

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2024-508840
(P2024-508840A)

(43)公表日 令和6年2月28日(2024.2.28)

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

G 0 6 F 8/30 (2018.01) G 0 6 F 8/30 5 B 0 4 2

G 0 6 F 8/77 (2018.01) G 0 6 F 8/77 5 B 3 7 6

G 0 6 F 11/36 (2006.01) G 0 6 F 11/36 1 0 4

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全25頁)

(21)出願番号 特願2023-552139(P2023-552139)

(71)出願人 314000442

(86)(22)出願日 令和4年2月25日(2022.2.25)

高麗大学校産学協力団

(85)翻訳文提出日 令和5年8月25日(2023.8.25)

KOREA UNIVERSITY RE

(86)国際出願番号 PCT/KR2022/002759

SEARCH AND BUSINESS

(87)国際公開番号 WO2022/182185

FOUNDATION

(87)国際公開日 令和4年9月1日(2022.9.1)

大韓民国 0 2 8 4 1 ソウル ソンブクク

(31)優先権主張番号 10-2021-0026393

アナムロ 1 4 5

(32)優先日 令和3年2月26日(2021.2.26)

1 4 5, Anam-ro Seongb

(33)優先権主張国・地域又は機関 韓国(KR)

uk-gu Seoul 02841,

Republic of Korea

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA

(74)代理人 100130111

,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(

弁理士 新保 斉

AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A

(72)発明者 ジョン、ドン フン

T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR

大韓民国、0 5 5 0 7 ソウル、ソンパ

,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,

ーグ、オリンピックー口、4 3 5、# 2

最終頁に続く

最終頁に続く

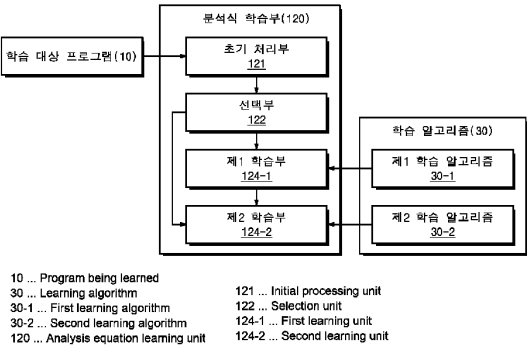
(54)【発明の名称】 プログラム分析装置及び方法

(57)【要約】

【課題】 プログラム分析装置及び方法を提供すること。

【解決手段】 プログラム分析装置は、複数の分析式のうち少なくとも1つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方を選択する選択部、前記選択部が下降型処理を選択する場合に、それに応じて第1学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも1つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも1つの第1学習された分析式を取得する第1学習部、及び前記選択部が上昇型処理を選択する場合に、それに応じて第2学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも1つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも1つの第2学習された分析式を取得する第2学習部を含んでよい。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の分析式のうち少なくとも 1 つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方を選択する選択部；

前記選択部が前記下降型処理を選択する場合に、それに応じて第 1 学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも 1 つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも 1 つの第 1 学習された分析式を取得する第 1 学習部；及び、

前記選択部が前記上昇型処理を選択する場合に、それに応じて第 2 学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも 1 つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも 1 つの第 2 学習された分析式を取得する第 2 学習部；を含む
ことを特徴とするプログラム分析装置。

10

【請求項 2】

前記第 2 学習部は、少なくとも 1 つの特性の集合及びそれらの不定値を含む対象集合を設定し、初期分析式関数を利用し、初期分析式を定義し、少なくとも 1 つの節を選択して取得し、前記少なくとも 1 つの節を一般化し、一般化された節及び前記初期分析式を用いて少なくとも 1 つの一般化された分析式を取得し、取得された少なくとも 1 つの一般化された分析式が精巧であるか否かを検討して前記上昇型処理を行う

請求項 1 に記載のプログラム分析装置。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの一般化された分析式が精巧なものと判断されないと、前記少なくとも 1 つの一般化された分析式に対してより一般化された分析式を取得する

請求項 2 に記載のプログラム分析装置。

20

【請求項 4】

前記選択部は、分析式に対する処理が、与えられたコスト臨界値範囲内で終了可能であれば、下降型処理を選択し、分析式に対する処理が、与えられたコスト臨界値範囲内で終了不可能であれば、上昇型処理を選択する

請求項 1 に記載のプログラム分析装置。

【請求項 5】

前記選択部は、前記複数の分析式の全てに対して下降型処理又は上昇型処理が選択されるまで、前記少なくとも 1 つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方を選択する

請求項 1 に記載のプログラム分析装置。

30

【請求項 6】

前記第 1 学習部は、少なくとも 1 つの特性の集合及びそれらの不定値を含む対象集合を設定し、前記対象集合の個別特性の論理和を含むようにして初期分析式を生成し、節及び特性を決定した後に、決定された節及び特性を組み合わせて精製された節を取得し、精製された節及び初期分析式に基づいて新しい分析式を取得し、前記新しい分析式が精巧であるか否かを検討して前記下降型処理を行う

請求項 1 に記載のプログラム分析装置。

【請求項 7】

前記第 1 学習された分析式及び第 2 学習された分析式のうち少なくとも 1 つを用いて分析対象プログラムの少なくとも 1 つの関数に対する分析深さを決定する分析部；をさらに含む

請求項 1 に記載のプログラム分析装置。

40

【請求項 8】

複数の分析式のうち少なくとも 1 つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方を選択する段階；及び、

前記選択部が前記上昇型処理を選択する場合に、それに応じて第 2 学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも 1 つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも 1 つの第 2 学習された分析式を取得する段階；を含む

50

ことを特徴とするプログラム分析方法。

【請求項 9】

前記第 2 学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも 1 つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも 1 つの第 2 学習された分析式を取得する段階は、

少なくとも 1 つの特性の集合及びそれらの不定値を含む対象集合を設定する段階；

初期分析式関数を利用し、初期分析式を定義する段階；

少なくとも 1 つの節を選択して取得し、前記少なくとも 1 つの節を一般化する段階；

一般化された節及び前記初期分析式を用いて少なくとも 1 つの一般化された分析式を取得する段階；及び、

取得された少なくとも 1 つの一般化された分析式が精巧であるか否かを検討し、前記上昇型処理を行って前記第 2 学習された分析式を取得する段階；を含む

請求項 8 に記載のプログラム分析方法。

【請求項 10】

前記第 2 学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも 1 つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも 1 つの第 2 学習された分析式を取得する段階は、

前記少なくとも 1 つの一般化された分析式が精巧なものと判断されないと、前記少なくとも 1 つの一般化された分析式に対してより一般化された分析式を取得する段階；をさらに含む

請求項 9 に記載のプログラム分析方法。

【請求項 11】

前記複数の分析式のうち少なくとも 1 つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方を選択する段階は、

分析式に対する処理が、与えられたコスト臨界値範囲内で終了可能であれば、下降型処理を選択する段階；及び、

分析式に対する処理が、与えられたコスト臨界値範囲内で終了不可能であれば、上昇型処理を選択する段階；を含む

請求項 8 に記載のプログラム分析方法。

【請求項 12】

前記複数の分析式の全てに対して下降型処理又は上昇型処理が選択されると、前記少なくとも 1 つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方に対する選択を終了する段階；をさらに含む

請求項 8 に記載のプログラム分析方法。

【請求項 13】

前記選択部が下降型処理を選択する場合に、それに応じて第 1 学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも 1 つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも 1 つの第 1 学習された分析式を取得する段階；をさらに含む

請求項 8 に記載のプログラム分析方法。

【請求項 14】

前記第 1 学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも 1 つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも 1 つの第 1 学習された分析式を取得する段階は、

少なくとも 1 つの特性の集合及びそれらの不定値を含む対象集合を設定する段階；

前記対象集合の個別特性の論理和を含むようにして初期分析式を生成する段階；

節及び特性を決定した後に、決定された節及び特性を組み合わせることで精製された節を取得する段階；

前記精製された節及び前記初期分析式に基づいて新しい分析式を取得する段階；及び、

前記新しい分析式が精巧であるか否かを検討する段階；を含む

請求項 13 に記載のプログラム分析方法。

【請求項 15】

前記第 2 学習された分析式を用いて分析対象プログラムの少なくとも 1 つの関数に対する分析深さを決定する段階；をさらに含む

請求項 1 に記載のプログラム分析方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

プログラム分析装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

プログラム分析方法は、静的分析方法（static analysis）及び動的分析（dynamic analysis）方法とに大別できる。静的分析方法は、プログラムを実行させないでプログラムのソースコードを分析し、規則上の誤りや保安上の脆弱点などを検証及び分析する方法であり、動的分析方法は、プログラムを実行させながらプログラムを分析する方法である。

【0003】

ポインタ分析（pointer analysis）は、プログラム静的分析方法の一種で、プログラムの実行前にプログラム実行過程においてポインタ変数や表現式などが指示できる全ての客体を把握するために利用される。このようなポインタ分析の結果は、バグ検出（Bug detecting）、プログラム検証（Program Verification）又はプログラム自動修正（Automatic Program Repair）などに用いられてよい。迅速で正確なポインタ分析のためには適切な高性能の分析戦略が必要である。例えば、文脈（context）を考慮しないで分析を行う場合に、プログラムの実際実行時には発生しない多数の偽アラームが分析過程で検出されることがある。これらの偽アラームは、開発者の業務を過重にさせ、プログラム開発のリソース及び時間を浪費する原因とされている。逆に、文脈を考慮して分析を行う場合に、検出される偽アラームが相当に減少する他、分析の正確性及び実用性も改善される利点があるが、プログラムの分析にかかる時間が非常に増加するという欠点があった。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

正確ながらもより迅速に低コストでプログラムに対する静的分析を自動で行うことができるプログラム分析装置及び方法を提供することを解決しようとする課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上述した課題を解決するためにプログラム分析装置及び方法が提供される。

【0006】

プログラム分析装置は、複数の分析式のうち少なくとも1つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方を選択する選択部、前記選択部が前記下降型処理を選択する場合に、それに応じて第1学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも1つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも1つの第1学習された分析式を取得する第1学習部、及び前記選択部が前記上昇型処理を選択する場合に、それに応じて第2学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも1つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも1つの第2学習された分析式を取得する第2学習部を含んでよい。

【0007】

プログラム分析方法は、複数の分析式のうち少なくとも1つの分析式に対して下降型処理及び上昇型処理のいずれか一方を選択する段階、及び前記選択部が前記上昇型処理を選択する場合に、それに応じて第2学習アルゴリズムに基づいて前記少なくとも1つの分析式に対する下降型処理を行い、少なくとも1つの第2学習された分析式を取得する段階を含んでよい。

【発明の効果】

【0008】

上述したプログラム分析装置及び方法によれば、与えられた少なくとも1つのプログラ

10

20

30

40

50

ムを用いて、分析に使用する分析式を自動で生成することが可能になり、この過程で生成された分析式を適用して、他のプログラムを分析する際に迅速で正確な分析を行うことが可能になる。これにより、分析に対するコスト（リソースや労力など）及び所要時間をより節減できるという効果を得ることができる。

【0009】

上述したプログラム分析装置及び方法によれば、プログラム分析において、相対的に深くて細密に分析する部分と相対的に浅くて概略に分析する部分とを選別するための様々な分析深さ（depth）の分析式を自動で生成することが可能になる。

【0010】

上述したプログラム分析装置及び方法によれば、全ての文脈を細密に分析する際のレベルに正確でありながらも、全ての文脈を概略に分析する際のレベルに迅速にプログラムを分析できるという利点も得ることができる。

【0011】

上述したプログラム分析装置及び方法によれば、効果的な戦略によって迅速で正確な静的分析を行うことができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】プログラム分析装置の一実施例を示すブロック図である。

【図2】順次に分析式を学習する過程の一例を説明するための図である。

【図3】分析式学習部の一実施例を示すブロック図である。

【図4】分析式学習部の動作に対応するプログラムコードの一例を示す図である。

【図5】第1学習部の動作に対応するプログラムコードの一例を示す図である。

【図6】第2学習部の動作に対応するプログラムコードの一例を示す図である。

【図7】分析部の動作の一例を説明するための図である。

【図8】プログラム分析方法の一実施例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、明細書全体を通じて、同一の参照符号は、特に事情がない限り、同一の構成要素を示す。以下に使われる「部」が付けられた用語は、ソフトウェア又はハードウェアによって具現されてよく、実施例によって、一つの「部」が一つの物理的又は論理的部品によって具現されたり、複数の「部」が一つの物理的又は論理的部品によって具現されたり、一つの「部」が複数の物理的又は論理的部品によって具現されることも可能である。明細書全体において、ある部分が他の部分と連結されているとすると、これは、ある部分と他の部分によって、物理的連結を意味することもあり、又は電氣的連結を意味することもある。また、ある部分が他の部分を含むとすると、これは、特に断りのない限り、他の部分以外のさらに他の部分を除外するものでなく、設計者の選択によってさらに他の部分をさらに含み得ることを意味する。第1又は第2などの用語は、一つの部分を他の部分から区別するために使われるもので、特記しない限り、それらが順次的な表現を意味するものではない。また、単数の表現は、文脈において明白に例外がない限り、複数の表現も含んでよい。

【0014】

以下、図1～図7を参照して、プログラム分析装置の一実施例について説明する。

【0015】

図1は、プログラム分析装置の一実施例を示すブロック図である。

【0016】

図1を参照すると、プログラム分析装置100は、入出力部101、プロセッサ110及び記憶部190を含んでよく、これらの入出力部101、プロセッサ110及び記憶部190のうち少なくとも2つは、命令／指示やデータなどを電氣的信号の形態で伝達できるように備えられたものであってよい。

【0017】

入出力部 101 は、ユーザ、設計者又は外部の他の電子装置（図示せず）などから、プログラム分析装置 100 の動作に必要な命令／指示、データ又はプログラム（アプリ、アプリケーション又はソフトウェアと称されてよい。）などを受信したり、及び／又はプロセッサ 110 の動作による学習結果、分析結果又はプログラムなどをユーザや設計者に視覚的又は聴覚的に出力したり又は外部の他の電子装置に電氣的信号の形態で有線又は無線通信ネットワークを通じて伝達することができる。例えば、入出力部 101 は、記憶部 190 に記憶された学習対象プログラム 10、分析対象プログラム 20、少なくとも 1 つの学習アルゴリズム 30 又は学習用特質（feature） $a_1, a_2, \dots, a_n$ などをユーザや他の電子装置から同時に又は順次に受信したり、及び／又は学習された分析式 80 や学習結果 90 などをユーザに出力したり他の電子装置に伝達することができる。入出力部 101 は、プログラム分析装置 100 と一体型に備えられたものであってもよく、物理的に分離可能に備えられたものであってもよい。入出力部 101 は、例えば、キーボード、マウス、タブレット、タッチスクリーン、タッチパッド、トラックボール、トラックパッド、スキャナ装置、映像撮影モジュール、動作感知センサー、減圧センサー、近接センサー及び／又はマイクロフォンなどの入力装置を含んでもよく、ディスプレイ、プリンタ装置、スピーカー装置及び／又は映像出力端子などの出力装置を含んでもよい。また、実施例によって、入出力部 101 は、外部の他の装置（例えば、携帯用メモリ装置など）からデータなどの受信が可能なデータ入出力端子や、外部の他の装置と有無線通信ネットワークを通じて連結される通信モジュール（例えば、LAN カード、近距離通信モジュール又は移動通信モジュールなど）などを含んでもよい。入出力部 101 は必要によって省略されてもよい。

10

20

【0018】

プロセッサ 110 は、分析対象プログラム 20 に対する分析を行うための少なくとも 1 つの分析式 80 を取得したり、及び／又は取得した少なくとも 1 つの分析式 80 を用いて分析対象プログラム 20 に対する分析（例えば、静的分析）を行うことができる。実施例によって、プロセッサ 110 は、少なくとも 1 つの分析式 80 の取得過程のみを行うことができる。この場合、取得された分析式 80 は、入出力部 101 などを通じて他の電子装置に伝送された後、他の電子装置によってプログラムの分析に用いられてもよい。また、プロセッサ 110 は、少なくとも 1 つの分析式 80 ベースのプログラム 20 の分析過程のみを行うこともできる。このとき、少なくとも 1 つの分析式 80 は、他の電子装置によって取得されたものであってもよい。

30

【0019】

一実施例によれば、プロセッサ 110 は、少なくとも 1 つの学習アルゴリズム 30 に基づき、1 つ以上の学習された分析式 80 を取得する分析式学習部 120、及び学習アルゴリズム 30 によって取得された少なくとも 1 つの学習された分析式 80 に基づいて分析を行う分析部 140 のうち少なくとも一方を含んでよい。ここで、分析式学習部 120 及び分析部 140 は、実施例によって、論理的に分離されたものであってもよく、物理的に分離されたものであってもよい。論理的に分離されたものである場合に、分析式学習部 120 及び分析部 140 はそれぞれプログラムコードによって具現されるが、それぞれのプログラムコードは、1 つ又は 2 つ以上のプログラムパッケージと共に又は別個に含まれたものであってもよい。物理的に分離された場合に、分析式学習部 120 及び分析部 140 はそれぞれ別個の半導体チップを採用して具現されたものであってもよい。分析式学習部 120 及び分析部 140 のそれぞれの詳細な動作及び機能に関する詳細な説明は後述する。プロセッサ 110 は、例えば、中央処理装置（CPU, Central Processing Unit）、マイクロコントローラユニット（MCU, Micro Controller Unit）、アプリケーションプロセッサ（AP, Application Processor）、マイコン（Micom, Micro Processor）、電子制御ユニット（ECU, Electronic Controlling Unit）及び／又は各種演算処理及び制御信号の生成が可能な他の電子装置などに基づいて具現されてよい。これらの装置は、例えば、1 つ又は 2 つ以上の半導体チップと関連部品などを採

40

50

用して製作可能である。

【0020】

記憶部190は、プログラム分析装置100の動作に必要なデータやプログラムなどを一時的に又は非一時的に記憶することができる。例えば、記憶部190は、分析式学習部120によって分析式80の学習及び生成のために用いられる少なくとも1つの学習対象プログラム10と、分析部140によって誤りの有無が分析される分析対象プログラム20と、分析式80の学習のために用いられる所定の学習アルゴリズム30と、学習の結果として取得された少なくとも1つの学習された分析式80と、分析対象プログラム20に対する分析結果90、及び／又は分析式80の学習及び生成のために用いられる少なくとも1つの特質 $a_1, a_2, \dots, a_n$ などを一時的に又は非一時的に記憶することができる。実施例によって、少なくとも1つの学習対象プログラム10と分析対象プログラム20とが同一なであってもよく異なってもよい。少なくとも1つの学習対象プログラム10が分析対象プログラム20である場合に、分析対象プログラム20は省略可能である。実施例によって、記憶部190は、そのデータ及びアルゴリズム10, 20, 30, 80, 90のうち一部のデータやアルゴリズムを記憶しなくてもよく、及び／又はそのデータ及びアルゴリズム10, 20, 30, 80, 90の他にもより様々な別のデータやアルゴリズムを記憶してもよい。また、記憶部190は、プロセッサ110の動作のための少なくとも1つの設定や命令／指示を記憶したり、又はプロセッサ110の動作のためのプログラム又はプログラムパッケージを記憶することができる。プロセッサ110の動作のためのプログラム又はプログラムパッケージは、設計者によって直接に作成されたり又は修正された後に記憶部190に記憶されたものであってもよく、メモリ装置やDVDなどの記録媒体によって記憶部190に記憶されたものであってもよく、及び／又は有線又は無線通信ネットワークを通じて接続可能な電子ソフトウェア流通網を通じて取得又は更新されたものであってもよい。上述した記憶部190は、例えば、主記憶装置及び補助記憶装置のうち少なくとも1つを含んでよい。主記憶装置は、ROM及び／又はRAMなどを含んでよく、補助記憶装置は、フラッシュメモリ装置、SD (Secure Digital) カード、ソリッドステートドライブ (SSD, Solid State Drive)、ハードディスクドライブ (HDD, Hard Disc Drive)、磁気ドラム、コンパクトディスク (CD)、DVD及び／又はフロッピーディスクなどのようにデータを永久的又は半永久的に記憶可能な少なくとも1つの記録媒体によって具現されてよい。

10

20

30

【0021】

上述したプログラム分析装置100は、1つの情報処理装置又は2つ以上の同一の又は異なる情報処理装置の組合せで具現されてよい。ここで、情報処理装置は、例えば、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、スマートフォン、タブレットPC、スマート時計、頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) 装置、ナビゲーション装置、携帯用ゲーム機、個人用デジタル補助機 (PDA: Personal Digital Assistant)、デジタルテレビ、セットトップボックス、人工知能音響再生装置 (人工知能スピーカー)、家電機器 (冷蔵庫又は洗濯機など)、有人移動体 (乗用車、バス又は二輪車などの車両など)、無人移動体 (ロボット掃除機など)、有人飛行体、無人飛行体 (ドローンなど)、家庭用又は産業用ロボット、産業用機械、電子黒板、電子広告看板又は現金自動預払機 (ATM: Automated Teller Machine) などを含んでよいが、これに限定されるものではない。設計者やユーザなどは、状況や条件に応じて、上述した装置の他にも、情報の演算処理及び制御が可能な様々な装置のうち少なくとも1つを上述のプログラム分析装置100として考慮及び適用できる。

40

【0022】

また、プログラム分析装置100は、外部の他の装置と相互通信を行い、他の装置から学習対象プログラム10、分析対象プログラム20又は学習アルゴリズム30を含むプログラムなどを受信したり、及び／又は分析結果やプログラムなどを他の装置に伝送できるように備えられるが、プログラム分析装置100と他の装置との通信は、有線通信ネット

50

ワーク、無線通信ネットワーク又はこれらの組合せに基づいて行われてよい。ここで、無線通信ネットワークは、近距離通信ネットワーク技術及び遠距離通信ネットワーク技術のうち少なくとも1つに基づくが、例えば、近距離通信ネットワーク技術は、ワイファイ（Wi-Fi）、ワイファイダイレクト（Wi-Fi Direct）、ブルートゥース（登録商標）（Bluetooth）、ジグビー（zigbee）通信、CAN通信、RFID（Radio-Frequency Identification）及び／又はNFC（Near Field Communication）などを含んでよく、遠距離通信ネットワーク技術は、例えば、3GPP（登録商標）、3GPP（登録商標）2、WiBro又はWiMAX系列などの移動通信標準を含んでよい。

【0023】

以下、図2～図6を参照して、分析式学習部120の動作をより具体的に説明する。

【0024】

図2は、分析式を順次に学習する過程の一例を説明するための図である。

【0025】

一実施例によれば、プロセッサ110の分析式学習部120は、図2に示すように、1つ又は2つ以上の学習前の分析式 f_i （ f_0 、 f_1 、 f_2 など）が与えられると（この場合、各分析式 f_0 、 f_1 、 f_2 は、一例としてfalseなどの既に定義された初期値に設定されていてよい。）、これらそれぞれの分析式 f_i （ f_0 、 f_1 、 f_2 など）に対する学習を少なくとも1回行い、それぞれの分析式 f_i （ f_0 、 f_1 、 f_2 など）が少なくとも一つの特質 a_1 、 a_2 、 $\dots$ 、 a_n を含んで形成されるようにすることができる。

【0026】

ここで、分析式 f_i は、分析深さが i だけ与えられるべきプログラム構成要素（例えば、関数）を表す。例えば、分析式 f_i は、 i の分析深さで分析する関数の集合を意味できる。それぞれの分析式 f_0 、 f_1 、 f_2 は、相互間に共通する関数が存在しなく、例えば、分析式 f_0 に含まれた関数は、他の分析式 f_1 及び f_2 に含まれないということを意味する（ $f_0 \cap f_1 \cap f_2 = \phi$ ）。

【0027】

分析式 f_i は、例えば、論理式モデル（Disjunctive model）を用いて製作された論理式を含んでよい。具体的には、分析式 f_i （ f_0 、 f_1 、 f_2 など）は、特質 a_1 、 a_2 、 $\dots$ 、 a_n が与えられた時に、下記の数学式1のように、一つ以上の特質 a_1 、 a_2 、 $\dots$ 、 a_n のうち一つの特質 a_1 、 a_2 、 $\dots$ 、 a_n を単独で又は2つ以上の特質 a_1 、 a_2 、 $\dots$ 、 a_n の組合せで生成されてもよい。

【0028】

【数1】

$$f \rightarrow true | false | a_i \in features | \neg f | f_1 \wedge f_2 | f_1 \vee f_2$$

【0029】

ここで、特質 a_1 、 a_2 、 $\dots$ 、 a_n は、プログラムの構成要素（例えば、ジャバのメソッド（method））などを含んでもよい。以下同一。）がいかなる特質を有しているかを確認又は質疑する関数であり、下記の数学式2のように定義されてよい。

【0030】

【数2】

$$a_i(P) : M_P \rightarrow \{true, false\}$$

【0031】

具体的には、例えば、「出力値（output）がvoidである」との特質 a に対して、 $[[a]]_P$ は、プログラムPにおいて出力値がvoidであるメソッドの集合を意味する。数式や記号の付いた特質（すなわち、複合特質）は、それぞれの個別特質だけで

10

20

30

40

50

は表現し難い関数の性質を表すことができる。これは、宣言文の形態で表現可能である。例えば、複合特質 $[[\neg a]]_p$ は、特質 a を有していない関数の集合（例えば、出力値が `void` でない関数の集合）を意味するように定義されたものであってよく、 $[[a_i \wedge a_j]]$ は、 a_i と a_j の2つの特質を全て有する関数の集合を意味するように定義されたものであってよく、及び／又は $[[a_i \vee a_j]]$ は、 a_i と a_j の2つの特質のうち少なくとも1つを有する関数の集合を意味するように定義されたものであってよい。これらの他にも、設計者やユーザなどは、任意的選択によって新しい複合特質をさらに定義することができ、また、上述したそれぞれの複合特質を上述と異なるように定義することもできる。

【0032】

一実施例によれば、プロセッサ110は、全ての又は一部の分析式 f_0 、 f_1 、 f_2 に対する学習を同時に行うこともできる。他の実施例によれば、プロセッサ110は、それぞれの分析式 f_0 、 f_1 、 f_2 に対する学習を順次の一つずつ行うこともできる。具体的には、例えば、プロセッサ110は、いずれか一つの分析式 f_0 に対する学習を行い、他の分析式 f_2 に対する学習を行い、最後に、さらに他の分析式 f_1 に対する学習を行うこともできる。それぞれの分析式 f_0 、 f_1 、 f_2 に対する学習を順次に行うことは、学習を行う探索空間を減少させる効果がある。例えば、学習によって分析式 $f_0 \sim f_k$ (k は0以上の整数) を取得するものの、いずれか一つの分析式 f_a の演算及び取得のために探索しなければならない空間が $|S|$ である場合において、 $(k+1)$ 個の分析式を1回に求めるための探索空間は $|S|^{k+1}$ である。ところが、このような探索空間 $|S|^{k+1}$ は、範囲が広すぎるため、最適の分析式の検出を非常に困難にさせる。しかし、これと違い、1回に1つの分析式のみを求める過程を $(k+1)$ 回反復して1つ以上の分析式 $f_0 \sim f_k$ を順次取得する場合には、探索空間は $(k+1) * |S|$ と与えられる。したがって、分析式の取得のための探索空間が非常に減少し、その結果、探索効率が上昇し、リソース、時間及びコストが低減し得る。

【0033】

図3は、分析式学習部の一実施例を示すブロック図であり、図4は、分析式学習部の動作に対応するプログラムコードの一例を示す図である。図4で、`procedure LEARN(F, P, K, A)` 関数(メソッド)は、分析式学習部120の動作を示す関数のプログラムコードの一作成例であり、ここで、 F は学習に使用する静的分析器を、 P はプログラムを、 k は最大分析深さを、 A は特質 $a_1, a_2, \dots, a_n$ の集合を意味する。

【0034】

上述した分析式 $f_0 \sim f_k$ の取得のために、分析式学習部120は、図3に示すように、初期処理部121、選択部122、第1学習部124-1及び第2学習部124-2を含んでよい。

【0035】

初期処理部121は、まず、図4に示すように、学習対象プログラム10に関連して学習される全ての又は一部の分析式 $f_0 \sim f_k$ を、あらかじめ定義された値(例えば、`false`)に初期化させることができる(第2行)。また、初期処理部121は、関数内で用いられる少なくとも1つの変数(`top`, `bot`)に、あらかじめ定義された初期値を割り当てることができる(第3行及び第4行)。例えば、変数 `top` 及び `bot` のそれぞれが k 及び0に初期化されてよい。ここで、変数 `top` は、第1学習部124-1によって行われるそれぞれの下降型処理(`top-down`)を識別するための変数であり、下降型処理が行われる度に1ずつ減少するように設計されたものであってよい(第10行参照)。また、変数 `bot` は、第2学習部124-2によって行われるそれぞれの上昇型処理(`bottom-up`)を識別するための変数であり、上昇型処理が行われる度に1ずつ増加するように設計されてよい(第14行参照)。

【0036】

これと同時に又は順次に、選択部122は、学習対象となる分析式 $f_0 \sim f_k$ のうち、まだ学習処理がされていないため取得されていない少なくとも1つの分析式(`f_bot` 又

10

20

30

40

50

は f_{top}) を選択することができる (第 6 行)。未処理された少なくとも 1 つの分析式 (f_{bot} 又は f_{top}) は、上述したように、 $false$ 値に初期化されたものであってよい。続いて、選択部 122 は、これらの分析式に対して上昇型処理を行うか又は下降型処理を行うかを決定できる (第 7 行)。言い換えると、選択部 122 は、学習対象分析式 (f_{bot} 又は f_{top}) を第 1 学習部 124-1 で処理するか又は第 2 学習部 124-2 で処理するかを決定できる。

【0037】

一実施例によれば、選択部 122 は、まず、与えられた論理式パラメータ (Π) に対して現在可能な最も精巧な抽象化を有する分析方法を実行させた時に、与えられた下降型処理 (ψ_{top}) が、可能な問題解決手段であるか否かが推定できる。ここで、関数の論理式パラメータ (Π) は、下記の数学式 3 と与えられてよい。

10

【0038】

【数 3】

$$\Pi = \langle f_0, f_1, \dots, f_{top-1}, f_{rem}, f_{top+1}, \dots, f_k \rangle$$

【0039】

下降型処理 (ψ_j) は、未学習論理式 $\langle f_i, f_{i+1}, \dots, f_j \rangle$ のうち、分析深さが最も深い論理式 f_j を取得するために行われる処理であり、分析式 f_j に対する下降型処理 (ψ_j) は、例えば、下記の数学式 4 のように与えられてよい。

20

【0040】

【数 4】

$$\Psi_j \equiv \text{Find } f_j \text{ minimizing } \sum_{p \in P} \text{cost}(F_p(H_{\Pi_j}(p))) \text{ subject to } \text{Precise}(\Pi_j, F, P)$$

【0041】

ここで、 $\text{Precise}(\Pi_j, F, P)$ 関数は、取得されたパラメータ Π_j が学習データに対して十分に精巧であるか否かを判断する関数である。この場合、分析深さが決められていない関数は $j-1$ の深さを有するものと処理されて学習する。 $\text{Precise}(\Pi_j, F, P)$ は、例えば、下記の数学式 5 のように定義されてよい。

30

【0042】

【数 5】

$$\text{Precise}(\Pi_j, F, P) = \frac{\sum_{p \in P} |\text{proved}(F_p(H_{\Pi_j}(p)))|}{\sum_{p \in P} |\text{proved}(F_p(k))|} \geq \gamma$$

40

【0043】

すなわち、 $Precise(\Pi_j, F, P)$ は、 Π_j と関連して証明されたクエリと全てのプログラム構成要素（例えば、関数）に深さ k を適用し、可能な最大の正確度を有するパラメータ（ k ）と関連して証明されたクエリの比率が所定の臨界値（ $\gamma : \gamma \in [0, 1]$ ）よりも大きい場合に満たされる関数である。一方、ヒューリスティック関数 H_{Π_j} は、任意のプログラム P に存在するそれぞれのプログラム構成要素（例えば、関数）ごとに分析深さを決めてくれる関数であり、例えば、下記の数学式6と定義されてよい。

【 0 0 4 4 】

【 数 6 】

$$H_{\Pi}(P) \equiv \lambda m \in M_P \left\{ \begin{array}{ll} k & \text{if } m \in [[f_k]]_P \\ k-1 & \text{if } m \in [[f_{k-1}]]_P \\ \dots & \\ k-i & \text{if } m \in [[f_{k-i}]]_P \\ \dots & \\ 1 & \text{if } m \in [[f_1]]_P \\ 0 & \text{if } m \in [[f_0]]_P \end{array} \right.$$

10

20

【 0 0 4 5 】

言い換えると、下降型処理（ ψ_j ）は、相対的に大きい j に対して（すなわち、分析深さが相対的に深い分析式 f_j に対して）ヒューリスティック関数 H_{Π_j} の性能が最大化する f_j を探すことである。ヒューリスティック関数 H_{Π_j} の性能最大化のためには、 f_j が意味する関数の集合が正確度を維持する限度内で最小となる分析式を探すことに帰結する。

30

【 0 0 4 6 】

そのために、選択部122は、仮に、分析式に対する処理が、与えられたコスト臨界値（ C ）の範囲内で終了すると、所定の値（例えば、 $true$ ）をリターンさせ、逆に、分析及び処理が、与えられたコスト臨界値（ C ）の範囲内で終了しないと、選択部122は、所定の値と異なる他の値（例えば、 $false$ ）をリターンさせる。このような動作は、少なくとも1つの関数（例えば、 $ChooseProblem(top, \Pi, F, P, f_{rem})$ ）を用いて行われてよい。ここで、 $ChooseProblem(top, \Pi, F, P, f_{rem})$ 関数は、下記の数学式7のように表現されてよい。

【 0 0 4 7 】

【 数 7 】

$$ChooseProblem(top, \Pi, F, P, f_{rem}) = \begin{cases} true & \sum cost(F_P(H_{\Pi_j}(P))) < C \\ false & otherwise \end{cases}$$

40

【 0 0 4 8 】

50

仮に、所定の値、すなわち $t r u e$ が出力されると、下降型処理 (ψ_j) が処理可能なものと判断され (第 8 行)、与えられた関数 $f_{t o p}$ に対して下降型処理 ($\psi_{t o p}$) が行われる (第 9 行)。一実施例によれば、下降型処理 ($\psi_{t o p}$) は第 1 処理部 1 2 4 - 1 によって行われてよく、第 1 処理部 1 2 4 - 1 は、第 1 学習アルゴリズム 3 0 - 1 を用いて下降型処理 ($\psi_{t o p}$) を行うこともできる。これにより、下降型処理 ($\psi_{t o p}$) に対応する学習された分析式 (以下、第 1 学習された分析式) が取得でき

る。ここで、上の問題において深さ ($d e p t h$) が決められない関数 ($m \notin f_0 \vee f_1 \vee \dots \vee f_k$) は、一実施例において、 $j - 1$ の深さを有するように設定されて処理されてよい。一方、下降型処理 ($\psi_{t o p}$) が行われると、変数 $t o p$ には、既存の変数 $t o p$ の値から 1 を引いた値が入力される。これにより、相対的に低い分析深さ ($j - 1$) の分析式に対する学習が行われ得る。すなわち、分析式 f_j に対する学習が行われ、以後の選択過程において同様に下降型処理 (ψ_{j-1}) が選択されると、これに応じて分析式 f_{j-1} に対する学習が行われてよい。結果として、下降型で (すなわち、分析深さが浅くなる方向に) 少なくとも 1 つの分析式 ($f_m, m = j, j - 1, j - 2, \dots$) が処理 (ψ_m) され、これに対応する少なくとも 1 つの第 1 学習された分析式が取得される。

10

【0049】

逆に、仮に、所定の値と異なる他の値、すなわち $f a l s e$ が出力されると、下降型処理 ($\psi_{t o p}$) は処理不可能なものと判断され、他の処理 (すなわち、上昇型処理 ($\psi_{b o t}$)) が選択されて行われる (第 1 1 行 ~ 第 1 4 行)。上昇型処理 ($\psi_{b o t}$) が行われると、それによって分析式 $f_{t o p}$ がリターンされてもよい (第 1 2 行)。 $f_{t o p}$ の不定 ($\neg f_{t o p}$) 及び $f_{r e m}$ ($f_{r e m}$ は、 f_0 以内 f_k と互いに素である論理式 (第 6 行)) 値の積集合 ($f_{r e m} \wedge \neg f_{t o p}$) が変数 $f_{b o t}$ に入力される (第 1 3 行)。したがって、 $f_{t o p}$ の不定値は、 $f_{b o t}$ として用いられる他の分離式と分離される。上昇型処理 ($\psi_{b o t}$) が行われると、これに応じて、変数 $b o t$ には、既存の変数 $b o t$ の値に 1 を足した値が入力される (第 1 4 行)。これにより、相対的に分析深さがより深い分析式に対する学習が行われ得る。すなわち、相対的に分析深さ (i) の浅い分析式 f_j に対する学習が行われて学習された分析式 (以下、第 2 学習された分析式) が取得された後、以後の選択過程において上昇型処理 (ψ_{j-1}) が選択されると、分析式 f_{i+1} に対する学習が行われ、これに応じて他の第 2 学習された分析式が取得され得る。結果として、上昇型で (すなわち、分析深さが増加する方向に) 少なくとも 1 つの分析式 ($f_n, m = i, i + 1, i + 2, \dots$) が処理 (ψ_m) され、これに対応する 1 つ又は 2 つ以上の第 2 学習された分析式が取得され得る。上昇型処理 ($\psi_{b o t}$) は、第 2 処理部 1 2 4 - 2 によって処理される第 2 学習アルゴリズム 3 0 - 2 に基づいて行われてよく、第 2 学習アルゴリズム 3 0 - 2 は、例えば、後述する $S P E C 2 G E N$ 関数を含んでよい。

20

30

【0050】

一実施例によれば、上述した上昇型処理 (ψ_i) は、下記の数学式 8 を演算することによって取得されるように設計されてよい。

【0051】

【数 8】

40

$$\psi_i \equiv \text{Find } f_i \text{ minimizing } \sum_{p \in P} \text{cost}(F_p(H_{\Pi_i}(p))) \text{ subject to } \text{Precise}(\Pi_i, F, P)$$

【0052】

上昇型処理 (ψ_i) は、下降型処理 (ψ_j) とは逆に、相対的に小さい i に対して (すなわち、分析深さが相対的に浅い分析式 f_i に対して) f_i が意味する関数の集合が正確度を維持する限度内で最大となる分析式がヒューリスティック関数 H_{Π_i} の性能を極大化する。この場合、分析深さが決められていない関数は、 j の深さを有するものと処理されて分析される。

50

【0053】

上述した過程は、変数 bot 及び top が互いに同一になるまで（すなわち、 $top = bot$ ）反復されてよい（第5行及び第16行参照）。反復の過程において、選択部122は状況によって下降型処理（ ψ_{top} ）を反復選択することもでき、上昇型処理（ ψ_{bot} ）を反復選択することもでき、下降型処理（ ψ_{top} ）と上昇型処理（ ψ_{bot} ）を交差選択することもできる。したがって、前過程で下降型処理（ ψ_{top} ）が選択されたとしても、後過程で必ずしも下降型処理（ ψ_j ）又は上昇型処理（ ψ_{bot} ）が選択されるものではない。

【0054】

図5は、第1学習部の動作に対応するプログラムコードの一例を示す図である。

10

【0055】

第1学習部124-1は、上述したように、下降型処理（ ψ_{top} ）を行うことができる。この場合、下降型処理（ ψ_{top} ）は、一般的な分析式から特定論理式へと次第に学習を行うアルゴリズムに基づいて具現されたものであってよい。

【0056】

下降型処理（ ψ_{top} ）は、既に定義された第1学習アルゴリズム30-1によって行われるが、第1学習アルゴリズム30-1は、図5に示す一実施例のように、 $GEN2SPEC(bot, top, \langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle, F, P, A, f_{rem})$ 関数を含んでよい。具体的には、 $GEN2SPEC$ 関数は、まず、個別特性（ a_j ）の集合（ A ）及びこれらの不定値（ $\neg a_j$ ）を含む対象集合を設定し（第2行）、分析式 f が対象集合の個別特性（ a_i ）又は少なくとも1つの個別特性（ a_j ）の論理和を含むようにして最も一般的な初期分析式として生成されるように備えられる（第3行）。続いて、分析式 f は作業リスト（ W ）に記録される（第4行）。仮に作業リスト（ W ）が空集合でないと、作業リスト（ W ）から精製される節（ $clause$ ） c が選択され、作業リスト（ W ）から除去される（第6行及び第7行）。この場合、 c の選択は、下記のように、最も多いコストを消耗する節 c をリターンするように設計された数学式9に基づいて行われてよい。

20

【0057】

【数9】

$$MostExpensiveClause(W, F, P) = \underset{c \in W}{argmin} \sum_{p \in P} cost(F_p(H_{\Pi_c}(p)))$$

30

【0058】

特性 a が順次取得されてよい（第8行）。特性 a は、節 c と最も同一又は類似の特性を意味し、例えば、下記の数学式10を用いて取得できる。

【0059】

【数10】

$$ChooseAtom(A, c) = \begin{cases} \underset{a \in A \setminus \{c\}}{argmax} \sum_{p \in P} |[c \wedge a]_p| & \text{if } A \setminus \{c\} \neq \emptyset \\ false & otherwise \end{cases}$$

40

【0060】

節 c 及び特性 $\{a\}$ を順次に組み合わせて精製された節 c' を取得し（第 9 行）、精製された節 c' に基づいて既存の節 c を代替し、新しい分析式 f_{top} を取得する（第 10 行）。次に、各関数 $f_0 \sim f_k$ 間の連結を分離して新しいパラメータ（ Π ）を決定し（第 11 行）、上述した $precise$

（ Π_j, F, P ）関数を用いて、関数の集合（ Π ）が精巧であるか否かを決定する（第 12 行）。仮にパラメータ（ Π ）が精巧であれば、分析式 f は分析式 f_{top} によって更新され（第 13 行）、作業リスト（ W ）には精製された節 c' が追加される（第 14 行）。そうでなければ、分析式 f 及び作業リスト（ W ）の更新は行われない。このような過程は、作業リスト（ W ）が空集合になるまで反復される。

10

【0061】

図 6 は、第 2 学習部の動作に対応するプログラムコードの一例を示す図である。

【0062】

第 2 学習部 124-2 は、上述したように、上昇型処理（ ψ_{bot} ）を行うことができる。ここで、上昇型処理（ ψ_{bot} ）は、相対的に少ない個数の関数集合を含む分析式から益々多い個数のプログラム構成要素の集合を含む分析式へと一般化するように具現されたアルゴリズムを含んでよい。

【0063】

一実施例によれば、上昇型処理（ ψ_{bot} ）は、第 2 学習アルゴリズム 30-2 に基づいて行われるが、例えば、図 6 に示すように、 $SPEC2GEN(bot, top, \langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle, F, P, A, f_{rem})$ 関数を用いて行われてよい。一実施例に係る $SPEC2GEN$ 関数では、まず、個別特性（ a_j ）の集合（ A ）及びこれらの不定値（ $\neg a_j$ ）を含む対象集合が設定され（第 2 行）、分析式 f が初期分析式関数（例えば、 $InitialFormula(A, P)$ ）によって定義される（第 3 行）。

20

【0064】

ここで、 $InitialFormula(A, P)$ は、下記の数学式 11 のように与えられてよい。

【0065】

【数 11】

$$\{c \in C \mid C = \text{ClausesThatProveQueries}(P, A), \forall c' \in C. c' \subseteq c \Rightarrow c' = c\}$$

30

【0066】

数学式 11 の $\text{ClausesThatProveQueries}(P, A)$ は、数学式 12 と定義されてよい。

【0067】

【数 12】

$$\text{ClausesThatProveQueries}(P, A) =$$

$$\{\text{AtomsThatProveQuery}(P, q, A) \mid$$

$$p \in P, q \in Q_p, q \notin \text{proved}(F_p(H_{\Pi_{fal,20}}(p)))\}$$

40

【0068】

数学式 12 の関数 $\text{AtomsThatProveQuery}(P, q, A)$ は、数学式 13 のように規定可能である。

50

【 0 0 6 9 】

【 数 1 3 】

$$AtomsThatProveQuery(P, q, A) = \{a \in A, q \in proved(F_p(H_{\Pi_q}(p)))\}$$

【 0 0 7 0 】

上述した数学式 1 1 ～ 1 3 によって生成された初期分析式 f は、最も小さい可能な一群の節によるクエリを示す。

【 0 0 7 1 】

作業リスト (W) に初期分析式 f が順次に入力され (第 4 行)、作業リストが空集合でなければ (第 5 行)、少なくとも 1 つの節 c が選択され (第 6 行)、作業リスト (W) から節 c が除去されてよい (第 7 行)。少なくとも 1 つの節 c は、数学式 1 4 のような $ChooseClause(W)$ 関数を用いて行われてよい。

【 0 0 7 2 】

【 数 1 4 】

$$ChooseClause(W) = \underset{c \in W}{argmin} \left| \sum_{p \in P} [[c]]_p \right|$$

【 0 0 7 3 】

節 c が取得されると、第 2 学習部 1 4 4 - 2 は反復的に節に対する一般化を行う (第 8 ～ 2 0 行)。具体的には、特質 a が数学式 1 0 の $ChooseAtom$ 関数などを用いて取得され (第 9 行)、仮に、取得された特質 a が $false$ 値であれば、反復は終了し (第 1 0 行及び第 1 1 行)、逆に、特徴 a が $false$ 値でなければ、一般化された分析式 f_{top} と一般化された集合 (Π) がそれぞれ取得される (第 1 3 行及び第 1 4 行)。分析式 f_{top} は、分析式 f から節 c を引いた差集合と、節 c から特質の集合 $\{a\}$ を引いた差集合との和集合と定義され、一般化された集合 (Π) は、各関数 $f_0 \sim f_k$ 間の連結を分離して決定されてよい。

【 0 0 7 4 】

次に、一般化された分析式 f_{top} が精巧であるか否かが検討されるが、そのために上述の

$precise(\Pi_j, F', P)$ 関数が利用されてよい。仮に、 $precise(\Pi_j, F', P)$ 関数の演算の結果、一般化さ

れた分析式 f_{top} が精巧なものと判断されると、分析式 f_{top} はリターンされる (第 1 5 行及び第 1 6 行)。逆に、分析式 f_{top} が精巧なものと判断されないと (第 1 7 行)、 f に分析式 f_{top} が入力され

(第 1 8 行)、上述した過程が反復される (第 2 0 行)。すなわち、節 c をさらに一般化する。仮に、節 c にそれ以上引く特質がないと (第 1 0 行)、他の節を一般化する (第 6 行)。

【 0 0 7 5 】

一方、上述した過程は作業リスト (W) が空集合になるまで反復されてよい (第 5 行及び第 2 1 行)。

【 0 0 7 6 】

図 7 は、分析部の動作の一例を説明するための図である。

【 0 0 7 7 】

上述したように、学習された分析式 8 0、例えば、分析式 f_0 、 f_1 及び f_2 が図 7 に示すように取得され得る。ここで、学習された分析式 8 0 は、第 1 学習部 1 4 4 - 1 が取得した少なくとも 1 つの第 1 学習された分析式及び第 2 学習部 1 4 4 - 2 が取得した少なくとも 1 つの第 2 学習された分析式のうち少なくとも 1 つを含んでよい。この場合、分析部 1 4 0 は、学習された分析式 8 0 に基づいて、分析対象プログラム 2 0 のそれぞれの関数又は 2 つ以上の関数の組合せなど (2 0 : 2 0 - 1 ～ 2 0 - 4、例えばメソッド 1 ～ 4

10

20

30

40

50

がある程度の分析深さで分析されるべきかを決定し、分析結果 90 を出力することができる。具体的には、例えば、学習結果によって、分析式 f_0 （すなわち、最も浅い深さで分析される関数に対する集合）は $(\neg a_1 \wedge a_2)$ と与えられ、分析式 f_1 （すなわち、中間深さで分析される関数に対する集合）は $(a_1 \wedge \neg a_2)$ と与えられ、分析式 f_2 （すなわち、最も深い深さで分析される関数の集合）は $(a_1 \wedge a_2) \vee (\neg a_1 \wedge \neg a_2)$ と与えられた状況において、分析対象プログラム 20 のメソッド 1（20-1）は特質 a_1 及び a_2 を含み（ $\{a_1, a_2\}$ ）、メソッド 2（20-2）は特質 a_1 を含み（ $\{a_1\}$ ）、メソッド 3（20-3）は特質 a_2 を含み（ $\{a_2\}$ ）、メソッド 4（20-4）はいかなる特質も含んでいないと、分析部 140 を、与えられた分析式 $f_0 \sim f_2$ を用いて、メソッド 1 及び 4 20-1, 20-4 は極めて正確に分析し、メソッド 2 20-2 は正確であるが、メソッド 1 及び 4 20-1, 20-4 に比べては相対的に不正確に分析し、メソッド 3 20-3 は概略的に分析するように決定及び分類できる。これにより、特定関数が呼び出される時に、当該関数に符合する適切な深さに文脈を区別及び選別して分析戦略を構築可能であり、ポイント分析などに採用された場合に、ポイント分析などをより迅速で正確に行うことが可能になる。

10

【0078】

以下、図 8 を参照して、プログラム分析方法の一実施例を説明する。

【0079】

図 8 は、プログラム分析方法の一実施例を示すフローチャートである。

【0080】

20

図 8 に示すプログラム分析方法の一実施例によれば、学習対象プログラムと関連し、まず、学習される全ての又は一部の分析式や少なくとも 1 つの変数（例えば、上述した top 及び bot ）に対する初期化が行われてよい（400）。初期化は、分析式を $false$ 値に処理したり又は変数に 0 や k 値を割り当てることによって行われてよい。

【0081】

初期化と同時に、以前に又は以後に、学習処理が行われていない少なくとも 1 つの分析式（例えば、 f_{top} 又は f_{bot} ）が選択されてよい。学習処理が行われていない少なくとも 1 つの分析式（ f_{top} 又は f_{bot} ）は、例えば、 $false$ 値に初期化されたものであってよい。

【0082】

30

学習処理が行われていない少なくとも 1 つの分析式に対して上昇型処理が行われるのか又は下降型処理が行われるのかが判断及び決定されてよい（404 及び 408）。下降型処理及び上昇型処理の選択は、例えば、まず、与えられた関数集合に対して下降型処理が可能か否かが判断される。下降型処理の可否は、上述した数学式 7 の $ChooseProblem(top, \Pi, F, P, frem)$ 関数を用いて判断されてよい。仮に、数学式 7 の $ChooseProblem(top, \Pi, F, P, frem)$ 関数が $true$ 値を出力すると、下降型処理が可能なものと判断され（404 のはい）、逆に、 $ChooseProblem(top, \Pi, F, P, frem)$ が $false$ 値を出力すると、上昇型処理が可能なものと判断されてよい（404 のいいえ）。

【0083】

40

仮に、下降型で少なくとも 1 つの分析式に対する処理を行う場合であれば（404 のはい）、第 1 学習アルゴリズム、例えば $GEN2SPEC$ 関数に基づいて少なくとも 1 つの分析式に対する学習が行われる（406）。すなわち、上昇型処理は、第 1 学習部を用いて上述した通りに行われてよい。これにより、第 1 学習された分析式が取得できる。

【0084】

逆に、下降型処理を行わない場合であれば（404 のいいえ）、それに応じて上昇型処理が行われるが（408）、第 2 学習アルゴリズム、例えば $SPEC2GEN$ 関数に基づいて少なくとも 1 つの分析式に対する処理が行われてよい。より詳細には、例えば、上昇型処理過程において第 2 学習アルゴリズムによって分析式 f'_{top} が取得され、 f'_{top} の不定（ $\neg f'_{top}$ ）及び $frem$ 値の積集合（ $frem \wedge \neg f'_{top}$ ）が変数 f_{bot} に

50

入力される。第2学習アルゴリズムによる処理は、第2学習部を用いて上述した通りに行われてよい。これにより、第2学習された分析式が取得できる。

【0085】

選択的に上昇型処理又は下降型処理を行う過程（404～408）は、全ての又は既に設定された一部の分析式に対する処理方法（すなわち、下降型処理又は上昇型処理）の選択と、それによる処理（すなわち、下降型処理又は上昇型処理）が終了するまで反復して行われてよい（412）。言い換えると、全ての又は既に設定された一部の分析式に対して下降型処理又は上昇型処理が決定されると、分析式に対する上昇型又は下降型処理方法の選択過程とそれによる上昇型又は下降型処理過程は終了してよい。

【0086】

上昇型処理又は下降型処理の決定（404，408）及びそれによる第1学習アルゴリズムの適用（406）又は第2学習アルゴリズムの適用（408）過程の反復結果によって、少なくとも1つの学習された分析式が決定される（412，414）。

【0087】

分析式の決定中に、分析式の決定前に及び／又は分析式の決定後に、分析対象プログラムが入力されてよい（416）。分析対象プログラムは学習対象プログラムであってもよい。分析対象プログラムに対して上述の分析式に基づいて分析が行われ、これにより、分析対象プログラム内のそれぞれの関数に対して分析深さが決定されてよい（418）。分析結果は必要によって外部に出力されてもよい。

【0088】

上述した実施例に係るプログラム分析方法は、コンピュータ装置によって駆動可能なプログラムの形態で具現されてよい。ここで、プログラムは、プログラム命令、データファイル及びデータ構造などを単独で又は組み合わせて含んでよい。プログラムは、機械語コードや高級言語コードを用いて設計及び製作されたものであってよい。プログラムは、上述した方法を具現するために特別に設計されたものであってもよく、コンピュータソフトウェア分野において通常の技術者に既に公知されて使用可能な各種関数や定義を用いて具現されたものであってもよい。また、ここで、コンピュータ装置は、プログラムの機能を実現可能にするプロセッサやメモリなどを含んで具現されたものであってもよく、必要によって通信装置をさらに含んでもよい。また、上述したプログラム分析方法を具現するためのプログラムは、コンピュータ可読記録媒体に記録されてよい。コンピュータ可読記録媒体は、例えば、ソリッドステートドライブ（SSD）、ROM、RAM又はフラッシュメモリなどのような半導体記憶装置、ハードディスクやフロッピーディスクなどのような磁気ディスク記憶媒体、コンパクトディスクやDVDなどのような光記録媒体、フロップティカルディスクなどのような磁気－光記録媒体及び磁気テープなど、コンピュータなどの呼び出しによって実行される特定プログラムを格納可能な少なくとも1種の物理的装置を含んでよい。

【0089】

以上、プログラム分析装置及び方法を少なくとも1つの実施例を挙げて説明したが、プログラム分析装置及び方法が上述の実施例に限定されるものではない。当該技術の分野における通常の知識を有する者が上述の実施例に基づいて修正及び変形して具現可能な様々な装置や方法も、上述したプログラム分析装置及び方法の一例になり得る。例えば、説明された技術が説明された方法と異なる順序で行われたり及び／又は説明された構造、機能、回路、装置などの構成要素が説明された方法と異なる形態で結合又は組み合わせされたり、他の構成要素又は均等物によって代替されたり又は置換されても、上述したプログラム分析装置及び方法の一実施例になり得る。

10

20

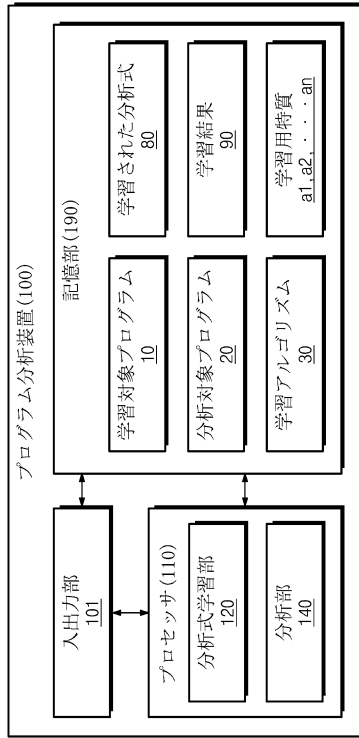
30

40

50

【図面】

【図 1】



【図 2】

$$\langle f_0 = \text{false}, f_1 = \text{false}, f_2 = \text{false} \rangle$$

$$\downarrow f_0 \text{ 学習}$$

$$\langle f_0 = (a_1 \wedge a_2 \wedge \dots) \vee \dots, f_1 = \text{false}, f_2 = \text{false} \rangle$$

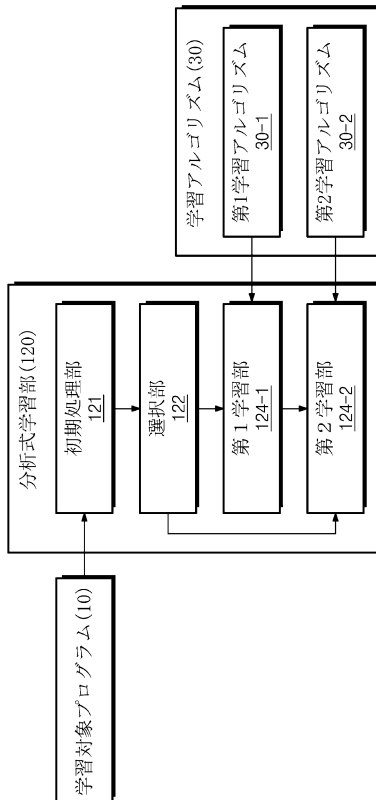
$$\downarrow f_2 \text{ 学習}$$

$$\langle f_0 = (a_1 \wedge a_2 \wedge \dots) \vee \dots, f_1 = \neg f_2 \wedge \neg f_0, f_2 = (\neg a_1 \wedge a_3 \wedge \dots) \rangle$$

10

20

【図 3】



【図 4】

```

1: procedure LEARN( $F, P, k, \mathbb{A}$ )
2:    $\langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle \leftarrow \langle \text{false}, \text{false}, \dots, \text{false} \rangle$ 
3:    $bot \leftarrow 0$ 
4:    $top \leftarrow k$ 
5:   while  $top \neq bot$  do
6:      $f_{rem} \leftarrow \neg (\bigvee_{n=0}^k f_n)$ 
7:      $b \leftarrow \text{ChooseProblem}(top, \langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle, F, P, f_{rem})$ 
8:     if ( $b = \text{true}$ ) then
9:        $f_{top} \leftarrow \text{GEN2SPEC}(top-1, top, \langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle, F, P, \mathbb{A}, f_{rem})$ 
10:       $top \leftarrow top-1,$ 
11:    else
12:       $f'_{top} \leftarrow \text{SPEC2GEN}(bot, top, \langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle, F, P, \mathbb{A}, f_{rem})$ 
13:       $f_{bot} \leftarrow f_{rem} \wedge \neg f'_{top}$ 
14:       $bot \leftarrow bot + 1$ 
15:    end if
16:  end while
17:   $f_{top} \leftarrow \neg (\bigvee_{n=0}^k f_n)$ 
18:  return  $\langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle$ 
19: end procedure

```

30

40

50

【図 5】

```

1: procedure GEN2SPEC(bot, top,  $\langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle$ , F, P, A, frem)
2:    $\mathbf{A} \leftarrow \mathbf{A} \cup \{\neg a_j \mid a_j \in \mathbf{A}\}$ 
3:    $f \leftarrow \{\{a_i\} \mid a_i \in \mathbf{A}\}$ 
4:    $W \leftarrow f$ 
5:   while  $W \neq \emptyset$  do
6:      $c \leftarrow \text{MostExpensiveClause}(W, F, P)$ 
7:      $W \leftarrow W \setminus \{c\}$ 
8:      $a \leftarrow \text{ChooseAtom}(\mathbf{A}, c)$ 
9:      $c' \leftarrow c \cup \{a\}$ 
10:     $f_{top} \leftarrow (f \setminus \{c\}) \cup \{c'\}$ 
11:     $\Pi \leftarrow \text{MakeDisjoint}(\text{bot}, \text{top}, f_{rem}, \langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle)$ 
12:    if Precise( $\Pi, F, P$ ) then
13:       $f \leftarrow f_{top}$ 
14:       $W \leftarrow W \cup \{c'\}$ 
15:    end if
16:  end while
17:  return  $f \wedge f_{rem}$ 
18: end procedure

```

【図 6】

```

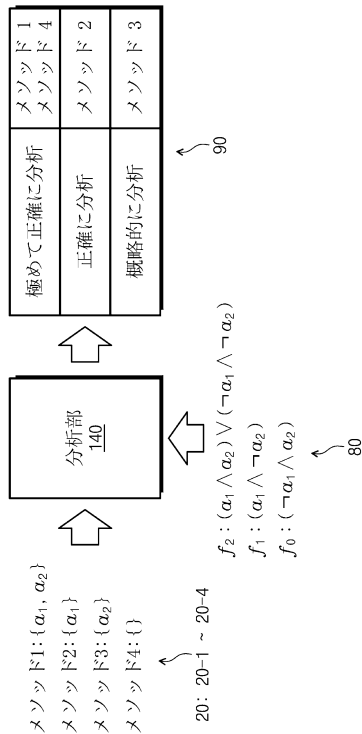
1: procedure SPEC2GEN(bot, top,  $\langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle$ , F, P, A, frem)
2:    $\mathbf{A} \leftarrow \mathbf{A} \cup \{\neg a_j \mid a_j \in \mathbf{A}\}$ 
3:    $f \leftarrow \text{InitialFormula}(\mathbf{A}, P)$ 
4:    $W \leftarrow f$ 
5:   while  $W \neq \emptyset$  do
6:      $c \leftarrow \text{ChooseClause}(W)$ 
7:      $W \leftarrow W \setminus \{c\}$ 
8:     while true do
9:        $a \leftarrow \text{ChooseAtom}(c)$ 
10:      if  $a = \text{false}$  then
11:        break
12:      end if
13:       $f_{top} \leftarrow (f \setminus \{c\}) \cup \{c \setminus \{a\}\}$ 
14:       $\Pi \leftarrow \text{MakeDisjoint}(\text{bot}, \text{top}, \langle f_0, f_1, \dots, f_k \rangle)$ 
15:      if Precise( $\Pi, F, P$ ) then
16:        return  $f_{top}$ 
17:      else
18:         $f \leftarrow f_{top}$ 
19:      end if
20:    end while
21:  end while
22:  return true
23: end procedure

```

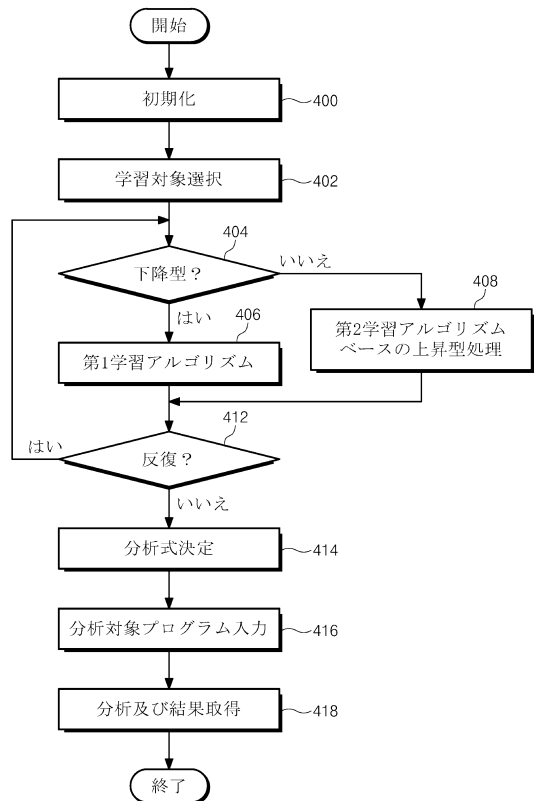
10

20

【図 7】



【図 8】



30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/KR2022/002759
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F 11/36(2006.01)i; G06N 20/20(2019.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06F 11/36(2006.01); G06F 1/00(2006.01); G06F 11/28(2006.01) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models: IPC as above Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 프로그램 테스트(program test), 상향식(bottom-up), 하향식(top-down), 선택(select), 함수(function)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-001825 A (FUJII ELECTRIC CO., LTD.) 05 January 2015 (2015-01-05) See claims 1-10.	1-15
A	KR 10-2114547 B1 (KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 25 May 2020 (2020-05-25) See paragraphs [0042]-[0052]; and figure 1.	1-15
A	KR 10-2018-0119260 A (CODEMIND CORPORATION et al.) 02 November 2018 (2018-11-02) See paragraphs [0054]-[0063]; and figure 3.	1-15
A	WO 98-06019 A2 (INTRINSA CORPORATION) 12 February 1998 (1998-02-12) See claims 1-22.	1-15
A	US 2020-0285563 A1 (FUJITSU LIMITED) 10 September 2020 (2020-09-10) See paragraphs [0065]-[0081]; and figures 3A-3B.	1-15
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 30 May 2022		Date of mailing of the international search report 30 May 2022
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208 Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

International application No.

PCT/KR2022/002759

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 1605968 A (NANJING UNIVERSITY) 13 April 2005 (2005-04-13) See claims 1-4.	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2022/002759

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2015-001825	A	05 January 2015	JP	6107455	B2	05 April 2017	
KR	10-2114547	B1	25 May 2020	KR	10-2019-0128457	A	18 November 2019	
KR	10-2018-0119260	A	02 November 2018	None				
WO	98-06019	A2	12 February 1998	JP	2002-515996	A	28 May 2002	
				JP	4633203	B2	16 February 2011	
				WO	98-06019	A3	26 March 1998	
US	2020-0285563	A1	10 September 2020	JP	2020-144842	A	10 September 2020	
				US	11237943	B2	01 February 2022	
CN	1605968	A	13 April 2005	CN	100465853	C	04 March 2009	

국제조사보고서

국제출원번호

PCT/KR2022/002759

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G06F 11/36(2006.01)i; G06N 20/20(2019.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G06F 11/36(2006.01); G06F 1/00(2006.01); G06F 11/28(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 프로그램 테스트(program test), 상향식(bottom-up), 하향식(top-down), 선택(select), 함수(function)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	JP 2015-001825 A (FUJIELECTRIC CO., LTD.) 2015.01.05 청구항 1-10	1-15
A	KR 10-2114547 B1 (한국과학기술원) 2020.05.25 단락 [0042]-[0052]; 및 도면 1	1-15
A	KR 10-2018-0119260 A (코트마인드(주) 등) 2018.11.02 단락 [0054]-[0063]; 및 도면 3	1-15
A	WO 98-06019 A2 (INTRINSA CORPORATION) 1998.02.12 청구항 1-22	1-15
A	US 2020-0285563 A1 (FUJITUS LIMITED) 2020.09.10 단락 [0065]-[0081]; 및 도면 3A-3B	1-15
A	CN 1605968 A (NANJING UNIVERSITY) 2005.04.13 청구항 1-4	1-15
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: "A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 "D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 "E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 "L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 "O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 "P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 "T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 "X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. "Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. "&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2022년05월30일(30.05.2022)		국제조사보고서 발송일 2022년05월30일(30.05.2022)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 양정복 전화번호 +82-42-481-5709

서식 PCT/ISA/210 (두 번째 용지) (2019년 7월)

10

20

30

40

50

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2022/002759

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2015-001825 A	2015/01/05	JP 6107455 B2	2017/04/05
KR 10-2114547 B1	2020/05/25	KR 10-2019-0128457 A	2019/11/18
KR 10-2018-0119260 A	2018/11/02	없음	
WO 98-06019 A2	1998/02/12	JP 2002-515996 A	2002/05/28
		JP 4633203 B2	2011/02/16
		WO 98-06019 A3	1998/03/26
US 2020-0285563 A1	2020/09/10	JP 2020-144842 A	2020/09/10
		US 11237943 B2	2022/02/01
CN 1605968 A	2005/04/13	CN 100465853 C	2009/03/04

서식 PCT/ISA/210 (대응특허 추가용지) (2019년 7월)

フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,N
E,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,
CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JM,JO,J
P,KE,KG,KH,KN,KP,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,N
G,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,
TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. Z I G B E E
0 6 - 2 5 0 1

(72)発明者 オ、ハク ジュ
大韓民国、0 6 0 0 1 ソウル、カンナムーグ、アプグジョンー口、1 5 1、# 1 2 2 - 1 0 0 2

(72)発明者 ジョン、ミン ソク
大韓民国、0 5 5 0 7 ソウル、ソンパーグ、オリンピッククー口、4 3 5、# 2 0 6 - 2 5 0 1

F ターム (参考) 5B042 HH08
5B376 BC69