제18회 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집 제9권 제2호 (2002.11)

객체지향 질의처리를 위한 다차원 중포 속성 색인구조의 최적 설계기법

윤동하°, 이종학
대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부
e-mail:{s7348921, jhlee11}@cataegu.ac.kr

Optimal Design Method of Multidimensional Nested Attribute Indexes for Object-Oriented Query Processing

Dong-Ha Yoon, Jong-Hak Lee
School of Computer & Information Communications Engineering, Catholic Univ. of Daegu

요 약

본 논문에서는 객체지향 데이터베이스 시스템에서 중포 속성에 대한 색인구조로 다차원 색인구조를 이용하는 다차원 중포 색인구조(Multidimensional Nested Attribute Index: MD-NAI)의 최적 설계기법을 제시한다. MD-NAI는 일차원 색인구조를 이용한 중포 속성 색인구조에서 지원할 수 없는 클래스 계층상의 클래스 대치가 있는 중포 술어의 질의처리를 잘 지원할 수 있다. 그러나, MD-NAI는 사용자 질의 형태에 따라 색인검색의 성능이 매우 나빠질 수 있다. 본 논문에서는 질의 형태에 따른 MD-NAI의 성능 개선을 위하여, 먼저 중포 술어에 대한 질의 정보로서 MD-NAI의 색인 페이지 영역의 최적 모양을 결정하고, 이 최적 모양을 갖는 색인 페이지 영역의 모양이 되도록 하는 영역분할 전략을 적용한다. 성능평가의 결과에 의하면, 주어진 질의 패턴에 따라 최적의 MD-NAI를 구성할 수 있었으며, 삼차원 MD-NAI의 경우에 질의 형태에 따라 5.5배까지 성능이 향상되었다.

1. 서론

객체지향 데이터베이스 시스템의 질의처리 성능 최적화는 중요한 연구과제이다. 최근에 제안된 객체지향 데이터베이스 색인기법들은 객체지향 질의처리의 성능 향상에 크게 기여하고 있다[2]. 그러나, 이들 색인구조들은 기존의 관계형 데이터베이스의 단순 속성에 대한 색인구조에 비해 저장공간 및 갱신유지 비용에 큰 부담이 있다. 또한, 색인구조의 종류에 따라 검색 성능이 다른 특성도 있다. 그러므로, 객체지향 데이터베이스 색인기법을 통한 질의처리의 잇점이 저장공간 및 갱신유지를 위한 부담으로 인해 상쇄되지 않게 하기 위해서는 색인들이 매우 신중히 구성되어야 하며, 효과적인 색인구성 방법에 관한 연구가 필수적이라 할 수 있다.

객체지향 데이터베이스를 구성하는 클래스 집단화 계층상의 모든 클래스에서 정의된 어떠한 속성도 논리적으로는 루트 클래스의 속성이라고 볼 수 있다. 우리는 이런 속성을 루트 클래스의 *중포 속성(nested attribute)*[1, 4]이라 한다. 중포 속성을 표현하는 경로식[2, 4]에는 속성값(객체 참조자: Oid)들의 참조관계에 의한 객체와 객체 사이에 *암시적 조인(implicit join)*[5]의 의미를 가지고 있다. 이러한 암시적 조인은 데이터베이스 스키마에 의해 미리 예상이 가능하다. 따라서, 질의에 자주 나타나는 중포 속성에 대한 암시적 조인을 미리 계산하여 그 결과를 색인으로 구축하여 놓음으로써, 질의처리시 이를 이용하여 성능 향상을 꾀할 수 있으며 이를 중포 속성에 대한 색인기법[1]이라 한다. 그러나, 이러한 중포 속성에 대한 색인기법으로 B^+-tree와 같은 일차원 색인구조를 이용할 경우, 클래스 상속에 의한 특징으로 질의의 대상 범위가 클래스 계층상의 임의의 클래스들로 제한되거나, 경로식에 나타나는 속성의 도메인이 클래스 계층상의 임의의 클래스들로 제한이 되는 질의들을 지원하기 어려운 문제점을 가지고 있다.

이와 같은 일차원 색인구조를 이용하는 기존의 중포 속성에 대한 색인기법들이 가지는 문제점을 해결하기 위하여, 다차원 동적 화일구조를 중포 속성에 대한 색인구조로 이용할 수 있으며 이를 *다차원 중포 속성 색인구조*라 한다. 다차원 중포 속성 색인구조에서는 중포 속성의 킷값들로 구성된 *키 속성 도메인*과 함께, 경로식에 나타나는 각 속성마다 그 속성의 도메인 클래스 계층을 이루는 클래스들의 *클래스 식별자 도메인*을 할당하여 다차원 색인구조를 구성한다.

그러나, 중포 속성에 대한 색인구조로 다차원 동적 화일구조를 단순히 이용하는 것은 키 속성 도메인의 크기와 클래스 식별자 도메인의 크기가 매우 다르고, 주어지는 질의의 형태가 다름으로 인하여 색인 검색의 성능이 매우 나빠질 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 다차원 중포 속성 색인구조의 성능을 개선하기 위하여, 주어진 질의 패턴에 따라 색인 엔트리들의 최적의 클러스터링을 가능하게 하는 다차원 중포 속성 색인구조의 최적 설계기법을 제시한다.

다차원 중포 속성 색인구조의 최적 설계기법에서는 먼

저, 사전에 분석한 사용자 질의 형태에 대한 정보를 이용하여 키 속성 도메인과 여러 개의 클래스 식별자 도메인 사이의 색인 엔트리들에 대한 클러스터링 정도를 구한다. 그리고, 이러한 클러스터링 정도를 유지하도록 하는 다차원 도메인 공간의 영역분할 전략을 적용하여 다차원 색인구조를 구성한다. 이러한 색인구조의 핵심 아이디어는 다차원 도메인 공간상에서 색인 엔트리들의 클러스터링 정도를 주어진 질의 패턴에 적합하도록 조정함으로써, 주어진 질의들에 의해서 액세스되는 색인 페이지의 평균 개수를 최소화하는 것이다. 사전에 분석한 질의 정보를 화일구조의 구성에 이용하는 기법은 물리적 데이터베이스 설계기법으로 지금까지 널리 사용되고 있다[3, 6].

2. 관련 연구

2.1 객체지향 데이터 모델

객체지향 데이터베이스에서 사용자가 정의하는 클래스들은 루트를 가진 이차원 방향성 그래프(rooted two-dimensional directed graph)를 형성하며, 이 그래프를 그 클래스에 대한 *스키마 그래프*(*Schema Graph: SG*)라 정의한다[5]. 그림 1은 클래스 Person에 대한 SG이다. 그림 1에서 클래스 Person은 서브 클래스 Instructor와 Student, 그리고 Instructor와 Student의 서브 클래스들을 포함하는 클래스 상속 계층구조와 Computer와 Company를 포함하는 클래스 집단화 계층구조의 루트이다.

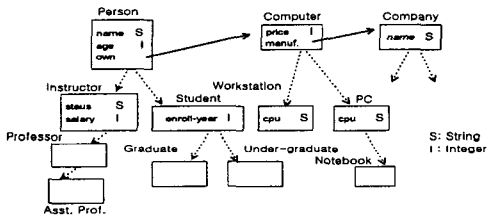

그림 1: 클래스 Person에 대한 스키마 그래프.

클래스 C의 *중포 속성*이란 클래스 C로부터 실선 링크로 연결된 클래스에서 정의된 속성들을 의미하며, 클래스 C와 속성들의 나열로서 표시한다. 그리고, 클래스 집합 C^*는 클래스 C와 그의 모든 서브 클래스들을 원소로 하는 집합으로 정의한다.

2.2 객체지향 질의어의 특징

본 논문에서는 Kifer[4]가 제안한 질의어 모델을 가정하여 중포 속성에 대한 객체지향 질의어의 특징을 설명한다. 객체지향 질의어는 Select, From, Where 절로 구성되며 각 절에서 객체지향 개념을 지원하도록 확장되었다. From 절에는 질의의 대상이 되는 클래스를 기술하며, Where 절에는 단순 속성에 대한 조건인 *단순 술어*와 더불어 중포 속성에 대한 조건인 *중포 술어*를 사용할 수 있다.

객체지향 질의에서 중포 속성을 표현하는 방법으로 *경로식*[4]을 사용한다. 경로식은 클래스 집단화 계층구조상에서 클래스 이름과 속성의 교차적인 나열로서 다음과 같은 형태를 가진다. 단, A_i 뒤의 중괄호({ })는 선택적임을 나타내는 표시이다.

$$P = C_1.A_1\{[C_2]\}.A_2\{[C_3]\}...A_n\{[C_{n+1}]\} \quad (1)$$

경로식 P에서 클래스 C_1을 *타겟 클래스*, 속성 A_i의 도메인이 되는 C_{i+1}을 A_i의 *도메인 클래스*라 정의한다. 타겟 클래스와 도메인 클래스는 경로에서 클래스 계층구조에 속하는 특정 클래스로 한정될 수 있다[4, 5]. 수식(1)의 경로 P에서 속성 A_i의 도메인은 뒤에 대괄호 ([ ])가 생략되면 자동으로 클래스 집합 C^*_{i+1}로 되지만, C^*_{i+1}에 속하는 특정 클래스가 대괄호 안에 지정되면 대괄호 안의 클래스로 한정된다.

경로식에서 속성의 도메인 클래스가 특정 클래스로 한정되는 것을 *도메인 대치*라 하고, 타겟 클래스가 특정 클래스로 한정되는 것을 *타겟 대치*라 한다. 이러한 클래스 대치는 질의의 범위를 특정한 클래스로 한정할 수 있도록 하여 클래스 상속의 개념을 객체지향 질의에 표현하도록 한 것이다[4, 5].

3. 다차원 중포 속성 색인구조

객체지향 데이터베이스 질의어의 중포 술어에는 클래스 대치가 있을 수 있으며, 이러한 중포 술어의 처리를 지원하기 위한 색인구조로 다차원 색인구조를 이용할 수 있다. 즉, 색인할 중포 속성의 키 속성 도메인과 함께 중포 속성을 표현하는 경로상의 각 클래스 계층마다 클래스 식별자들로 구성된 한 차원씩의 클래스 식별자 도메인을 할당함으로써, (중포 속성을 표현하는 경로식의 *경로길이 +1*)차원의 도메인 공간을 구성하여 이를 다차원 색인구조에 적용한다.

다차원 중포 속성 색인구조에서 클래스 식별자 도메인은 클래스 대치가 되는 클래스 계층의 클래스 식별자들이 하나의 연속된 구간이 되도록 구성하여야 한다. 그렇지 않으면, 다차원 도메인 공간상에서 클래스 대치가 있는 중포 술어에 대한 질의 영역이 여러 개의 영역으로 분리되기 때문에 색인 탐색의 성능이 저하되기 때문이다. 클래스 계층에서 임의의 클래스 C와 그의 서브클래스들로 구성되는 클래스 집합을 C^*로 표현할 때, 트리 구조의 클래스 계층구조에서는 클래스 식별자들을 클래스 계층의 전위 순회(preorder traversal) 순서로 나열되게 클래스 식별자 도메인을 구성함으로써, C^*에 포함되는 클래스 식별자들이 클래스 식별자 도메인 상에서 하나의 연속된 구간으로 표현되게 할 수 있다[1].

그림 2는 그림 1의 스키마 그래프에서 Person 클래스 계층에 대한 클래스 식별자 도메인의 구성 예를 나타낸다. 즉, 각 클래스 식별자들이 Person 클래스 계층의 전위 순회 순서로 매핑되는 도메인상의 값과 각 클래스 C를 루트로 하는 클래스 집합 C^*에 대응하는 클래스 식별자 도메인상의 연속된 값들의 구간을 보여준다.

클래스-id (C)	도메인 값	C^*의 구간
Person	0	0 ~ 6
Instructor	1	1 ~ 3
Professor	2	2 ~ 3
Asst. Prof	3	3 ~ 3
Student	4	4 ~ 6
Graduate	5	5 ~ 5
Under-grad.	6	6 ~ 6

그림 2: 그림 1의 Person 클래스 계층의 클래스 식별자 도메인의 구성 예.

본 논문에서는 중포 속성에 대한 색인구조를 다차원 화일구조의 하나인 계층 그리드 화일(multilevel grid file: MLGF)[8]을 이용하여 구성하고, 이를 *다차원 중포 속성 색인구조*(*Multidimensional Nested Attribute Index: MD-NAI*)라 한다. MD-NAI는 디렉토리와 색인 페이지로

1) DAG 구조의 클래스 계층구조인 경우에는 클래스 계층 선형화 (class hierarchy linearization) 알고리즘[7]을 적용함.

구성된다. 디렉토리는 다단계의 균형된 트리 구조를 가지며, 디렉토리를 구성하는 디렉토리 페이지의 구조는 MLGF에서와 마찬가지이다. 색인 페이지는 색인 레코드들로 구성되며, 각 색인 레코드에는 경로상의 각 클래스 식별자 값(class-id value) 필드, 키 값(key value) 필드, 객체 또는 경로의 개수 필드, 및 이들에 대한 색인 엔트리들의 리스트 필드가 있다. 그리고, 레코드의 크기가 페이지의 크기보다 크게될 때 오버플로우 페이지를 할당하고 이를 포인트하기 위한 오버플로우 페이지(overflow page) 필드가 있다.

MD-NAI는 색인 페이지의 색인 레코드에 있는 색인 엔트리의 구성방법에 따라 다차원 중포 색인구조과 다차원 경로 색인구조의 두 가지 색인구조로 분류할 수 있다. *다차원 중포 색인구조(Multidimensional Nested Index: MNI)*는 색인 엔트리를 색인된 중포 속성의 타겟 클래스 계층에 속하는 객체에 대한 객체 식별자(즉, Oid)들로 구성하며, *다차원 경로 색인구조(Multidimensional Path Index: MPI)*는 색인 엔트리를 색인된 중포 속성에 대한 경로 인스턴스(즉, Oid 리스트)들로 구성한다. 그림 3은 MPI의 색인 페이지 구조를 나타낸다.

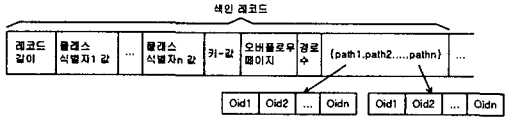

그림 3: MPI의 색인 페이지 구조.

중포 속성에 대한 색인기법은 중포 술어를 만족하는 객체들의 탐색에는 매우 유용하지만, 경로의 길이에 따라 상대적으로 색인구조의 유지비용을 많이 필요로 한다[1]. 따라서, 경로의 길이가 4이상일 경우에는 경로를 길이가 1, 2, 또는 3이 되는 서브경로들로 분할한 다음에, 각 서브경로에 따라 MNI 또는 MPI를 할당하여야 한다[1, 2]. 따라서, 본 논문에서는 경로의 길이가 2인 경우의 삼차원 MD-NAI에 대해서 최적 설계기법을 제시하고 성능평가를 실시한다.

4. 다차원 중포 속성 색인구조의 최적 설계기법

다차원 도메인 공간상에서 한 영역의 모양은 영역을 구성하는 각 축에 대한 구간 크기의 비를 나타내는 *구간비*로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 객체지향 질의에서 사용되는 중포 술어들이 다차원 도메인 공간상에 매핑되는 질의 영역들의 형태에 대한 정보를 기반으로 질의 영역들에 의해 교차하는 색인 페이지 영역들의 개수가 최소로 되는 *페이지 영역의 최적 구간비*를 결정하고, 가능한 이와 같은 구간비를 갖는 페이지 영역들이 되도록 하는 영역분할 전략을 사용함으로써 최적의 MD-NAI를 구성하는 설계기법을 제시한다.

4.1 MD-NAI의 최적조건

다차원 색인구조에서는 다차원 도메인 공간에 주어진 색인 페이지 영역의 구간비에 따라 질의 영역에 의해서 교차되는 페이지 영역의 평균 개수가 달라지는 특징이 있다. 참고문헌[6]에서는 이러한 특징을 이용하여 데이터의 균일 분포와 비균일 분포 각각에 대하여 주어진 질의 영역들에 대해 페이지 영역의 평균 액세스 횟수를 최소로 하는 페이지 영역의 최적 구간비를 계산하는 방법을 제안하였다.

따라서, 본 논문에서는 참고문헌[6]에서 제안한 다차원 색인구조에서 페이지 영역의 최적 구간비를 계산하는 방법을 이용하여 최적의 MD-NAI 색인구조를 구성한다. 즉, 경로의 길이가 2인 경우에 적용할 삼차원 MD-NAI 색인구조인 경우에는 X, Y, Z축으로 구성된 n개의 삼차원 질의 영역 $q_i(x)\times q_i(y)\times q_i(z)(i=1, ..., n)$에 대해 색인 페이지 영역의 최적 구간비를 $\sum_{i=1}^{n} q_i(x)\, d_i^{1/3}$: $\sum_{i=1}^{n} q_i(y)\, d_i^{1/3}$: $\sum_{i=1}^{n} q_i(z)\, d_i^{1/3}$로 계산한다. 여기서, d_i는 해당 질의 영역의 객체 밀집도를 나타낸다. 다음 제 4.2절에서는 이렇게 계산된 색인 페이지 영역의 최적 구간비를 갖는 MD-NAI를 구성하기 위한 색인구조의 영역분할 전략을 기술한다.

4.2 MD-NAI의 조작과 영역분할 전략

MD-NAI의 삽입, 삭제, 및 검색과 관련된 조작 연산의 구체적인 알고리즘은 참고문헌 [8]에 기술된 MLGF의 조작 알고리즘과 거의 동일하나, 삽입 연산의 영역분할 전략에서 차이가 있다. 따라서, 본 절에서는 페이지 영역의 구간비가 제 4.1절에서 기술한 방법에 의하여 계산되는 페이지 영역의 최적 구간비에 접근하도록 하는 영역분할 전략을 제시한다.

아래 정리 1은 특정 모양의 질의 영역이 이차원 도메인 공간상의 임의의 위치에 주어질 때, 특정 크기의 한 페이지 영역과 만나게 되는 질의 영역의 위치 영역의 크기는, 그 페이지 영역의 모양이 주어진 질의 영역의 모양과 같을 때 최소가 됨을 나타낸다.

정리 1 구간비가 $a : b$인 $a\times b$형태의 질의 영역 Q가 이차원 도메인 공간상의 임의의 위치에 주어질 때, 크기가 R인 $p(x)\times p(y)$ 형태의 한 페이지 영역 P와 만나게 되는 Q의 위치 영역의 크기가 최소로 되는 경우는 P의 구간비($p(x) : p(y)$)가 주어진 Q의 구간비($a : b$)와 같을 때이다.

증명: 아래 그림 4는 $a\times b$형태의 질의 영역 Q가 이차원 도메인 공간상의 임의의 위치에 주어질 때, 크기가 R인 $p(x)\times p(y)$인 특정 페이지 영역 P와 만나게 되는 위치 영역을 질의 영역 Q의 중앙점의 위치 영역(빗금친 부분) LR로 나타낸 것이다.

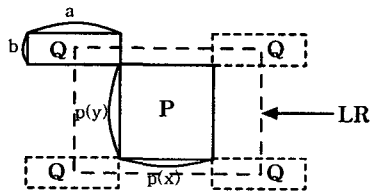

그림 4: 임의의 한 페이지 영역과 만나게 되는 질의 영역의 위치 영역.

그림 4에서 LR의 크기 $S_LR(p(x), p(y))$는 다음 식과 같다.

$$S_LR(p(x), p(y)) = (p(x)+q_x)(p(y)+q_y) \qquad (2)$$

$p(x)\times p(y) = R$ 이므로, 식(2)의 $p(y)$를 $\frac{R}{p(x)}$로 치환하여 이 값을 최소로 하는 $p(x)$를 구하면, $p(x) = \sqrt{(a/b)R}$ 이다. 또한, 이러한 $p(x)$에 대한 $p(y)$는 $p(x)\times p(y) = R$ 에 의하여 $p(y) = \sqrt{(b/a)R}$ 이다. 그러므로, $S_LR(p(x), p(y))$를 최소로 하는 페이지 영역 P의 구간비 $p(x) : p(y) = a : b$ 이다. □

정리 1을 이용하여 페이지 영역의 분할 시 분할된 페이지 영역의 구간비가 최적 구간비에 가깝게 되는 분할 축을 선택할 수 있다. 즉, 삼차원 MD-MAI의 경우 페이지 영

역의 분할 시 분할된 페이지 영역의 구간비가 최적 구간비에 가장 가깝게 되는 분할 축을 선택하는 방법은 다음과 같다. 먼저, 계산된 최적 구간비를 갖는 $a \times b \times c$ 형태의 질의 영역이 삼차원 도메인 공간상에 임의의 위치에 주어진다고 가정하고, 분할이 요구되는 $p(x) \times p(y) \times p(z)$ 형태의 페이지 영역이 각 축에 대해 분할된 후의 한 페이지 영역과 만나게 되는 질의 영역의 위치 영역 LR의 크기를 계산한다. 그리고, 이 LR 크기의 값이 가장 작게 되는 축을 분할 축으로 선택함으로써 분할 후의 페이지 영역의 구간비를 주어진 최적 구간비에 더 접근하게 할 수 있다.

따라서, 삼차원 MD-MAI의 영역 분할 전략은 다음과 같다.

삼차원 MD-MAI를 위한 영역분할 전략:
$(p(x)/2+a)(p(y)+b)(p(z)+c)$의 값이 최소이면, X축 분할,
$(p(x)+a)(p(y)/2+b)(p(z)+c)$의 값이 최소이면, Y축 분할,
$(p(x)+a)(p(y)+b)(p(z)/2+c)$의 값이 최소이면, Z축 분할.

5. 성능 평가

본 절에서는 본 논문에서 제시한 다차원 중포 속성 색인 구조 설계기법의 유용성을 검증하기 위하여 삼차원 MD-NAI로서 실험한 결과를 제시한다.

본 실험에서는 삼차원의 비균일 분포를 가지는 100,000개의 색인 엔트리를 가지는 데이터에 대하여 특정 구간비의 페이지 영역을 갖는 여러 개의 삼차원 MD-NAI들을 생성하고, 각각에 대하여 고유의 질의 영역 형태를 갖는 여러 질의들로 구성된 질의패턴을 처리할 때 발생하는 평균 페이지 액세스 수를 측정하였다. MD-NAI들의 구축에 사용된 페이지 영역의 구간비는 각각 1:1:1, 1:2:4, 1:4:16, 1:8:64, 및 1:16:256 등 다섯 가지이며, 질의 영역의 경우에는 크기가 도메인 공간의 1/20,000인 경우로 한정하여 질의 영역의 구간비가 각각 1:1:1, 1:2:4, 1:4:16, 1:8:64, 및 1:16:256인 Q1_1_1, Q1_2_4, Q1_4_16, 및 Q1_8_64, 및 Q1_16_256 형태의 질의 영역 등을 생성하여 사용하였다.

각 질의 영역의 형태별로 1000개의 질의 영역을 도메인 공간상에 균일하게 생성하고, 이들 질의를 처리하는데 발생하는 평균 페이지 액세스 수를 측정한다. 그림 5는 이에 대한 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 모든 형태의 질의 영역에 대하여, 그 질의 영역의 구간비를 페이지 영역의 구간비로 가지는 MD-NAI에서 가장 좋은 성능을 보인다. 그리고, 그림 5에서 나타난 바와 같이 질의 영역의 구간비가 1:16:256인 경우 페이지 영역의 구간비가 기존의 1:1:1인 MD-NAI에 비해 페이지 영역의 구간비가 1:16:256인 MD-NAI에서 질의처리 성능이 5.5배까지 향상됨을 볼 수 있다. 이와 같은 실험 결과는 본 논문에서 제안한 다차원 중포 속성 색인구조의 설계기법이 매우 유효함을 보이는 것이다.

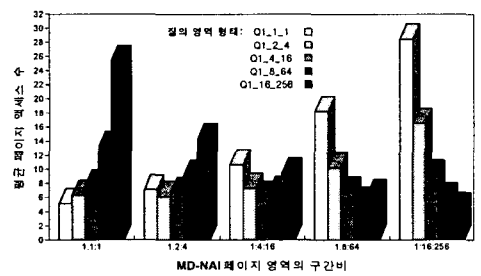

그림 5: 다양한 MD-NAI별 질의 영역의 형태별 질의 처리 성능.

6. 결론

본 논문에서는 다차원 화일구조를 객체지향 데이터베이스의 중포 속성에 대한 색인구조로 이용하는 다차원 중포 속성 색인구조에 대하여, 질의처리 성능을 최적으로 보장할 수 있는 최적 설계기법을 제시하였다. 다차원 중포 속성 색인구조는 객체지향 데이터베이스의 중포 술어에 클래스 대치가 있는 경우에도 잘 지원할 수 있는 색인구조이다.

다차원 중포 속성 색인구조의 최적 설계기법에서는 먼저, 사전에 분석한 사용자 질의 형태에 대한 정보로서 질의 영역들의 구간비를 이용하여 다차원 색인구조의 키 속성 도메인과 여러 개의 클래스 식별자 도메인 사이의 색인 엔트리들에 대한 클러스터링 정도를 나타내는 페이지 영역의 최적 구간비를 구한다. 그리고, 이러한 최적 구간비를 유지하도록 하는 영역분할 전략을 적용하여 최적의 다차원 색인구조를 구성한다.

제안한 다차원 중포 속성 색인구조 설계기법의 성능평가를 위한 실험 결과에 의하면, 주어진 질의 패턴과 데이터 분포에 따라 최적의 다차원 중포 속성 색인구조를 구성할 수 있음을 확인하였다. 경로의 길이가 2인 경우에 주어지는 삼차원 질의 영역의 경우, 모양이 편향된 정도에 따라 정방형(구간비가 1:1:1인 경우) 모양의 페이지 영역으로 구성된 삼차원 중포 속성 색인구조에 비해 질의처리의 성능이 매우 크게 향상됨을 알 수 있었다. 특히, 질의 영역의 구간비가 1:16:256인 경우에는 질의처리를 위한 색인 성능이 5.5배까지 향상되었다.

참고문헌

[1] Bertino, E. and Foscoli, P., "Index Organizations for Object-Oriented Database Systems," *IEEE Trans. on Knowledge and Data Eng.*, Vol. 7, No. 2, pp. 193--209, April 1995.

[2] Bertino, E. and Ooi, B. C., "The Indispensability of Dispensable Indexes," *IEEE Trans. on Knowledge and Data Eng.*, Vol. 11, No. 1, pp. 17—27, Jan. 1999.

[3] Finkelstein, S. et al., "Physical Database Design for Relational Databases," *ACM Trans. on Database Systems*, Vol. 13, No. 1, pp. 91--128, Mar. 1988.

[4] Kifer, M., Kim, W., and Sagiv, Y., "Querying Object-Oriented Databases," In *Proc. Intl. Conf. on Management of Data*, ACM SIGMOD, San Diego, Calif., pp. 393—402, May 1992.

[5] Kim,W., *Introduction to Object-Oriented Databases*, The MIT Press, 1990.

[6] Lee, J. H. et al., "A Region Splitting Strategy for Physical Database Design for Multidimensional File Organizations," In *Proc. Intl. Conf. on Very Large Data Bases*, pp. 416—425, Athens, Greece, Aug. 1997.

[7] Mueck, T. A. and Polaschek, M. L., "A Configurable Type Hierarchy Index for OODB," *The VLDB Journal*, Vol. 6, No. 4, pp. 312--332, Nov. 1997.

[8] Whang, K. Y. and Krishnamurthy, R., "The Multilevel Grid File — A Dynamic Hierarchical Multidimensional File Structure," In *Proc. Intl. Conf. on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA)*, pp. 449—459, Tokyo, Apr. 1991.