

노드의 연결성을 이용한 패스 표현의 효과적인 처리

이 태 경[†]

요 약

최근에 그래프 타입의 자료에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그 이유는 그래프가 지리정보시스템, 네트워크, WWW, 멀티미디어 프리젠테이션 등과 같은 영역의 문제들을 자연스럽게 표현할 수 있으며 자료 변화의 순서가 중요한 영역의 문제들도 자연스럽게 표현할 수 있기 때문이다. 이 논문에서는 방향 비순환 그래프로 표현되는 멀티미디어 프리젠테이션 그래프의 경로를 효과적으로 검색 처리하는 코드 시스템인 노드 코드 시스템을 제안한다. 노드 코드 시스템은 그래프의 각 노드마다 유일한 2진 문자열을 부여한다. 두 노드의 노드 코드를 비교하여 그래프 운행 없이 두 노드가 연결되어 있는지를 확인할 수 있다. 전통적인 그래프 운행을 이용한 방법보다 노드 코드 시스템의 이 특성을 이용하면 두 노드 사이의 경로의 건설을 효과적으로 할 수 있다. 노드 코드 시스템을 이용하여 경로를 건설할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

Efficient Evaluation of Path Expressions Using Connectivity of Nodes

Tae-Kyong Lee[†]

ABSTRACT

Recently, there has been a lot of research on graph-type data because it can model seamless the application domains such as GIS, network, WWW, multimedia presentations etc., and domain in which the data sequence is important. In this paper, an efficient code system, called node code system, is proposed to evaluate paths of DAG in a multimedia presentation graph. The node code system assigns a unique binary string to each node of a graph. The comparison of node codes of two nodes tells the connectivity between the nodes without actual traversal of a graph. The method using the property of the node code system allows us to construct the paths between two nodes more efficiently than the method using conventional graph traversals. The algorithms to construct paths using the node code system are provided.

키워드 : 데이터베이스 시스템(DBMS), 그래프 데이터 자료(graph-type data), 경로의 연결성(connectivity of nodes), 노드 코드(node code), 경로(path), 그래프 운행(graph traversal)

1. 서 론

최근 비전통적인 타입의 자료들을 데이터 베이스 시스템에 통합하는 문제에 관하여 많은 연구가 이루어지고 있으며 그 연구의 한 부분으로 그래프 타입에 대한 연구가 이루어지고 있다[1, 7, 8, 12, 14]. 그 이유로 그래프 타입은 지리정보시스템, 네트워크, WWW, 멀티미디어 프리젠테이션 등과 같은 영역의 문제들을 자연스럽게 표현할 수 있으며 자료 변화의 순서가 중요한 영역의 문제[9]들을 그래프의 경로를 이용하여 자연스럽게 표현하기 때문이다.

그래프 타입의 자료를 데이터베이스 시스템에 통합하기 위해서는 다음과 같은 문제가 해결되어야 한다. 첫째, 각각의 그래프에 있는 노드가 가지고 있는 내용과 그래프의 간선을 이용하여 표현되어 있는 각 노드 사이의 관계를 표현할 수 있는 질의 언어가 개발되어야 한다. 예를 들어 검색

하고자 하는 노드가 가지고 있는 내용과 특정 내용을 가진 노드와 노드 사이의 관계, 즉 두 노드가 인접되어 있는지, 연결되어 있는지 또는 같은 내용을 가진 노드가 연속으로 인접하고 있는지 등, 노드들 사이의 관계를 표현할 수 있는 질의 언어가 필요하다. 둘째, 그 질의 언어를 처리할 수 있는 방법이 있어야 한다. 즉, 질의 언어로 표현된 특정 내용을 가진 노드들의 검색과 그 노드 사이의 관계를 만족하는 경로를 데이터베이스 시스템에서 검색, 처리하는 방법이 필요하다.

데이터베이스에서 그래프는 여러 상황에서 여러 연구자들의 관심이 되어 왔다. 그리고 이 그래프들을 표현하는 언어는 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째 시각적으로 노드 사이의 관계를 표현한 언어가 있다. 여기에 속하는 언어에는 $G^+[4, 5]$, $Hy^+[2, 3]$ GVISUAL[10] 등이 있다. $G^+[4, 5]$, $Hy^+[2, 3]$ 와 같은 시스템에서 데이터베이스는 그래프로 시각화되고 질의는 데이터베이스를 대상으로 패턴을 비교하는 그래프의 집합으로 표시하며 노드들 사이의 관계를 나타내기

[†] 정 회 원 : 울산대학교 정보디자인학과 교수
논문접수 : 2001년 3월 24일, 심사완료 : 2002년 2월 28일

위하여 여러 종류의 간선을 사용한다. GVISUAL[10]은 노드 사이의 관계를 시간 연산자 next, until, eventually[6]에 해당하는 간선을 이용하여 표현한다. 둘째, SQL과 비슷한 모양을 가진 언어가 있다. 이에 GraphDB[8], GOQL[10]이 있다. 그래프를 구성하는 노드, 간선, 경로등은 객체 지향의 클래스 개념을 사용하여 명시적으로 모델화 시킨다. 경로는 간선과 노드 그리고 경로 구성자를 이용하여 표현한다. GraphDB[8]에서는 세 가지의 클래스(simple classes, link classes, path classes)가 있다. 링크 클래스는 두 개의 심플 클래스를 '소스'와 '타겟'으로 정하여 연결한다. 경로 클래스는 링크 클래스를 이용한 정규 식으로 표현된다. 즉, 경로가 명시적으로 데이터베이스 시스템 안에 저장되어 있고 검색을 위하여 "on...where...derive" 구절을 제공한다. 셋째, 해석에 바탕을 둔 언어이다. GCalculus/S[10, 11]가 이 범주에 속하며 사용자 언어로 개발된 GVISUAL[10]의 형식언어로 개발된 언어이다. 당연히 경로 표현은 노드와 시간 연산자 next, until, eventually에 해당하는 연산자를 이용한다. GCalculus/S[10, 11]는 O-Algebra[13]를 확대하여 대수적으로 처리된다.

그래프 타입의 자료 검색처리는 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫째, 사용자가 요구하는 특정한 내용을 가진 노드들을 검색하는 것이다. 둘째, 그 노드들 중에서 사용자가 요구하는 경로 관계를 만족하는 노드들로 구성된 경로를 검색하는 것이다. 이 논문에서는 첫째 부분은 이미 처리된 것으로 가정하고 특정한 내용을 가진 노드들이 질의에서 표현된 순서 관계를 만족시키는 경로를 검색 처리하는 문제를 다룬다. 그리고 그래프 자료가 데이터베이스에 저장되는 방법으로는 경로가 명시적으로 저장되어 있지 않고 부모 노드와 자식 노드와의 관계만 저장되어 있으며 질의에서 요구되는 경로는 그 정보로부터 만들어져 질의의 결과로 제공된다.

이 논문에서는 경로 표현을 위하여 GCalculus/S[10, 11]를 이용하며 GCalculus/S[10, 11]에서 사용된 연산자의 처리 방법을 다룬다. 따라서 이 논문에서 경로에 관한 질의 처리 방법이 다른 질의 언어를 이용한 경로 표현을 처리할 수 있는가 하는 문제는 GCalculus/S[10, 11]가 모든 종류의 경로를 표현할 수 있는가 하는 표현능력의 문제이다. [10]에 GCalculus/S와 정규표현과의 비교가 논의되어 정규표현과 GCalculus/S[10, 11]와의 표현능력에는 거의 차이가 없음을 보여주고 있다. 이 결과는 다른 질의 언어가 GCalculus/S[10, 11]로 변환된다면 이 논문에서 사용되는 처리 방법은 다른 질의언어의 처리에도 사용될 수 있는 가능성이 있음을 보여준다. 이 변환 방법의 한 가지 예로 [10]에 GVISUAL이 GCalculus/S로 변환되는 것을 보여준다.

2장에서는 GCalculus/S[10, 11]를 간단하게 언급한다. 방향 비순환 그래프의 모양으로 표현되는 멀티미디어 프리젠테이션[10, 11]을 이용하여 GCalculus/S[10, 11]를 설명한다. 3

장에서는 노드 사이의 연결성을 효과적으로 확인할 수 있는 코드 시스템인 노드 코드를 소개하고 노드 코드를 이용한 경로 처리 방법을 설명한다. 4장은 결론이다.

2. GCalculus/S

```

class Pres_Graph [
  name : String ;
  other attributes ;
  Nodes : {Pres_Node} ;
  Edges : {Pres_Edge} ;

  class Stream [
    name : String ;
    type : String ;
    rep_frame : <Frame> ;
    other attributes] ;

  class Pres_Edge
    [<Pres_Node>] ;

  class Pres_Node : inherits
    from Stream [
      graph-in : Pres_Graph ;
      child-nodes : {Pres_Node} ;
      objects : {C_Object} ;
      other attributes] ;

  class Frame [
    name : String ;
    objects : {C_Object} ;
    other attributes] ;

  class C_Object [
    name : String ;
    frame-in : Frame ;
    other attributes] ;

```

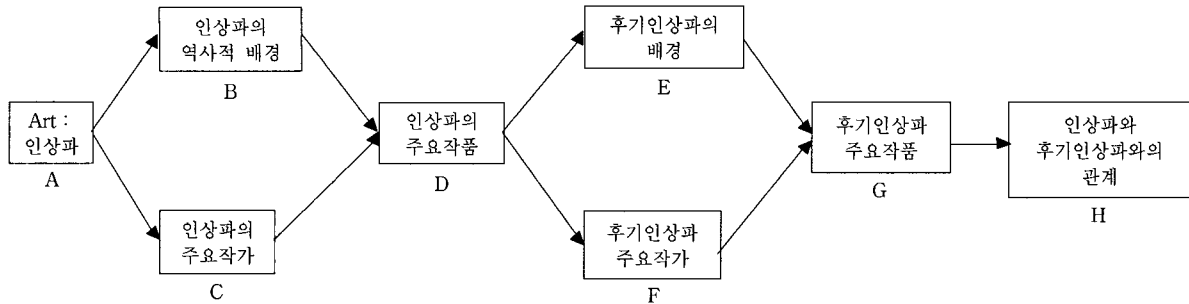
보기 : {}, <>는 집합 구성자와 순서 구성자를 나타낸다.

모든 언어는 데이터 모델에 바탕을 두고 있다. 이에 G-Calculus/S[10, 11]가 바탕을 두는 데이터 모델이 필요하다. 이 논문에서는 그래프 타입 자료의 응용 영역으로 멀티미디어 프리젠테이션 그래프를 이용한다. 그러므로 사용되는 데이터 모델은 멀티미디어 자료들의 물리적 특징과 자료의 내용, 멀티미디어 프리젠테이션 그래프를 효과적으로 표현할 수 있어야 한다. 이에 객체 지향 데이터 모델을 이용하여 모델링을 한다. 이는 다음에 설명되는 이점이 있기 때문이다. 멀티미디어 자료에 나타나는 무수한 종류의 객체들과 그 객체들 사이의 관계는 클래스-부클래스 계층구조와 구성구조를 이용하여 처리할 수 있다. 또한, 멀티미디어 자료의 물리적 특징인 분할화도 구성구조를 이용하여 처리한다. 위의 정의는 GCalculus/S[10, 11]를 위한 데이터 모델이다.

(그림 2.1)은 방향 비순환 그래프의 형태로 표현되어 있는 멀티미디어 프리젠테이션이다. 노드는 스트림이라 불리며 멀티미디어 자료를 구성하는 최소 단위가 연속적으로 배치되어 구성된다. 예를 들어 비디오 스트림은 일련의 프레임으로 구성된다. 각 자료들은 내용 객체와 객체들간의 관계를 내포하며 스트림의 내용을 구성한다. 간선은 멀티미디어 프리젠테이션을 구성하는 노드들을 상영하는 방법을 표시한다.

(그림 2.1)의 멀티미디어 프리젠테이션은 인상파와 후기 인상파를 설명한다. 인상파의 역사적 배경(노드 B)과 주요 작가(노드 C)를 동시에 상영한 후 주요작품(노드 D)을 상영한다. 노드 D의 상영 후에 후기 인상파의 배경(노드 E)과 주요작가(노드 F)를 동시에 상영한다. 이후 주요작품(노드 G)과 인상파와 후기인상파의 관계(노드 H)를 상영한다.

GCalculus/S[10, 11]는 연산자 Next, Until, Connect를 이용하여 경로를 표현한다. 연산자 Next와 Until의 의미는 시



(그림 2.1) 멀티미디어 프리젠테이션 그래프

간 논리[8]에서 사용되는 연산자 next와 until의 의미와 유사하며 Connect는 eventually와 유사하다. (그림 2.1)에 있는 경로가 어떻게 표현되는지 예를 이용하여 간단히 설명한다. GCalculus/S에 관한 상세한 내용은 [10, 11]에 설명되어 있다.

예제 2.1 : “후기 인상파의 주요작품” 노드와 인접한 노드로 이루어지는 모든 경로를 찾으시오.

```
(x | ( ∃g, ∃s1, ∃s2)(Pres_Graph(g) ∧ Stream(s1) ∧ Stream(s2) ∧ <<g, x, s1>> [[s1]] s1.name = “후기 인상파의 주요 작품” X [[s2]] True))
```

경로는 일련의 노드이다. x는 검색하고자 하는 경로를 나타내는 변수이며 “X”는 Next에 해당하는 연산자이다. Next 연산자는 “바로 다음”의 의미를 가지고 있다. 위의 질의를 만족하는 경로는 두 개, <D, E>와 <D, F>이다.

예제 2.2 : “인상파의 역사적 배경” 노드와 “후기 인상파 주요 작품” 노드 사이의 모든 경로를 찾으시오.

```
(x | ( ∃g, ∃s1, ∃s2)(Pres_Graph(g) ∧ Stream(s1) ∧ Stream(s2) ∧ <<g, x, s1>> [[s1]] s1.name = “인상파의 역사적 배경” C [[s2]] s2.name = “후기 인상파 주요 작품”))
```

“C”는 Connected에 해당하는 연산자이다. Connected 연산자는 두 노드 사이에 경로가 존재함을 주장하는 연산자이다. 위의 질의를 만족하는 경로는 <B, D, E, G>와 <B, D, F, G>이다.

예제 2.3 : 인상파 화가 “Monet”가 연속하여 나오다가 후기 인상파 “Cezanne”가 처음 나오는 경로를 찾으시오.

```
(x | ( ∃g, ∃s1, ∃s2)(Pres_Graph(g) ∧ Stream(s1) ∧ Stream(s2) ∧ <<g, x, s1>> [[s1]] (∃o1)(o1 ∈ s1.objects ∧ o1.name = “Monet”) U [[s2]] (∃o2)(o2 ∈ s2.objects ∧ o2.name = “Cezanne”)))
```

“U”는 Until에 해당하는 연산자이다. 스트림안에 객체가

있다. 객체 “Monet”를 가지고 있는 연속적인 스트림 다음에 객체 “Cezanne”가 나오는 스트림으로 이루어지는 경로를 찾는 질의이다. (그림 2.1)에서 노드 B, C, D가 객체 “Monet”를 가지고 있고 노드 E, F가 객체 “Cezanne”를 가지고 있다면 위의 질의를 만족하는 경로는 <B, D, E>, <B, D, F>, <C, D, E>, <C, D, F>이다.

3. 노드코드

하나의 소스 노드를 가지는 방향 비순환 그래프에서 노드 사이의 경로의 유무를 판별하고 앞에서 언급된 세 연산자를 처리할 수 있는 코드 시스템인 노드 코드를 제안한다. 만약 다수의 소스 노드를 가지고 있는 그래프의 경우에는 1개의 소스 노드를 첨가하여 원래의 소스 노드들을 첨가된 소스 노드의 자식 노드로 만들어 1개의 소스 노드를 가지는 그래프로 변형시킨다. 이 코드는 2진수의 문자열과 (노드 코드에 대한 설명의 편의를 위하여 2진수의 문자열을 사용한다. 그러나 당연히 이 2진수를 10진수로 바꾸어 사용할 수 있다.) 2진수의 문자열에서 실제로 유용한 정보를 가지고 있는 2진수의 길이에 관한 정보로 구성되어 있다. 모든 코드는 유일하며 각 노드는 소스 노드에서 각 노드까지의 경로의 수에 해당하는 코드의 수를 가진다. 두 개의 노드에 해당하는 노드 코드가 주어지면 서로 인접하고 있는지 (부모 자식간의 관계, 연산자 X), 또는 연결되어 있는지를 (경로가 존재하는지, 연산자 C) 노드 코드에 대한 단순 비교를 통하여 알 수 있으며 그 둘 사이의 경로는 실지의 그래프 운행 없이 만들 수 있다.

3.1 코드의 부여

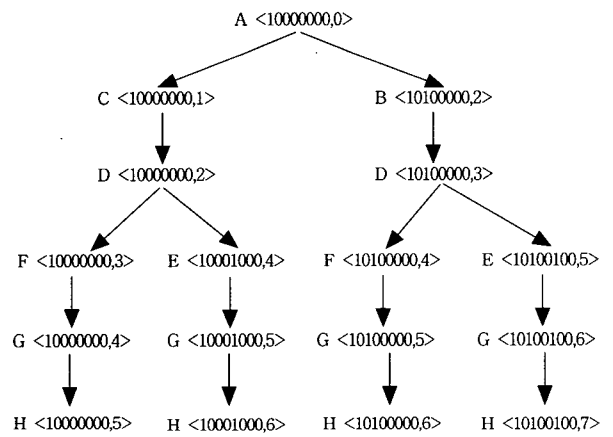
노드 코드는 그래프를 “깊이우선탐색”을 이용 운행하여 각 노드에 부여되는 일련의 2진 숫자와 그 2진 숫자에서 유용한 정보를 가지는 2진 숫자의 개수에 관한 정보이다. 그리고 <a₀a₁ ... a_m, h> 모양으로 나타난다. a_i의 값은 0 또는 1이며, 0 ≤ i ≤ m, h의 값은 0과 m 사이의 숫자이다. 노드 코드의 a₀a₁ ... a_m 부분은 노드 번호, h 부분은 노드 번호의 유효 숫자라 부른다. m의 크기는 상응하는 2진 그래프에 있는 가장 긴 경로의 길이 보다 긴 어떤 수도 가능

하다. 그리고 h 의 값은 상응하는 2진 그래프의 소스 노드에서 각 노드까지의 경로의 길이와 일치한다. 소스 노드의 노드 코드로 $\langle 1_0 0_1 0_2 \dots 0_m, 0 \rangle$ 을 부여한다. 아래에 있는 Assign_Node_Code는 각 노드에 노드 코드를 부여하는 알고리즘이다. 처음 들어가는 매개변수의 입력 값은 (소스 노드, $\langle 1_0 0_1 \dots 0_m, 0 \rangle$)이다.

```

알고리즘 : Assign_Node_Code_Binary(v, < a_0 a_1 a_2 ... a_m, h >)
입력 : 노드 v, v의 노드 코드 < a_0 a_1 ... a_m, h >
출력 : v의 자식 노드들(s)의 노드 코드
1 c = number of children of v (C_i는, 1 ≤ i ≤ c, v의 자식 노드)
2 for i = 1 to c do
3 begin
4 if (i=1) then assign node code < a_0 a_1 ... a_h 0_{h+1} a_{h+2} ... a_m, h+i > to C_1
   else assign node code < a_0 a_1 ... a_h 0_{h+1} 1_{h+2} ... 1_{h+i} a_{h+(i+1)} ... a_m, h+i > to C_i ;
5 Assign_Node_Code_Binary(C_i, < a_0 a_1 ... a_m, h >);
/* < a_0 a_1 ... a_m, h >는 C_i의 노드 코드이다. */
6 end
    
```

알고리즘 Assign_Node_Code_Binary는 알고리즘 “깊이우선탐색” 알고리즘을 이용한 것이다. (그림 3.1)은 (그림 2.1)에 있는 방향 비순환 그래프에 Assign_Node_Code_Binary를 적용하여 그 노드들에 부여되는 노드 코드를 보여 주는 순서 트리이다. 어떤 노드는 1개 이상의 노드 코드를 부여 받는다. 각 노드의 노드 코드의 수는 소스 노드에서 그 노드 사이의 경로의 수를 나타낸다.



(그림 3.1) 멀티미디어 프리젠테이션 그래프(그림 2.1)에 상응하는 노드코드 순서트리

지금까지 노드 번호의 설명을 위하여 m 개의 비트를 이용한 2진수로 설명하였다. 그러나 실제로 노드 번호를 10진법의 수로 바꾸어 사용할 수 있다. 예를 들어 소스 노드의 노드 번호는 십진수 2^m 으로 변환된다. 알고리즘 Assign_Node_Code_Binary의 네 번째 줄의 if 부분에 해당하는 자식 노드(첫 번째 자식)의 노드 번호는 변동이 없으나 else 부분에 해당하는 두 번째 이후의 자식 노드들은 $a_{h+2} \dots$

a_{h+i} 에 1이 부여된다. 그러므로 부모 노드의 노드 번호에 $2^{m-(h+2)}, \dots, 2^{m-(h+i)}$ 를 더하면 자식 노드의 노드 번호에 상응하는 10진수를 얻을 수 있다. 이 경우를 위해서는 아래의 알고리즘 Assign_Node_Code_Decimal을 이용하고 소스 노드의 노드 코드는 (소스노드, $\langle 2^m, 0 \rangle$)이다.

```

알고리즘 : Assign_Node_Code_Decimal(v, < N, h >)
입력 : 노드 v, v의 노드 코드 < N, h >
출력 : v의 자식 노드들(s)의 노드 코드
1 c = number of children of v (C_i는, 1 ≤ i ≤ c, v의 자식 노드)
2 for i = 1 to c do
3 begin
4 if (i = 1) then assign node code < N, h+i > to C_1
   else assign node code < N + 2^{m-(h+2)} + ... + 2^{m-(h+i)}, h+i > to C_i ;
5 Assign_Node_Code (C_i, < N, h >);
/* < N, h >는 C_i의 노드 코드이다. */
6 end
    
```

정리 3.1 : 노드 v의 노드 코드가 $\langle N, h \rangle$ 라 하자. 그리고 v가 k개의 자식 노드를 가지면 자식 노드의 노드 코드는 첫 번째 자식 노드부터 k번째의 자식노드까지 노드 코드는 차례로 $\langle N + 0, h + 1 \rangle, \langle N + 0 + 2^{m-(h+2)}, h + 2 \rangle, \langle N + 0 + 2^{m-(h+2)} + 2^{m-(h+3)}, h + 3 \rangle, \dots, \langle N + 0 + 2^{m-(h+2)} + 2^{m-(h+3)} + \dots + 2^{m-(h+k)}, h + k \rangle$ 이다.

증명 : 노드 v의 노드 번호 N을 2진수로 표현하면 $a_1 a_2 \dots a_h 0 0 \dots 0_m$ 이다, $a_i = 0$ 또는 1, $1 \leq i \leq h$. 따라서 v의 첫 번째 자식 노드부터 k번째의 자식노드까지 노드 번호는 $a_1 a_2 \dots a_h 0_{h+1} 0 \dots 0, a_1 a_2 \dots a_h 0_{h+1} 1_{h+2} 0 \dots 0, a_1 a_2 \dots a_h 0_{h+1} 1_{h+2} 1_{h+3} 0 \dots 0, \dots, a_1 a_2 \dots a_h 0_{h+1} 1_{h+2} 1_{h+3} \dots 1_{h+k} 0 \dots 0$ 이며 a_i 의 값은 0 또는 1이다. 이 노드 번호들을 10진수로 바꾸면 $N + 0, N + 0 + 2^{m-(h+2)}, N + 0 + 2^{m-(h+2)} + 2^{m-(h+3)}, \dots, N + 0 + 2^{m-(h+2)} + 2^{m-(h+3)} + \dots + 2^{m-(h+k)}$ 이다. 한편 자식 노드의 유효 숫자는 첫 번째 자식 노드부터 k번째의 자식노드까지 $h + 1, \dots, h + k$ 이다.

정리 3.2 : 각각의 노드 코드는 유일하다. 즉, 노드 코드가 주어지면 상응하는 노드는 1개만 존재한다.

증명 : 한 노드의 노드 코드가 $\langle a_0 a_1 \dots a_m, h \rangle$ 라 하자. 그러면 $a_i = 0$ or 1, $0 \leq i \leq h, a_j = 0, h + 1 \leq j \leq m$ 이다. 이 노드의 처음 자식 노드의 노드 코드는 $\langle a_0 \dots a_h 0_{h+1} \dots 0_m, h + 1 \rangle$ 이며 i번째 자식 노드의 노드 코드는 $\langle a_0 \dots a_h 0_{h+1} 1_{h+2} \dots 1_{h+i} 0_{h+i+1} \dots 0_m, h + i \rangle$ 이다. 즉, 한 노드의 모든 자식 노드의 노드 코드는 유일하다. 그러므로 모든 노드의 노드 코드는 유일하다.

정의 : 두 개의 노드 코드 $NC_1 = \langle N_1, h_1 \rangle, NC_2 = \langle N_2, h_2 \rangle$ 가 주어지면, $(N_1 > N_2)$ or $((N_1 = N_2) \text{ and } (h_1 > h_2))$ 이면 $NC_1 > NC_2$ 이다.

정리 3.3 : 노드 v의 노드 코드가 $\langle N, h \rangle$ 라 하자. 그러

면 v 로부터 연결되어 있는 노드들의 노드 코드는 $\langle N, h+1 \rangle$ 과 같거나 크고 $\langle N+2^{m-(h+1)}, h+1 \rangle$ 보다 작다.

증명 : 노드 v 가 k 개의 자식 노드를 가지고 있다고 가정하자. v 의 첫 번째 자식의 노드 코드는 $\langle N, h+1 \rangle$ 이다. 그리고 이 노드 코드는 v 의 자손들의 노드 코드 중에서 가장 적은 것이다. 왜냐하면 모든 자손들은 $\langle N, h+1 \rangle$ 보다 큰 노드 번호를 가지거나 큰 유효 숫자를 가지기 때문이다. 노드 v 의 처음 오른쪽 형제 자매 노드의 노드 코드는 $\langle N+2^{m-(h+1)}, h+1 \rangle$ 이다. 그리고 v 의 노드 코드를 $\langle a_0 a_1 \dots a_h 0_{h+1} \dots 0_m, h+1 \rangle$ 으로 표현한다면 v 의 자손 노드들의 노드 번호 a_{h+1} 의 값은 0이다. 그러므로 v 의 자손 노드들의 노드 번호의 값은 $N+2^{m-(h+1)}$ 보다 작다. 한편, v 의 두 번째 이후의 형제 자매 노드들의 노드코드는 $\langle N+2^{m-(h+1)}, h+1 \rangle$ 보다 크며 그 형제 자매들의 자손 노드들의 노드 코드는 그 형제 자매 노드들의 노드 코드보다 크다. 그러므로 v 로부터 연결되어 있는 노드들의 노드 코드는 $\langle N, h+1 \rangle$ 과 같거나 크고 $\langle N+2^{m-(h+1)}, h+1 \rangle$ 보다 작다.

3.2 노드 코드를 이용한 연산자의 처리

노드 코드를 이용하여 세 연산자를 처리하는 방법을 설명한다. 가장 기본이 되는 처리 방법은 연산자 C 를 처리하는 방법이다. 왜냐하면 연산자 X 와 U 는 C 의 특수한 경우이기 때문이다. 즉, 인접성(연산자 X)은 연결성(연산자 C)을 만족하고 두 노드 사이의 관계가 부모 노드와 자식 노드이며 이루어지는 경로의 길이가 1인 경우이며 U 는 두 노드 사이에 경로가 존재하고 그 경로의 마지막 노드를 제외한 노드가 같은 주장을 만족시키는 경우이다.

3.2.1 노드 코드 시스템을 이용한 C 연산자의 처리

이제 노드 코드 시스템을 이용하여 연산자 C 를 처리하는 방법을 설명한다. 연산자의 처리란 검색 표현 $(q \ C \ r)$ 에 대하여 q 와 r 을 각각 만족시키는 부분경로 p_1 과 p_2 를 찾고 p_1 과 p_2 가 연산자 C 의 의미를 만족하는가의 여부를 검사하여 p_1 과 p_2 로 구성되는 경로를 찾은 것이다.

q 와 r 을 만족시키는 부분경로는 한 개의 노드로 구성될 수도 있으며 다수의 노드로 구성될 수도 있다. 예를 들어 q 가 $((q_1 \ C \ q_2) \ C \ q_3)$ 이고 q_1 가 한 개의 노드에 관한 표현이면 q 는 3개의 노드로 구성되어 있는 부분경로에 대한 표현이다. 이에 q 의 처리는 1) : q_1 과 q_2 를 만족시키는 노드들 중에서 C 를 만족시키는 경로를 찾고 2) : q_3 를 만족시키는 노드를 찾고 3) : 1)에서 찾은 경로의 마지막 노드와 3)에서 찾은 노드 사이에 C 를 만족시키면 그 두 경로를 부분경로로 하는 경로를 찾은 것이다. 이에 앞으로 일반성을 상실함이 없이 설명의 편의를 위하여 q 와 r 을 만족시키는 부분경로는 한 개의 노드로 구성된 경로로 한정한다. 왜냐하면 q

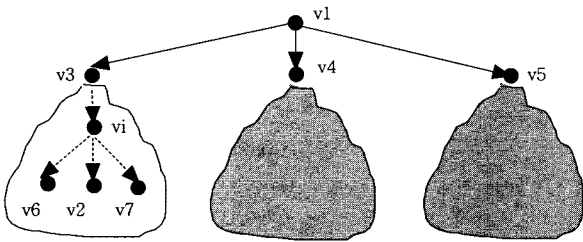
의 처리는 q_1 를 검색하는 방법을 제외하면 연산자 C 처리방법의 연속적인 적용이기 때문이다. 또한 이 논문의 주제가 아닌 q_1 를 만족하는 노드의 검색 방법은 주어진 것으로 가정하고 q 와 r 을 만족하는 부분경로는 주어진 것으로 가정한다.

검색 표현 $(q \ C \ r)$ 에서 q 와 r 을 만족시키는 노드가 각각 v_1 과 v_2 라 하자. 노드 v_1 과 v_2 의 연결성의 확인은 정리 3.3을 이용한다. v_1 과 v_2 의 노드 코드가 각각 $\langle N_1, h_1 \rangle$, $\langle N_2, h_2 \rangle$ 라 하자. R정리 3.3에 의해 v_1 에 연결되어 있는 노드의 노드코드는 $\langle N_1, h_1+1 \rangle$ 과 같거나 크고 $\langle N_1+2^{m-(h_1+1)}, h_1+1 \rangle$ 보다 작아야 한다. 만약 v_2 의 노드코드가 위의 조건을 만족시키지 못하면 v_2 가 v_1 에 연결되어 있지 않다. 만약 위의 조건을 만족시키면 v_1 의 자식 노드들의 노드 코드들과 v_2 의 노드 코드를 이용하여 연결성을 검사한다. 자식 노드들 중에서 가능성이 없는 노드들은 제외시키고 가능성이 있는 노드들만 뽑는다. 그 노드들과 v_2 와의 연결성 검사를 노드 코드를 가지고 계속한다. 이러한 과정을 v_2 에 도달할 때까지 계속한다.

```

알고리즘 : Make_Connect( $v_1, v_2$ )
입력 : 두 개의 노드  $v_1, v_2$ 
출력 : 처음 노드는  $v_1$ , 마지막 노드는  $v_2$ 인 경로
1  $N_1 = v_1$ 의 노드 번호;  $N_2 = v_2$ 의 노드 번호;
2  $h_1 = v_1$ 의 유효 숫자;  $h_2 = v_2$ 의 유효 숫자;
3 Initialize  $S$  to be empty; /*  $S$  is a stack. */
4 Initialize  $l$  to be empty; /*  $l$  is a list storing nodes making up a path connecting  $v_1$  to  $v_2$ . */
5 Initialize  $L$  to be empty; /*  $L$  is a list of lists to store possibly more than one paths connecting  $v_1$  to  $v_2$ . */
5 if  $\langle N_1, h_1+1 \rangle \leq \langle N_2, h_2 \rangle < \langle N_1+2^{m-(h_1+1)}, h_1+1 \rangle$ , then begin
6   push( $S, v_1$ );
7   while ( $S \neq$  empty) do begin
8      $v =$  Pop( $S$ );
9     if ( $v = v_2$ ) then begin
10      AddEnd( $l, v$ ); /* path의 마지막 노드  $v_2$ 를  $l$ 에 더함. */
11      AddEnd( $L, l$ ); /* 확인된 path  $l$ 을  $L$ 에 더함. */
12      if ( $S \neq$  empty) then begin
13         $v =$  Pop( $S$ );
14        while ( $(v \neq$  a child node of  $l$ .Last)  $\wedge$  ( $l \neq$  empty)) do
15          RemoveEnd( $l$ ); /* a path를 확인한 뒤 가능한 다른 경로를 확인하기 위하여 가장 나중에 branch한 노드중 모든 자식노드가 search 되지 않은 노드까지 backtrack. */
16        Push( $S, v$ );
17      endif
18    endif
19  else begin
20     $N = v$ 의 노드 번호;  $h = v$ 의 노드 길이;
21    if  $\langle N, h+1 \rangle \leq \langle N_2, h_2 \rangle < \langle N+2^{m-(h+1)}, h+1 \rangle$ , then begin
22      AddEnd( $l, v$ );
23      for every child node  $v_c$  of  $v$  do Push( $S, v_c$ )
24    endif
25  endelse
26 endwhile
27 endif
    
```

알고리즘 Make_Connect를 이용하면 v1을 포함해서 노드 v1과 v2로 만들어지는 경로 상에 없는 노드들은 정리 3.3에 의하여 탐색되는 불필요한 과정이 없어진다는 것이다. (그림 3.2)를 가지고 설명하면 처음 v1의 자식 노드 v4와 v5에 연결되어 있는 노드들로 구성되어 있는 부그래프들을 운영하는 과정을 피하며 v3에 연결된 노드들 중에서도 v1과 v2 사이의 노드들을 제외한 노드들을 운영하는 과정을 피하게 된다. 예를 들어 건설하고자 하는 경로 상에 있는 노드 vi에 연결되어 있는 노드 v6와 v7에 대한 실행도 제외된다.



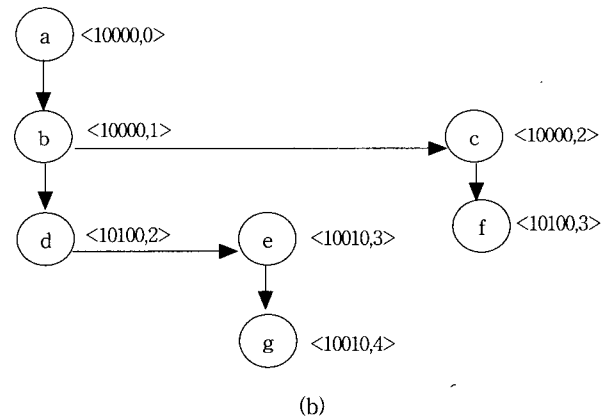
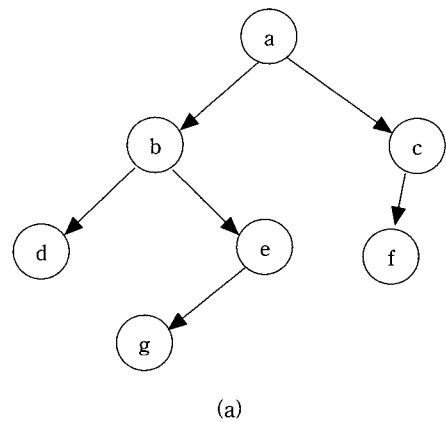
(그림 3.2) 노드 코드를 이용한 그래프 운영

위의 설명된 알고리즘 복잡도를 분석한다. 알고리즘의 복잡도는 두 노드가 주어질 때 두 노드 사이의 경로를 구축하기 위하여 방문하는 노드의 수로 나타낸다. n개의 노드가 있으며 각각의 노드는 c1개의 노드 코드를 가지고 c2개의 자식 노드를 가진다고 가정하자. h를 그래프의 높이라고 하면 $1 + c_2 + \dots + c_2^{h-1} = n$. $h = \log_{c_2}^{n(c_2-1)+1}$. 따라서 알고리즘 Make_Connect를 이용하면 방문하는 노드의 수는 최대 $(c_1 \times c_2 \times \log_{c_2}^{n(c_2-1)+1})$ 이다. (이 논문에서는 방향 비순환 그래프를 이용하고 있다. c1과 c2는 상수이다.) 이것은 $O(\log_{c_2}^n)$ 이다. 이 결과는 전통적인 방법인 “깊이우선탐색”이나 “너비우선탐색”을 사용할 때 방문하는 노드의 최대수 $O(n)$ 보다 좋은 결과이다.

노드 번호의 유효 숫자를 이용하면 더욱 효율적인 경로 건설을 할 수 있다. 노드 vi와 vj의 노드 코드가 각각 $\langle a_0a_1 \dots a_i \dots a_m, i \rangle$, $\langle a_0a_1 \dots a_i a_{i+1} \dots a_j \dots a_m, j \rangle$, 이며 vj가 vi의 자식 노드라 하자. 만약 vj가 vi의 첫 번째 자식 노드라면 a_j 의 값은 0이며 a_k 의, $j+1 \leq k \leq m$, 값은 0이다. 어떤 노드의 첫 번째 자식노드의 노드 번호는 유효숫자의 마지막 순서에 해당하는 2진수와 그 이후에 나오는 2진수의 값이 0이며 유효숫자 마지막 순서의 이전 값들은 부모 노드의 노드 번호와 일치한다. 즉, 이 경우 부모 노드의 노드 코드는 $\langle a_0a_1 \dots a_i 0_j \dots 0_m, j-1 \rangle$ 이다. 만약 vj가 두 번째 이후의 자식 노드인 경우 vj의 노드 코드는 $\langle a_0a_1 \dots a_i 0_{i+1} 1_{i+2} \dots 1_j 0_{j+1} \dots 0_m, j \rangle$ 이다. 이는 vj가 vi의 (j-i)번째 자식 노드임을 보여준다. 이는 vj가 유효 숫자의 마지막 자리에서 시작하여 왼쪽으로 이동하여 처음 0이 나오는 순서의 이동수의 크기만큼 부모 노드에서 떨어져 있음을 보여준다. 이 경우 vj가 vi의 k번째 자식 노드이면 부모 노드의 노드 코드는 $\langle a_0a_1 \dots a_i 0_{i+1} 0_{i+2} \dots 0_j 0_{j+1} \dots 0_m, j-k \rangle$ 이다. 이

설명은 정리 3.1을 달리 설명한 것이다.

어떤 특정한 노드의 노드 코드를 이용하여 부모 노드의 노드 코드를 알아내는 방법을 두 노드 사이의 경로 건설에 사용할 수 있다. 알고리즘 Make_Connect는 노드 v1에서 v2까지의 경로건설을 v1에서 시작하였다. 이와는 반대로 경로의 마지막 노드 v2에서 시작하면 경로 상에 있는 노드의 부모 노드를 노드 코드를 이용하여 찾을 수 있기 때문에 경로 상에 있지 않는 노드를 방문할 필요가 사라진다. 이는 경로 상에 있을 가능성이 있는 노드들을 스택에 첨가하고 다시 정리 3.3의 성질을 이용하여 실제로 경로 상에 존재하는지 하는 검사하는 부분을 제거시킨다. 물론 big-oh 표현으로는 복잡도에 차이가 없다.



(그림 3.3) 방향 비순환 그래프와 상응하는 노드 코드

(그림 3.3) (a)에 하나의 방향 비순환 그래프가 있다. (그림 3.3) (b)는 (a)의 그래프에 해당하는 노드코드를 부여한 것이다. (그림 3.3) (a)의 b 노드에서 시작하여 f 노드에서 끝나는 경로를 찾고자 할 때 그러한 경로가 존재하지 않는다는 사실을 알기 위해서 “깊이우선탐색”을 이용하면 노드 d, e, g를 방문하여야 한다. 그러나 (그림 3.3) (b)에서 노드 b와 f의 노드코드의 비교는 두 노드 사이에는 경로가 존재하지 않음을 즉시 보여준다. 한편, 두 노드 사이에 경로가 존재하는 경우, 예를 들어 a 노드에서 출발하여 f 노드에서 끝나는 경로, “깊이우선탐색”을 이용하여 그 두 노드

사이의 경로를 건설하면 그 경로를 건설하기 위해서 경로 상에 있는 a, c, f 이외에 노드 b, d, e, g도 방문하여야 한다. 그러나 (그림 3.3) (b)를 가지고 그 경로를 건설하면 그 경로에 없지만 방문되는 노드는 노드 b가 유일하다.

3.3 노드 코드 시스템을 이용한 X와 U 연산자의 처리

검색 표현 (q X r)에서 q와 r을 만족시키는 노드가 각각 v_1 과 v_2 라 하자. 노드 코드를 이용하여 연산자 X의 처리는 정리 3.1을 이용한다. v_2 가 v_1 의 자식 노드라면 v_2 노드 코드의 유효 숫자가 v_1 노드 코드의 유효 숫자보다 커야 한다. 이 조건을 만족시키는 경우 v_1 의 노드 코드의 유효 숫자가 h_1 , v_2 의 노드 코드 유효 숫자가 h_2 라 하자. v_2 가 v_1 의 자식노드이면 v_2 는 v_1 의 $(h_2 - h_1)$ 번째 자식 노드이어야 한다. 이제 v_2 가 v_1 의 $(h_2 - h_1)$ 번째 자식 노드라는 가정하에서 v_1 의 노드 코드를 계산한다. 이 노드 코드와 실지의 v_1 노드 코드와 비교하여 v_1 과 v_2 가 실제로 부모, 자식 노드의 관계이면 경로를 건설한다. 이를 위한 알고리즘의 복잡도는 $O(c)$ 이다. (c는 상수이다.)

검색 표현 (q U r)에서 q를 만족시키는 노드는 $\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}\}$ 이며, $n \geq 1$, r을 만족시키는 노드는 v_2 라 하자. (물론 r을 만족시키는 노드가 1개 이상 가능하다. 이 경우에는 위의 검색 표현을 만족시키는 경로가 1개 이상일 가능성이 있는 경우이다. 여기에서는 설명의 편의를 위하여 1개의 노드만 가정하였다.) v_2 의 노드 코드를 이용하여 v_2 의 부모 노드의 노드 코드를 찾고 이 노드 코드를 가지는 노드가 $\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}\}$ 에 존재하는지 확인한다. 다음에 이 부모 노드의 부모 노드가 $\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}\}$ 에 존재하는지 확인한다. 이 과정에서 마지막으로 찾은 부모 노드의 부모 노드가 $\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}\}$ 에 존재하지 않거나 $\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}\}$ 에 있는 모든 노드가 방문되었다면 방문된 순서의 역순으로 나열된 노드가 (q U r)를 만족하는 경로이다. 이를 위한 알고리즘의 복잡도는 $O(\log_2^n)$ 이다.

4. 결 론

이 논문에서 노드 코드 시스템을 이용하여 방향 비순환 그래프의 경로에 관한 질의를 효과적으로 처리하는 방법을 제시하였다. 그리고 그 응용 영역으로 멀티미디어 프리젠테이션 그래프를 가지고 설명하였다. 노드 코드는 그래프의 소스 노드에서 각 노드에 이르는 경로를 유일하게 확인할 수 있는 코드를 각 노드에 부여한다. 만약 소스 노드에서 어떤 노드에 이르는 경로가 1개 이상이면 그 노드는 경로에 상응하는 수의 코드를 부여받는다. 두 노드의 연결성은 그래프 운행 없이 두 노드 코드의 비교로 확인할 수 있다. 그리고 두 노드 사이의 경로의 건설도 그래프 운행 없이 노드 코드를 이용하여 건설할 수 있다. 그래프 운행이 없는 경로의 건설은 전통적인 운행을 이용한 "path-at-a-time"의 방법보다 효율적인 "set-at-a-time"을 이용한 경로의 건

설을 가능하게 한다.

노드 코드의 성질을 이용한 두 노드 사이의 경로 건설을 위한 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘은 최악의 경우 복잡도가 $O(\log_2^n)$ 이며 c는 각 노드가 가지는 자식 노드의 수에 대한 가정이며 n은 노드의 수이다. 이 복잡도는 전통적인 운행 알고리즘의 복잡도인 $O(n)$ 보다 효율적이다.

이 논문은 응용영역으로 방향 비순환 그래프로 모델화할 수 있는 멀티미디어 프리젠테이션을 이용하였다. 노드 코드를 무방향 그래프에 적용하더라도 노드 코드의 성질을 이용할 수 있다. 그러나 일반적인 그래프의 형태인 무방향 순환 그래프에는 노드 코드의 성질을 이용할 수가 없다. 이 문제에 대한 연구가 앞으로 필요하다. 응용 영역으로 사용한 멀티미디어 프리젠테이션 그래프의 경우는 희소 그래프이다. 노드의 개수가 많은 그래프의 경우 노드 번호의 크기가 커진다. 이에 노드 번호의 크기를 조절할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Biskup, J., U. Rasch, and H. Stiefeling, "An Extension of SQL for Querying Relations," Computer Languages 15, pp. 65-82, 1990.
- [2] Consens, M., Mendelzon, A., "GraphLog : A Visual Formalism for Real-Life Recursion," ACM PODS Conference, 1990.
- [3] Consens, M., Mendelzon, A., "Hy* : A Hygraph-based Query and Visualization System," ACM SIGMOD Conference, 1993.
- [4] Cruz, I.F., Mendelzon, A., Wood, P. T., "A Graphical Query Language Supporting Recursion," ACM Sigmod Conference, 1987.
- [5] Cruz, I.F., Mendelzon, A., Wood, P. T., "G* : Recursive Queries withhour recursion," 2nd Int. Conference on Expert Database Systems, 1988.
- [6] Emerson, E., "Temporal and Modal Logic," in Handbook of Theoretical Computer Science, Chapter 16, Leeuwen J., editor, Elsevier, pp.995-1072, 1990.
- [7] Gyssens, M., Paredaens, J., Bussche, J., Gucht D., "A Graph-Oriented Database Model," IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Vol.6, No.4, pp.572-586. Aug., 1994.
- [8] Guting, R., "GraphDB : Modeling and Querying Graphs in Databases," VLDB, conf., pp.297-308, 1994.
- [9] Lee, Taekyong, Bozkaya, T, Kuo, H-C, Özsoyoğlu, G. and Özsoyoğlu, Z. M., "A Scientific Multimedia Database System for Polymer Science Experiments," Eighth International Conference on Scientific and Statistical Database Systems, pp.86-95, 1996,
- [10] Lee, Taekyong, Sheng, L., Bozkaya, T., Balkir, N. H., Ozsoyoglu, G., Ozsoyoglu, Z. M., "Querying Multimedia Presentations Based on Content," IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, Vol.11, No.3, pp.361-385, Jun.,

- 1999,
- [11] 이태경, "멀티미디어 상연그래프 질의언어와 대수를 이용한 질의처리방법", 정보과학회논문지, 제27권 제2호, pp.185-198, 2000.
 - [12] Levene, M., Loizou, G., "A Graph-Based Data Model and its Ramifications," IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Vol.7, No.5, pp.809-823, Oct., 1995,
 - [13] Lin, J., Ozsoyoglu, Z. M., "Processing OODB queries by O-Algebra," CIKM, 12-16, Rockville, MD. pp.134-142, Nov., 1996.
 - [14] Poulouvasilins, A., Levene, M., "A Nested-Graph Model for the Representation and Manipulation of Complex Objects," ACM Trans on Information Systems, Vol.12, No.1, pp. 35-68, Jan., 1994,



이 태 경

e-mail : tklee@uou.ulsan.ac.kr

1978년~1980년 고려대학교 경제학과

1983년~1985년 고려대학교 경제학 학사
(BA.)

1985년~1988년 Indiana University(Bloo-
mington) 경제학 석사(MA.)

1992년~1998년 Case Western Reserve University, Computer
Engineering and Science, 박사(Ph.D.)

1998년~2000년 경산대학교 정보과학부 정보처리학과 전임강사

2000년~현재 울산대학교 디자인대학 정보디자인학과 조교수

관심분야 : 멀티미디어 데이터베이스, 데이터마이닝, 지식기반 테
이터베이스, Knowledge Representation