



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0006656
(43) 공개일자 2015년01월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 17/00 (2006.01) G06F 17/30 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0080343

(22) 출원일자 2013년07월09일

심사청구일자 2013년07월09일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스
내 (서천동, 경희대학교)

(72) 발명자

이영구

경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 전자정보관
314호 (서천동, 경희대학교)

한용구

경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 전자정보관
349호 (서천동, 경희대학교)

박기성

경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 전자정보관
349호 (서천동, 경희대학교)

(74) 대리인

서재승

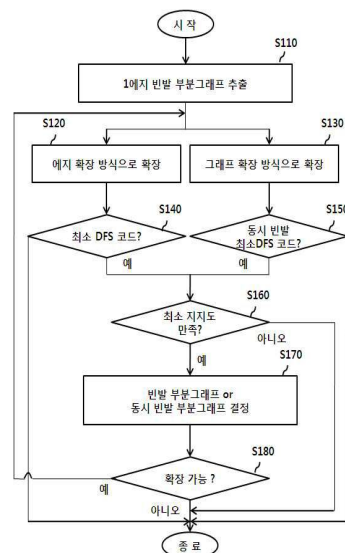
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 비연결 동시 빈발 부분그래프를 포함하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법

(57) 요약

본 발명은 빈발 부분그래프 마이닝 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 빈발 부분그래프 마이닝을 반복적으로 수행하는 다양한 분석 기법에서 최소 지지도 이상의 빈발 부분그래프뿐만 아니라 1개의 그래프에서 서로 비연결된 빈발 부분그래프, 즉 공통의 노드를 공유하지 않는 서로 연결되어 있지 않은 최소 지지도 이상의 비연결 동시 빈발 부분그래프를 마이닝할 수 있는 빈발 부분그래프의 마이닝 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012047478

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 행위 데이터베이스에서 행위패턴 모델링 및 마이닝 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2012.09.01 ~ 2015.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 빈발 부분그래프 중 최소 깊이 우선 탐색 코드 (depth first search code, 이하 DFS 코드)를 가지는 1에지 최소 빈발 부분그래프를 추출하는 단계;
- (b) 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프에 에지를 확장하는 에지 확장 방식과 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프에 신규 부분그래프를 추가하는 그래프 확장 방식으로 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프를 확장하는 단계;
- (c) 상기 에지 확장 방식으로 확장된 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 방식으로 확장된 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드인지와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 판단하는 단계;
- (d) 상기 에지 확장 부분그래프와 상기 그래프 확장 부분그래프가 최소 지지도를 만족하는지 판단하는 단계; 및
- (e) 상기 에지 확장 부분그래프와 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부와 상기 에지 확장 부분그래프와 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부로 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프의 다음 확장 여부를 결정하는 단계를 포함하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 그래프 확장 방식으로 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프에 추가되는 신규 부분그래프는 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프와 비연결되어 있는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 신규 부분그래프와 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프의 비연결 여부는 상기 신규 부분그래프와 상기 1에지 빈발 부분그래프의 에지 정보에 기초하여 공통된 노드를 포함하는지 여부로 판단하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 에지 정보는

상기 에지를 구성하는 각 노드의 버텍스 식별자 및 버텍스 레이블을 구비하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서, 상기 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은

상기 에지 확장 부분그래프와 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드 또는 동시 빈발 최소 DFS 코드이거나 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는 경우, 상기 에지 확장 부분 그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프를 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프를 확장하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 (a) 단계는

상기 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 1에지 빈발 부분그래프를 추출하는 단계; 및

상기 추출한 1에지 빈발 부분그래프에서 최소 DFS 코드를 가지는 1에지 최소 빈발 부분그래프를 판단하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서, 상기 동시 빈발 최소 DFS 코드의 판단은

상기 1에지 최소 빈발 부분그래프와 상기 신규 부분그래프의 노드 수가 동일한 경우, 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프의 DFS 코드가 상기 신규 부분그래프의 DFS 코드보다 작은 값을 가지는 경우 동시 빈발 최소 DFS 코드로 판단하며,

상기 1에지 최소 빈발 부분그래프와 상기 신규 부분그래프의 노드 수가 서로 상이한 경우, 상기 1에지 최소 빈발 부분그래프의 노드 수가 상기 신규 부분그래프의 노드 수보다 작은 값을 가지는 경우 동시 빈발 최소 DFS 코드로 판단하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 8

(a) 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 빈발 부분그래프 중 최소 깊이 우선 탐색 코드(depth first search code, 이하 DFS 코드)를 가지는 최소 빈발 부분그래프에 에지를 확장하는 에지 확장 방식과 상기 최소 빈발 부분그래프에 신규 부분그래프를 추가하는 그래프 확장 방식으로 상기 최소 빈발 부분그래프를 확장하는 단계;

(b) 상기 에지 확장 방식으로 확장된 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 방식으로 확장된 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드인지와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 판단하는 단계;

(d) 상기 에지 확장 부분그래프와 상기 그래프 확장 부분그래프가 최소 지지도를 만족하는지 판단하는 단계; 및

(e) 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부와 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부로 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프의 다음 확장 여부를 결정하는 단계를 포함하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 그래프 확장 방식으로 상기 최소 빈발 부분그래프에 추가되는 신규 부분그래프는 상기 최소 빈발 부분그래프와 비연결되어 있는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 신규 부분그래프와 상기 최소 빈발 부분그래프의 비연결 여부는 상기 신규 부분그래프와 상기 빈발 부분그래프의 에지 정보에 기초하여 공통된 노드를 포함하는지 여부로 판단하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 상기 에지 정보는

상기 에지를 구성하는 각 노드의 버텍스 식별자 및 버텍스 레이블을 구비하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 12

제 10 항에 있어서, 상기 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은

상기 에지 확장 부분그래프와 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드 또는 동시 빈발 최소 DFS 코드이거나 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는 경우, 상기 에지 확장 부분 그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프를 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프를 확장하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법.

청구항 13

그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 빈발 부분그래프 중 최소 깊이 우선 탐색 코드(depth first search code, 이하 DFS 코드)를 가지는 최소 빈발 부분그래프를 추출하는 최소 빈발 부분그래프 추출부;

상기 최소 빈발 부분그래프에 에지를 확장하는 에지 확장 방식과 상기 최소 빈발 부분그래프에 신규 부분그래프

를 추가하는 그래프 확장 방식으로 상기 최소 빈발 부분그래프를 확장하는 확장부;

상기 에지 확장 방식으로 확장된 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 방식으로 확장된 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드인지와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 판단하는 최소 DFS 코드 판단부;

상기 에지 확장 부분그래프와 상기 그래프 확장 부분그래프가 최소 지지도를 만족하는지 판단하는 최소 지지도 판단부; 및

상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부와 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부로 상기 에지 확장 부분그래프 또는 상기 그래프 확장 부분그래프의 다음 확장 여부를 결정하는 확장 판단부를 포함하는 것을 특징으로 하는 동시 빈발 부분그래프 마이닝 장치.

명세서

기술 분야

[0001]

본 발명은 빈발 부분그래프 마이닝 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 빈발 부분그래프 마이닝을 반복적으로 수행하는 다양한 분석 기법에서 최소 지지도 이상의 빈발 부분그래프뿐만 아니라 1개의 그래프에서 서로 비연결된 빈발 부분그래프, 즉 공통의 노드를 공유하지 않는 서로 연결되어 있지 않은 최소 지지도 이상의 비연결 동시 빈발 부분그래프를 마이닝할 수 있는 빈발 부분그래프의 마이닝 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

빈발 부분그래프(frequent subgraph)는 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 출현하는 부분그래프로서, 빈발 부분그래프는 그래프의 고유한 특성을 나타내어 그래프의 분류, 군집화, 인덱싱 등에서 사용된다. 빈발 부분그래프 마이닝은 그래프 데이터베이스에서 모든 빈발 부분그래프를 찾는 기법으로, 복잡한 구조를 가지는 그래프들이 대용량으로 저장되어 있는 그래프 데이터베이스로부터 최소 지지도 이상으로 출현하는 모든 부분그래프를 검색하는 과정을 의미한다.

[0003]

빈발 부분그래프를 효율적으로 마이닝하기 위하여 AGM, FSG, gSpan 등의 다양한 기법들이 연구되고 있다. 이 중에서 성능이 탁월한 것으로 알려진 gSpan이 널리 사용되고 있다. gSpan은 패턴 확장 방법으로 그래프 데이터베이스로부터 빈발 부분그래프를 마이닝하는 알고리즘으로, 깊이우선탐색(depth first search, 이하 DFS) 순서로 방문한 그래프의 에지들을 각 에지의 DFS 코드로 표현한다. 그래프는 탐색 시작 버텍스(vertex)에 따라 다양한 DFS 코드가 생성되는데, gSpan에서는 최소값을 가지는 DFS 코드를 정규 그래프로 정의하여 빈발 부분그래프가 최소 DFS코드와 다르게 확장된 경우 제거하여 많은 수의 중복 부분그래프들을 제거한다.

[0004]

gSpan의 전체 알고리즘은 다음과 같다. 우선, 그래프 데이터베이스 내의 모든 1-에지 빈발 부분그래프들을 찾는다. 찾은 1-에지 빈발 부분그래프를 최소 DFS코드로 표현하고 에지를 하나씩 확장하며 그래프 데이터베이스에 존재하는 그래프들의 빈발 부분그래프들을 추출한다. 에지를 확장한 빈발 부분그래프를 DFS코드로 표현하고, DFS 코드로 표현된 빈발 부분그래프 중 최소 DFS코드를 가지는 정규 그래프인 경우에만 확장하여 빠르게 빈발 부분그래프를 마이닝하며 최소 DFS 코드를 가지지 않는 나머지 빈발 부분그래프는 중복 그래프로 간주하여 제거한다.

[0005]

빈발 부분그래프의 DFS 코드는 각 에지의 확장 순서로 깊이 우선 탐색(DFS) 방식으로 생성되는데, 빈발 부분그래프를 구성하는 각 에지의 DFS 코드는 에지를 구성하는 2개 버텍스(vertex) 식별자, 2개 버텍스 레이블 및 2개 버텍스를 연결하는 에지 레이블로 구성된다. 즉 빈발 부분그래프를 구성하는 각 에지의 DFS 코드는 아래의 수학적식(1)과 같이 표현된다.

[0006]

[수학적식 1]

[0007]

DFS 코드={ i , j , $l(v_i)$, $l(e(v_i, v_j))$, $l(v_j)$ }

[0008]

여기서 i , j 는 각각 에지(e)를 구성하는 2개 버텍스(vertex) 식별자, $l(v_i)$ 와 $l(v_j)$ 는 각각 2개 버텍스 레이블, $l(e(v_i, v_j))$ 는 2개 버텍스를 연결하는 에지 레이블이다.

[0009] 빈발 부분그래프의 DFS 코드 중 최소 DFS 코드를 빈발 부분그래프의 정규 코드 형태로 사용하여 빈발 부분그래프를 유일하게 표현한다. 빈발 부분그래프를 정규 코드 형태로 표현하는 것을 정규화 연산(canonized operation)이라 정의하고 정규 코드 형태로 표현되는 빈발 부분그래프를 빈발 부분그래프의 정규 그래프라 언급한다. 정규화 연산을 위하여 빈발 부분그래프의 최소 DFS코드를 찾기 위한 과정은 다음과 같다. 빈발 부분그래프의 에지들을 DFS코드로 표현하고, 각 에지의 DFS코드 중 가장 작게 표현된 값을 탐색 시작 지점으로 설정한다. 탐색 시작 지점부터 깊이우선탐색(DFS) 순서에 따라 버텍스의 식별자를 순차적으로 부여한다. 만약 동일 버텍스가 여러 개의 에지를 가지면, 가장 작은 DFS코드로 표현되는 에지를 선택하여 탐색한다. 만약 가장 작게 표현되는 에지가 여러 개 존재할 경우, 하나의 에지를 선택하여 모두 탐색한 후, 나머지 에지들에 대해서도 재귀적으로 모든 에지를 탐색한다. 탐색하여 얻은 DFS코드 집합 중에서 가장 작게 표현되는 최소 DFS코드를 찾는다.

[0010] 위에서 설명한 종래 빈발 부분 그래프의 마이닝 방법은 대용량의 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 출현하는 빈발 부분그래프를 검색하는 과정으로 서로 비연결되어 최소 지지도 이상으로 동시에 발생하는 동시 빈발 부분그래프를 검색하지는 못하였다.

[0011] 그러나 빈발 부분그래프 마이닝에서 단순히 최소 지지도 이상으로 출현하는 빈발 부분그래프뿐만 아니라 1개의 그래프에서 서로 비연결되어 최소 지지도 이상으로 동시에 발생하는 빈발 부분그래프를 마이닝하는 것도 중요하다. 예를 들어, 특정 기능을 수행하는 것으로 예상되는 다수의 물질에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 물질 성분의 빈발 부분그래프뿐만 아니라 다수의 물질에 각각 최소 지지도 이상의 서로 비연결된 물질 성분의 빈발 부분그래프를 검색하는 것은 특정 기능을 수행하는 물질 성분의 연구에 많은 도움을 준다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 위에서 언급한 종래 빈발 부분그래프 마이닝이 가지는 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명이 이루고자 하는 목적은 그래프에 동시에 존재하는 최소 지지도 이상의 서로 비연결된 빈발 부분그래프를 마이닝하는 방법을 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명이 이루고자 하는 다른 목적은 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 확장된 빈발 부분그래프에서 최소 DFS 코드 판단과 동시 빈발 최소 DFS 코드의 판단으로 빈발 부분그래프뿐만 아니라 그래프에 함께 존재하는 동시 빈발 부분그래프를 동시에 신속하게 마이닝할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

[0014] 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 목적은 빈발 부분그래프의 에지 정보에 기초하여 그래프에 함께 존재하는 동시 빈발 부분그래프 중 서로 연결되지 않은 비연결 빈발 부분그래프만을 마이닝할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명의 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 비연결 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 빈발 부분그래프 중 최소 깊이 우선 탐색 코드(depth first search code, 이하 DFS 코드)를 가지는 1에지 최소 빈발 부분그래프를 추출하는 단계와, 1에지 최소 빈발 부분그래프에 에지를 확장하는 에지 확장 방식과 1에지 최소 빈발 부분그래프에 신규 부분그래프를 추가하는 그래프 확장 방식으로 1에지 최소 빈발 부분그래프를 확장하는 단계와, 에지 확장 방식으로 확장된 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 방식으로 확장된 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드인지와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 판단하는 단계와, 에지 확장 부분그래프와 그래프 확장 부분그래프가 최소 지지도를 만족하는지 판단하는 단계와, 에지 확장 부분그래프와 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부와 에지 확장 부분그래프와 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부로 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프의 다음 확장 여부를 결정하는 단계를 포함한다.

[0016] 여기서 그래프 확장 방식으로 1에지 최소 빈발 부분그래프에 추가되는 신규 부분그래프는 1에지 최소 빈발 부분그래프와 비연결되어 있는데, 신규 부분그래프와 1에지 최소 빈발 부분그래프의 비연결 여부는 신규 부분그래프와 1에지 빈발 부분그래프의 에지 정보에 기초하여 공통된 노드를 포함하는지 여부로 판단하는 것을 특징으로 한다. 바람직하게, 에지 정보는 에지를 구성하는 각 노드의 버텍스 식별자 및 버텍스 레이블을 구비하는 것을 특징으로 한다.

- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 비연결 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은 에지 확장 부분그래프와 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드 또는 동시 빈발 최소 DFS 코드이거나 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는 경우, 에지 확장 부분 그래프 또는 그래프 확장 부분그래프를 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프를 확장하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 여기서 동시 빈발 최소 DFS 코드의 판단은 1에지 최소 빈발 부분그래프와 신규 부분그래프의 노드 수가 동일한 경우, 1에지 최소 빈발 부분그래프의 DFS 코드가 신규 부분그래프의 DFS 코드보다 작은 값을 가지는 경우 동시 빈발 최소 DFS 코드로 판단하며, 1에지 최소 빈발 부분그래프와 신규 부분그래프의 노드 수가 서로 상이한 경우, 1에지 최소 빈발 부분그래프의 노드 수가 신규 부분그래프의 노드 수보다 작은 값을 가지는 경우 동시 빈발 최소 DFS 코드로 판단하는 것을 특징으로 하는 한다.
- [0019] 본 발명에 다른 실시예에 따른 비연결 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 빈발 부분그래프 중 최소 깊이 우선 탐색 코드(depth first search code, 이하 DFS 코드)를 가지는 최소 빈발 부분그래프에 에지를 확장하는 에지 확장 방식과 최소 빈발 부분그래프에 신규 부분그래프를 추가하는 그래프 확장 방식으로 최소 빈발 부분그래프를 확장하는 단계와, 에지 확장 방식으로 확장된 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 방식으로 확장된 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드인지와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 판단하는 단계와, 에지 확장 부분그래프와 그래프 확장 부분그래프가 최소 지지도를 만족하는지 판단하는 단계와, 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부와 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부로 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프의 다음 확장 여부를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0020] 한편, 본 발명에 따른 비연결 동시 빈발 부분그래프 마이닝 장치는 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 빈발 부분그래프 중 최소 깊이 우선 탐색 코드(depth first search code, 이하 DFS 코드)를 가지는 최소 빈발 부분그래프를 추출하는 최소 빈발 부분그래프 추출부와, 최소 빈발 부분그래프에 에지를 확장하는 에지 확장 방식과 최소 빈발 부분그래프에 신규 부분그래프를 추가하는 그래프 확장 방식으로 최소 빈발 부분그래프를 확장하는 확장부와, 에지 확장 방식으로 확장된 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 방식으로 확장된 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드인지와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 판단하는 최소 DFS 코드 판단부와, 에지 확장 부분그래프와 그래프 확장 부분그래프가 최소 지지도를 만족하는지 판단하는 최소 지지도 판단부와, 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드와 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부와 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부로 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프의 다음 확장 여부를 결정하는 확장 판단부를 포함한다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은 종래 기술과 비교하여 다음과 같은 다양한 효과를 가진다.
- [0022] 첫째, 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은 빈발 부분그래프의 에지 정보에 기초하여 그래프에 함께 존재하는 최소 지지도 이상의 서로 비연결된 빈발 부분그래프를 마이닝할 수 있다.
- [0023] 둘째, 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법은 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 확장된 빈발 부분그래프에서 최소 DFS 코드 판단과 동시 빈발 최소 DFS 코드를 판단하여 빈발 부분그래프뿐만 아니라 그래프에 함께 존재하는 동시 빈발 부분그래프를 동시에 신속하게 마이닝할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 부분그래프를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 빈발 부분그래프를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 동시 빈발 부분그래프를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 비연결 동시 빈발 부분그래프와 빈발 부분그래프를 함께 마이닝하는 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 제1 규칙의 일 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 제2 규칙의 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 정규 그래프 탐색 트리의 일 예와 정규 그래프 탐색 트리에 기초하여 추출한 빈발 부분그래프가 최소 DFS 코드를 가지는 정규 그래프인지 판단하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 7과 도 9는 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프 마이닝 방법에 따라 빈발 부분그래프와 비연결 동시 빈발 부분그래프를 마이닝하는 일 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 그래프 데이터베이스에 저장되어 있는 예지 정보의 일 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 장치를 설명하기 위한 기능 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하 첨부한 도면을 참고로 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법에 대해 보다 구체적으로 살펴본다.

[0026] 부분그래프(subgraph)란 그래프를 구성하는 구성요소 일부로 이루어진 그래프를 의미하며, 빈발 부분그래프(frequent subgraph, FG)란 그래프 데이터베이스에 저장되어 있는 그래프에서 아래의 수학적식(2)과 같이 최소 지지도(Minsup) 이상으로 출현하는 부분그래프를 의미한다.

[0027] [수학적식 2]

$$FG = \{g \subseteq G \mid \text{count}(g) \geq \text{MinSup}\}$$

[0028] 여기서 $\{g \subseteq G \mid$ 는 부분그래프(g)를 가지는 그래프(G)의 개수이다.

[0029] 한편, 동시 빈발 부분그래프(co-frequent subgraph)는 그래프 데이터베이스에 저장되어 있는 각 그래프로부터 생성되는 2개 이상의 부분그래프가 함께 최소 지지도 이상으로 출현하는 빈발 부분그래프를 의미한다. 동시 빈발 부분그래프는 연결 동시 빈발 부분그래프와 비연결 동시 빈발 부분그래프로 나눌 수 있는데, 연결 동시 빈발 부분그래프는 각 그래프로부터 생성되는 2개 이상의 부분그래프가 서로 노드를 공유하여 연결되어 있는 동시 빈발 부분그래프이며 비연결 동시 빈발 부분그래프는 각 그래프로부터 생성되는 2개 이상의 부분그래프가 서로 노드를 공유하지 않고 비연결되어 있는 동시 빈발 부분그래프이다.

[0031] 도 1은 부분그래프를 설명하기 위한 도면이며, 도 2는 빈발 부분그래프를 설명하기 위한 도면이며, 도 3은 동시 빈발 부분그래프를 설명하기 위한 도면이다.

[0032] 도 1을 참고로 부분그래프의 예를 살펴보면, 도 1(a)에 도시되어 있는 그래프(g)는 도 1(b)와 같이 1에지로 이루어진 그래프의 부분그래프를 생성하거나, 도 1(c)와 같이 2에지로 이루어진 그래프의 부분그래프를 생성하거나, 도 1(d)와 같이 3에지로 이루어진 그래프의 부분그래프를 생성하거나, 도 1(e)와 같이 4에지로 이루어진 그래프의 부분그래프를 생성한다. 도 1에서 그래프의 부분그래프는 일부만을 예시적으로 도시한 것이며, 도 1(b) 내지 도 1(e)에 이외에 그래프의 다수의 부분그래프를 생성할 수 있다.

[0033] 한편, 도 2를 참고로 빈발 부분그래프의 예를 살펴보면, 도 2(a)에 도시되어 있는 바와 같이 그래프 데이터베이스에 제1 그래프(g1), 제2 그래프(g2) 및 제3 그래프(g3)가 존재한다. 도 2(b)는 제1 그래프 내지 제3 그래프에서 최소 지지도 2 이상으로 발현하는 1에지 빈발 부분그래프를 도시하고 있으며, 도 2(c)는 제1 그래프 내지 제3 그래프에서 최소 지지도 2 이상으로 발현하는 2에지 빈발 부분그래프를 도시하고 있으며, 도 2(d)는 제1 그래프 내지 제3 그래프에서 최소 지지도 2 이상으로 발현하는 3에지 빈발 부분그래프를 도시하고 있다. 즉, 제1 그래프 내지 제3 그래프로부터 생성되는 부분그래프 중 제1 그래프 내지 제3 그래프에서 설정된 최소 지지도 이상 발현되는 부분그래프를 빈발 부분그래프라 언급한다.

- [0034] 한편, 도 3을 참고로 빈발 부분그래프의 예를 살펴보면, 도 3(a)에 도시되어 있는 바와 같이 그래프 데이터베이스에 제1 그래프(g1), 제2 그래프(g2) 및 제3 그래프(g3)가 존재한다. 도 3(b)는 각 그래프로부터 생성되는 2개 이상의 부분그래프가 서로 노드(X)를 공유하여 연결되어 있으며 최소 지지도 2 이상으로 발현하는 연결 동시 빈발 부분그래프이며, 도 3(c)는 각 그래프로부터 생성되는 2개 이상의 부분그래프가 서로 노드를 공유하지 않고 비연결되어 있으며 최소 지지도 이상으로 발현하는 비연결 동시 빈발 부분그래프이다. 여기서 최소 지지도에 상관없이 부분그래프가 서로 노드를 공유하지 않고 비연결되어 있는 그래프를 비연결 부분그래프라 언급한다. 여기서 부분그래프가 서로 비연결되어 있는 비연결 부분그래프인지의 여부는 부분그래프가 생성되는 전체 그래프의 에지 정보에 기초하여 판단한다.
- [0035] 도 4는 비연결 동시 빈발 부분그래프와 빈발 부분그래프를 함께 마이닝하는 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0036] 도 4를 참고로 보다 구체적으로 살펴보면, 그래프 데이터베이스에서 최소 지지도 이상으로 발현하며 동시에 최소 DFS코드를 가지는 1에지 빈발 부분그래프를 추출한다(S210). 추출한 1에지 빈발 부분그래프를 에지 확장 방식으로 확장하거나(S120), 그래프 확장 방식으로 확장한다(S130). 여기서 에지 확장 방식은 빈발 부분그래프에 에지를 추가하여 확장하는 방식이며 그래프 확장 방식은 추출한 1에지 빈발 부분그래프 또는 확장한 빈발 부분그래프에 신규 1에지 부분그래프를 추가하여 확장하는 방식이다. 그래프 확장 방식으로 추가되는 신규 1에지 부분그래프는 최소 DFS 코드를 가지며, 추출한 1에지 빈발 부분그래프 또는 확장한 빈발 부분그래프와 비연결된 비연결 부분그래프로 한정된다.
- [0037] 에지 확장 방식으로 확장한 부분그래프가 최소 DFS 코드를 가지는 정규 그래프인지 판단하여 확장한 부분그래프가 최소 DFS 코드를 가지는 정규 그래프가 아닌 경우 더 이상 확장하지 않고 삭제한다(S140). 한편, 그래프 확장 방식으로 확장한 부분그래프의 그룹이 동시 빈발 최소 DFS 코드를 가지는 부분그래프인지 판단하여 확장한 부분그래프 그룹이 동시 빈발 최소 DFS 코드를 가지지 않는 경우 더 이상 확장하지 않고 삭제한다(S150).
- [0038] 그러나 에지 확장 방식으로 확장한 부분그래프가 최소 DFS 코드를 가지는 정규 그래프이거나 그래프 확장 방식으로 확장한 부분그래프 그룹이 동시 빈발 최소 DFS 코드를 가지는 경우 에지 확장 방식으로 확장한 부분그래프 또는 그래프 확장 방식으로 확장한 부분그래프 그룹이 최소 지지도 이상으로 발현하는 빈발 부분그래프인지 판단한다(S160).
- [0039] 에지 확장 방식으로 확장한 부분그래프 또는 그래프 확장 방식으로 확장한 부분그래프 그룹이 최소 지지도 이상으로 발현하는 경우, 에지 확장 방식으로 확장한 부분그래프 또는 그래프 확장 방식으로 확장한 부분그래프 그룹을 빈발 부분그래프 또는 비연결 동시 빈발 부분그래프로 결정한다(S170). 결정한 빈발 부분그래프 또는 비연결 동시 빈발 부분그래프에서 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 확장 가능한 에지 또는 부분그래프가 존재하는지 판단하여 확장 가능 여부를 판단한다(S180). 결정한 빈발 부분그래프 또는 비연결 동시 빈발 부분그래프를 확장 가능한 경우, 위에서 설명한 S120 단계 내지 S180 단계를 반복하여 그래프 데이터베이스에서 발현하는 모든 빈발 부분그래프와 비연결 동시 빈발 부분그래프를 함께 마이닝한다.
- [0040] 여기서 그래프 확장 방식으로 확장되는 부분그래프 그룹이 동시 빈발 최소 DFS 코드인지의 판단은 아래 제1 규칙과 제2 규칙에 의해 판단한다.
- [0041] 제1 규칙의 내용은 제1 부분그래프와 제2 부분그래프가 그룹을 이루며 제1 부분그래프와 제2 부분그래프의 노드 수가 서로 동일한 경우, 제1 부분그래프의 DFS 코드값이 제2 부분그래프의 DFS 코드값보다 작은 경우, 그룹을 이루는 제1 부분그래프와 제2 부분그래프는 동시 빈발 최소 DFS 코드로 판단한다.
- [0042] 제2 규칙의 내용은 제1 부분그래프와 제2 부분그래프가 그룹을 이루며 제1 부분그래프와 제2 부분그래프의 노드 수가 서로 상이한 경우, 제1 부분그래프의 노드 수가 제2 부분그래프의 노드 수보다 작은 경우 동시 빈발 최소 DFS 코드로 판단한다.
- [0043] 도 5는 제1 규칙의 일 예를 설명하기 위한 도면이며, 도 6은 제2 규칙의 예를 설명하기 위한 도면이다.
- [0044] 도 5를 참고로 제1 규칙의 일 예를 살펴보면, 제1 부분그래프(sg1)과 제2 부분그래프(sg2)로 이루어진 부분그래프 그룹에서 제1 부분그래프(sg1)은 3개의 노드를 가지며 제2 부분그래프(sg2)도 3개의 노드를 가져 제1 부분그래프(sg1)과 제2 부분그래프(sg2)의 노드 수는 서로 동일하다. 도 5(a)에 도시되어 있는 부분그래프 그룹에서

제1 부분그래프(sg_1)의 DFS 코드는 제2 부분그래프(sg_2)의 DFS 코드보다 작기 때문에 부분그래프 그룹은 동시 빈발 최소 DFS 코드를 만족한다. 그러나 도 5(b)에 도시되어 있는 부분그래프 그룹에서 제1 부분그래프(sg_1)의 DFS 코드는 제2 부분그래프(sg_2)의 DFS 코드보다 크기 때문에 동시 빈발 최소 DFS 코드를 만족하지 않는다.

[0045] 도 6을 참고로 제2 규칙의 일 예를 살펴보면, 제1 부분그래프(sg_1)과 제2 부분그래프(sg_2)로 이루어진 부분그래프 그룹에서 제1 부분그래프(sg_1)와 제2 부분그래프(sg_2)는 서로 다른 노드 수를 가진다. 도 6(a)에 도시되어 있는 부분그래프 그룹에서 제1 부분그래프(sg_1)의 노드 수는 2개이며 제2 부분그래프(sg_2)의 노드 수는 3개로 제1 부분그래프(sg_1)의 노드 수가 제2 부분그래프(sg_2)의 노드 수보다 작기 때문에 동시 빈발 최소 DFS 코드를 만족한다. 그러나 도 6(b)에 도시되어 있는 부분그래프 그룹에서 제1 부분그래프(sg_1)의 노드 수는 3개이며 제2 부분그래프(sg_2)의 노드 수는 2개로 제1 부분그래프(sg_1)의 노드 수가 제2 부분그래프(sg_2)의 노드 수보다 크기 때문에 동시 빈발 최소 DFS 코드를 만족하지 않는다.

[0046] 도 7과 도 9는 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프 마이닝 방법에 따라 빈발 부분그래프와 비연결 동시 빈발 부분그래프를 마이닝하는 일 예를 설명하기 위한 도면이다.

[0047] 도 7(a)를 참고로 살펴보면, 그래프 데이터베이스에 제1 그래프(g_1)과 제2 그래프(g_2)가 존재한다.

[0048] 도 7(b)를 참고로 제1 그래프(g_1)과 제2 그래프(g_2)에서 최소 지지도 2이상으로 발현하는 빈발 부분그래프와 비연결 동시 빈발 부분그래프를 마이닝하는 방법을 살펴보면, 먼저 제1 그래프(g_1)와 제2 그래프(g_2)에서 최소 지지도 2 이상으로 발현하는, 최소 DFS 코드를 가지는 1에지 최소 빈발 부분그래프를 추출한다. 제1 그래프(g_1)와 제2 그래프(g_2)에서 2개의 1에지 최소 빈발 부분그래프(sg_1 , sg_2)가 추출되며, 그 중 (A, B, v0, e1, v1)의 DFS 코드를 가지는 1에지 제1 최소 빈발 부분그래프(sg_1)로부터 에지 확장 방식으로 제3 부분그래프(sg_3)와 제4 부분그래프(sg_4)가 각각 확장되며, 그래프 확장 방식으로 제1 최소 빈발 부분그래프(sg_1)와 제2 최소 빈발 부분그래프(sg_2)로 이루어진 부분그래프 그룹으로 확장된다.

[0049] 여기서 에지 확장 방식으로 확장된 제3 부분그래프(sg_3)와 제4 부분그래프(sg_4)는 모두 최소 DFS 코드를 만족하지만 그래프 데이터베이스에서 1번씩만 발현하고 최소 지지도 2를 만족하지 못하므로 더 이상 확장되지 못하고 삭제된다. 한편, 그래프 확장 방식으로 확장된 부분그래프 그룹(sg_5)은 동시 빈발 최소 DFS 코드의 제1 규칙과 제2 규칙을 모두 만족하며 최소 지지도 2 이상으로 발현되므로 비연결 동시 빈발 부분그래프로 결정된다. 그래프 확장 방식으로 확장된 부분그래프에서 다시 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 확장 가능한지 판단하여 위에서 설명한 방식으로 빈발 부분그래프 또는 비연결 동시 빈발 부분그래프를 결정한다.

[0050] 제1 최소 빈발 부분그래프(sg_1)로부터 에지 확장 방식으로 확장된 부분그래프(sg_3 , sg_4)는 빈발 부분그래프로 결정되지 못하고 부분그래프 그룹(sg_5)은 비연결 동시 빈발 부분그래프로 결정된다. 따라서 제1 최소 빈발 부분그래프(sg_1)와 부분그래프 그룹(sg_5)이 빈발 부분그래프 또는 비연결 동시 빈발 부분그래프로 결정된다.

[0051] 여기서 그래프 확장 방식으로 확장시 추가되는 신규 1에지 부분그래프가 최소 DFS 코드를 가지며 1에지 최소 빈발 부분그래프(sg_1)와 비연결된 비연결 부분그래프인지의 판단은 그래프 데이터베이스의 제1 그래프(g_1)과 제2 그래프(g_2)의 에지 정보에 기초하여 판단한다. 도 8은 제1 그래프(g_1)와 제2 그래프(g_2)의 에지 정보 테이블의 일 예로, 에지 정보 테이블에는 제1 그래프(g_1)와 제2 그래프(g_2)를 구성하는 모든 에지의 버텍스 식별자 또는 버텍스 레이블이 저장되어 있다. 도 8(a)의 제1 그래프(g_1)의 에지 정보에 기초하여 제1 에지(e_1)와 제3 에지(e_3)는 서로 공통의 노드와 연결되어 있지 않기 때문에 서로 비연결되어 있음을 판단할 수 있으며, 도 8(b)의 제2 그래프(g_2)의 에지 정보에 기초하여 제1 에지(e_1)와 제3 에지(e_3)는 서로 공통의 노드와 연결되어 있지 않기 때문에 서로 비연결되어 있음을 판단할 수 있다.

[0052] 한편 도 9(a)를 참고로 제1 그래프(g_1)와 제2 그래프(g_2)에서 추출한 2개의 1에지 최소 빈발 부분그래프(sg_1 , sg_2) 중 제2 최소 빈발 부분그래프(sg_2)로부터 에지 확장 방식으로 제3 부분그래프(sg_3)와 제4 부분그래프(sg_4)가 각각 확장되며, 그래프 확장 방식으로 제2 최소 빈발 부분그래프(sg_2)와 제1 최소 빈발 부분그래프(sg_1)로 이루어진 부분그래프 그룹으로 확장된다.

[0053] 여기서 에지 확장 방식으로 확장된 제3 부분그래프(sg_3)와 제4 부분그래프(sg_4)는 모두 최소 DFS 코드를 만족하지 않으며 더욱이 그래프 데이터베이스에서 1번씩만 발현되므로 최소 지지도 2를 만족하지 못하므로 더 이상 확장되지 못하고 삭제된다. 한편, 그래프 확장 방식으로 확장된 부분그래프 그룹은 동시 빈발 최소 DFS 코드의

제1 규칙을 만족하지 못하므로 더 이상 확장되지 못하고 삭제된다. 따라서 제2 최소 빈발 부분그래프로부터 확장된 부분그래프 또는 부분그래프 그룹은 빈발 부분그래프 또는 동시 빈발 부분그래프로 결정되지 못하고 제2 최소 빈발 부분그래프($sg2$)만이 빈발 부분그래프로 결정된다.

[0054] 도 10은 본 발명에 따른 동시 빈발 부분그래프의 마이닝 장치를 설명하기 위한 기능 블록도이다.

[0055] 도 10을 참고로 보다 구체적으로 살펴보면, 최소 빈발 부분그래프 추출부(120)는 그래프 데이터베이스(110)에서 최소 지지도 이상으로 발생하는 빈발 부분그래프를 판단하고, 빈발 부분그래프의 DFS 코드에 기초하여 빈발 부분그래프 중 최소 DFS 코드값을 가지는 최소 빈발 부분그래프를 추출한다.

[0056] 확장부(130)는 최소 빈발 부분그래프에 에지를 확장하는 에지 확장 방식 또는 최소 빈발 부분그래프에 최소 DFS 코드값을 가지는 1에지 신규 부분그래프를 추가하는 그래프 확장 방식으로 추출한 최소 빈발 부분그래프를 확장한다. 바람직하게, 신규 부분그래프는 최소 DFS 코드를 가지며, 추출한 최소 빈발 부분그래프 또는 확장한 빈발 부분그래프와 비연결된 비연결 부분그래프로 한정되는데, 확장부(130)는 그래프 데이터베이스(110)에 저장되어 있는 그래프의 에지 정보에 기초하여 추가되는 신규 부분그래프가 추출한 최소 빈발 부분그래프 또는 확장한 빈발 부분그래프에 연결되어 있는지 판단한다.

[0057] 최소 DFS 코드 판단부(140)는 에지 확장 방식으로 확장된 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 방식으로 확장된 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드인지와 동시에 빈발 최소 DFS 코드인지 판단하며, 최소 지지도 판단부(150)는 에지 확장 부분그래프와 그래프 확장 부분그래프가 설정된 최소 지지도를 만족하는지 판단한다.

[0058] 확장 판단부(160)는 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 DFS 코드 또는 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부 및 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부로 빈발 부분그래프 또는 비연결 동시 빈발 부분그래프를 결정하고, 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프의 다음 확장 여부를 결정한다. 다음 확장 여부의 결정에 따라 확장부(130)는 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 그래프를 다시 에지 확장 방식 또는 그래프 확장 방식으로 확장하며 최소 DFS 코드 판단부(140), 최소 지지도 판단부(15) 및 확장 판단부(160)에서는 최소 DFS 코드 또는 동시 빈발 최소 DFS 코드인지 여부 및 에지 확장 부분그래프 또는 그래프 확장 부분그래프가 각각 최소 지지도를 만족하는지 여부 및 다음 확장 여부를 반복하여 결정한다.

[0059] 한편, 상술한 본 발명의 실시 예들은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성 가능하고, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 디지털 컴퓨터에서 구현될 수 있다.

[0060] 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체는 마그네틱 저장 매체(예를 들어, 롬, 플로피 디스크, 하드디스크 등), 광학적 판독 매체(예를 들면, 시디롬, 디브이디 등) 및 캐리어 웨이브(예를 들면, 인터넷을 통한 전송)와 같은 저장 매체를 포함한다.

[0061] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

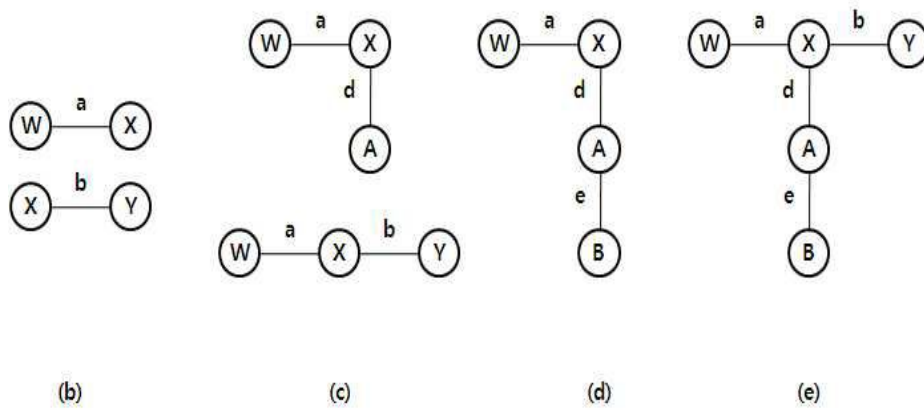
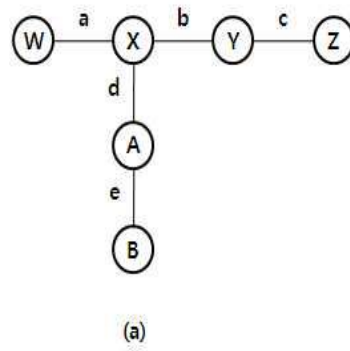
부호의 설명

[0062]

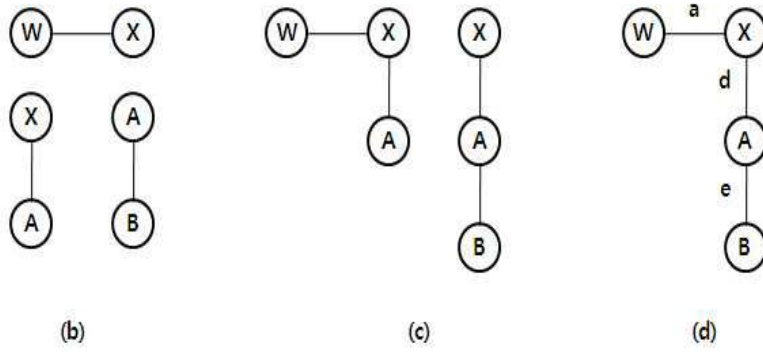
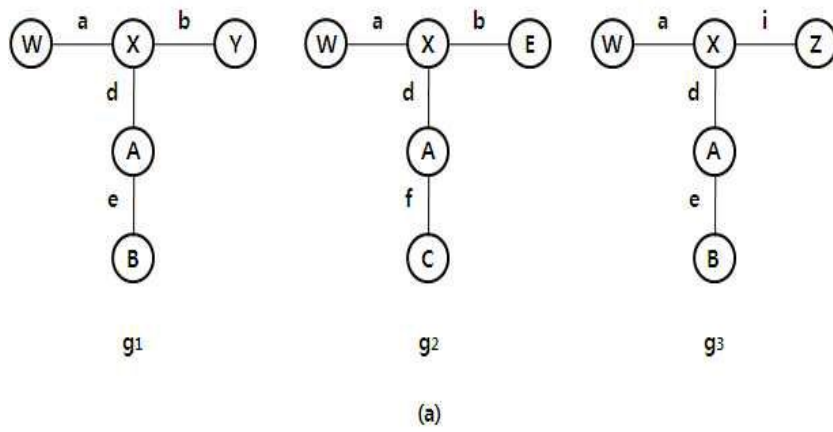
110: 그래프 데이터베이스	120: 최소 빈발 부분그래프 추출부
130: 확장부	140: 최소 DFS 코드 판단부
150: 최소 지지도 판단부	160: 확장 판단부

도면

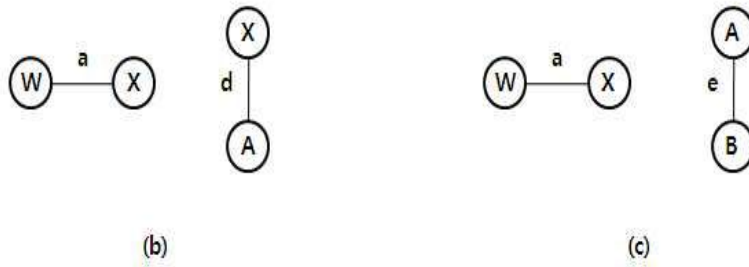
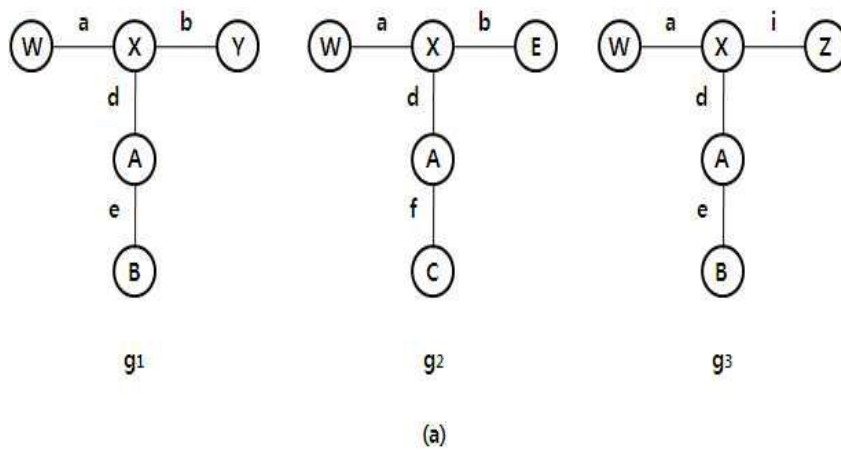
도면1



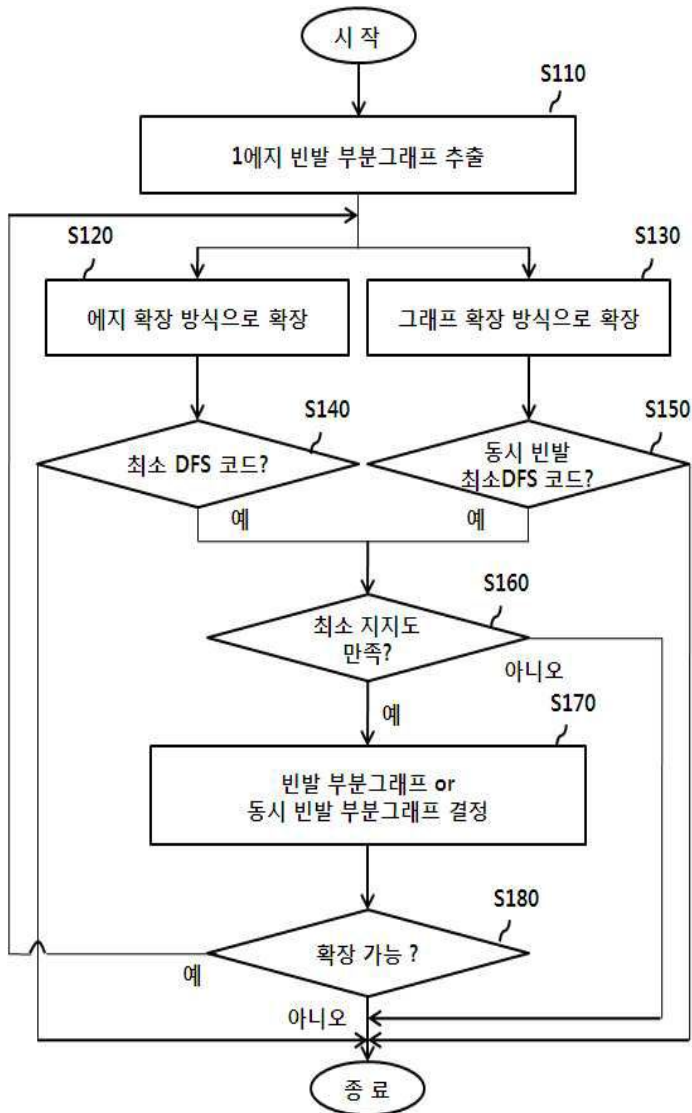
도면2



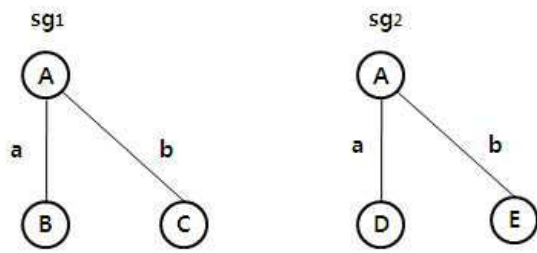
도면3



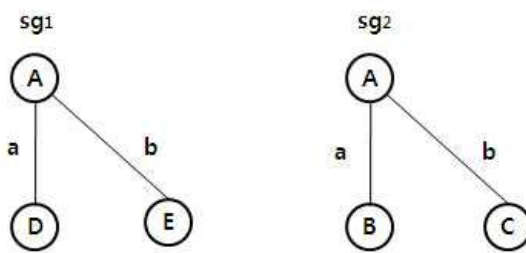
도면4



도면5

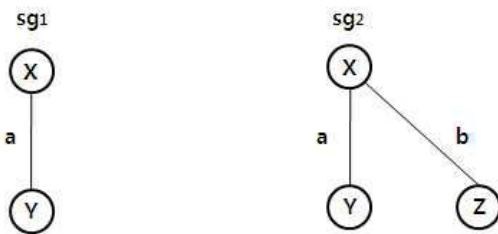


(a)

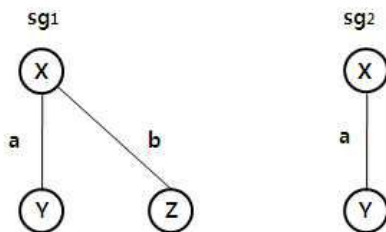


(b)

도면6

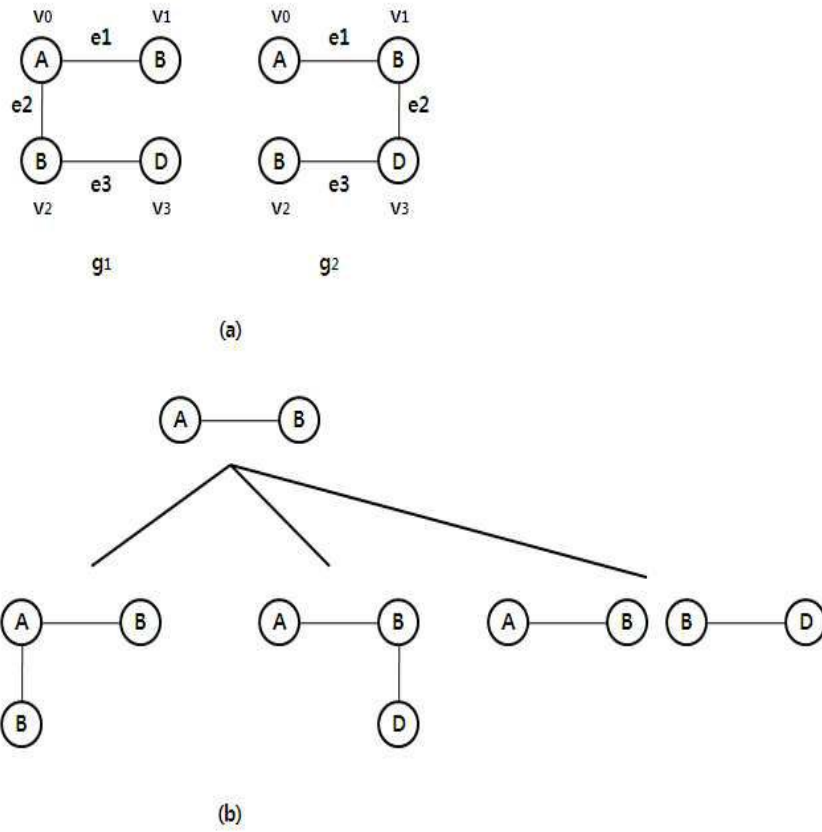


(a)



(b)

도면7



도면8

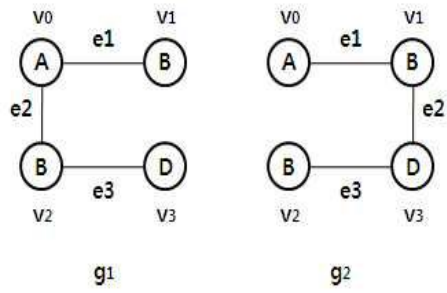
에지	버텍스 레이블
e1	v0, v1
e2	v0, v2
e3	v2, v3

(a)

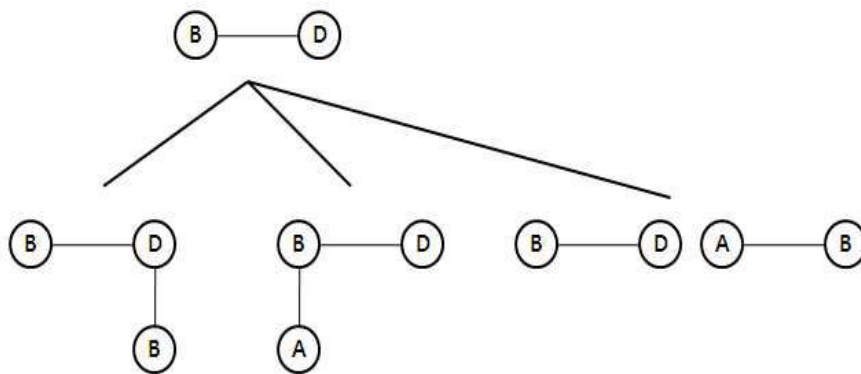
에지	버텍스 레이블
e1	v0, v1
e2	v1, v3
e3	v2, v3

(b)

도면9



(a)



(b)

도면10

