(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년01월13일
(11) 등록번호 10-1696433
(24) 등록일자 2017년01월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 11/07 (2006.01) *G05B 23/02* (2006.01)
G06F 11/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 11/079 (2013.01)
G05B 23/0248 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0150308
(22) 출원일자 2015년10월28일
심사청구일자 2015년10월28일
(56) 선행기술조사문헌
KR101267978 B1*
KR1020120071598 A
'안전필수 계통의 리스크 평가를 위한 일회 순회 고장수목 모듈 검색 알고리즘', 정우식, 한국안전학회지 제30권 제3호(2015.06)
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
정우식
경기도 남양주시 순화궁로 384, 2405동 502호 (별내동, 대원 칸타빌)
(74) 대리인
홍성욱, 심경식

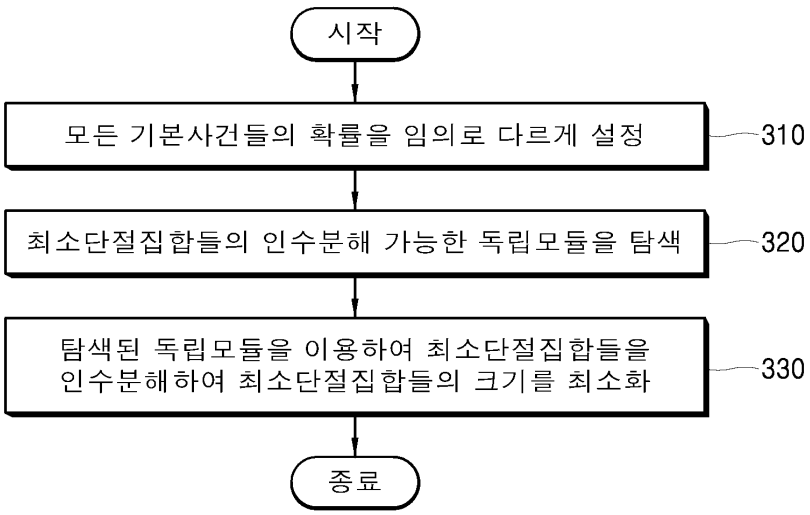
전체 청구항 수 : 총 16 항 심사관 : 이동하

(54) 발명의 명칭 **독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법 및 그 방법을 수행하는 최소단절집합 분석 장치**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법은 최소단절집합 분석 장치에서, 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 탐색하는 단계; 및 상기 최소단절집합 분석 장치에서, 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들을 인수분해하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
G06F 11/0796 (2013.01)
G06F 11/26 (2013.01)
G06F 17/5009 (2013.01)
G06F 2217/70 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1075000214
부처명 원자력안전위원회
연구관리전문기관 한국방사선안전재단
연구사업명 원자력안전연구개발
연구과제명 원전 안전 규제를 위한 확률론적안전성평가용 고정밀 최소단절집합 분석기 개발
기 여 율 1/1
주관기관 세종대학교 산학협력단
연구기간 2014.12.01 ~ 2015.09.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

최소단절집합 분석 장치에서, 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 탐색하는 단계; 및

상기 최소단절집합 분석 장치에서, 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들을 인수분해하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 단계

를 포함하며,

상기 독립모듈을 탐색하는 단계는

상기 최소단절집합들에 속한 기본사건들의 중요도 척도를 계산하는 단계;

상기 중요도 척도와 관련한 숫자 비교에 기초하여, 상기 최소단절집합들로부터 독립모듈 후보군을 탐색하는 단계; 및

상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건과 관련한 불리안 식 비교에 기초하여, 상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 중요도 척도는

논리변수의 확률 변화가 상기 정점사건의 확률에 미치는 영향을 가늠하는 척도인 MIF(Marginal Importance Factor)와 CIF(Critical Importance Factor)를 나타내되, 상기 MIF는 각 논리변수의 계수들을 모은 불리안 식의 확률로 정의되며, 상기 CIF는 각 논리변수를 가진 모든 불리안 식의 확률과 상기 정점사건의 확률 간의 비율로 정의되는 것을 특징으로 하는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 각 논리변수의 논리합이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우,

상기 각 논리변수에 대한 MIF는 동일하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 상이한 것을 특징으로 하는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 논리변수의 논리곱이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우,

상기 각 논리변수에 대한 MIF는 상이하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 동일한 것을 특징으로 하는 독립모듈

을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 독립모듈 후보군을 탐색하는 단계는

상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 MIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색하는 단계; 또는

상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 CIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색하는 단계

중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별하는 단계는

상기 각 논리변수의 계수 유무에 따른 불리안 식의 비교 결과, 상기 불리안 식 각각의 공집합 여부에 관한 조건을 만족하는 독립모듈을 상기 독립모듈 후보군으로부터 선별하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 단계는

상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건에 관한 논리식의 논리변수들을 상기 독립모듈에 관한 변수로 교체하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 최소단절집합 분석 장치에서, 상기 최소단절집합들에 속한 모든 기본사건들의 확률을 임의로 다르게 설정하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법.

청구항 10

최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 탐색하는 모듈 탐색부; 및

상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들을 인수분해하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 최소단절집합 단순화부

를 포함하며,

상기 모듈 탐색부는

상기 최소단절집합들에 속한 기본사건들의 중요도 척도를 계산하는 척도 계산부;

상기 중요도 척도와 관련한 숫자 비교에 기초하여, 상기 최소단절집합들로부터 독립모듈 후보군을 탐색하는 후보군 탐색부; 및

상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건과 관련한 불리안 식 비교에 기초하여, 상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별하는 모듈 선별부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

청구항 11

삭제

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 중요도 척도는

논리변수의 확률 변화가 상기 정점사건의 확률에 미치는 영향을 가늠하는 척도인 MIF(Marginal Importance Factor)와 CIF(Critical Importance Factor)를 나타내되, 상기 MIF는 각 논리변수의 계수들을 모은 불리안 식의 확률로 정의되며, 상기 CIF는 각 논리변수를 가진 모든 불리안 식의 확률과 상기 정점사건의 확률 간의 비율로 정의되는 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 각 논리변수의 논리합이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우,

상기 각 논리변수에 대한 MIF는 동일하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 상이한 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 논리변수의 논리곱이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우,

상기 각 논리변수에 대한 MIF는 상이하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 동일한 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 후보군 탐색부는

상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 MIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색하거나, 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 CIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색하는 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 모듈 선별부는

상기 각 논리변수의 계수 유무에 따른 불리안 식의 비교 결과, 상기 불리안 식 각각의 공집합 여부에 관한 조건을 만족하는 독립모듈을 상기 독립모듈 후보군으로부터 선별하는 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

청구항 17

제10항에 있어서,

상기 최소단절집합 단순화부는

상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건에 관한 논리식의 논리변수들을 상기 독립모듈에 관한 변수로 교체하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

청구항 18

제10항에 있어서,

상기 최소단절집합들에 속한 모든 기본사건들의 확률을 임의로 다르게 설정하는 확률 설정부

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 최소단절집합 분석 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법 및 그 방법을 수행하는 최소단절집합 분석 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 고장수목 분석(Fault Tree Analysis)은 원자력, 화공, 항공, 우주 시스템과 같은 안전필수 계통의 리스크 평가에서 광범위하고 성공적으로 사용되어 왔다. 원자력발전소 확률론적안전성평가(PSA) 보고서인 WASH-1400 Report 이후 PSA에서 고장수목분석은 사건수목분석(Event Tree Analysis)과 함께 원자력발전소의 안전한 설계를 위하여 사용되어 왔다.

[0004] 안전필수 계통 고장수목분석에 의하여 최소단절집합(Minimal Cut Set, 계통 고장을 유발하는 최소한의 기기고장들의 집합)들을 계산하고, 계통 고장수목 정점사건(Top Event)의 발생 확률을 계산하고, 기기가 계통 고장에 미치는 중요도척도(Importance Measure)를 계산한다.

[0005] 그런데, 고장수목 분석(Fault Tree Analysis) 계산 결과인 최소단절집합들(Minimal Cut Sets)은 경우에 따라 백만 개 이상으로 개수가 너무 많고 구조가 복잡하여 모든 최소단절집합들을 저장하고 관리하기에는 너무 많은 시간이 소요된다.

[0006] 관련 선행기술로는 대한민국 등록특허공보 제10-1267978호(발명의 명칭: 고장수목의 독립모듈을 이용한 고속의 최소성공집합 연산 시스템 및 이를 이용한 계산 방법, 등록일자: 2013.05.21)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 일 실시예는 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 찾고, 이 독립모듈을 사용하여 최소단절집합들을 크게 단순화시킴으로써, 정점사건 확률 p(f)를 빠르게 계산할 수 있는 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법 및 그 방법을 수행하는 최소단절집합 분석 장치를 제공한다.

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법은 최소단절집합 분석 장치에서, 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 탐색하는 단계; 및 상기 최소단절집합 분석 장치에서, 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들을 인수분해하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 단계를 포함한다.

[0013] 상기 독립모듈을 탐색하는 단계는 상기 최소단절집합들에 속한 기본사건들의 중요도 척도를 계산하는 단계; 상기 중요도 척도와 관련한 숫자 비교에 기초하여, 상기 최소단절집합들로부터 독립모듈 후보군을 탐색하는 단계; 및 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건과 관련한 불리안 식 비교에 기초하여, 상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 중요도 척도는 논리변수의 확률 변화가 상기 정점사건의 확률에 미치는 영향을 가늠하는 척도인 MIF(Marginal Importance Factor)와 CIF(Critical Importance Factor)를 나타내되, 상기 MIF는 각 논리변수의 계수들을 모은 불리안 식의 확률로 정의되며, 상기 CIF는 각 논리변수를 가진 모든 불리안 식의 확률과 상기 정점사건의 확률 간의 비율로 정의될 수 있다.

[0015] 상기 각 논리변수의 논리합이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는 동일하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 상이한 것이 바람직하다.

[0016] 상기 논리변수의 논리곱이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는 상이하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 동일한 것이 바람직하다.

[0017] 상기 독립모듈 후보군을 탐색하는 단계는 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 MIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색하는 단계; 또는 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 CIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색하는 단계 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별하는 단계는 상기 각 논리변수의 계수 유무에 따른 불리안 식의 비교 결과, 상기 불리안 식 각각의 공집합 여부에 관한 조건을 만족하는 독립모듈을 상기 독립모듈 후보군으로부터 선별하는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 단계는 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건에 관한 논리식의 논리변수들을 상기 독립모듈에 관한 변수로 교체하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법은 상기 최소단절집합 분석 장치에서, 상기 최소단절집합들에 속한 모든 기본사건들의 확률을 임의로 다르게 설정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 최소단절집합 분석 장치는 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 탐색하는 모듈 탐색부; 및 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들을 인수분해하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 최소단절집합 단순화부를 포함한다.

[0022] 상기 모듈 탐색부는 상기 최소단절집합들에 속한 기본사건들의 중요도 척도를 계산하는 척도 계산부; 상기 중요도 척도와 관련한 숫자 비교에 기초하여, 상기 최소단절집합들로부터 독립모듈 후보군을 탐색하는 후보군 탐색부; 및 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건과 관련한 불리안 식 비교에 기초하여, 상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별하는 모듈 선별부를 포함할 수 있다.

[0023] 상기 중요도 척도는 논리변수의 확률 변화가 상기 정점사건의 확률에 미치는 영향을 가늠하는 척도인 MIF(Marginal Importance Factor)와 CIF(Critical Importance Factor)를 나타내되, 상기 MIF는 각 논리변수의 계수들을 모은 불리안 식의 확률로 정의되며, 상기 CIF는 각 논리변수를 가진 모든 불리안 식의 확률과 상기 정점사건의 확률 간의 비율로 정의될 수 있다.

[0024] 상기 각 논리변수의 논리합이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는

동일하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 상이한 것이 바람직하다.

[0025] 상기 논리변수의 논리곱이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는 상이하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 동일한 것이 바람직하다.

[0026] 상기 후보군 탐색부는 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 MIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색하거나, 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 CIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다.

[0027] 상기 모듈 선별부는 상기 각 논리변수의 계수 유무에 따른 불리안 식의 비교 결과, 상기 불리안 식 각각의 공집합 여부에 관한 조건을 만족하는 독립모듈을 상기 독립모듈 후보군으로부터 선별할 수 있다.

[0028] 상기 최소단절집합 단순화부는 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건에 관한 논리식의 논리변수들을 상기 독립모듈에 관한 변수로 교체하여(빠르게 인수분해하는 방법) 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 최소단절집합 분석 장치는 상기 최소단절집합들에 속한 모든 기본사건들의 확률을 임의로 다르게 설정하는 확률 설정부를 더 포함할 수 있다.

[0031] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 첨부 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 찾고, 이 독립모듈을 사용하여 최소단절집합들을 크게 단순화시킴으로써, 정점사건 확률 p(f)를 빠르게 계산할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 최소단절집합 분석 장치를 설명하기 위해 도시한 전체 블록도이다.

도 2는 도 1의 모듈 탐색부의 상세 구성을 도시한 부분 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법을 설명하기 위해 도시한 전체 흐름도이다.

도 4는 도 3의 독립모듈 탐색 단계의 상세 과정을 설명하기 위해 도시한 부분 흐름도이다.

도 5는 본 발명에 따라 정점사건의 중요도 척도를 기반으로 모듈 판단을 하는 과정의 일례를 표로 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0038] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0039] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 최소단절집합 분석 장치를 설명하기 위해 도시한 전체 블록도이고, 도 2는 도 1의 모듈 탐색부(120)의 상세 구성을 도시한 부분 블록도이다.

[0040] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 최소단절집합 분석 장치(100)는 확률 설정부(110), 모듈 탐색부(120), 최소단절집합 단순화부(130), 및 제어부(140)를 포함할 수 있다.

[0041] 상기 확률 설정부(110)는 최소단절집합들에 속한 모든 기본사건들의 확률을 임의로 다르게 설정할 수 있다(도 5 참조). 여기서, 상기 최소단절집합이란 고장수목에서 계통 고장을 유발하는 최소한의 기기고장들의 집합을 나타낸다.

[0042] 상기 모듈 탐색부(120)는 상기 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 탐색한다. 이를 위해, 상기 모듈 탐색부(120)는 도 2에 도시된 바와 같이 척도 계산부(210), 후보군 탐색부(220), 및 모듈 선별부(230)를 포함하

여 구성될 수 있다.

[0043] 상기 척도 계산부(210)는 상기 최소단절집합들에 속한 기본사건들의 중요도 척도를 계산할 수 있다. 여기서, 상기 중요도 척도는 논리변수의 확률 변화가 정점사건의 확률에 미치는 영향을 가늠하는 척도인 MIF(Marginal Importance Factor)와 CIF(Critical Importance Factor)를 나타낸다.

[0044] 상기 MIF는 각 논리변수의 계수들을 모은 불리안 식의 확률로 정의되며, 상기 CIF는 각 논리변수를 가진 모든 불리안 식의 확률과 상기 정점사건의 확률 간의 비율로 정의될 수 있다.

[0045] 예를 들어, 상기 정점사건의 논리식이 하기 수학식 1과 같은 경우, MIF(f,x)는 논리변수 x의 계수들을 모은 불리안 식 ab+cd의 확률 p(ab+cd)로 정의되고, CIF(f,x)는 논리변수 x를 가진 모든 불리안 식 xab+xcd의 확률 p(xab+xcd)와 정점사건의 확률 p(f)의 비율로 정의될 수 있다.

[0046] 다른 예로, 상기 정점사건의 논리식이 하기 수학식 4와 같은 경우, MIF(f,x)는 논리변수 x의 계수들을 모은 불리안 식 yab+ycd의 확률 p(yab+ycd)로 정의되고, CIF(f,x)는 논리변수 x를 가진 모든 불리안 식 xyab+xycd의 확률 p(xyab+xycd)와 정점사건의 확률 p(f)의 비율로 정의될 수 있다.

[0047] 이때, 상기 각 논리변수의 논리합이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는 동일하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 상이한 것이 바람직하다.

[0048] 즉, 하기 수학식 1과 같이, x+y가 모듈이면, p(x)와 p(y) 확률이 다른 경우, x와 y의 MIF(f,x)와 MIF(f,y)가 동일하고, CIF(f,x)와 CIF(f,y)가 상이한 것이 바람직하다.

[0049] 한편, 상기 각 논리변수의 논리곱이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는 상이하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 동일한 것이 바람직하다.

[0050] 즉, 하기 수학식 4와 같이, xy가 모듈이면, p(x)와 p(y) 확률이 다른 경우, x와 y의 MIF(f,x)와 MIF(f,y)가 상이하고, CIF(f,x)와 CIF(f,y)가 동일한 것이 바람직하다.

[0051] 상기 후보군 탐색부(220)는 상기 중요도 척도와 관련한 숫자 비교에 기초하여, 상기 최소단절집합들로부터 독립모듈 후보군을 탐색할 수 있다.

[0052] 이를 위해, 상기 후보군 탐색부(220)는 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 MIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다.

[0053] 또 달리, 상기 후보군 탐색부(220)는 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 CIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다. 이와 같이, 상기 후보군 탐색부(220)는 상기 동일한 MIF와 동일한 CIF의 조건을 각각 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다.

[0054] 예를 들면, 상기 후보군 탐색부(220)는 하기 수학식 18의 MIF(f,x)=MIF(f,y)를 만족하거나, 하기 수학식 19의 CIF(f,x)=CIF(f,y)를 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있으며, 또 달리 하기 수학식 18의 MIF(f,x)=MIF(f,y), 및 하기 수학식 19의 CIF(f,x)=CIF(f,y)를 각각 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다.

[0055] 상기 모듈 선별부(230)는 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건과 관련한 불리안 식 비교에 기초하여, 상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별할 수 있다.

[0056] 이를 위해, 상기 모듈 선별부(230)는 상기 각 논리변수의 계수 유무에 따른 불리안 식의 비교 결과, 상기 불리안 식 각각의 공집합 여부에 관한 조건을 만족하는 독립모듈을 상기 독립모듈 후보군으로부터 선별할 수 있다.

[0057] 예컨대, 하기 수학식 7에서와 같이, xy의 계수 불리안 식이 '0'(공집합)이고, x의 계수 불리안 식과 y의 계수 불리안 식이 'g'(공집합이 아님)인 조건을 만족하는 x+y를 상기 독립모듈 후보군으로부터 독립모듈로서 선별할 수 있다. 또한, 하기 수학식 8에서와 같이, xy의 계수 불리안 식이 'g'(공집합이 아님)이고, x의 계수 불리안 식과 y의 계수 불리안 식이 '0'(공집합)인 조건을 만족하는 xy를 상기 독립모듈 후보군으로부터 독립모듈로서 선별할 수 있다.

[0058] 다시 도 1을 참조하면, 상기 최소단절집합 단순화부(130)는 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화한다. 즉, 상기 최소단절집합 단순화부(130)는 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들을 인수분해하여 최대한 단순화시킬 수 있다.

[0059] 이를 위해, 상기 최소단절집합 단순화부(130)는 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건에 관한 논리식의 논리변수들을 상기 독립모듈에 관한 변수로 교체하여(빠르게 인수분해하는 방법) 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화할 수 있다.

[0060] 이로써, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하여 단순화시킴으로써, 정점사건 확률 p(f)를 빠르게 계산할 수 있으며, 기기 고장확률들을 난수 발생하며 정점사건 확률을 여러 번 계산하여 정점사건 확률의 고장확률 분포를 계산하는 불확실성 분석을 매우 빠르게 수행할 수 있다.

[0061] 상기 제어부(140)는 본 발명의 일 실시예에 따른 최소단절집합 분석 장치(100), 즉 상기 확률 설정부(110), 상기 모듈 탐색부(120), 상기 최소단절집합 단순화부(130) 등의 동작을 전반적으로 제어할 수 있다.

[0063] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 독립모듈을 이용하여 최소단절집합들의 크기를 최소화하는 방법을 설명하기 위해 도시한 전체 흐름도이고, 도 4는 도 3의 독립모듈 탐색 단계의 상세 과정을 설명하기 위해 도시한 부분 흐름도이다.

[0064] 도 1 및 도 3을 참조하면, 단계(310)에서 상기 최소단절집합 분석 장치(100)의 확률 설정부(110)는 최소단절집합들에 속한 모든 기본사건들의 확률을 임의로 다르게 설정한다.

[0065] 다음으로, 단계(320)에서 상기 최소단절집합 분석 장치(100)의 모듈 탐색부(120)는 상기 최소단절집합들의 인수분해 가능한 독립모듈을 탐색한다.

[0066] 구체적으로, 도 2 및 도 4를 참조하면, 단계(410)에서 상기 모듈 탐색부(120)의 척도 계산부(210)는 상기 최소단절집합들에 속한 기본사건들의 중요도 척도를 계산할 수 있다.

[0067] 여기서, 상기 중요도 척도는 논리변수의 확률 변화가 정점사건의 확률에 미치는 영향을 가늠하는 척도인 MIF(Marginal Importance Factor)와 CIF(Critical Importance Factor)를 나타낸다.

[0068] 상기 MIF는 각 논리변수의 계수들을 모은 불리안 식의 확률로 정의되며, 상기 CIF는 각 논리변수를 가진 모든 불리안 식의 확률과 상기 정점사건의 확률 간의 비율로 정의될 수 있다.

[0069] 이때, 상기 각 논리변수의 논리합이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는 동일하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 상이한 것이 바람직하다.

[0070] 한편, 상기 각 논리변수의 논리곱이 모듈이고, 상기 각 논리변수의 확률이 다른 경우, 상기 각 논리변수에 대한 MIF는 상이하고, 상기 각 논리변수에 대한 CIF는 동일한 것이 바람직하다.

[0071] 이후, 단계(420)에서 상기 모듈 탐색부(120)의 후보군 탐색부(220)는 상기 중요도 척도와 관련한 숫자 비교에 기초하여, 상기 최소단절집합들로부터 독립모듈 후보군을 탐색할 수 있다.

[0072] 이를 위해, 상기 후보군 탐색부(220)는 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 MIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다.

[0073] 또 달리, 상기 후보군 탐색부(220)는 상기 각 논리변수에 대한 중요도 척도인 상기 CIF가 동일한 조건을 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다. 또 달리, 상기 후보군 탐색부(220)는 상기 조건을 각각 만족하는 독립모듈 후보군을 상기 최소단절집합들로부터 탐색할 수 있다.

[0074] 이후, 단계(430)에서 상기 모듈 탐색부(120)의 모듈 선별부(230)는 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건과 관련한 불리안 식 비교에 기초하여, 상기 독립모듈 후보군으로부터 상기 독립모듈을 선별할 수 있다.

[0075] 이를 위해, 상기 모듈 선별부(230)는 상기 각 논리변수의 계수 유무에 따른 불리안 식의 비교 결과, 상기 불리안 식 각각의 공집합 여부에 관한 조건을 만족하는 독립모듈을 상기 독립모듈 후보군으로부터 선별할 수 있다.

[0076] 다시 도 2 및 도 4를 참조하면, 단계(330)에서 상기 최소단절집합 분석 장치(100)의 최소단절집합 단순화부(130)는 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화한다.

[0077] 즉, 상기 최소단절집합 단순화부(130)는 상기 탐색된 독립모듈을 이용하여 상기 최소단절집합들을 인수분해하여 최대한 단순화시킬 수 있다.

[0078] 이를 위해, 상기 최소단절집합 단순화부(130)는 상기 최소단절집합들로 이루어진 정점사건에 관한 논리식의 논리변수들을 상기 독립모듈에 관한 변수로 교체하여(빠르게 인수분해하는 방법) 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화할 수 있다.

[0079] 이로써, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 최소단절집합들의 크기를 최소화하여 단순화시킴으로써, 정점사건 확률 p(f)를 빠르게 계산할 수 있으며, 기기 고장확률들을 난수 발생하며 정점사건 확률을 여러 번 계산하여 정점사건 확률의 고장확률 분포를 계산하는 불확실성 분석을 매우 빠르게 수행할 수 있다.

[0081] 이하에서는 본 발명에 대해 수학식을 참조하여 보다 구체적으로 설명한다.

[0083] **1. x+y 모듈을 가진 최소단절집합의 예**

[0085] 최소단절집합들로 이루어진 정점사건 f에서 x+y이 모듈이라면 아래와 같이 주어진 수학식 1을 단순화(인수분해)할 수 있다. 아래의 수학식 1에서 처음 식과 두 번째 식은 동일한 불리안 식이다.

[0086] [수학식 1]

$$f = xab + xcd + yab + ycd + ac$$
$$f = m(ab + cd) + ac$$
$$m = x + y$$

[0087]

[0088] 최소단절집합에서 식별된 모듈의 수가 많을수록 최소단절집합들은 단순화되고 크기가 작아져서 정점사건 확률 p(f)를 빠르게 계산할 수 있다. 또한, 기기 고장확률들 p(x), p(y), p(a), p(b), p(c), p(d)들을 난수 발생하며 p(f)를 여러 번 계산하여 p(f)의 고장확률 분포를 계산하는 불확실성 분석을 매우 빠르게 수행할 수 있다.

[0089] 아래의 수학식 2와 같은 정의를 사용하면, 상기 수학식 1에서 x+y가 모듈인 경우, xy의 계수 불리안 식이 공집합이고, x의 계수 불리안 식과 y의 계수 불리안 식이 공집합이 아닌 동일한 불리안 식이다.

[0090] [수학식 2]

$$f_{xy} = xy\text{의 계수 불리안 식} = 0$$
$$f_{x\bar{y}} = x\text{의 계수 불리안 식} = ab + cd$$
$$f_{\bar{x}y} = y\text{의 계수 불리안 식} = ab + cd$$
$$f_{\bar{x}\bar{y}} = x\text{와 } y\text{가 없는 불리안 식} = ac$$

[0091]

[0092] 한편, 고장수목 분석에서 많이 사용되는 중요도 척도는 MIF와 CIF가 있다. MIF는 Marginal Importance Factor(혹은 Birnbaum Importance Measure)이고, CIF는 Critical Importance Factor(혹은 Fussell-Veseley Importance Measure)이다. 상기 수학식 1에서 MIF(f,x)와 CIF(f,x)는 논리변수의 확률 p(x)의 변화가 정점사건의 확률 p(f)에 미치는 영향을 가늠하는 중요한 중요도 척도이다.

[0093] 상기 수학식 1에서 MIF(f,x)는 x의 계수들을 모은 불리안 식 ab+cd의 확률 p(ab+cd)로 정의된다. 또한, CIF(f,x)는 x를 가진 모든 불리안 식 xab+xcd의 확률 p(xab+xcd)와 p(f)의 비율로 정의된다. 상기 수학식 1의 기기 중요도 척도를 구해보면 다음의 수학식 3과 같다.

[0094] [수학식 3]

$$MIF(f,x) = \frac{\partial p(f)}{\partial p(x)} = p(ab + cd)$$
$$MIF(f,y) = \frac{\partial p(f)}{\partial p(y)} = p(ab + cd)$$
$$CIF(f,x) = \frac{p(xab + xcd)}{p(f)} = \frac{p(xab + xcd)}{p(xab + xcd + yab + ycd + ac)}$$
$$CIF(f,y) = \frac{p(yab + ycd)}{p(f)} = \frac{p(yab + ycd)}{p(xab + xcd + yab + ycd + ac)}$$

[0095]

[0096] 위의 수학식 3에서와 같이, m=x+y가 모듈이면, p(x)와 p(y) 확률이 다른 경우, x와 y의 MIF(f,x)와 MIF(f,y)가 동일하고 CIF(f,x)와 CIF(f,y)가 다름을 알 수 있다.

[0098] **2. xy 모듈을 가진 최소단절집합의 예**

[0100] 최소단절집합들로 이루어진 정점사건 f에서 m=xy이 모듈이라면 아래와 같이 주어진 수학식 4를 단순화(인수분해)할 수 있다. 아래의 수학식 4에서 처음 식과 두 번째 식은 동일한 불리안 식이다.

[0101] [수학식 4]

$$f = xyab + xycd + ac$$
$$f = m(ab + cd) + ac$$
$$m = xy$$

[0102]

[0103] 아래의 수학식 5와 같은 정의를 사용하면, 상기 수학식 4에서 xy가 모듈인 경우, xy의 계수 불리안 식은 공집합이 아니고 x의 계수 불리안 식과 y의 계수 불리안 식은 동시에 공집합이다.

[0104] [수학식 5]

$$f_{xy} = xy\text{의 계수 불리안 식} = ab + cd$$
$$f_{x\bar{y}} = x\text{의 계수 불리안 식} = 0$$
$$f_{\bar{x}y} = y\text{의 계수 불리안 식} = 0$$
$$f_{\bar{x}\bar{y}} = x\text{와 } y\text{가 없는 불리안 식} = ac$$

[0105]

[0106] 한편, 상기 수학식 4에서 MIF(f,x)는 x의 계수들을 모은 불리안 식 yab+ycd의 확률 p(yab+ycd)로 정의된다. 또한, CIF(f,x)는 x를 가진 모든 불리안 식 xyab+xycd의 확률 p(xyab+xycd)와 p(f)의 비율로 정의된다. 상기 수학식 4의 기기 중요도 척도를 구해보면 다음의 수학식 6과 같다.

[0107] [수학식 6]

$$MIF(f,x) = p(yab + ycd)$$
$$MIF(f,y) = p(xab + xcd)$$
$$CIF(f,x) = \frac{p(xyab + xycd)}{p(f)} = \frac{p(xyab + xycd)}{p(xyab + xycd + ac)}$$
$$CIF(f,y) = \frac{p(xyab + xycd)}{p(f)} = \frac{p(xyab + xycd)}{p(xyab + xycd + ac)}$$

[0108]

[0109] 위의 수학식 6에서와 같이, m=xy가 모듈이면, p(x)와 p(y) 확률이 다른 경우, CIF(f,x)와 CIF(f,y)가 동일하고 x와 y의 MIF(f,x)와 MIF(f,y)가 다름을 알 수 있다.

[0111] **3. 모듈 조건 1의 정리 및 증명**

[0113] 최소단절집합들로 이루어진 정점사건 f에서 x+y 혹은 xy가 독립모듈이라면 다음의 수학식 7, 8의 모듈 조건 1을 만족해야 한다.

[0114] [수학식 7]

$$x + y \text{ is a module if only if } f_{xy} = 0,\ f_{x\bar{y}} = f_{\bar{x}y} = g$$

[0115]

[0116] [수학식 8]

$$xy \text{ is a module if only if } f_{xy} = g,\ f_{x\bar{y}} = f_{\bar{x}y} = 0$$

[0117]

[0118] 상기 수학식 7, 8에서 각각의 불리안 식은 하기의 수학식 9에서 가리키는 바와 같다.

[0119] [수학식 9]

$$f_{xy} = xy\text{의 계수 불리안 식}$$
$$f_{x\bar{y}} = x\text{의 계수 불리안 식}$$
$$f_{\bar{x}y} = y\text{의 계수 불리안 식}$$
$$f_{\bar{x}\bar{y}} = x\text{와 } y\text{가 없는 불리안 식}$$
$$g = \text{공집합이 아닌 불리안 식}$$

[0120]

[0121] 아래에서는 상기 수학식 7, 8의 모듈 조건 1을 증명한다.

[0122] 정점사건 f를 변수 x에 대해 인수분해 하면 아래의 수학식 10과 같다.

[0123] [수학식 10]

$$f = xf_x + f_{\bar{x}}$$
$$f_x = x\text{의 계수 불리안 식}$$
$$f_{\bar{x}} = x\text{가 없는 불리안 식}$$

[0124]

[0125] 위 수학식 10을 다시 변수 y에 대해 인수분해 하면 다음의 수학식 11, 12와 같다.

[0126] [수학식 11]

$$f_x = yf_{xy} + f_{x\bar{y}}$$

[0127]

[0128] [수학식 12]

$$f_{\bar{x}} = yf_{\bar{x}y} + f_{\bar{x}\bar{y}}$$

[0129]

[0130] 위의 두 수학식 11, 12를 원래의 수학식 10에 대입하면 아래의 수학식 13과 같다.

[0131] [수학식 13]

$$f = xyf_{xy} + xf_{x\bar{y}} + yf_{\bar{x}y} + f_{\bar{x}\bar{y}}$$

[0132]

[0133] "**1. x+y 모듈을 가진 최소단절집합의 예**"에서 보여준 것처럼, 논리식 x+y가 독립모듈이라면 상기 수학식 13은 다음의 수학식 14와 같은 형태여야 한다.

[0134] [수학식 14]

$$f = (x+y)g + f_{\bar{x}\bar{y}}$$

[0135]

[0136] 결국 수학식 13과 14를 비교해 보면 다음의 수학식 15를 만족해야 한다.

[0137] [수학식 15]

$$f_{xy} = 0,\ f_{x\bar{y}} = f_{\bar{x}y} = g$$

[0138]

[0139] "**2. xy 모듈을 가진 최소단절집합의 예**"에서 보여준 것처럼, 논리식 xy가 독립모듈이라면 상기 수학식 13은 다음의 수학식 16과 같은 형태여야 한다.

[0140] [수학식 16]

$$f = xyg + f_{\bar{x}\bar{y}}$$

[0141]

[0142] 결국 상기 수학식 13과 14를 비교해 보면 다음의 수학식 17을 만족해야 한다.

[0143] [수학식 17]

$$f_{xy} = g\,,\; f_{x\bar{y}} = f_{\bar{x}y} = 0$$

[0144]

[0145] **4. 모듈 조건 2의 정리 및 증명**

[0147] **"1. x+y 모듈을 가진 최소단절집합의 예"** 및 **"2. xy 모듈을 가진 최소단절집합의 예"의** 수학식 14부터 17까지에서 보여준 것처럼, 최소단절집합들로 이루어진 정점사건 f에서 x+y 혹은 xy가 독립모듈이라면 다음의 수학식 18, 19를 만족해야 한다.

[0148] [수학식 18]

$$\text{If } x+y \text{ is a module, } \; MIF(f,x) = MIF(f,y)$$

[0149]

[0150] [수학식 19]

$$\text{If } xy \text{ is a module, } \; CIF(f,x) = CIF(f,y)$$

[0151]

[0152] 상기 수학식 18과 19의 모듈척도 관계를 이용하면, x+y 혹은 xy와 같은 독립모듈 후보 쌍들을 매우 빨리 찾을 수 있다. 모두 다른 임의의 기본사건 확률을 설정한 상태에서, 상기 수학식 18과 19의 MIF(f,x)=MIF(f,y)나 CIF(f,x)=CIF(f,y)를 만족하는 독립모듈 후보군을 먼저 찾고(숫자 비교), 이 독립모듈 후보군에서 상기 수학식 7 혹은 8을 비교(불리안 식 비교)하여 독립모듈을 빠르게 찾을 수 있다.

[0154] 아래에서는 상기 수학식 18, 19의 모듈 조건 2를 증명한다.

[0155] 상기 수학식 13의 중요도 척도를 계산해 보면 다음의 수학식 20과 같다.

[0156] [수학식 20]

$$MIF(f,x) = \frac{\partial p(f)}{\partial p(x)} = p(yf_{xy} + f_{x\bar{y}})$$

$$MIF(f,y) = \frac{\partial p(f)}{\partial p(y)} = p(xf_{xy} + f_{\bar{x}y})$$

$$CIF(f,x) = \frac{p(xyf_{xy} + xf_{x\bar{y}})}{p(f)}$$

$$CIF(f,y) = \frac{p(xyf_{xy} + yf_{\bar{x}y})}{p(f)}$$

[0157]

[0158] 상기 수학식 7과 8을 상기 수학식 20에 대입해 보면, 다음의 수학식 21과 22와 같은 결과가 나온다. 이로써, 상기 수학식 18, 19의 모듈 조건 2가 증명될 수 있다.

[0159] [수학식 21]

$$\text{If } x+y \text{ is a module, } \; MIF(f,x) = MIF(f,y) = p(g)$$

[0160]

[0161] [수학식 22]

$$\text{If } xy \text{ is a module, } CIF(f,x) = CIF(f,y) = \frac{p(xyg)}{p(f)}$$

[0162]

[0164] **5. 실시예**

[0166] 예를 들어, 다음의 수학식 23과 같은 논리식 f에서 직관적으로 독립모듈을 찾는 것은 거의 불가능에 가깝다. 또한 상기 수학식 7과 8의 모듈 조건 1을 이용하여 독립모듈을 찾아내는 것도 많은 논리식의 비교를 필요로 한다.

[0167] [수학식 23]

$$\begin{aligned} f = & abcfij + abcfkl + abcfmn \\ & + abcgij + abcgkl + abcgmn \\ & + abchij + abchkl + abchmn \\ & + abdfij + abdfkl + abdfmn \\ & + abdgij + abdgkl + abdgmn \\ & + abdhij + abdhkl + abdhmn \\ & + abefij + abefkl + abefmn \\ & + abegij + abegkl + abegmn \\ & + abehij + abehkl + abehmn \end{aligned}$$

[0168]

[0169] 그러나 도 5에서와 같이, (단계 1) 기본사건에 모두 다른 임의의 확률을 설정하고, (단계 2) MIF와 CIF의 모듈 척도들을 계산하고, (단계 3) '숫자 비교'인 상기 수학식 18과 19의 모듈 조건 2인 MIF(f,x)=MIF(f,y)나 CIF(f,x)=CIF(f,y)를 만족하는 '독립모듈 후보군'을 먼저 찾고, (단계 4) '독립모듈 후보군'에서 '불리안 식 비교'인 상기 수학식 7과 8의 모듈 조건 1을 만족하는 독립모듈들을 찾는다. 이 결과 다음의 수학식 24와 같은 모듈들이 판별된다. 참고로, 도 5에서 (a), (d), (e), (f)는 상기 수학식 19를 만족하고, (b), (c)는 상기 수학식 18을 만족한다.

[0170] [수학식 24]

$$\begin{aligned} m_1 &= ab \\ m_2 &= c + d + e \\ m_3 &= f + g + h \\ m_4 &= ij \\ m_5 &= kl \\ m_6 &= mn \end{aligned}$$

[0171]

[0172] 여기에서 독립모듈들의 확률을 다음의 수학식 25와 같이 계산한다.

[0173] [수학식 25]

$$p(m_1) = p(a)p(b)$$
$$p(m_2) = 1-(1-p(c))(1-p(d))(1-p(e))$$
$$p(m_3) = 1-(1-p(f))(1-p(g))(1-p(h))$$
$$p(m_4) = p(i)p(j)$$
$$p(m_5) = p(k)p(l)$$
$$p(m_6) = p(m)p(n)$$

[0174]

[0175] 모듈을 찾은 이후에는 상기 수학식 23을 아주 용이하게 단순화(인수분해)할 수 있다. 다음의 수학식 26과 같은 관계식들로 상기 수학식 23의 논리변수들을 독립모듈 변수로 교체하고 단순화하면 상기 수학식 23이 아래의 수학식 27과 같이 독립모듈이 포함된 단순화(인수분해)된 식으로 변환된다. 아래의 수학식 27과 같이 독립모듈이 포함된 단순화(인수분해)된 식으로 변환된다. 그 증명으로, 수학식 24를 수학식 27에 대입해보면 수학식 23이 나옴을 알 수 있다.

[0176] [수학식 26]

$$m_1 \rightarrow a, b$$
$$m_2 \rightarrow c, d, e$$
$$m_3 \rightarrow f, g, h$$
$$m_4 \rightarrow i, j$$
$$m_5 \rightarrow k, l$$
$$m_6 \rightarrow m, n$$

[0177]

[0178] 여기서, $m_1 \rightarrow a,b$의 의미는 상기 수학식 23의 a와 b를 m_1으로 교체하라는 의미이다.

[0179] [수학식 27]

$$f = m_1m_2m_3m_4 + m_1m_2m_3m_5 + m_1m_2m_3m_6$$

[0180]

[0181] 상기 수학식 27에 대해 도 5와 유사한 계산을 한 번 더 반복하면, 상기 수학식 27은 다음의 수학식 28과 같이 새로운 모듈 m_7과 m_8로 표현된다.

[0182] [수학식 28]

$$f = m_7m_8$$
$$m_7 = m_1m_2m_3$$
$$m_8 = m_4 + m_5 + m_6$$

[0183]

[0184] 여기에서 독립모듈의 확률은 다음의 수학식 29와 같다.

[0185] [수학식 29]

$$p(m_7) = p(m_1)p(m_2)p(m_3)$$
$$p(m_8) = 1-(1-p(m_4))(1-p(m_5))(1-p(m_6))$$

[0186]

[0187] 상기 수학식 28에 대해 도 5와 유사한 계산을 한 번 더 반복하면, 위의 과정을 한 번 더 반복하게 되고, 그렇게 되면 상기 수학식 28은 아래의 수학식 30과 같이 새로운 모듈 m_9만으로 표현된다.

[0188] [수학식 30]

$$f = m_9$$
$$m_9 = m_7 m_8$$

[0189]

[0190] 여기에서 독립모듈의 확률은 다음의 수학식 31과 같다.

[0191] [수학식 31]

$$p(m_9) = p(m_7)p(m_8)$$

[0192]

[0193] 결국 복잡한 수학식 23의 f는 상기 수학식 31처럼 하나의 모듈만으로 아주 간단하게 표현된다.

[0195] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 로컬 데이터 파일, 로컬 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 및 롬, 램, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0197] 지금까지 본 발명에 따른 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허 청구의 범위뿐 아니라 이 특허 청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

[0198] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0200] 110: 확률 설정부

120: 모듈 탐색부

130: 최소단절집합 단순화부

140: 제어부

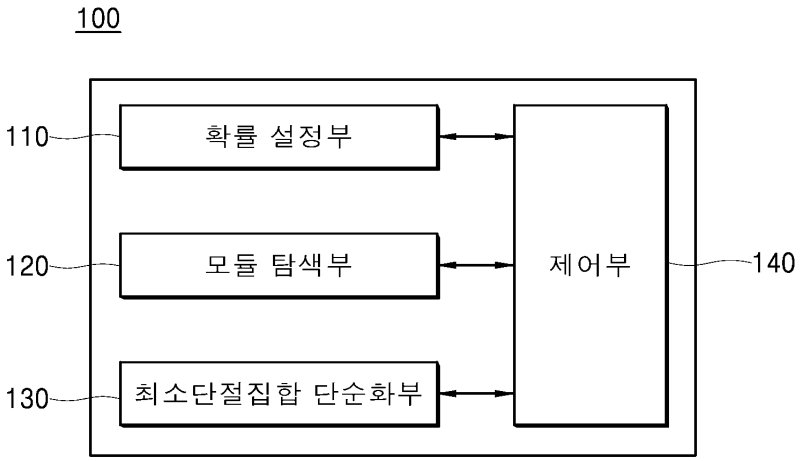
210: 척도 계산부

220: 후보군 탐색부

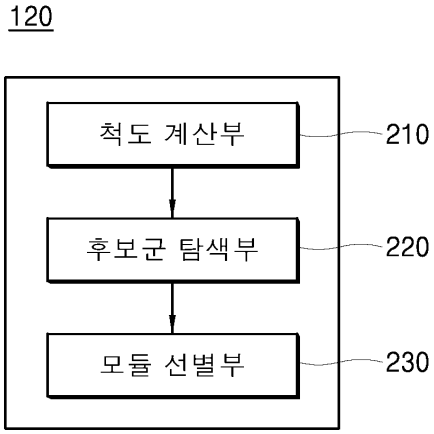
230: 모듈 선별부

도면

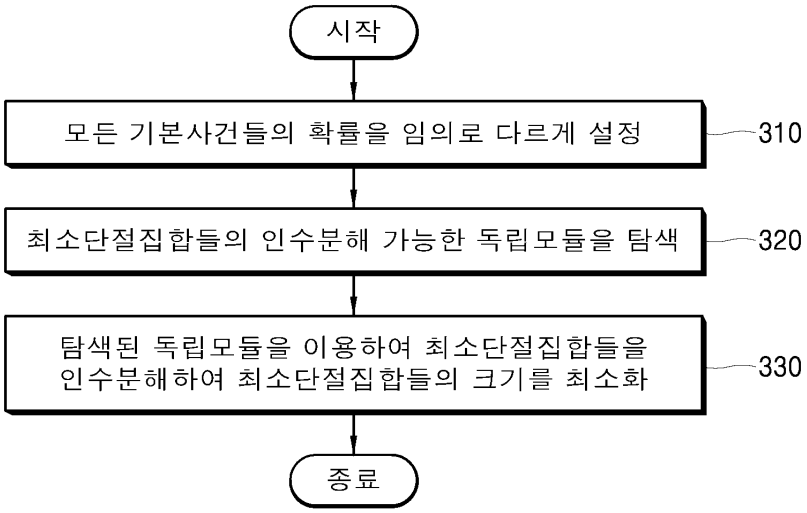
도면1



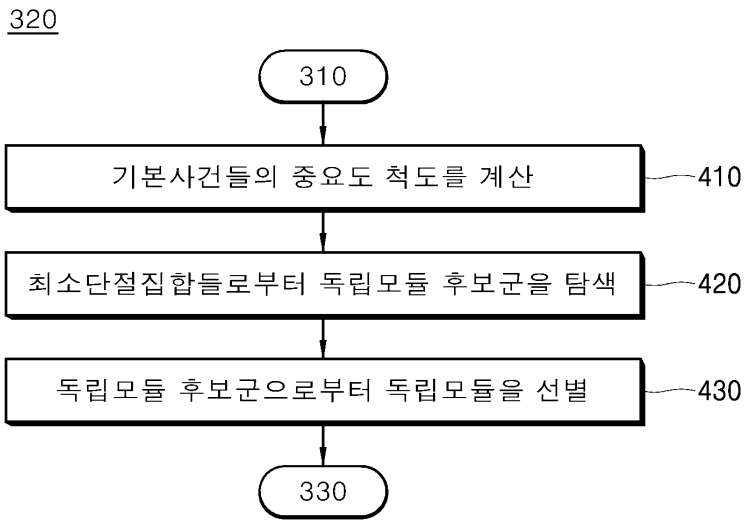
도면2



도면3



도면4



도면5

x	$p(x)$	$CIF(f,x)$	$MIF(f,x)$	Module m_i
a	1/14	1.000000e+0(a)	3.785923e-1	$m_1 = ab\,(a)$
b	2/14	1.000000e+0(a)	1.892961e-1	$m_2 = c+d+e\,(b)$
c	3/14	2.500000e-1	3.154936e-2(b)	$m_3 = f+g+h\,(c)$
d	4/14	3.333333e-1	3.154936e-2(b)	$m_4 = ij\,(d)$
e	5/14	4.166667e-1	3.154936e-2(b)	$m_5 = kl\,(e)$
f	6/14	2.857143e-1	1.802820e-2(c)	$m_6 = mn\,(f)$
g	7/14	3.333333e-1	1.802820e-2(c)	
h	8/14	3.809524e-1	1.802820e-2(c)	
i	9/14	2.227723e-1(d)	9.371097e-3	
j	10/14	2.227723e-1(d)	8.433987e-3	
k	11/14	3.267327e-1(e)	1.124532e-2	
l	12/14	3.267327e-1(e)	1.030821e-2	
m	13/14	4.504950e-1(f)	1.311954e-2	
n	14/14	4.504950e-1(f)	1.218243e-2	