 검색되는 노드의 수를 줄이고자 하였다.

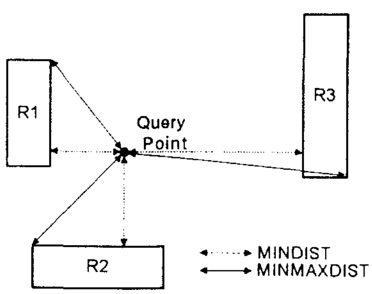
MINDIST는 질의 점 P에서 최소경계사각형 R의 가장 가까운 변 또는 점까지 최소거리이다. 그리고 MINMAXDIST는 질의 점 P와 객체를 포함하고 있는 최소경계사각형 R과의 가능한 최대거리들 중에서 최소거리이다. 즉, P로부터 R을 구성하는 모든 축에서 가장 먼 점까지의 거리들 중에서 최소가 되는 거리를 의미한다.

최근접질의 알고리즘에서는 R-트리를 검색하는 동안 방문할 필요가 없는 노드들을 방문대상에서 제외하기 위해 MINDIST와 MINMAXDIST를 조합하여 다음과 같은 전략을 사용하였다.

i) 질의 점 P로부터 최소경계사각형 R′까지의 MINMAXDIST(P, R′)보다 MINDIST(P, R)가 더 큰 값을 갖는 최소경계사각형 R이 존재하면, R은 최소근접객체를 포함하지 않기 때문에 R에 해당하는 노드는 검색대상에서 제외한다.

ii) 질의 점 P로부터 객체 O까지의 거리가 최소경계사각형 R에 대한 MINMAXDIST(P, R)보다 크다면, 객체 O를 최소근접객체 대상에서 제외한다.

iii) 질의 점 P로부터 객체 O까지의 거리보다 더 큰 MINDIST(P, R)를 갖는 모든 최소경계사각형 R은 검색대상에서 제외한다.



(그림 1) 질의 점과 최소경계사각형들 간의 MINDIST와 MINMAXDIST
(Fig. 1) MINDIST and MINMAXDIST between query point and MBRs

(그림 1)은 2차원 검색공간에서 MINDIST와 MINMAXDIST를 나타낸 예이다. 예에서 질의 점으로부터 최소경계사각형 R3까지의 MINDIST가 R1까지의 MINMAXDIST보다 더 멀기 때문에 R3은 검색대상에서 제외된다. 왜냐하면 최소경계사각형 R3에 포함되어 있는 객체들 중에서 가장 가까운 객체보다 더 가까운 객체가 R1 또는 R2에 존재하기 때문이다.

제시된 방법에서는 최근접질의 처리시 질의기준이 되는 객체 또는 위치가 점일 경우만을 고려하였으며, 동적인 환경에서 발생하는 최근접질의에 따른 성능평가가 이루어지지 않았다. 따라서 질의기준이 점이 아닌 다각형일 경우 최근접질의를 처리할 수 있는 방법이 필요하다.

2.2 질의 사각형에 의한 최근접질의

[15]에서는 질의기준이 다각형일 경우 R-트리를 이용한 최근접질의 처리방법을 제시하였다. 이 방법은 2차원 검색공간에서 최근접질의 처리시 검색되는 노드들의 수를 줄이기 위해, [11]에서 제시한 최소거리(MINDIST)와 최대탐색거리(MINMAXDIST) 개념을 확장하여 이용하였다.

두 최소경계사각형 Q, R사이의 MINDIST는 최소경계사각형을 이루는 변사이의 최소거리이며, MINMAXDIST는 서로 마주하는 두 대각선들의 양 끝점 사이의 가능한 거리들 중에서 최소가 되는 거리이다.

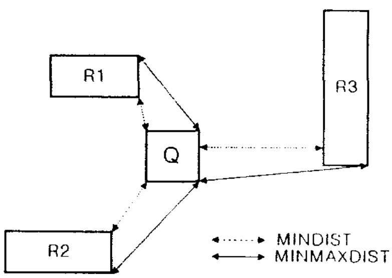
MINMAXDIST는 최소경계사각형에 포함되어 있는 객체들 사이의 거리에 대한 상한 값으로 사용되었다. 이는 최소경계사각형 Q의 무게 중심점에서 가장 가까운 최소경계사각형 R의 x축변 또는 y축변의 가장 먼 점과 최소경계사각형 R의 무게 중심점에서 가장 가까운 최소경계사각형 Q의 x축변 또는 y축변의 가장 먼 점사이의 거리를 의미한다.

최소근접객체를 찾는 알고리즘은 [11]의 알고리즘과 유사하며, R-트리의 루트 노드로부터 시작해서 하위레벨의 노드까지 깊이우선탐색(depth first traversal) 방법으로 수행된다. 그리고 검색하는 동안 새로 방문된 노드에 존재하는 엔트리들에 대해서 MINDIST를 계산하여 오름차순으로 순서화한 후 이 순서에 따라 엔트리들을 검사한다. 또한 하위레벨의 검색시 불필요한 엔트리들의 방문을 피하기 위해서 다음과 같은 전략을 사용한다.

질의기준 Q를 기준으로 가장 가까운 객체를 찾는다고 할 때 검색대상이 되는 두개의 최소경계사각형 R, R′에 대해서 Q와 R안에 있는 객체 q와 r사이의 최소거리는 Q와 R사이의 상한 값보다 작거나 같다.

그러므로 Q와 R′사이의 최소거리가 Q와 R사이의 상한 값보다 크다면, R′에 해당하는 노드는 검색대상에서 제외한다. 왜냐하면 최소경계사각형 R′보다는 상한 값을 가진 최소경계사각형 R이 포함하는 객체까지의 거리가 질의기준 Q로부터 더 가깝기 때문이다.

(그림 2)는 질의기준 Q와 최소경계사각형들 사이의 MINDIST와 MINMAXDIST를 나타낸 예이다. 예에서 질의기준 Q로부터 최소경계사각형 R3까지의 MINDIST가 최소경계사각형 R1까지의 MINMAXDIST보다 크기 때문에 검색대상에서 R3은 제외된다.



(그림 2) 최소경계사각형들 간의 MINDIST와 MINMAXDIST
(Fig. 2) MINDIST and MINMAXDIST between MBRs

제시된 방법은 두 최소경계사각형 사이에 가능한 객체간의 최대거리를 이용하여 R-트리에서 검색되는 노드의 수를 줄이고자 하였으나, 다음과 같은 문제점이 있다.

- 2차원 검색공간에서 최근접질의 처리만을 전제로 하였다. 그러나 공간 데이타베이스 시스템에서는 다차원 검색공간에서 발생하는 최근접질의 처리방법이 요구된다.
- 두 개의 최소경계사각형 간에 마주하는 대각선상의 꼭지점을 이용하여 최대탐색거리를 계산하였기 때문에 오차를 포함하고 있다. 따라서 트리의 하위레벨로 내려갈수록 불필요한 노드들의 검색이 더욱 증가되므로 이 방법은 최근접질의 처리시 검색되는 노드들의 수를 정확히 줄이지 못한 방법이다.
- 객체 또는 부검색공간이 차지하는 영역을 나타내는 최소경계사각형들 간의 겹침을 고려하지 않았다. 그러나 R-트리 유형의 색인방법은 최소경계사각형들 간에 겹침이 발생하므로 이를 고려한 최근접질의 처리방법이 필요하다.

3. 최적탐색거리를 이용한 최근접 질의

본 장에서는 최근접질의 처리를 위한 기본개념과 기존의 측정방법이 가지고 있는 문제점을 해결한 최적탐색거리를 제안하고 그 특성을 보인다. 3.1절에서는 새로운 검색거리 측도인 확장된 최소거리 및 최적탐색거리를 정의한다. 3.2절에서는 최적탐색거리를 적용한 최근접질의 알고리즘을 기술하고, 3.3절에서는 제안한 최적탐색거리의 특성을 정리한다. 또한 기존의 최대탐색거리에 비해 질의처리 성능이 우수함을 보인다.

논문에서는 각각의 정리에 따른 증명을 2차원 검색공간에 국한하여 증명하였으나, 이는 다차원 검색공간으로 확장이 가능하다. 그리고 객체들 간의 공간관계(spatial relationship)는 위상관계(topological relationships)만을 고려한다. 여기에서 공간관계란 다차원 검색공간에서 두 객체들 간의 겹침(overlap), 분리(disjoint), 접함(meet), 포함(contain) 등의 위상관계를 의미한다[10].

3.1 확장된 최소거리 및 최적탐색거리

3.1.1 확장된 최소거리

임의의 모양을 갖는 객체를 정보의 손실없이 색인에 반영하기 위해서는 많은 저장공간이 요구된다. 공간색인방법에서는 저장공간의 효율성과 알고리즘의 단순화를 위해 임의의 모양을 갖는 객체를 다각형으로 근사(approximation)시켜 표현하며, 그중 가장 일반적인 근사 표현 방법은 객체를 최소경계사각형으로 나타내는 것이다[3, 8].

【정의 1】 N차원 검색공간에서 객체 또는 부검색공간들이 차지하는 영역을 나타내는 최소경계사각형 M을 다음과 같이 정의한다.

$$M=[R_L,\ R_U]_1\times[R_L,\ R_U]_2\times\ \cdots\ \times[R_L,\ R_U]_N$$

여기에서

$[R_L,\ R_U]_i$: 차원 i에서 객체 또는 부검 색공간들이 차지하고 있는 범위를 나타내는 폐쇄경계구간(closed bounded interval),

R_L : 폐쇄경계구간의 최소값,

R_U : 폐쇄경계구간의 최대값,

$(1 \le i \le N,\ R_L \le R_U)$.

N차원 검색공간을 구성하는 임의의 도메인 D_i $(i = 1, 2, \cdots, N)$은 해당 검색공간에 존재하는 객체들의 i번째 속성이 가질 수 있는 최소와 최대값 사이의 서로 다른 m개의 값들을 갖는 선형적 순서 범위이다. 즉, $D_i = (d_0, d_1, \cdots, d_{m-1})$이고, 여기에서 $d_i < d_{i+1}$, $i = 0, 1, \cdots, m-2$이다.

N차원 검색공간에서 질의기준이 되는 Q는 범위(range)들의 카테시언 곱(cartesian product)으로 표현된다. 즉, 도메인 D_i에 발생하는 범위를 $I_i(Q) = [Q_{Li}, Q_{Ui}]$ $(i = 1, 2, \cdots, N,\ Q_{Li}, Q_{Ui}$: 범위의 시작과 끝)라고 할 때, $Q = I_1(Q) \times I_2(Q) \times \cdots \times I_N(Q)$로 나타낼 수 있다.

만약, 2차원에서 Q를 구성하는 범위인 Q_{L1}과 Q_{U1}의 값이 같고 Q_{L2}와 Q_{U2}의 값이 같으면 질의기준은 점이고, 그렇지 않으면 질의기준은 사각형이다. 본 논문에서는 질의기준으로 점 및 사각형을 모두 고려한다.

[15]에서 제시된 MINDIST는 2차원 검색공간에서만 적용할 수 있다. 그러나 다차원 검색공간에서 발생하는 최근접질의를 처리하기 위해서는 MINDIST를 다차원으로 확장하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 질의기준 Q와 최소경계사각형 M사이의 가장 가까운 거리인 확장된 최소거리(eXtended MINimum DISTance: XMINDIST)를 다음과 같이 제안한다.

【정의 2】 N차원 검색공간에서 질의기준 Q와 최소경계사각형 M과의 확장된 최소거리 $XMINDIST(Q, M)$를 다음과 같이 정의한다.

$$XMINDIST(Q, M) = \sum_{i=1}^{N} |Q_i - M_i|^2$$

$$Q_i = \begin{cases} Q_{Li}, & Q_{Li} > M_{Ui} \\ Q_{Ui}, & Q_{Ui} < M_{Li} \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

$$M_i = \begin{cases} M_{Li}, & Q_{Ui} < M_{Li} \\ M_{Ui}, & Q_{Li} > M_{Ui} \\ 0, & otherwise. \end{cases}$$

정의된 XMINDIST는 최소경계사각형 M에 포함되어 있는 부검색공간들 중에서 질의기준 Q에 가장 근접하고 있는 객체 또는 부검색공간을 결정하기 위한 거리이다. 만약 Q와 M이 겹쳐있는 경우에 XMINDIST는 0이며, 겹치지 않는 경우에 XMINDIST는 Q에서 가장 가까운 M의 변 또는 꼭지점까지의 유클리드 거리(euclidean distance)의 제곱과 같다. 즉, Q와 M의 폐쇄 경계 구간의 관계가 $Q_{Li} \le M_{Ui} \le Q_{Ui}$, $Q_{Li} \le M_{Li} \le Q_{Ui}$, $Q_{Li} \le M_{Li} \le M_{Ui} \le Q_{Ui}$, $M_{Li} \le Q_{Li} \le Q_{Ui} \le M_{Ui}$이면, 최소거리 XMINDIST는 Q로부터 M의 변까지 직선거리의 제곱이 되고, 그렇지 않으면 Q와 M의 가장 가까운 꼭지점간의 거리 제곱이 된다$(1 \le i \le N)$. 여기에서 직선거리의 계산은 2차원에서는 변(edge), 3차원에서는 평면(plane) 그리고 N차원에서는 초월평면(hyperface)이 적용된다.

3.1.2 최적탐색거리

R-트리 유형의 색인구조에서는 어느 하나의 부검색공간에 속해 있는 객체 또는 하위레벨의 부검색공간들이 점유하지 않은 빈 공간(dead space)이 생성되기 때문에, 최소거리보다 더 먼 거리에 최소근접객체가 존재할 수 있다. 그러므로 트리의 검색시 최소거리만을 이용하게 되면 잘못된 질의결과를 산출하게 된다[11].

[15]에서 제시한 MINMAXDIST는 두 개의 최소경계사각형 간에 마주하는 대각선상의 꼭지점을 이용하였다. 그러나 이와 같은 방법은 최소경계사각형 안에 있는 객체들 간의 거리에 대한 상한 값을 이용하였기 때문에 검색시 실질적으로 검사하여야할 노드들의 수를 정확히 줄이지 못한 방법이다.

따라서 색인의 검색시 불필요한 노드의 검사를 피하고 정확한 질의결과를 산출하기 위한 오차 없는 검색거리 측도가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 새로운 측도인 최적탐색거리(the Optimized MiniMum value of all DISTances: OMMDIST)를 다음과 같이 제안한다. 제안될 최적탐색거리는 질의기준 Q에서 최소경계사각형 M의 임의의 한변을 포함할 수 있는 거리들 중 최소거리로 계산된다.

【정의 3】 N차원 검색공간에서 질의기준 Q와 최소경계사각형 M과의 최적탐색거리 $OMMDIST(Q, M)$를 다음과 같이 정의한다.

만약 Q와 M이 겹쳐있으면

$$OMMDIST(Q, M) =$$

$$\min_{1 \le i \le N} \{ (| qr_i - mr_i |^2$$

$$+ \sum_{\substack{i \neq k \\ 1 \le k \le N}} |Qr_k - Mr_k|^2),$$

$$(|qr_i - Mr_i|^2 + \sum_{\substack{i \neq k \\ 1 \le k \le N}} |Qr_k - mr_k|^2),$$

$$(|q_i - Mr_i|^2 + \sum_{\substack{i \neq k \\ 1 \le k \le N}} |Q_k - mr_k|^2) \Big\}$$

여기에서

$$qr_i = \begin{cases} Q_{Li}, & \text{if } \frac{(Q_{Li} + Q_{Ui})}{2} \ge \frac{(M_{Li} + M_{Ui})}{2} \\ Q_{Ui}, & otherwise \end{cases}$$

$$Qr_k = \begin{cases} Q_{Lk}, & \text{if } \frac{(Q_{Lk} + Q_{Uk})}{2} \le \frac{(M_{Lk} + M_{Uk})}{2} \\ Q_{Uk}, & otherwise \end{cases}$$

$$q_i = \begin{cases} Q_{Li}, & \text{if } \frac{(Q_{Li} + Q_{Ui})}{2} \ge \frac{(M_{Li} + M_{Ui})}{2} \\ Q_{Ui}, & otherwise \end{cases}$$

$$Q_k = \begin{cases} Q_{Lk}, & \text{if } \frac{(Q_{Lk} + Q_{Uk})}{2} \ge \frac{(M_{Lk} + M_{Uk})}{2} \\ Q_{Uk}, & otherwise \end{cases}$$

$$mr_i = \begin{cases} M_{Li}, & \text{if } \frac{(Q_{Li} + Q_{Ui})}{2} \le \frac{(M_{Li} + M_{Ui})}{2} \\ M_{Ui}, & otherwise \end{cases}$$

$$Mr_k = \begin{cases} M_{Lk}, & \text{if } \frac{(Q_{Lk} + Q_{Uk})}{2} \ge \frac{(M_{Lk} + M_{Uk})}{2} \\ M_{Uk}, & otherwise. \end{cases}$$

그렇지 않으면

$$OMMDIST(Q, M) =$$

$$\min_{1 \le i \le N} \Big\{ (|qr_i - mr_i|^2 + \sum_{\substack{i \neq k \\ 1 \le k \le N}} |Qr_k - Mr_k|^2),$$

$$(|qr_i - Mr_i|^2 + \sum_{\substack{i \neq k \\ 1 \le k \le N}} |Qr_k - mr_k|^2) \Big\}$$

여기에서

$$qr_i = \begin{cases} Q_{Li}, & Q_{Li} \ge M_{Ui} \\ Q_{Ui}, & Q_{Ui} \le M_{Li} \\ Q_i, & otherwise \end{cases}$$

$$Q_i = \begin{cases} Q_{Li}, & \text{if } \frac{(Q_{Li} + Q_{Ui})}{2} \le \frac{(M_{Li} + M_{Ui})}{2} \\ Q_{Ui}, & otherwise \end{cases}$$

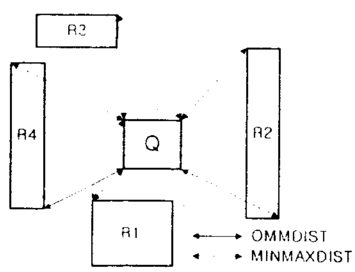
$$Qr_k = \begin{cases} Q_{Lk}, & \text{if } \frac{(Q_{Lk} + Q_{Uk})}{2} \ge \frac{(M_{Lk} + M_{Uk})}{2} \\ Q_{Uk}, & otherwise \end{cases}$$

$$mr_i = \begin{cases} M_{Li}, & \text{if } \frac{(Q_{Li} + Q_{Ui})}{2} \le \frac{(M_{Li} + M_{Ui})}{2} \\ M_{Ui}, & otherwise \end{cases}$$

$$Mr_K = \begin{cases} M_{Lk}, & \text{if } \frac{(Q_{Lk} + Q_{Uk})}{2} \ge \frac{(M_{Lk} + M_{Uk})}{2} \\ M_{Uk}, & otherwise. \end{cases}$$

정의된 OMMDIST는 질의기준 Q로부터 최소경계 사각형 M에 따른 부검색공간에 포함된 객체 또는 부검색공간들이 적어도 하나는 반드시 존재하는 최적의 거리이다. OMMDIST는 [15]에서 제시한 방법에 포함된 오차를 제거하고 다차원으로 확장한 것이다. 따라서 최근접질의 처리를 위하여 R-트리의 검색시 방문되는 노드들의 수를 정확히 줄일 수 있다.

(그림 3)은 [15]에서 제시한 최대탐색거리 MINMAXDIST와 본 논문에서 정의한 OMM DIST의 예를 비교한 것이다. MINMAXDIST와 OMMDIST에 의해 검색되는 노드 수를 계산해 보면 다음과 같다. [15]에서 제시된 방법은 먼저 질의기준 Q로 부터 MINDIST가 가장 작은 최소경계사각형 R1을 기준으로 MINMAXDIST(Q, R1)보다 MINDIST가 더 큰 값을 갖는 최소경계사각형을 찾는다. 그런데 이러한 최소경계사각형들이 없기 때문에 4개의 최소경계사각형 R1, R2, R3, R4에 해당하는 노드들을 모두 검색대상으로 선정하게 된다.



(그림 3) MINMAXDIST와 OMMDIST의 예
(Fig. 3) Example of MINMAXDIST and OMMDIST

그러나 OMMDIST에 의하면 OMMDIST(Q, R1)보다 R2, R3, R4의 XMINDIST가 더 크기 때문에 이에 해당하는 노드들은 검색대상에서 제외되며, 최소의 근접객체가 반드시 존재하는 R1만이 다음 검색대

상으로 선택된다. 따라서 필요하지 않는 3개의 노드 접근을 줄일 수 있다.

3.2 최적탐색거리에 의한 최근접질의 알고리즘

제안하는 알고리즘에서는 최근접질의에 만족하는 객체를 찾기 위한 검색 연산이 루트 노드부터 시작해서 하위 레벨의 노드까지 재귀적인 방법으로 이루어진다. 그리고 R-트리의 버켓은 객체들을 그리고 노드는 엔트리들을 저장하기 위한 고정된 크기의 저장단위이다. 최근접질의를 위한 검색 연산은 P를 루트 노드로 놓고 다음과 같은 알고리즘을 적용한다.

```
Procedure NearestNeighborSearch(Q:Query;
                                P:Point er);
{ Input · Query Point Q(I_1, I_2, ···, I_N),
        I_i denotes a range [Q_Li, Q_Ui] of D_i
  Output :  A nearest neighbor object from Q }
VAR
   N : Node_Type;
   B : Bucket_Type;
   Q_obj : Object_Type;
   Nearest : Nearest_Type;
BEGIN
   Get_Node(P,N);
  (* compute a distance to actual objects in bucket *)
   IF leaf_node(N) THEN
     FOR all N.Entry DO
     BEGIN
        sort_entry(Q,N.Entry.R[i]);
    List1 := Prunning_Node_Entry(Q,N.Entry.R[i]);
    FOR all List1 DO
    BEGIN
      Get_Bucket(N.Entry.P_child[i],B);
      FOR all B.Object DO
      BEGIN
         sort_entry(Q,B.Object.R[i]);
         List2 :=·Prunning_Object(Q,B.Object.R[i]);
         FOR all List2 DO
         BEGIN
           dist:= object_dist(Q_obj,B.Object.O[i]);
           IF dist < Nearest_dist THEN
           BEGIN
                Nearest.dist := dist;
                Nearest.obj := B.Object.O[i];
             END;
           END;
        .END;
      END;
   END
ELSE (* Search Subtrees *)
   FOR all N.Entry DO
   BEGIN
      sort_entry(Q,N.Entry.R[i]);
      List3 :=Prunning_Node_Entry(Q,N.Entry.R[i]);
      FOR all List3 DO
        NearestNeighborSearch(Q,N.Entry.P_child[i]);
   END;
END;
```

알고리즘에서 사용된 Get_Node 및 Get_Bucket은 주소지시자가 가리키는 노드와 버켓을 읽어오는 절차(procedure)이다. leaf_node는 입력된 노드가 리프 노드인가를 판별하는 함수이며, sort_entry는 질의와 노드의 각 엔트리간의 MINDIST를 계산하여 오름차순으로 순서화하는 함수이다. 그리고 Prunning_Node_Entry는 MINDIST에 의해 순서화된 엔트리들을 OMMDIST와 비교 연산후 검색할 필요가 없는 노드들을 제거하는 절차이며, Prunning_Object는 질의기준 Q로부터 객체까지의 거리보다 먼 XMINDIST(Q, M)인 M에 해당하는 객체들을 제거하는 절차이다. 또한 object_dist는 질의의 기준이 되는 객체와 버켓에 있는 객체들 사이의 거리를 계산하는 함수이다.

3.3 최적탐색거리의 특성 및 평가

다음의 정의는 다차원 검색공간을 구성하는 임의의 도메인에서 질의기준 Q와 최소경계사각형 M이 차지하는 범위간의 공간관계를 표현하기 위한 것이다. 즉, 2차원 검색공간에서는 Q를 구성하는 변과 M을 구성하는 변과의 공간관계를 의미하며, 3차원 검색공간에서는 Q와 M을 각각 구성하는 어느 하나의 축에 직각인 평면 사각형간의 공간관계를 의미한다.

최적탐색거리의 특성 및 기존의 최대탐색거리와의 차이는 다음의 네 가지 공간관계를 이용하여 평가된다.

【정의 4】 N차원 검색공간을 구성하는 임의의 도메인 D_i에서 질의기준 Q와 최소경계사각형 M이 차지하는 범위를 $I_i(Q)$와 $I_i(M)$이라 하자. $I_i(Q)=[Q_{Li}, Q_{Ui}]$이고 $I_i(M)=[M_{Li}, M_{Ui}]$일 때, $I_i(Q)$와 $I_i(M)$의 공간관계를 다음과 같이 IR_1, IR_2, IR_3, IR_4로 정의한다($1 \le i \le N$).

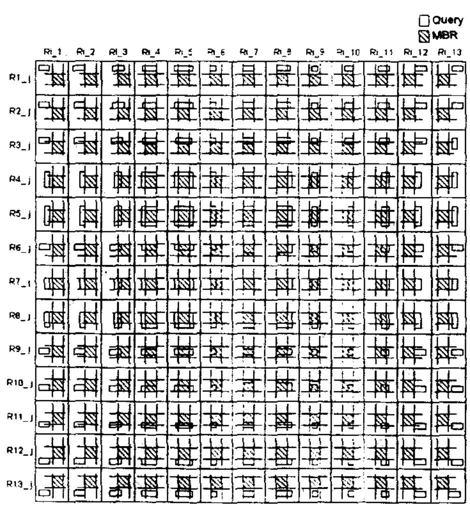
(1) $I_i(Q)$와 $I_i(M)$이 다음을 만족하면, $I_i(Q)$와 $I_i(M)$의 공간관계를 IR_1이라고 한다.
$Q_{Li} \le M_{Li}$이거나 $M_{Ui} \le Q_{Li}$

(2) $I_i(Q)$와 $I_i(M)$이 다음의 두 가지 경우중 하나를 만족하면, $I_i(Q)$와 $I_i(M)$의 공간 관계를 IR_2이라고 한다.
1) $Q_{Li} < M_{Li}$이고 $Q_{Ui} < M_{Ui}$
2) $M_{Li} < Q_{Li}$이고 $Q_{Ui} > M_{Ui}$

(3) $I_i(Q)$와 $I_i(M)$이 다음을 만족하면, $I_i(Q)$와 $I_i(M)$의 공간관계를 IR_3이라고 한다.
$Q_{Li} \le M_{Li}$이고 $M_{Ui} \le Q_{Ui}$

(4) $I_i(Q)$와 $I_i(M)$이 다음의 세 가지 경우중 하나를 만족하면, $I_i(Q)$와 $I_i(M)$의 공간 관계를 IR_4이라고 한다.
1) $Q_{Li} = M_{Li}$이고 $Q_{Ui} < M_{Ui}$
2) $M_{Li} < Q_{Li}$이고 $Q_{Ui} < M_{Ui}$
3) $M_{Li} < Q_{Li}$이고 $Q_{Ui} = M_{Ui}$

(그림 4)는 2차원 검색공간에서 두 최소경계사각형간의 가능한 모든 공간관계를 나타낸 것이다[10]. 질의기준 Q와 최소경계사각형 M과의 공간관계는 M의 x축의 중심 Ri_7과 y축의 중심 R7_j를 기준으로 서로 대칭적 성질을 보이며, 또한 Q와 M을 구성하는 각각의 변끼리의 공간관계를 정의 4에 기술된 공간관계의 조합으로 나타낼 수 있다. 즉, (그림 4)에서 Q와 M의 공간관계가 ⟨$R\,i\_1$, $R1\_j$⟩인 경우에 x축변끼리의 공간관계는 IR_1이고, y축변끼리의 공간관계는 IR_1이므로 Q와 M의 공간관계를 ⟨IR_1, IR_1⟩으로 표현할 수 있다.



(그림 4) 최소경계사각형간의 공간관계
(Fig. 4) Spatial relationships between MBRs

다음의 보조정리에서는 Q와 M의 공간관계를 M의 중심을 기준으로 좌측-위 방향과 M의 y축변에 Q의 변이 평행한 경우만을 고려한다. 그러나 기술될 보조정리는 다른 모든 방향으로 확장하여 동일하게 증명될 수 있다.

【보조정리 1】 2차원 검색공간에서 질의기준 Q로부터 최소경계사각형 M까지의 최적탐색거리 $OMMDIST$는 적어도 M의 한변을 포함하는 거리이다.

(증명) Q에서 가장 가까운 M의 x축변의 좌표값을 (M_{L1}, M_{U2}), (M_{U1}, M_{U2})라하고, y축변의 좌표값을 (M_{L1}, M_{L2}), (M_{L1}, M_{U2})라고 하자. 그러면 x축과 y축 변의 길이 Ml_x, Ml_y는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$Ml_x = |M_{U1} - M_{L1}|^2$$
$$Ml_y = |M_{U2} - M_{L2}|^2$$

증명에서는 $OMMDIST$의 연산시 Ml_x 또는 Ml_y가 포함됨을 보이면 된다.

경우 1. Q와 M의 x축과 y축변의 공간관계가 ⟨IR_1, IR_1⟩일 때,

1) $Ml_x \le Ml_y$인 경우
정의 3에 의해 $OMMDIST$는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} OMMDIST &= |Q_{U1} - M_{U1}|^2 + |Q_{L2} - M_{U2}|^2 \\ &= \{|Q_{U1} - M_{L1}| + |M_{U1} - M_{L1}|\}^2 \\ &\quad + |Q_{L2} - M_{U2}|^2 \\ &= \{|Q_{U1} - M_{L1}| + Ml_x\}^2 + |Q_{L2} - M_{U2}|^2 \end{aligned}$$

따라서 $OMMDIST$에 M의 꼭지점(M_{U1}, M_{U2})과 x축변의 길이 Ml_x가 포함된다.

2) $Ml_x > Ml_y$인 경우
정의 3에 의해 $OMMDIST$는 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
OMMDIST &= |Q_{U1}-M_{L1}|^2 + |Q_{L2}-M_{L2}|^2 \\
&= |Q_{U1}-M_{L1}|^2 + \\
&\quad \{|Q_{L2}-M_{U2}|+|M_{U2}-M_{L2}|\}^2 \\
&= |Q_{U1}-M_{L1}|^2 + \\
&\quad \{|Q_{L2}-M_{U2}| + Ml_y\}^2
\end{aligned}
$$

따라서 $OMMDIST$에 M의 꼭지점(M_{L1}, M_{L2}과 y축 변의 길이 Ml_y가 포함된다.

Q와 M의 x축과 y축변의 공간관계가 $\langle IR_1, IR_2\rangle$, $\langle IR_1, IR_3\rangle$, $\langle IR_1, IR_4\rangle$, $\langle IR_2, IR_2\rangle$, $\langle IR_2, IR_3\rangle$, $\langle IR_2, IR_4\rangle$, $\langle IR_3, IR_3\rangle$, $\langle IR_3, IR_4\rangle$, $\langle IR_4, IR_4\rangle$인 경우에 대한 증명은 경우 1과 동일하게 증명된다.

이상과 같이 모든 공간관계에 대해서 $OMMDIST$는 M의 한변을 포함하는 거리이므로, 2차원 검색공간에서 질의기준 Q로부터 최소경계사각형 M까지의 최적탐색거 $OMMDIST$는 적어도 M의 한변이 포함되는 거리임이 성립한다.

【보조정리 2】 2차원 검색공간에 있는 최소경계사각형 M의 임의의 한변에서 그 변에 접해 있는 객체 또는 부검색공간이 반드시 하나는 존재한다.

(증명) 2차원 검색공간에서 M에 포함되어 있는 m개의 객체 또는 부검색공간들을 S라 하자.

$S=\{s_1, s_2, \cdots, s_m\}$ (s_i : i번째 객체 또는 부검색공간의 영역)

그러면 M은 정의 1에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M=[S_L, S_U]_1 \times [S_L, S_U]_2$$

여기에서

$S_{L1}=\min\{s_i(X_1)\}$, $S_{U1}=\max\{s_i(X_1)\}$

$S_{L2}=\min\{s_i(X_2)\}$, $S_{U2}=\max\{s_i(X_2)\}$

$s_i(X_j)$: s_i를 도메인 X_j에 사상한 값들이다($1\le i\le m$, $j=1, 2$).

S가 M의 어느 한변과 접하지 않는다고 가정하자. 그러면 M에 대한 폐쇄 경계 구간의 값 S_{L1}, S_{U1}, S_{L2}, S_{U2}중에서 적어도 하나는 다음을 만족하게 된다.

1) $S_{L1}<\min\{s_i(X_1)\}$ 2) $S_{U1}>\max\{s_i(X_1)\}$

3) $S_{L2}<\min\{s_i(X_2)\}$ 4) $S_{U2}>\max\{s_i(X_2)\}$

위의 어떤 경우에도 최소경계사각형 정의에 모순이 되기 때문에 기존의 M보다 더 작은 최소경계사각형이 생성되게 된다. 따라서 최소경계사각형 M의 임의의 한변에는 반드시 접해 있는 객체 또는 부검색공간이 존재한다. □

【정리 1】 2차원 검색공간에서 질의기준 Q로부터 최소경계사각형 M까지 최적탐색거리 $OMMDIST$는 적어도 M의 한변을 포함하는 거리이며, 그 변에 접해 있는 부검색공간이 반드시 하나는 존재한다.

(증명) 보조정리 1에 의해 Q로부터 M까지의 $OMMDIST$가 M의 한변을 포함하는 거리임이 증명되며, 보조정리 2에 의해 M의 임의의 한변에 부검색공간이 반드시 접해 있음이 증명된다. 따라서 위의 정리가 성립함이 증명된다. □

정리 1은 본 논문에서 제안한 검색거리 측도의 기본개념 및 특성이다. 최근접질의 처리시 질의기준 Q로부터 최소경계사각형의 한변을 반드시 포함하는 거리인 OMMDIST을 적용하므로써 검색될 노드를 정확히 선택할 수 있다. 따라서 색인에서 방문되는 전체 노드의 수가 최소화되기 때문에 질의처리에 따른 비용을 최적화한다.

다음의 정리에서는 논문에서 제안한 최적탐색거리 OMMDIST가 [15]에서 사용된 최대탐색거리 MINMAXDIST보다 항상 작거나 같음을 증명한다.

【정리 2】 2차원 검색공간에서 질의기준 Q와 최소경계사각형 M사이의 최적탐색거리 $OMMDIST$는 최대탐색거리 $MINMAXDIST$보다 항상 작거나 같다.

(증명) Q에서 가장 가까운 M의 x축변의 좌표값을 (M_{L1}, M_{U2}), (M_{U1}, M_{U2})라 하고, y축변의 좌표값을 (M_{L1}, M_{L2}), (M_{L1}, M_{U2})라 하자. 그리고 M에서 가장 가까운 Q의 x축변의 좌표값을 (Q_{L1}, Q_{L2}), (Q_{U1}, Q_{L2})라 하고, y축변의 좌표값을 (Q_{U1}, Q_{L2}), (Q_{U1}, Q_{U2})라 하자. 그러면 x축과 y축변의 길이 Ql_x, Ql_y, Ml_x, Ml_y는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$Ql_x=|Q_{U1}-Q_{L1}|^2$$
$$Ql_y=|Q_{U2}-Q_{L2}|^2$$
$$Ml_x=|M_{U1}-M_{L1}|^2$$
$$Ml_y=|M_{U2}-M_{L2}|^2$$

증명에서는 $MINMAXDIST-OMMDIST\ge 0$임을

보이면 된다.

경우 1. Q와 M의 x축과 y축변의 공간관계가 $\langle IR_1, IR_1\rangle$ 일 때,

1) $Ql_x \le Ql_y$이고 $Ml_x \le Ml_y$인 경우

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*는 다음과 같다.

$$MINMAXDIST = |Q_{L1} - M_{U1}|^2 + |Q_{L2} - M_{U2}|^2$$
$$OMMDIST = |Q_{U1} - M_{U1}|^2 + |Q_{L2} - M_{U2}|^2$$

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*의 차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &MINMAXDIST - OMMDIST \\ &\quad = |Q_{L1} - M_{U1}|^2 - |Q_{U1} - M_{U1}|^2 \\ &\quad = \{|Q_{L1} - Q_{U1}| + |Q_{U1} - M_{U1}|\}^2 - |Q_{U1} - M_{U1}|^2 \end{aligned}$$

여기에서 $\{|Q_{L1} - Q_{U1}| + |Q_{U1} - M_{U1}|\}^2 > |Q_{U1} - M_{U1}|^2$ 이다. 따라서 $MINMAXDIST - OMMDIST > 0$인 관계가 성립한다.

2) $Ql_x \le Ql_y$이고 $Ml_x > Ml_y$인 경우

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*는 다음과 같다.

$$MINMAXDIST = |Q_{L1} - M_{L1}|^2 + |Q_{L2} - M_{L2}|^2$$
$$OMMDIST = |Q_{U1} - M_{L1}|^2 + |Q_{L2} - M_{L2}|^2$$

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*의 차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &MINMAXDIST - OMMDIST \\ &\quad = |Q_{L1} - M_{L1}|^2 - |Q_{U1} - M_{L1}|^2 \\ &\quad = \{|Q_{L1} - Q_{U1}| + |Q_{U1} - M_{L1}|\}^2 - |Q_{U1} - M_{L1}|^2 \end{aligned}$$

여기에서 $\{|Q_{L1} - Q_{U1}| + |Q_{U1} - M_{L1}|\}^2 > |Q_{U1} - M_{L1}|^2$ 이다. 따라서 $MINMAXDIST - OMMDIST > 0$인 관계가 성립한다.

3) $Ql_x > Ql_y$이고 $Ml_x \le Ml_y$인 경우

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*는 다음과 같다.

$$MINMAXDIST = |Q_{U1} - M_{U1}|^2 + |Q_{U2} - M_{U2}|^2$$
$$OMMDIST = |Q_{U1} - M_{U1}|^2 + |Q_{L2} - M_{U2}|^2$$

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*의 차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &MINMAXDIST - OMMDIST \\ &\quad = |Q_{U2} - M_{U2}|^2 - |Q_{L2} - M_{U2}|^2 \\ &\quad = \{|Q_{U2} - Q_{L2}| + |Q_{L2} - M_{U2}|\}^2 - |Q_{L2} - M_{U2}|^2 \end{aligned}$$

여기에서 $\{|Q_{U2} - Q_{L2}| + |Q_{L2} - M_{U2}|\}^2 > |Q_{L2} - M_{U2}|^2$ 이다. 따라서 $MINMAXDIST - OMMDIST > 0$인 관계가 성립한다.

4) $Ql_x > Ql_y$이고 $Ml_x > Ml_y$인 경우

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*는 다음과 같다.

$$MINMAXDIST = |Q_{U1} - M_{L1}|^2 + |Q_{U2} - M_{L2}|^2$$
$$OMMDIST = |Q_{U1} - M_{L1}|^2 + |Q_{L2} - M_{L2}|^2$$

*MINMAXDIST*와 *OMMDIST*의 차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &MINMAXDIST - OMMDIST \\ &\quad = |Q_{U2} - M_{L2}|^2 - |Q_{L2} - M_{L2}|^2 \\ &\quad = \{|Q_{U2} - Q_{L2}| + |Q_{L2} - M_{L2}|\}^2 - |Q_{L2} - M_{L2}|^2 \end{aligned}$$

여기에서 $\{|Q_{U2} - Q_{L2}| + |Q_{L2} - M_{L2}|\}^2 > |Q_{L2} - M_{L2}|^2$ 이다. 따라서 $MINMAXDIST - OMMDIST > 0$인 관계가 성립한다.

Q와 M의 x축과 y축변의 공간관계가 $\langle IR_1, IR_2\rangle$, $\langle IR_1, IR_3\rangle$, $\langle IR_1, IR_4\rangle$, $\langle IR_2, IR_2\rangle$, $\langle IR_2, IR_3\rangle$, $\langle IR_2, IR_4\rangle$, $\langle IR_3, IR_3\rangle$, $\langle IR_3, IR_4\rangle$, $\langle IR_4, IR_4\rangle$인 경우에 대한 증명은 경우 1과 동일하게 증명된다.

이상과 같이 모든 공간관계에 대해서 *OMMDIST*는 *MINMAXDIST*보다 작거나 같으므로, 2차원 검색공간에서 최적탐색거리 *OMMDIST*는 최대탐색거리 *MINMAXDIST*보다 항상 작거나 같다. □

정리 2는 제안한 최적탐색거리 OMMDIST가 기존의 최대탐색거리 MINMAXDIST에 의한 측도에 비해 최소근접객체가 존재하는 거리를 정확하게 줄일 수 있음을 보인 것이다. 최적탐색거리를 이용하면 검색공간에 존재하는 객체들에 대한 검색범위를 가장 작게 유지하므로 트리에서 검색되는 노드의 수를 줄인다. 이는 최근접질의처리시 보조기억장치의 접근 횟수를 최소화한다.

4. 결 론

최근접질의의 성능을 높이기 위해서는 색인에서 검색되는 노드의 수를 최소화하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이를 위해 새로운 검색거리 측도인 최적탐색거리를 제안하였다. 그리고 이를 R-트리에 적용한 최근접질의 알고리즘을 설계하였다. 또한 최적탐색거리의 특성을 정리하였으며 기존의 방법과 처리성능을 비교 분석하였다.

논문에서 제안된 최적탐색거리는 질의기준으로부터 부검색공간에 포함된 객체 또는 부검색공간들이 적어도 하나는 반드시 존재하는 최적의 거리이다.

증명을 통하여 최적탐색거리는 기존의 최대탐색거리에 비해 최소근접객체가 존재하는 거리를 정확하게 줄일 수 있음을 보였다. 따라서 최적탐색거리의 이용은 검색되는 노드의 수를 최소화하기 때문에 최근접질의에 따른 비용을 최소화한다.

앞으로의 연구방향은 실험을 통하여 제안된 검색거리 측도의 성능을 평가하는 것이다. 또한 한 개이상의 최근접객체를 찾는 질의처리 알고리즘을 개발하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] N. Beckmann, H. Kriegel, R. Schneider and B. Seeger, "The R*-tree: a Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles," Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, pp. 322-331, 1990.

[2] T. Brinkhoff, H. P. Kriegel and R. Schneider, "Comparison of Approximation of Complex Objects Used for Approximation based Query Processing in Spatial Database Systems," Proc. of the 9th Int. Conf. on Data Engineering, pp. 40-49, 1993.

[3] T. Brinkhoff, H. P. Kriegel, R. Schneider and B. Seeger, "Multi-Step Processing of Spatial Joins," Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, 1994.

[4] O. Guenther and A. Buchmann, "Research Issues in Spatial Databases," ACM SIGMOD Record, Vol. 19, No. 4, pp. 61-68, 1990.

[5] A. Guttman, "R-tree: a Dynamic Index Structure for Spatial Searching," Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, pp. 599-608, 1984.

[6] R. H. G ting, "An Introduction to Spatial Database Systems," VLDB Journal, No. 3, pp. 357-399, Aug. 1994.

[7] E. G. Hoel and H. Samet, "Efficient Processing of Spatial Queries in Line Segment Databases," Proc. of the 2nd Sym. on Large Spatial Databases, pp. 237-256, 1991.

[8] H. P. Kriegel, H. Horn and M. Schiwietz, "The Performance of Object Decomposition Techniques for Spatial Query Processing," Proc. of the 2nd Sym. on Large Spatial Databases, pp. 257-276, 1991.

[9] C. B. Mederios and F. Pires, "Databases for GIS," Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, Vol. 23, No. 1, pp. 107-115, 1994.

[10] D. Papadias, Y. Theodoridis, T. Sellis, and M. J. Egenhofer, "Topologocal Relations in the World of Minimum Bounding Rectangles: A Study with R-trees," Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, pp. 92-103, 1995.

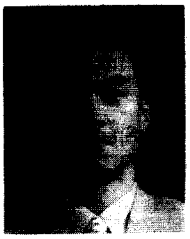
[11] N. Roussopoulos, S. Kelley and F. Vincent, "Nearest Neighbor Queries," Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, pp. 71-79, 1995.

[12] H. Samet, The Design and Analysis of Spatial Data Structures, Addison-Wesley, 1990.

[13] H. Samet, Application of Spatial Data Structures, Addison-Wesley, 1990.

[14] T. Sellis, N. Roussopoulos and C. Faloutsos, "The R+-tree: a Dynamic Index for Multidimensional Objects," Proc. 13th VLDB Conf., pp. 507-518, Sept. 1987.

[15] 이동만, 이용주, 정진완, "R-트리를 이용한 최 근접 질의 처리에 관한 연구," 한국정보과학회 가을 학술발표 논문집, 제 23권, 2호, pp. 35-38, 1996.

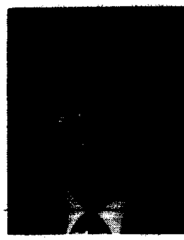


선 휘 준

1988년 목포대학교 전산통계학과 졸업
1990년 전남대학교 대학원 전산통계학과(이학석사)
1991년~현재 전남대학교 대학원 전산통계학과 박사과정
1997년~현재 서남대학교 전산정보학과 전임강사
관심분야: 공간 데이타베이스, 공간자료구조, 지리정보시스템

황 부 현

1978년 숭실대학교 전산학과 졸업(학사)
1980년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
1994년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)
1981년~현재 전남대학교 전산학과 교수
관심분야: 데이타베이스 보안, 이동 컴퓨팅, 트랜잭션 관리, 분산 처리 시스템 등



류 근 호

1976년 숭실대학교 전산학과 졸업(학사)
1980년 연세대학교 산업대학원 전산전공(공학석사)
1988년 연세대학교 대학원 전산전공(공학박사)
1976년~1986년 육군군수 지원사 전산실(ROTC장교), 한국전자통신연구소(연구원), 한국방송통신대 전산학과(조교수) 근무
1989년~1991년 Univ. of Arizona 연구원
1986년~현재 충북대학교 컴퓨터과학과 교수겸 컴퓨터과학연구소장
관심분야: 시간지원 데이타베이스, 시공간 데이타베이스, DBMS 및 OS, 객체 및 지식베이스 시스템