

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 5 月 6 日(06.05.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/067550 A1

- (51) 国際特許分類:
G08G 1/16 (2006.01) G06N 5/04 (2006.01)
B60R 21/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/005261
- (22) 国際出願日: 2015 年 10 月 19 日(19.10.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-220329 2014 年 10 月 29 日(29.10.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社デンソー(DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 Aichi (JP). 国立大学法人 東北大学(TOHO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 井之上 直也(INOUE, Naoya); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地株式会社デンソー内 Aichi (JP). 奥野 英一(OKUNO, Eiichi); 〒

4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地株式会社デンソー内 Aichi (JP). 安部 克則(ABE, Katsunori); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地株式会社デンソー内 Aichi (JP). 近藤 敏之(KONDOH, Toshiyuki); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地株式会社デンソー内 Aichi (JP). 栗谷 康隆(KURIYA, Yasutaka); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地株式会社デンソー内 Aichi (JP). 乾 健太郎(INUI, Kentaro); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号国立大学法人 東北大学内 Miyagi (JP).

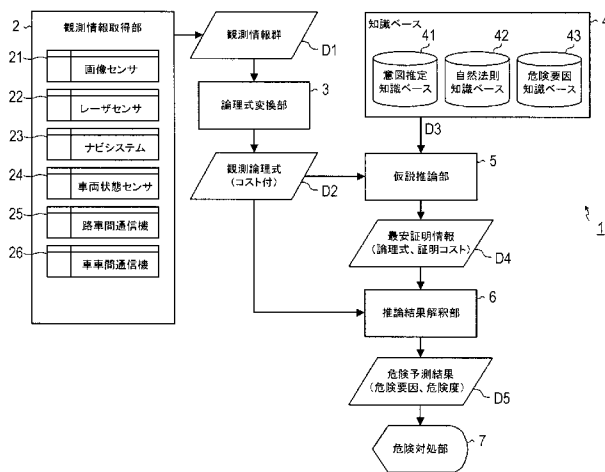
(74) 代理人: 金 順姫(KIN, Junhi); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦 2 丁目 1 3 番 1 9 号 瀧定ビル 6 階 Aichi (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,

[続葉有]

(54) Title: RISK PREDICTION DEVICE AND DRIVING ASSISTANCE SYSTEM

(54) 発明の名称: 危険予測装置、運転支援システム



- 2 Observation information acquisition unit
3 Logical expression conversion unit
4 Knowledge base
5 Hypothesis inference unit
6 Inference result interpretation unit
7 Risk addressing unit
21 Image sensor
22 Laser sensor
23 Navigation system
24 Vehicle state sensor
25 Road-to-vehicle communication device
26 Vehicle-to-vehicle communication device
41 Intention estimation knowledge base
42 Natural law knowledge base
43 Risk factor knowledge base
D1 Observation information group
D2 Observation logical expression (with cost)
D4 Cheapest verification information (logical expression, verification cost)
D5 Risk prediction result (risk factor, risk degree)

(57) Abstract: Provided is a technique that achieves accurate risk prediction in accordance with the surrounding situation. An observation information acquisition unit (2) acquires observation information related to the surrounding situation of a vehicle. A logical expression conversion unit (3) converts the observation information acquired by the observation information acquisition unit into a logical expression that expresses the surrounding situation of the vehicle. A hypothesis inference unit (5) verifies, as the subject to be verified, a risk predicted from said logical expression, which has been converted by the logical expression conversion unit, by weighted hypothesis inference using a knowledge base (4) which is a set of rules that describe, with logical expressions, risks occurring while driving the vehicle and general knowledge. An inference result interpretation unit (6) finds the risk degree for the verified risk from a verification cost found in the course of the inference by the hypothesis inference unit, and correlates the logical expression used for the verification with the observation information.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/067550 A1



LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ロツパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

周囲の状況に応じた的確な危険予測を実現する技術を提供する。観測情報取得部(2)は、車両の周辺状況に関する観測情報を取得する。論理式変換部(3)は、観測情報取得部にて取得された観測情報を、車両周辺の状況を表現する論理式に変換する。仮説推論部(5)は、車両運転時に現れる危険および一般的な知識を、論理式で記述したルールの集合である知識ベース(4)を用い、重み付き仮説推論によって、前記論理式変換部にて変換された論理式から予測される危険を証明対象として証明を実施する。推論結果解釈部(6)は、仮説推論部での推論の過程で求められる証明コストから、証明された危険についての危険度を求めると共に、証明に使用された論理式を観測情報に関連づける。

明 細 書

発明の名称：危険予測装置、運転支援システム

関連出願の相互参照

[0001] 本出願は、2014年10月29日に出願された日本国特許出願2014-220329号に基づくものであり、その開示をここに参照により援用する。

技術分野

[0002] 本開示は、仮説推論により車両運転時に生じる各種危険を予測する技術に関する。

背景技術

[0003] 従来、画像センサ等により、車両の周辺状況をセンシングした結果を用いて、交通シーンの危険性を判定し、運転者に警告する技術が研究されている。

[0004] 例えば、センシング結果を表す論理式から、一般常識等を論理式によって定義したルールの集合である知識ベースを用いて、論理式を用いて予め定義された危険の存在を証明できるか否かを判定する。そして、証明された危険について、その危険に対して予め割り当てられた危険度と共に出力する技術が知られている（特許文献1参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Andreas D. Lattner, Ingo J. Timm, Martin Lorenz, and Ott hein Herzog.” Knowledge-based Risk Assessment for Intelligent Vehicles” KIMAS2005.

発明の概要

[0006] しかしながら、従来技術では、出力される危険度が、予測対象となる危険の種類だけに依存しており、実態とはかけ離れたものとなる可能性がある。

[0007] 即ち、証明の過程では、周囲状況の検出結果（観測情報）が証拠として使

用されるが、その観測情報の信頼度や、どのような過程で証明されたかについて従来技術では、全く考慮されない。このため、観測情報から十分に支持されないこじつけの推論による証明から得られたか、観測情報から十分に支持された推論による証明から得られたかによらず、証明された危険の種類が同じでさえあれば、その危険度は同じ大きさとなってしまう。

[0008] 例えば、死角から子供が飛び出してくる可能性があるという危険が証明された場合、「死角の近くにボールがある」という観測情報が得られている場合と、「ボールがある」という観測情報はなく「死角がある」という観測情報のみが得られている場合とでは、通常、より多くの観測情報が得られている前者の方が、危険度が高いと感じるはずである。しかし、従来技術では、どちらも同じ危険度となってしまう。

[0009] 本開示は、こうした点に鑑みてなされたものであり、その目的の一つは、周囲の状況に応じた的確な危険予測を実現する技術を提供することにある。

[0010] 本開示の一例に係る危険予測装置は、観測情報取得部と、論理式変換部と、仮説推論部と、推論結果解釈部とを備える。

[0011] 観測情報取得部は、車両の周辺状況に関する観測情報を取得する。論理式変換部は、観測情報取得部にて取得された観測情報を、車両周辺の状況を表現する論理式に変換する。仮説推論部は、車両運転時に現れる危険および一般的な知識を、論理式で記述したルールの集合である知識ベースを用い、重み付き仮説推論によって、論理式変換部にて変換された論理式から予測される危険を証明対象として証明を実施する。推論結果解釈部は、仮説推論部での推論の過程で求められる証明コストから、証明された危険についての危険度を求めると共に、証明に使用された論理式を観測情報に関連づける。なお、証明された危険が、観測情報から予測される危険といえる。

[0012] このような構成によれば、仮説推論によって単に危険の有無を判断するだけでなく、証明のよさを表す証明コストを求め、その証明コストから、証明された危険の危険度を求めている。従って、証明のよさ、即ち、証明に適用する証拠（観測情報）やルールの信頼度を、危険度に反映させることができ

るため、周囲の状況に応じた的確な予測を実現することができる。

[0013] また、本開示の一例に係る運転支援システムは、上述の危険予測装置と、支援実行装置とを備える。支援実行装置は、危険予測装置により証明された危険に対処するための運転支援処理を実行する。

[0014] このような構成によれば、信頼性の高い運転支援処理を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0015] 本開示についての上記および他の目的、特徴や利点は、添付の図面を参照した下記の詳細な説明から、より明確になる。添付図面において

[図1]図1は、運転支援システムの構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、論理式変換部が実行する処理のフローチャートである。

[図3]図3（a）は認識された物体と論理定数との対応関係を例示する説明図であり、図3（b）は観測情報から論理式への変換ルールを例示する説明図である。

[図4]図4は、観測リテラルへのコストの付与例を示す説明図である。

[図5]図5（a）～（c）は、知識ベースの内容を例示する説明図であり、（a）は意図推定知識ベース、（b）は自然法則知識ベース、（c）は危険要因知識ベースである。

[図6]図6は、第1実施形態における仮説推論部が実行する処理のフローチャートである。

[図7]図7は、運転シーンの具体例、運転シーンから抽出される観測情報を例示する説明図である。

[図8]図8（a）は死角とボールが認識される運転シーンと証明候補の関係を例示する説明図であり、図8（b）は証明の手順および証明コストの算出方法などを示す説明図である。

[図9]図9（a）は死角が認識される運転シーンと証明候補の関係を例示する説明図であり、図9（b）は証明の手順および証明コストの算出方法などを示す説明図である。

[図10]図10(a)は死角とボールらしきものが認識される運転シーンと証明候補の関係を示す説明図、図10(b)は証明の手順および証明コストの算出方法などを示す説明図である。

[図11]図11は、第2実施形態における仮説推論部が実行する処理のフローチャートである。

[図12]図12(a)は運転シーンと運転シーンから抽出される観測情報を例示する説明図であり、図12(b)は証明の手順を示す説明図である。

[図13]図13は、第3実施形態における仮説推論部および物理計算部が実行する処理のフローチャートである。

[図14]図14(a)は仮説推論の対象となる状況を示す説明図であり、図14(b)は物理計算部での軌跡の計算結果、および仮説推論の結果を示す説明図であり、物理計算部での結果が仮説推論の結果に影響を与える例である。

[図15]図15(a)は仮説推論の対象となる状況を示す説明図であり、図15(b)は物理計算部での軌跡の計算結果、および仮説推論の結果を示す説明図であり、物理計算部での結果が仮説推論の結果に影響を与えない例である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、実施形態について、図面を用いて説明する。

[0017] <1. 第1実施形態>

<1. 1. 全体構成>

図1に示す運転支援システム1は、観測情報取得部2、論理式変換部3、知識ベース4、仮説推論部5、推論結果解釈部6、危険対処部7を備える。このうち、少なくとも、論理式変換部3、仮説推論部5、推論結果解釈部6は、CPU、ROM、RAMを中心に構成された図示しないマイクロコンピュータが実行する処理によって実現される。

[0018] <1. 2. 観測情報取得部>

観測情報取得部2は、車両の挙動や状態を検出する、画像センサ21、レ

ーザセンサ 22、ナビゲーションシステム 23、車両状態センサ群 24、路車間通信機 25、車車間通信機 26 等から得られる情報に基づいて、車両の状況や車両周辺の状況を観測し、車両周辺に存在する各オブジェクトの観測情報を生成する。以下では、各オブジェクトの観測情報の集合を観測情報群 D1 とよぶ。

[0019] なお、車両状態センサ群 24 からは、車両の挙動や車両の状態に関する情報を取得する。画像センサ 21 やレーザセンサ 22 からの検出結果は、これ进行处理することによって自車両周辺に存在する各種物体に関する情報を取得する。路車間通信機 25 からは、通信相手となるインフラを介して渋滞や道路規制などに関する情報を取得する。車車間通信機 26 からは、他車両の挙動に関する情報を取得する。ナビゲーションシステム 23 からは、自車両の現在地や現在地周辺の地図情報から得られる各種情報を取得する。

[0020] そして、これらの情報から生成する観測情報には、少なくとも、オブジェクトの種類、オブジェクトの属性、情報の信頼度に関する情報が含まれている。オブジェクトの属性としては、例えば、オブジェクトが移動体である場合、オブジェクトの位置や移動速度、移動方向などが含まれる。また、オブジェクトが人間である場合、性別、大人／子供、持ち物等の情報が含まれていてもよい。なお、信頼度に関する情報は、例えば、ここに参照により援用する特開 2008-26997 号公報に開示されている技術を用いて取得することが考えられる。

[0021] <1. 3. 論理式変換部>

論理式変換部 3 は、観測情報取得部 2 にて生成された観測情報群 D1 を論理式に変換する。以下では、論理式を構成するリテラルを、 L_i で表現するものとする。但し、 i は識別子であり正整数によって表される。リテラルとは、部分論理式を持たない論理式のことをいう。また、各リテラルにはコストを付与する。コストは、リテラルの信頼度、ひいてはリテラルの生成源となった観測の信頼度に応じて設定される値であり、 c_i で表現するものとする。コスト c_i は、ここでは、1～100 の間で信頼度に反比例する値に設

定される。つまり、コスト $c_i = 1$ は、リテラル L_i で表現される内容が確実に成立すること、即ち、信頼度が 100%であることを意味する。また、コスト $c_i = 100$ は、リテラル L_i で表現される内容が成立するか否かが全く不明であること、即ち、信頼度が 0%であることを意味する。以下では、コスト付きリテラルを $L_i^{c_i}$ で表すものとする。

[0022] 以下、処理の詳細を、図 2 に示すフローチャートを用いて説明する。

[0023] 論理式変換部 3 として機能するマイクロコンピュータ（以下、「変換マイコン」という）は、まず、観測情報群 D 1 を構成する観測情報のそれぞれに、物体（オブジェクト）を識別するための識別名を付与することで識別名付き観測情報群 D 1 1 を生成する（S 1 1 0）。なお、識別名には、図 3（a）に示すように、アルファベットなどの記号からなる論理定数を用いる。

[0024] 次に、変換マイコンは、識別名付き観測情報群 D 1 1 を構成する観測情報を、予め用意された変換ルール 3 1 と照合して、リテラル L_i に変換すると共に、各リテラル L_i のコストを一律に $c_i = 1$ に設定する。そして、これらのコスト付きリテラルを AND（∧）で結合した論理式である観測論理式 D 1 2 を生成する（S 1 2 0）。

[0025] なお、変換ルールは、例えば図 3（b）に示すように、天候や道路の状態に関するもの（雨が降っている／夜間である／交差点がある等）、物体の属性に関するもの（物体 X は自動車である／物体 Y は歩行者である／物体 Y は傘をさしている等）、物体間の位置関係に関するもの（X の前方に Y がいる／交差点 C 上に Y がいる／交差点 C に対して X よりも Y の方が近い等）などがある。

[0026] 図 2 に戻り、変換マイコンは、観測論理式 D 1 2 を構成するコスト付きリテラル $L_i^{c_i}$ のそれぞれについて、図 4 に例示するように、その生成源となった観測情報に関する認識の信頼度に応じてコスト c_i を調整し、その調整結果をコスト付き観測論理式 D 2 として出力する（S 1 3 0）。

[0027] < 1. 4. 知識ベース >

知識ベース 4 は、一般的な知識を論理式によって表現したものであり、意

図推定知識ベース 4 1 と、自然法則知識ベース 4 2 と、危険要因知識ベース 4 3 とで構成されている。

[0028] 各知識ベース 4 1 ～ 4 3 の内容は、 A_j 、 C をリテラル、 w_j をリテラル A_j の重みとして、(1) 式に示す形式の論理式で表現される。重み w_j は 0 以上の実数値に設定される。

[0029] [数1]

$$A1^{w1} \wedge A2^{w2} \wedge \dots \wedge An^{wn} \rightarrow C \quad (1)$$

意図推定知識ベース 4 1 は、ドライバの意図と、車両の状態や道路環境、検出された物体の位置関係等との関係を、述語論理の形式で記述したものである。例えば、図 5 (a) に示すように、「左折する意志があるなら、減速する意志もある」「左尾灯が点灯しているなら、左折する意志がある」「前方に大型車がいるなら、回避行動をとる」といった内容が論理式で表現される。

[0030] 自然法則知識ベース 4 2 は、物理法則や概念の矛盾関係、オブジェクト間の関係等を記述したものである。例えば、図 5 (b) に示すように、「大人と子供という性質は同時に存在しない」「自動車は同時に違う車線に属することはできない」「子供はサッカーボールを追いかける」といった内容が論理式で表現される。

[0031] 危険要因知識ベース 4 3 は、危険な周辺状況のパターンを記述したものであり、後件部が「危険 (risk)」となる論理式で表現される。例えば、図 5 (c) に示すように、「将来、自分と同じ位置に別のオブジェクトがいるならば、危険」「自分の目の前に、減速左折する意志を持つオブジェクトがあるならば、危険」「自分から見えないオブジェクトが突然飛び出してくるならば、危険」といった内容が論理式で表現される。

[0032] なお、知識ベース 4 に格納される論理式は、人手によって生成してもよいし、周知のテキストマイニング技術により、Web、事故事例を記録したデータベース等から自動獲得してもよい。また、リテラル A_j の重み w_j は、人手によって付与してもよいし、公知の教師あり機械学習手法（例えば、こ

ここに参照により援用する山本風人，井之上直也，渡邊陽太郎，岡崎直観，乾健太郎．誤差逆伝播を利用した重み付き仮説推論の教師あり学習．情報処理学会研究報告，Vol.2012-NL-206，May 2012.）等を利用して自動的に付与してもよい。

[0033] <1. 5. 論理式で使用する述語の例>

ここで、観測情報群D 1 から変換されるリテラルや、知識ベース4 の内容（論理式）の記述に使用されるリテラルの例を以下に列挙する。リテラルには、オブジェクトの種類を表現するもの、オブジェクトの状態を表現するもの、エージェントの意志を表現するもの、オブジェクト間の位置関係を表現するもの、オブジェクト間の意味的関係を表現するもの、道路状態を表現するもの等がある。

[0034] オブジェクトの種類を表現するリテラルとしては、例えば、大人（adult）、行為者（agent）、危険な行為者（dangerous-agent）、犬（dog）、老人（elder）、子供（child）、子供たち（children）、人（person）、子供の集団（group-of-children）、人の集団（group-of-persons）、歩行者（ambulance）、自転車（bicycle）、バス（bus）、車両（car）、車両の集団（group-of-cars）、バイク（motor-bicycle）、自動車（motor-cycle）、タンク／トラック（tank-truck）、タクシー（taxi）、バン（van）、乗り物（vehicle）、小道（alley）、アパート（apartment）、裂け目（break）、建物（building）、橋（bridge）、コーン（cone）、門（gate）、公園（park）、壁（wall）、十字路（cross-road）、横断歩道（cross-walk）、カーブ（curve）、下り坂（descent）、車線（lane）、交差点（intersection）、踏切（railroad-crossing）、信号（signal）、歩行者用信号（signal4walker）、安全地帯（safety-zone）、危険箇所（dangerous-spot）、マンホール（biscuit）、サッカーボール（soccer-ball）、物体（thing）、鉄板（iron-plate）、葉（leaf）、発光体（light）、荷物（load）、障害物（obstacle）、遮蔽物（screen）、水たまり（puddle）、砂地（sandy-spot）等がある。

- [0035] オブジェクトの状態を表現するリテラルとしては、例えば、左前照灯オン (left-head-lamp-on)、左尾灯オン (left-tail-light-on)、右前照灯オン (right-head-lamp-on)、右尾灯オン (right-tail-light-on)、駐車中 (being-parked)、空車 (empty)、青信号 (signal-blue)、青信号点滅 (signal-blue-blink)、黄信号 (signal-yellow)、上に何も無い (nothing-on)、駐車 (parked)、見えない (invisible-to)、見える (visible-to)、手を振る (waving-hands)、脱輪する (wheel-drop) 等がある。
- [0036] エージェントの意志を表す述語としては、例えば、横断する (will-across)、回避する (will-avoid)、車線から外れる (will-be-out-of-lane)、方向を変更する (will-change-direction)、車線変更する (will-change-lane)、横切る (will-cross)、道を譲る (will-give-way)、後に行く (will-go-back)、前に行く (will-go-front)、左に行く (will-go-left)、右に行く (will-go-right)、前側に移動する (will-move-front-side)、ドアを開く (will-open-door)、左のドアを開く (will-open-left-door)、追い越す (will-overtake)、飛び出す (will-rush-out)、速度を落とす (will-slow-down)、速度を上げる (will-speed-up)、(水や泥が) 飛び散る (will-splash)、現状を保つ (will-stay)、停止する (will-stop) 等がある。
- [0037] オブジェクト間の位置関係を表現するリテラルとしては、例えば、～の周辺 (around)、～の後側 (behind)、～の左後側 (left-behind)、～の左前側 (left-front-of)、～の左側 (left-of)、～の前側ではない (not-in-front-of)、～の左前側ではない (not-left-front-of)、～の左側ではない (not-left-of)、～の右後側 (right-behind)、～の右前側 (right-front-of)、～の右側 (right-of)、～の側方 (side-front-of)、～の前側 (front-side-of)、～の間 (in-between)、～の前側 (in-front-of)、～により近接している (is-closer-to)、最も近い乗り物 (is-closest-vehicle-to)、～の上に (on)、巻き込む (catch)、接触する (contact) 等がある。
- [0038] オブジェクト間の意味的关系を表現するリテラルとしては、例えば、～に属する (belongs-to)、～を持つ (has)、～を保つ (keep)、～の源 (moth

er-of)、～で遊ぶ (plays-at)、～に従う (follows)、～に乗る (ride-on)、～より重い (heavier-than) 等がある。

[0039] 道路状態を表現するリテラルとしては、例えば、環境 (environment)、施設 (facility)、工事現場 (construction-site)、雨 (rainy)、湿った (wet)、氷に覆われた (icy)、泥に覆われた (muddy)、暗い (dark)、雪に覆われた (snowy)、直線道路 (straight) 等がある。

[0040] <1. 6. 仮説推論部>

仮説推論部5は、論理式変換部3で変換された観測論理式D2と知識ベース4に記憶された論理式(以下「知識論理式D3」という)とに基づき、危険な状況についての仮説推論を実行する。ここでは、背景知識となる知識論理式D3を用いて、観測論理式D2から予測される危険を証明する。ここでは、重み付き仮説推論(ここに参照により援用するHobbs, Jerry R., Mark Stickel, Douglas Appelt, and Paul Martin, 1993. ``Interpretation as Abduction'', Artificial Intelligence, Vol. 63, Nos. 1-2, pp. 69-142. 参照)を用いることによって、最尤の証明を求める。

[0041] 以下、処理の詳細を、図6に示すフローチャートを用いて説明する。

[0042] 仮説推論部5として機能するマイクロコンピュータ(以下「推論マイコン」という)は、まず、観測論理式D2と「危険 (risk)」を表すリテラルを論理記号「AND (∧)」で結合した論理式を証明候補として生成すると共に、その生成した証明候補に対して後ろ向き推論を実行することにより、複数の証明候補を生成する(S210)。

[0043] より詳しくは、まず、最初の証明候補に含まれる「危険」を表すリテラルに、危険要因知識ベース43のルールを適用して複数の証明候補を作成する。なお、ここでいう「ルールを適用する」とは、証明候補を構成するあるリテラルを対象リテラルとして、対象リテラルをルールの後件部とする知識論理式D3を抽出し、証明候補中の対象リテラルを、抽出した知識論理式D3の前件部で置換することをいう。更に、その生成された複数の証明候補のそれぞれについて、その証明候補の任意のリテラルに対して、意図推定知識ベ

ース 4 1 および自然法則知識ベース 4 2 のルールを適用する手順を繰り返すことによって、連鎖的に複数の証明候補を生成する。このようにして生成された証明候補の集合を、以下では証明候補群 D 2 1 とよぶ。

[0044] 次に、証明候補群 D 2 1 に属する証明候補のそれぞれについて、証明コストを求め、証明コストが最安の証明候補である最安証明、即ち、最尤の証明を抽出し、その最安証明に関する論理式および証明コストを、最安証明情報 D 4 として出力する (S 2 2 0)。

[0045] なお、証明コストは、証明候補を構成する全てのリテラルのコストを合計することによって求める。このとき、「ルールの適用」があった場合は、置換前のリテラル (被置換リテラル) のコスト c_i に、置換後のリテラル (置換リテラル) に付与された重み w_j を乗じたものを、置換リテラルのコストとする。また、証明候補中に同一の述語を表すリテラルが存在する場合、コストの大きい方を削除して、両リテラルを単一化する。つまり、通常、ルールを適用することによって、証明候補を構成するリテラルの数が増加すると、証明コストが増大するが、証明候補中に同一のリテラルが存在する場合には、証明コストが低下する場合があることになる。このことは、直感的には、危険要因知識ベース 4 3 のルールのうち、より多くの観測論理式を使用して証明できるものが最尤の証明となることを表している。

[0046] < 1. 7. 証明候補の生成例 >

証明に使用されるルールである知識論理式 D 3 の集合 B が (2) 式、観測論理式を構成するリテラルの集合 O が (3) 式で表されるものとする。 $p(x)$, $q(x)$, $r(x)$, $s(x)$ は、リテラルを表す。

[0047] [数2]

$$B = \{p(x)^{1,2} \rightarrow q(x), (x)^{0,3} \wedge r(x)^{0,4} \rightarrow s(x)\} \quad (2)$$

$$O = \{q(a)^{0,0}, s(b)^{0,0}\} \quad (3)$$

まず、(4) 式に示すように、観測論理式そのものを証明候補 H 1 とすると、証明候補 H 1 の証明コスト $cost(H1)$ は、(5) 式で求められる。

[0048] [数3]

$$H1 = \{g(a)^{s10}, s(b)^{s10}\} \quad (4)$$

$$\text{cost}(H1) = 10 + 10 = 20 \quad (5)$$

次に、証明候補H 1 に属するリテラルq (a) に対してルールを適用すると、(6) に示す証明候補H 2 が生成される。なお、ここでは、証明候補H 2 から、被置換リテラルを削除することを、リテラルのコストを\$ 0 に設定することで表すものとする。証明候補H 2 の証明コストc o s t (H 2) は、(7) 式で求められる。証明候補H 2 は、ルールの適用、即ち後向き推論が行われたことにより、証明候補H 1 より証明コストが増加していることがわかる。

[0049] [数4]

$$H2 = \{g(a)^{s0}, s(b)^{s10}, p(a)^{s12+10-s12}\} \quad (6)$$

$$\text{cost}(H2) = 10 + 12 = 22 \quad (7)$$

次に、証明候補H 2 に属するリテラルs (b) に対してルールを適用すると、(8) 式に示す証明候補H 3 が生成される。この証明候補H 3 の証明コストc o s t (H 3) を、単純に求めた結果は(9) 式で表される。

[0050] [数5]

$$H3 = \{g(a)^{s0}, s(b)^{s0}, p(a)^{s12}, p(b)^{s8}, r(b)^{s4}\} \quad (8)$$

$$\text{cost}(H3) = 12 + 8 + 4 = 24 \quad (9)$$

しかし、証明候補H 3 には、同一のリテラルp (a) 、p (b) が存在するため、両者を単一化 (a = b) し、コストの大きいp (a) を削除する。これにより、証明候補H 3 は、(1 0) 式で表されることになる。つまり、証明候補H 3 の証明コストc o s t (H 3) は、実際には(1 1) 式で求められ、単一化により、証明コストが減少することがわかる。

[0051] [数6]

$$H3 = \{g(a)^{s0}, s(b)^{s0}, p(b)^{s8}, r(b)^{s4}, a=b\} \quad (10)$$

$$\text{cost}(H3) = 8 + 4 = 12 \quad (11)$$

< 1. 8. 推論結果解釈部 >

推論結果解釈部 6 は、最安証明情報 D 4 に基づき、観測論理式 D 2 および観測論理式 D 2 を構成する各リテラルに対応づけられた観測情報を参照して、現在の周囲状況から予測される危険を特定し、その特定された危険について、危険度を算出すると共に危険箇所を特定し、これらの情報を、危険予測結果 D 5 として出力する。

[0052] なお、危険の特定は、最安証明の生成に使用された危険要因知識ベース 43 のルールから特定することができる。また、危険度は、証明コストから求めることができる。具体的には、証明コストの逆数を危険度として求めることが考えられる。これに限らず、証明の結果・証明のコスト・自車の速度等を特徴量とした回帰モデルを用いて、危険度を求める等してもよい。危険箇所の特定には、最安証明を構成するリテラルを、観測論理式 D 2 を構成するリテラルに付与された識別名と関連づけ、その識別名を介して特定される観測情報に示されたオブジェクトの位置情報を利用することが考えられる。

[0053] < 1. 9. 危険対処部 >

危険対処部 7 は、危険予測結果 D 5 に基づき、予測された危険に対して、車両制御やドライバに対する通知等の危険対処を実行する。車両制御には、例えば、スピード制御、スピード抑制、緊急停止、危険を回避するための自動運転等が考えられる。ドライバに対する注意喚起の通知には、聴覚的な通知と、視覚的な通知とがある。聴覚的な通知としては、例えば、ブザーによる警告や音声ガイドによる警告等が考えられる。視覚的な通知としては、例えば、液晶ディスプレイに示された地図上での危険箇所の表示、フロントガラス一体型ディスプレイ（ヘッドアップディスプレイ）による危険箇所の表示や危険箇所への視線の誘導等が考えられる。また、危険対処部 7 は、予測された危険について求められた危険度の大きさに応じて実行する危険対処の内容を変化させてもよい。

[0054] < 1. 10. 具体例 >

ここで、図 7 に示すような、住宅街を走行中に遭遇するシーンを例にして

、運転支援システム 1 の動作を説明する。

[0055] まず、このシーンでは、観測情報の生成対象となるオブジェクトとして、車両の左側の壁、道路上のボール、車両の右側に見える車庫中の車などがある。そして、壁の観測情報として「種類：壁」「信頼度：0.89」との情報を含んだものが生成され、ボールの観測情報として「種類：ボール」「信頼度：0.9」との情報を含んだものが生成され、車庫中の車の観測情報として「種類：乗用車」「信頼度：0.78」との情報を含んだものが生成される。

[0056] <ケース 1>

次に、簡単のため、図 8 (a) に示すように、観測情報が「壁」と「ボール」だけであるものとして、その状況で生じるリスクを予測する場合について説明する。

[0057] まず、各オブジェクトに対して識別子となる論理定数を付与する。ここでは、「壁」には W、「ボール」には B が付与されるものとする。

[0058] 次に、観測情報をコスト付き観測リテラルに変換する。ここでは、「壁」は「 $\text{wall}(W)^{\$1}$ 」、「ボール」は「 $\text{soccer-ball}(B)^{\$1}$ 」に変換される。観測リテラルのコストは、観測情報中の信頼度の逆数を求めたものであるが、ここでは簡単のため、いずれも \$1 に設定している。

[0059] 次に、上述の観測リテラルと、「交通シーンにリスク R が存在する」ことを表すリテラルである「 $\text{risk}(R)^{\$100}$ 」を用いて証明候補（第 1 証明候補）「 $\text{wall}(W)^{\$1} \wedge \text{soccer-ball}(B)^{\$1} \wedge \text{risk}(R)^{\$100}$ 」を生成する。危険を表すリテラルのコストが \$100 である理由は、そのリスクが存在するか否かが不明であるからである。

[0060] 次に、図 8 (b) に示すように、第 1 証明候補のリテラル「 $\text{risk}(R)$ 」に、危険要因知識ベース 43 のルールの一つを適用する。ここでは、「 $\forall x \text{ invisible}(x)^{0.4} \wedge \text{child}(x)^{0.4} \wedge \text{will-rush-out}(x)^{0.4} \rightarrow \exists r \text{ risk}(r)$ 」というルールを適用する（図中 A P 1 参照）。このルールは、「x が不可視である」かつ「x が子供である」かつ「x が飛び出す」、即ち、「（壁で生

じる) 死角から子供が飛び出してくる」のであれば「危険である」という知識を表現したものである。このルールを適用することにより、ルールの前件部を構成する各リテラル(置換リテラル)のコストは、いずれも\$40(=\$100×0.4)となる。これを、新たな証明候補(第2証明候補)として追加する。

[0061] 次に、意図推定知識ベース41および自然法則知識ベース42を用いて置換リテラルを後件部とするルールを検索し、そのようなルールがあれば、そのルールを置換リテラルに適用する。ここでは、「 $\forall x, y \text{ wall}(x)^{1.0} \wedge \text{behind}(y, x)^{0.2} \rightarrow \text{invisible}(y)$ 」(図中AP2参照)、「 $\forall x, y \text{ soccer-ball}(x)^{1.0} \wedge \text{follows}(y, x)^{0.55} \rightarrow \text{will-rush-out}(y)$ 」(図中AP3参照)という二つのルールを適用する。前者のルールは「xが壁である」かつ「yがxの背後にいる」、即ち「yが壁の背後にいる」のであれば「yは不可視である」という知識を表現したものである。後者のルールは「xがサッカーボールである」かつ「yがxを追いかける」、即ち「yがサッカーボールを追いかける」のであれば「yが飛び出す」という知識を表現したものである。これらのルールを適用することにより、置換リテラルである「wall(x)」「behind(y, x)」「soccer-ball(x)」「follows(y, x)」のコストは、それぞれ、\$40(=\$40×1.0)、\$8(=\$40×0.2)、\$40(=\$40×1.0)、\$22(=\$40×0.55)となる。このとき、被置換リテラルである「invisible(y)」「will-rush-out(y)」のコストは、削除したことを表す\$0となる。また、置換リテラルである「wall(x)」「soccer-ball(x)」については、同一の観測リテラルが存在するため(図中の矢印線を参照)、コストを比較し、コストの高い置換リテラルは削除される。なお、「invisible(y)」を後件部とするルールのみを適用した場合を第3証明候補、「will-rush-out(y)」を後件部とするルールのみを適用した場合を第4証明候補、両ルールを適用した場合を第5証明候補として追加する。

[0062] 実際には、第3～第5証明候補の置換リテラルに対して、更にルールの適用を行って新たな証明候補を生成するが、ここでは簡単のため説明を省略す

る。

[0063] 次に、第1～第5証明候補の証明コストを求めると、それぞれ\$102、\$122、\$90、\$104、\$72となる。つまり、第5証明候補が最尤の証明となり、証明コストを用いて危険度が算出される。また、第5証明候補を構成するリテラルと観測情報を関連づけることによって、各オブジェクト（壁やボール）の位置を特定することによって、危険箇所を特定する。

[0064] <ケース2>

次に、図9（a）に示すように、「ボール」が観測されていない以外は、ケース1と同じシーン、即ち、観測情報が「壁」だけである状況である場合について説明する。

[0065] この場合、ケース1と同様の後向き推論が実施され、同様の証明候補が生成される。但し、図9（b）に示すように、「soccer-ball(x)」のリテラルが存在せず、これについての単一化が行われなため、ケース1の場合とは異なった証明コストが得られる。そして、ここでは、第3証明候補が最尤の証明となり、その証明コストは\$89となる。つまり、予測される危険要因は、ケース1の場合と同じであるが、その危険度は、ケース1の場合より小さな値となる。なお、図では「will-rush-out(y)」を後件部とするルールを適用する例は、証明コストが大きくなるため、図示を省略している。

[0066] <ケース3>

次に、図10（a）に示すように、ケース1と同じシーンで、「ボール」についての観測情報の信頼度が低い場合、即ち、「ボール」を表すリテラルのコストがケース1の時より大きい場合について説明する。

[0067] この場合、ケース1と同様の後向き推論が実施され、同様の証明候補が生成される。但し、図10（b）に示すように、リテラル「soccer-ball(x)」のコストが大きいため、ケース1とは異なった証明コストが得られる。ここでは、ケース1と同様に第5証明候補が最尤の証明となるが、その証明コストはケース1とは異なり\$81となる。つまり、予測される危険は、ケース1、2の場合と同じであるが、その危険度は、ケース1より小さくケース2

より大きな値となる。

[0068] <1. 1.1. 効果>

以上説明したように、運転支援システム1では、仮説推論によって危険予測をする際に、単に危険の有無を判断するのではなく、観測の信頼度に応じたコストと、知識のルールを構成する各リテラルに予め付与された重みから証明コストを求め、証明された危険の危険度を、証明コストに従って設定するようにしている。

[0069] つまり、証明に適用する証拠（観測論理式）やルールの信頼度を、証明された危険の危険度に反映させることができるため、周囲の状況に応じた的確な危険予測を実現することができる。

[0070] 更に、運転支援システム1では、その的確に予測された危険に対処する運転支援を実行するため、信頼性の高い運転支援を実現することができる。

[0071] また、運転支援システム1では、証明に適用するルールを記憶する知識ベース4に、意図推定知識ベース4.1や自然法則知識ベース4.2が含まれているため、人間の意図に起因する危険や、自然法則により引き起こされる危険を推論することができる。

[0072] <2. 第2実施形態>

第2実施形態は、基本的な構成は第1実施形態と同様であるため、共通する構成については説明を省略し、相違点を中心に説明する。

[0073] 前述した第1実施形態では、危険度が最大となる危険要因に関する証明を一つだけ抽出する。これに対し、本実施形態では、危険度が大きい複数の危険要因に関する証明を抽出する点で第1実施形態とは相違する。具体的には、仮説推論部での処理が一部異なる。

[0074] <2. 1. 仮説推論部>

仮説推論部5Aにて実行される処理を、図11に示すフローチャートを用いて説明する。

[0075] 仮説推論部5Aとして機能する推論マイコンは、まず、第1実施形態の仮説推論部5での処理と同様の処理を実行する（S210～S220）。

[0076] そして、仮説推論を終了させるために予め設定された終了条件が成立しているか否かを判断する（S 2 3 0）。具体的には、例えば、予め決められた数の最安証明が抽出されていること、あるいは抽出された最安証明の証明コストが予め設定された閾値以上になっていること、全ての証明候補について処理が実行されることなどを終了条件とすることが考えられる。

[0077] 終了条件が成立していれば（S 2 3 0 : Y E S）、S 2 2 0 で選択された全ての証明について、その証明の論理式および証明コストを出力する。

[0078] 終了条件が成立していなければ（S 2 3 0 : N O）、S 2 2 0 で選択された最安証明の否定論理式を生成する（S 2 4 0）。

[0079] この生成された否定論理式を、観測論理式に加えて、再び、証明候補の生成（S 2 1 0）、最安証明の選択（S 2 2 0）を繰り返す。

[0080] < 2. 2. 具体例 >

図 1 2（a）に示すように、図 7 で説明したものと同一シーンを前提とする。また、上述の終了条件は、3 つの最安証明が抽出されるところを用いるものとする。

[0081] 図 1 2（b）に示すように、1 周目の仮説推論では、観測情報から「ボール B がある」「壁 W がある」「赤い車 R がいる」「T 字路 C がある」というリテラルで構成された観測論理式を生成し、この観測論理式を用いて証明候補の生成、最安証明の選択を行う。ここでは、「壁 W の影から子供 X が飛び出すので、危険」という証明候補が最安証明として選択され、その証明コストは 7 0 となる。この時点では、一つの最安証明が抽出されているだけであり、終了条件は成立しない。このため、最安証明を否定する論理式「壁 W の影から子供は飛び出さない」（第 1 否定論理式）が生成される。

[0082] 2 周目の仮説推論では、1 回目の仮説推論で使用した観測論理式に、第 1 否定論理式を加えて、証明候補の生成、最安証明の選択を行う。ここでは「赤い車 R が突然バックしてくるので、危険」という証明候補が最安証明として選択され、その証明コストは 8 0 となる。この時点では、二つの最安証明が抽出されているだけであり、終了条件は成立しない。このため、最安証明

を否定する論理式「赤い車Rはバックしてこない」（第2否定論理式）が生成される。

[0083] 3周目の仮説推論では、2回目の仮説推論で使用した観測論理式に、第2否定論理式を加えて、証明候補の生成、最安証明の選択を行う。ここでは「T字路Cの視覚から自動車Yが飛び出すので、危険」という証明候補が最安証明として選択され、その証明コストは85となる。この時点では、三つの最安証明が抽出されており、終了条件が成立する。このため、2回の推論で得られた3つの最安証明が出力されることになる。

[0084] なお、3周目の推論でも終了条件が成立しなかった場合は、最安証明を否定する論理式「T字路Cの死角から自動車は飛び出さない」（第3否定論理式）が生成される。以下、同様に4周目以降の推論が実行され、新たな最安証明が抽出されることになる。

[0085] <2. 3. 効果>

以上説明したように、本実施形態では、選択された最安証明を証明候補から除外して、仮説推論を繰り返すことにより新たな最安証明を選択している。これにより、証明コストの小さい順、即ち、危険度の高い順に複数の危険を、効率良く抽出することができる。また、その結果を用いて、複数の危険に同時に対処する運転支援処理を実現することができる。

[0086] 一般に、証明候補の数は膨大であるため、あらゆる証明候補を生成し、コストの安い順に証明を抽出することは現実的ではない。一方で、最尤の証明を求める手法には高速な手法が提案されており（例えば、ここに参照により援用するNaoya Inoue and Kentaro Inui, ILP-based Inference for Cost-based Abduction on First-order Predicate Logic, Journal of Natural Language Processing, Vol.20, No.5, pp.629-656, December 2013.）、これを利用することにより効率的に複数の証明を列挙することが可能になる。

[0087] <3. 第3実施形態>

第3実施形態は、基本的な構成は第1実施形態と同様であるため、共通する構成については説明を省略し、相違点を中心に説明する。

[0088] 前述した第 1, 2 実施形態では、観測情報から得られた観測論理式に従って仮説推論を行っている。これに対し、本実施形態では、選択された最安証明の内容から、移動物体の挙動をシミュレーションし、そのシミュレーションの結果を観測論理式に加えて仮説推論を繰り返す点で上述の実施形態とは相違する。具体的には、仮説推論部 5 B の構成が一部異なると共に、新たに物理計算部 8 が追加されている。

[0089] < 3. 1. 仮説推論部 >

仮説推論部 5 B にて実行される処理を、図 13 に示すフローチャートを用いて説明する。

[0090] 仮説推論部 5 B として機能する推論マイコンは、まず、第 1 実施形態の仮説推論部 5 での処理と同様の処理を実行する (S 210 ~ S 220)。

[0091] そして、選択された最安証明から、移動体の意図に関する情報を抽出する (S 250)。移動体の意図に関する情報とは、例えば「〇〇を避ける」「××に飛び出す」「速度を落とす」などがある。

[0092] 次に、仮説推論を終了させるために予め設定された終了条件が成立しているか否かを判断する (S 260)。具体的には、例えば、最安証明から抽出される移動体の意図が、過去に推論された意図と同一であることや、シミュレーションの結果を加えた仮説推論を繰り返すことによって抽出された危険の数が所定数に達していることなどを終了条件とすることが考えられる。

[0093] 終了条件が成立していれば (S 260 : YES)、S 220 で選択された全ての証明について、その証明の論理式および証明コストを出力する。

[0094] 終了条件が成立していなければ (S 260 : NO)、S 250 で抽出した移動体の意図に関する意図情報を物理計算部 8 に渡す。

[0095] < 3. 2. 物理計算部 >

物理計算部 8 は、仮説推論部 5 B と同様に、マイクロコンピュータが実行する処理によって実現される。

[0096] 物理計算部 8 として機能するマイクロコンピュータ (以下「物理計算マイコン」という) は、仮説推論部 5 B から意図情報を取得すると、観測情報群

D 1 のうち、自車両および意図情報の対象となる移動体を含む自車両の周囲に存在する物体の挙動を表す情報（位置、速度、移動方向）に基づいて、自車両および各物体の軌道を求める（S 3 1 0）。

[0097] 次に、求めた軌道に基づき自車両と各物体とが衝突するか否かをシミュレーションによって判定し、物体毎の判定結果を論理式で表現した物体衝突情報を生成する（S 3 2 0）。この物体衝突情報の集合を物体衝突情報群 D 3 1 とよぶ。この物体衝突情報群 D 3 1 は、仮説推論部 5 B に提供される。

[0098] 仮説推論部 5 B は、物理計算部 8 から提供された物体衝突情報群 D 3 1 を観測論理式 D 2 に加えて、再び、証明候補の生成（S 2 1 0）、最安証明の選択（S 2 2 0）、移動体意図情報の抽出（S 2 6 0）を繰り返す。

[0099] <3. 3. 具体例>

自車両の前を二輪車が走行しており、二輪車の走行経路上に水たまりがあるシーンを前提とする。

[0100] <シーン 1>

まず、図 1 4（a）に示すように、自車両と二輪車とが接近した状態にある場合について説明する。

[0101] 仮説推論部 5 B は、最安証明として、観測論理式と同一の証明を選択する。この最安証明からは、意図は抽出されない。

[0102] 物理計算部 8 は、自車両を含む自車両周辺の物体に関する観測情報 D 1 に基づいて、物体の移動軌跡を求める。この結果、二輪車と水たまりが衝突することが予測されるため、「二輪車（MotorBicycle）と水たまり（Puddle）が衝突する」という内容の物体衝突情報を生成する。

[0103] 仮説推論部 5 B は、物理計算部 8 にて生成された物体衝突情報を観測論理式 D 2 に加えて仮説推論を再度実行する。その結果、仮説推論部 5 B は、最安証明として、「二輪車（MotorBicycle）が水たまり（Puddle）を避ける」を選択し、更に、この最安証明から「二輪車が水たまりを避ける」を意図情報として抽出する。

[0104] 物理計算部 8 は、抽出された意図情報と、自車両を含む自車両周辺の物体

に関する観測情報群D 1 とに基づいて、物体の移動軌跡を求める。特に、意図情報の対象となる物体（ここでは二輪車）については、意図を反映した移動軌跡を予測する。物理計算部8は、求めた移動軌跡に基づき、自車両が他の物体と衝突するか否かを、シミュレーションを用いて判定する。シーン1では、図14（b）に示すように、自車両と二輪車とが衝突することが予測されるため、「自車両（Me）と二輪車が衝突する」という内容の物体衝突情報を生成する。なお、二輪車以外の物体（対向車、併走車、先々行車、路側物、落下物等）が存在する場合には、自車両とそれら物体との衝突、および物体同士の衝突も判定する。

[0105] 仮説推論部5 Bは、物理計算部8にて生成された物体衝突情報を観測論理式D 2に加えて仮説推論を再度実行する。その結果、最安証明として「自車両と二輪車が衝突するので危険」が選択される。つまり、シミュレーション結果を反映した危険予測が行われる。

[0106] <シーン2>

次に、図15（a）に示すように、自車両と二輪車とがシーン1の場合と比較して十分に離れた状態にある場合について説明する。

[0107] なお、仮説推論部5 Bが最安証明を選択し、その選択された最安証明から意図情報を抽出し、物理計算部8が、意図情報に基づいて物体の移動軌跡を求め、自車両と他車両とが衝突するか否かを判定するところまでは、シーン1と同様である。

[0108] シーン2では、図15（b）に示すように、シミュレーションの結果、自車両と二輪車との衝突は起きないと判定されるため、「自車両と二輪車とは衝突しない」という内容の物体衝突情報が生成される。

[0109] 仮説推論部5 Bは、この物体衝突情報を観測論理式D 2に加えて仮説推論を再度実行する。その結果、シーン1で選択された危険を証明できないため、結局、最安証明として、シミュレーションを反映するまえに選択された最安証明である「二輪車が水たまりを避ける」が選択される。

[0110] <3. 4. 効果>

以上説明したように、本実施形態では、意図情報と、物体に関する観測情報（位置、速度、移動方向等）に基づいてシミュレーションにより得られた衝突判定結果を、観測論理式D 2に加えて仮説推論を繰り返している。

[0111] これにより、最初の仮説推論で得られた情報をもと推定された物体の挙動も考慮して危険予測することになるため、より緻密な危険予測を実現することができる。

[0112] <4. 他の実施形態>

以上、実施形態を例示したが、実施形態は、上記実施形態に限定されることなく、種々の形態を採り得る。

[0113] （1）上記実施形態における一つの構成要素が有する機能を複数の構成要素に分散させたり、複数の構成要素が有する機能を一つの構成要素に統合させたりしてもよい。また、上記実施形態の構成の少なくとも一部を、同様の機能を有する構成に置き換えてもよい。また、上記実施形態の構成の一部を省略してもよい。また、上記実施形態の構成の少なくとも一部を、他の上記実施形態の構成に対して付加または置換等してもよい。

[0114] （2）実施形態は、危険予測装置の他、当該危険予測装置を構成要素とする運転支援システムを始めとする各種システム、当該危険予測装置としてコンピュータを機能させるためのプログラム、このプログラムを記録した媒体、危険予測方法など、種々の形態とすることもできる。

請求の範囲

- [請求項1] 車両の周辺状況に関する観測情報を取得する観測情報取得部（２）と、
- 前記観測情報取得部にて取得された観測情報を、車両周辺の状況を表現する論理式に変換する論理式変換部（３）と、
- 車両運転時に現れる危険および一般的な知識を、論理式で記述したルール集合である知識ベース（４）を用い、重み付き仮説推論によって、前記論理式変換部にて変換された論理式から予測される危険を証明対象として証明を実施する仮説推論部（５，５Ａ，５Ｂ，８）と、
- 前記仮説推論部での推論の過程で求められる証明コストから、証明された危険についての危険度を求めると共に、証明に使用された論理式を前記観測情報に関連づける推論結果解釈部（６）と、
- を備える危険予測装置。
- [請求項2] 前記仮説推論部は、前記ルールを構成する各論理式のコストを、前記観測情報の信頼度に応じて、前記信頼度が高いほど前記コストが小さくなるように変化させ、前記証明に使用された論理式のコストを合計したものを前記証明コストとする、請求項１に記載の危険予測装置。
- [請求項3] 前記仮説推論部は、証明コストが小さい順に、一つ以上の証明を抽出する、請求項１または請求項２に記載の危険予測装置。
- [請求項4] 前記仮説推論部は、証明コストが最小となる最安証明を抽出し、該最安証明により証明された危険を否定する論理式を前記証明対象に追加して、前記仮説推論を繰り返す、請求項１または請求項２に記載の危険予測装置。
- [請求項5] 前記仮説推論部は、証明コストが最小となる最安証明を抽出すると共に、該最安証明に含まれる移動体の意図を表す論理式を抽出し、該論理式の内容に従って前記移動体の挙動を推定した結果を表す論理式

を前記証明対象に追加して、前記仮説推論を繰り返す、請求項 1 または請求項 2 に記載の危険予測装置。

[請求項6] 前記知識ベースは、前記一般的な知識に関するルールとして、物理法則などの自然法則を表現したルール（4 2）を含む、請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか 1 項に記載の危険予測装置。

[請求項7] 前記知識ベースは、前記一般的な知識に関するルールとして、車両やドライバの状態と、該状態から想定される前記ドライバの意図との関係を表したルール（4 1）を含む、請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか 1 項に記載の危険予測装置。

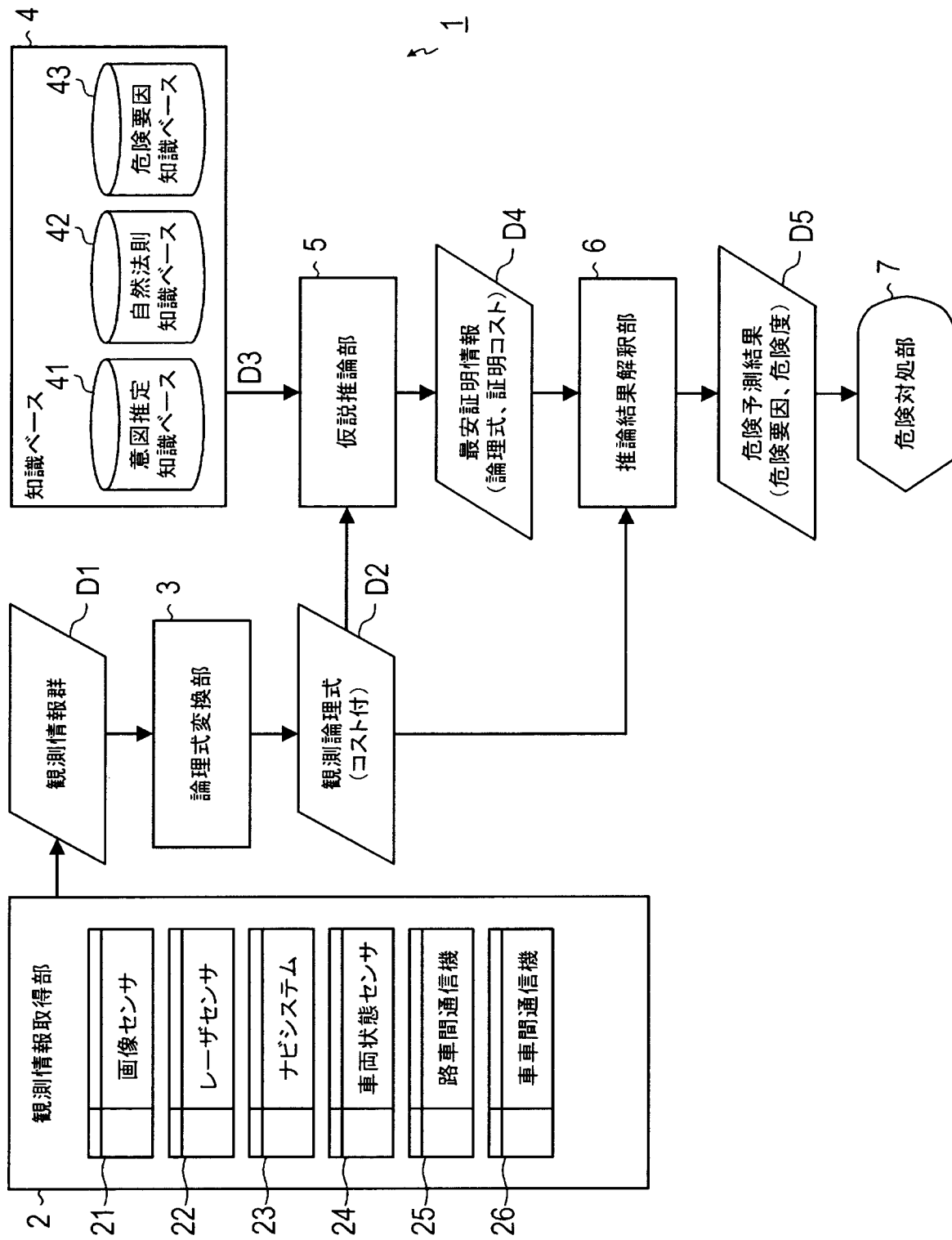
[請求項8] 請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか 1 項に記載の危険予測装置と、
前記危険予測装置により証明された危険に対処するための運転支援処理を実行する支援実行装置（7）と、
を備える運転支援システム。

[請求項9] 前記支援実行装置は、前記運転支援処理として、ドライバに対する聴覚的または視覚的な注意喚起を実行する、請求項 8 に記載の運転支援システム。

[請求項10] 前記支援実行装置は、前記運転支援処理として、車両制御を実行する、請求項 8 または請求項 9 に記載の運転支援システム。

[請求項11] 前記支援実行装置は、前記推論結果解釈部で求められた危険度に応じて、前記運転支援処理の内容を変更する、請求項 8 ないし請求項 10 のいずれか 1 項に記載の運転支援システム。

[図1]



```
graph TD
    D1[/観測情報群 D1/] --> S110[検出された物体への  
識別名の付与 S110]
    S110 --> D11[/観測情報  
(識別名付き) D11/]
    D11 --> S120[観測情報を走査し、  
変換ルールと照合 S120]
    DB[(31 変換ルール)] --> S120
    S120 --> D12[/観測論理式 D12/]
    D12 --> S130[観測論理式  
コスト調整 S130]
    S130 --> D2[/観測論理式  
(コスト付) D2/]
    subgraph 3 [論理式変換部]
        S110
        S120
        S130
    end
```

The flowchart illustrates the process of transforming logical expressions. It begins with an input '観測情報群' (Observation Information Group) labeled D1. This input enters a large rectangular block labeled '3' (論理式変換部 - Logical Expression Transformation Unit). Inside this block, the process follows these steps: 1. '検出された物体への識別名の付与' (Assignment of identification names to detected objects) labeled S110. 2. An intermediate output '観測情報 (識別名付き)' (Observation Information with Identification Name) labeled D11. 3. '観測情報を走査し、変換ルールと照合' (Scanning observation information and matching with conversion rules) labeled S120. This step receives input from a cylinder labeled '31 変換ルール' (Conversion Rules). 4. An intermediate output '観測論理式' (Observation Logical Expression) labeled D12. 5. '観測論理式コスト調整' (Adjustment of observation logical expression cost) labeled S130. The final output of the block is '観測論理式 (コスト付)' (Observation Logical Expression with Cost) labeled D2.

[図3]

(a)

物体認識結果	論理定数
壁	W
ボール1	B

(b)

天候・道路状態

観測例	出力する論理式(リテラル)
雨が降っている	Rainy(Scene)
夜間である	dark(Scene)
交差点がある	cross-road (C)

物体の属性

観測例	出力する論理式(リテラル)
Xは自動車である	car (X)
Yは歩行者である	person (Y)
Yは傘を差している	with-umbrella (Y)

物体間の位置関係

観測例	出力する論理式(リテラル)
Xの前方にYがいる	in-front-of (Now, Y, X)
交差点C上にYがいる	on (Now, Y, C)
交差点Cに対して、XよりもYのほうが近い	is-closer-to (Now, C, Y, X)

[図4]

コスト付与の例(信頼度に反比例して設定)

観測例	認識の信頼度	出力する論理式
Xは自動車である	100%	car (X) ^{\$1}
Yは歩行者である	50%	person (Y) ^{\$2}
Yは傘を差している	25%	with-umbrella (Y) ^{\$4}

[図5]

(a) 意図推定知識ベース

知識の種類	例	論理式
意志と意志の関係	左折(右折)する意志があるなら、減速する意志もある	$\forall x \text{ will-turn-left}(x)^{1,2} \rightarrow \text{will-slow-down}(x)$
意志と状態の関係	左尾灯が点灯しているなら、左折する意志がある	$\forall x \text{ will-turn-left}(x)^{1,2} \rightarrow \text{left-tail-light-on}(x)$
意志と道路環境の関係	・水たまりが前方にあるなら、回避行動を取る意志がある ・夜は死角を作りやすい	$\forall x, p \text{ in-front-of}(\text{Now}, p, x)^{0,6} \wedge \text{puddle}(p)^{0,6} \rightarrow \text{will-avoid}(x)$
意志と位置関係の関係	・未来の時点でエージェントの位置が重なるなら、どちらかが回避行動を取る ・右折する意志があるなら、未来の時点では右前方にいる	$\forall x, y, l \text{ on}(\text{Future}, x, l)^{0,6} \wedge \text{on}(\text{Future}, y, l)^{0,6} \rightarrow \text{will-avoid}(x)$ $\forall x, y, l \text{ will-turn-right}(x)^{0,6} \wedge \text{right-front-of}(\text{Now}, l, x)^{0,6} \rightarrow \text{on}(\text{Future}, l, x)$
意志と「位置関係＋オブジェクトの種類」	前方に大型車がいるなら、回避行動を取る	$\forall l, x \text{ in-front-of}(\text{Now}, l, x)^{0,6} \wedge \text{heavy}(l)^{0,6} \rightarrow \text{will-avoid}(x)$

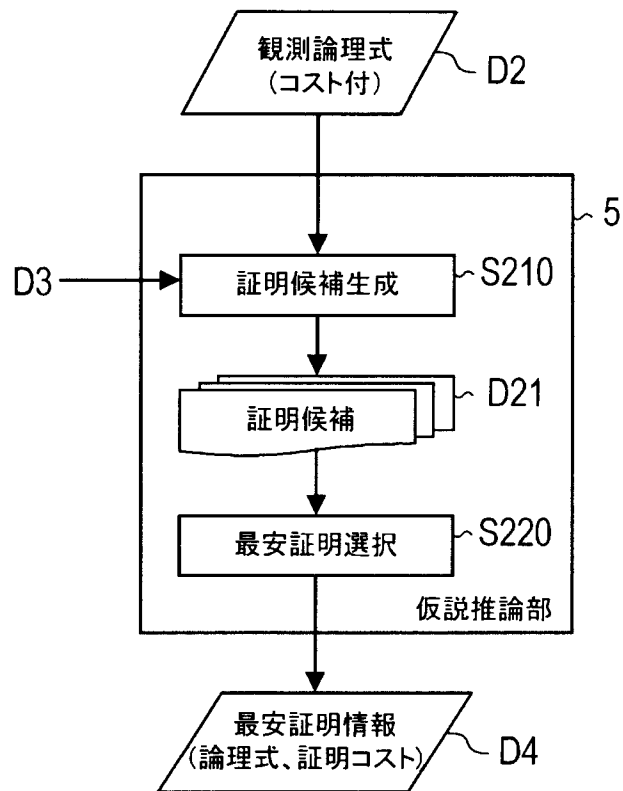
(b) 自然法則知識ベース

無矛盾性の保証(概念)	大人と子供という性質は同時に成立しない	$\forall x \text{ adult}(x) \wedge \text{child}(x) \rightarrow \perp$
無矛盾性の保証(位置)	・自動車は同時に違う車線に属せない ・XがYの左にあるなら、XはYの右にあることはない	$\forall x \text{ on}(x, \text{MyLane}) \wedge \text{on}(x, \text{OppositeLane}) \rightarrow \perp$ $\forall x, y \text{ left-of}(x, y) \wedge \text{right-of}(x, y) \rightarrow \perp$
概念間の上位下位関係	トラックは乗り物である	$\forall x \text{ car}(x)^{1,2} \rightarrow \text{vehicle}(x)$
物理法則	エージェントは前方に進む	$\forall x, l \text{ agent}(x)^{0,6} \wedge \text{in-front-of}(\text{Now}, l, x)^{0,6} \rightarrow \text{on}(\text{Future}, x, l)$
位置関係と可視性	互いに不可視な2つのエージェントの間には、遮蔽物がある	$\forall x, y \text{ invisible-to}(\text{Now}, x, y)^{1,2} \rightarrow \exists z \text{ in-between}(\text{Now}, z, x, y)$
オブジェクト間関係	・子供は(サッカーボールを追いかけ)る公園で遊ぶ(母親のもとに駆け寄る) ・タクシーは人の前で止まる	$\forall x, y \text{ child}(x)^{0,6} \wedge \text{follows}(x, y)^{0,6} \rightarrow \text{soccer-ball}(y)$ $\forall x \text{ taxi}(x)^{0,4} \wedge \text{person}(y)^{0,4} \wedge \text{left-front-of}(\text{Now}, y, x)^{0,4} \rightarrow \text{will-stop}(x)$

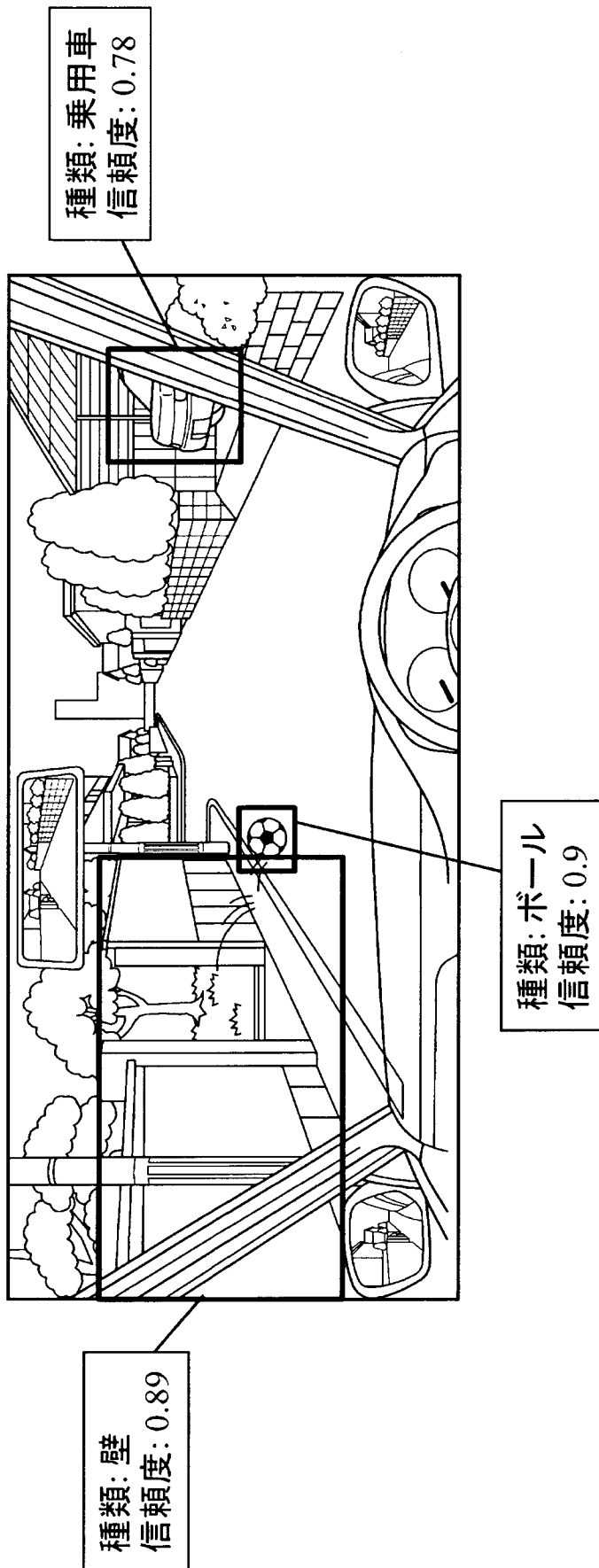
(c) 危険要因知識ベース

衝突	将来、自分と同じ位置に別のオブジェクトがいるならば、危険	$\forall x, y, l \text{ on}(\text{Future}, x, l)^{0,6} \wedge \text{on}(\text{Future}, y, l)^{0,6} \rightarrow \text{risk}(r, x)$
意志	自分の目の前に、(減速)左折する意志を持つオブジェクトがあるならば、危険	$\forall x, y, l \text{ in-front-of}(\text{Now}, x, y)^{0,6} \wedge \text{will-stop}(y)^{0,6} \rightarrow \text{risk}(r, x)$
不可視オブジェクト	自分から見えないオブジェクトが突然飛び出してくるならば、危険	$\forall x, y, l \text{ invisible-to}(\text{Now}, x, y)^{0,6} \wedge \text{will-rush-out}(y)^{0,6} \rightarrow \text{risk}(r, x)$

[図6]

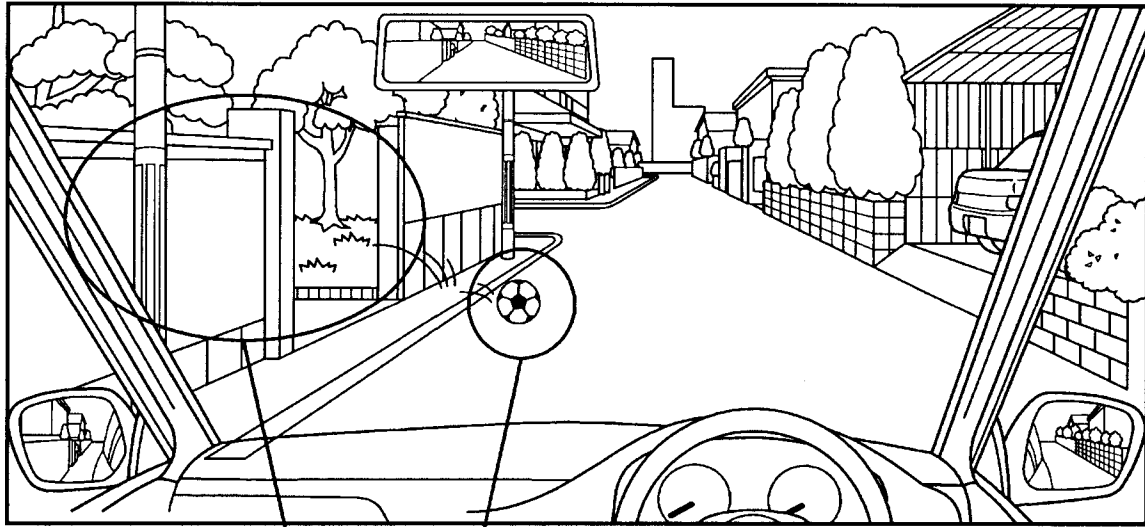


[図7]



[図8]

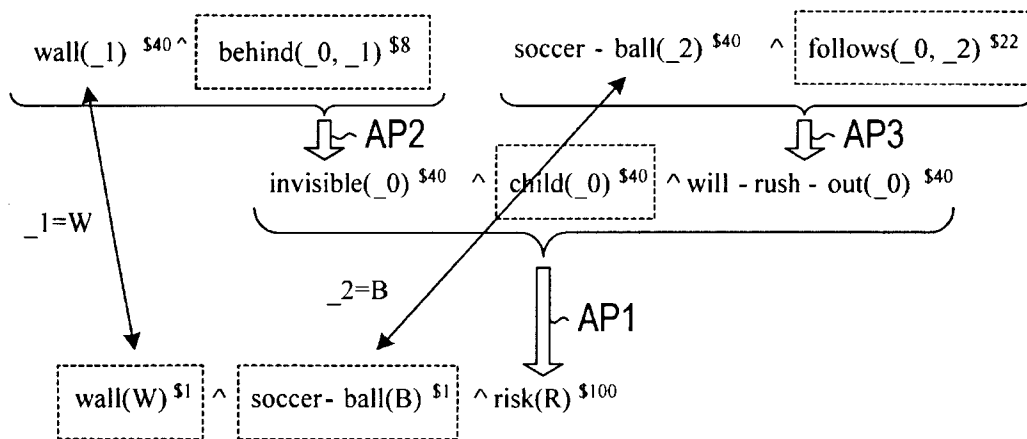
(a)



$$\text{wall}(W)^{\$1} \wedge \text{soccer-ball}(B)^{\$1} \wedge \text{risk}(R)^{\$100}$$

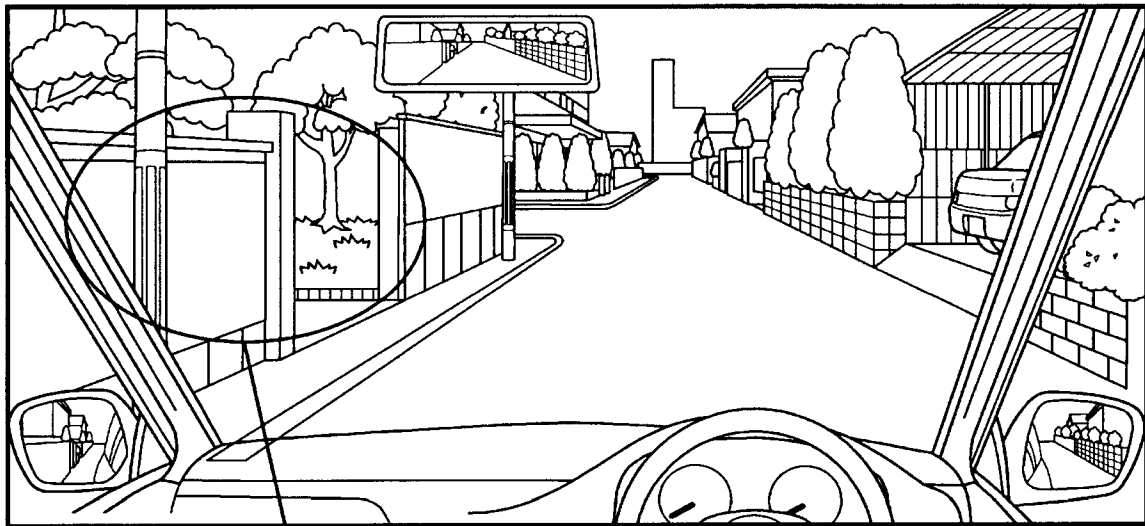
シーンに壁(死角)がある
サッカーボールがある

(b)



[図9]

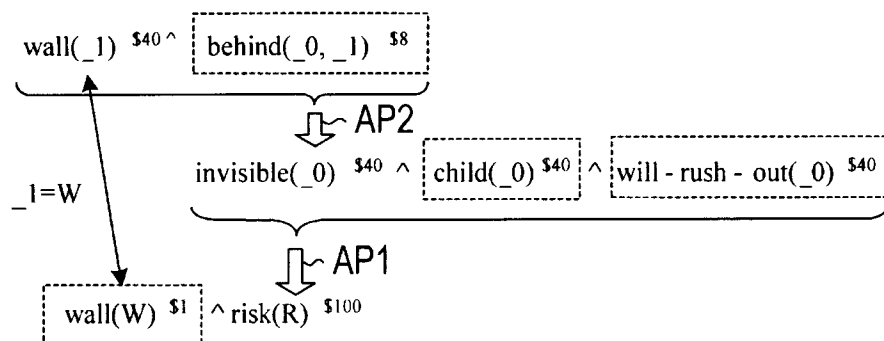
(a)



$$\text{wall}(W)^{\$1} \wedge \text{risk}(R)^{\$100}$$

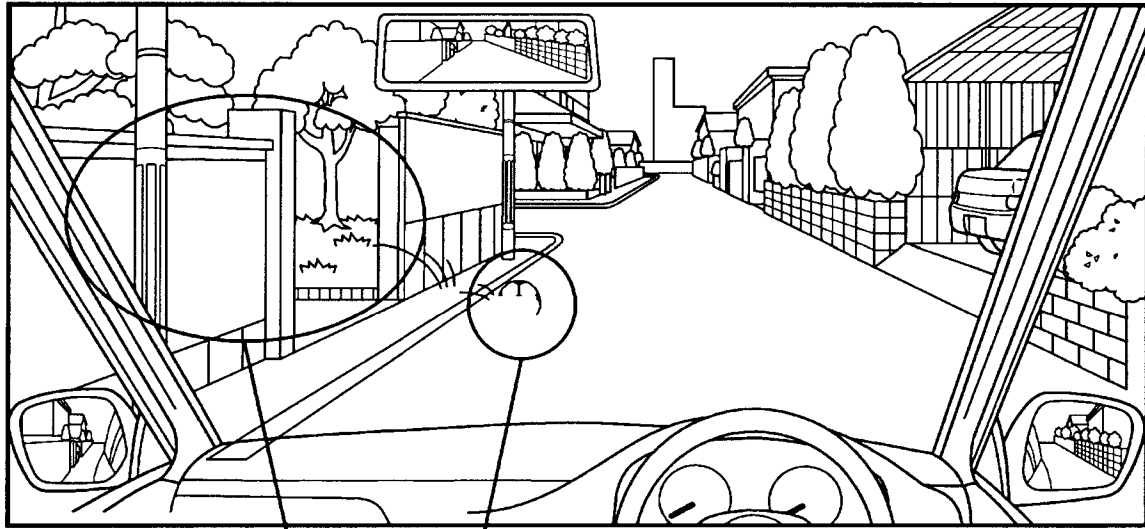
シーンに壁(死角)がある

(b)



[図10]

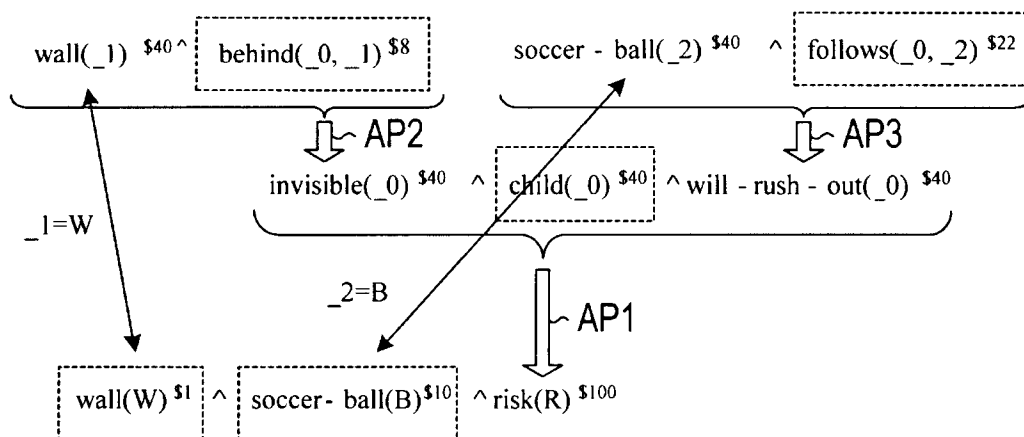
(a)



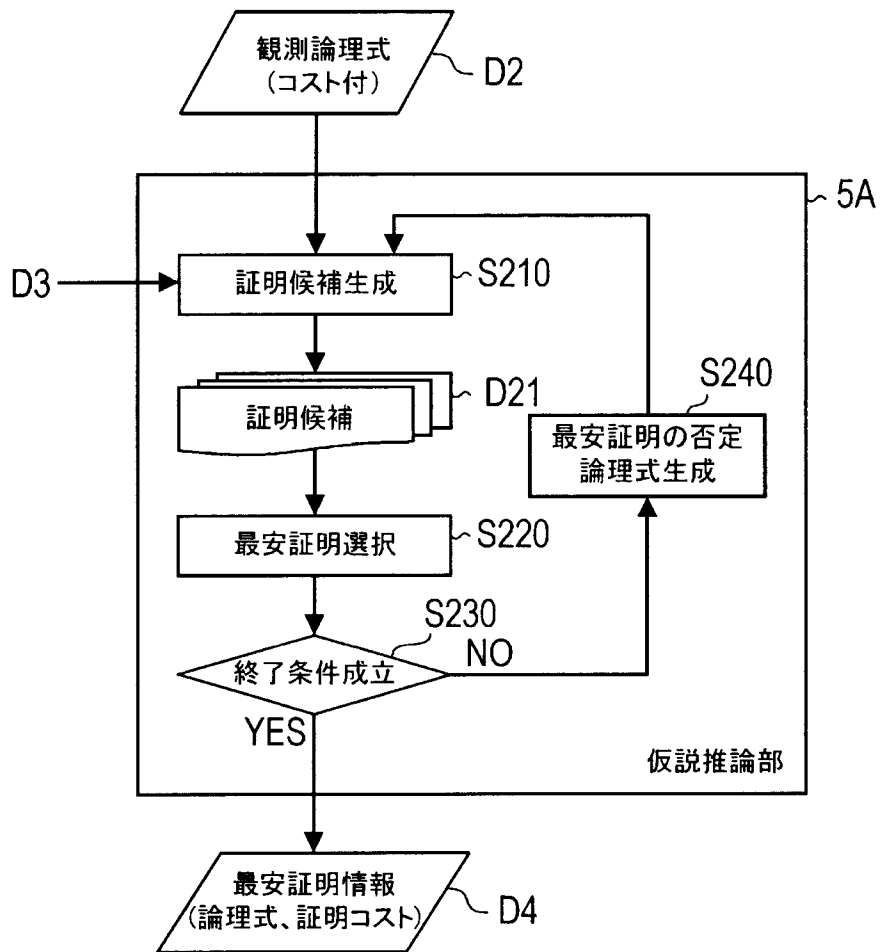
$$\text{wall}(W)^{\$1} \wedge \text{soccer-ball}(B)^{\$10} \wedge \text{risk}(R)^{\$100}$$

シーンに壁(死角)がある
サッカーボールらしきものがある

(b)

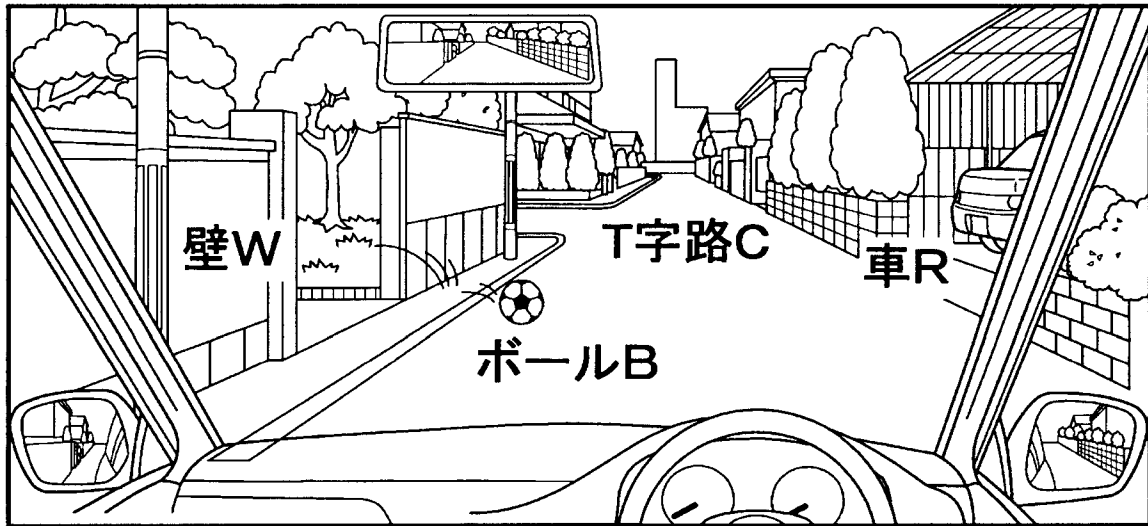


[図11]



[図12]

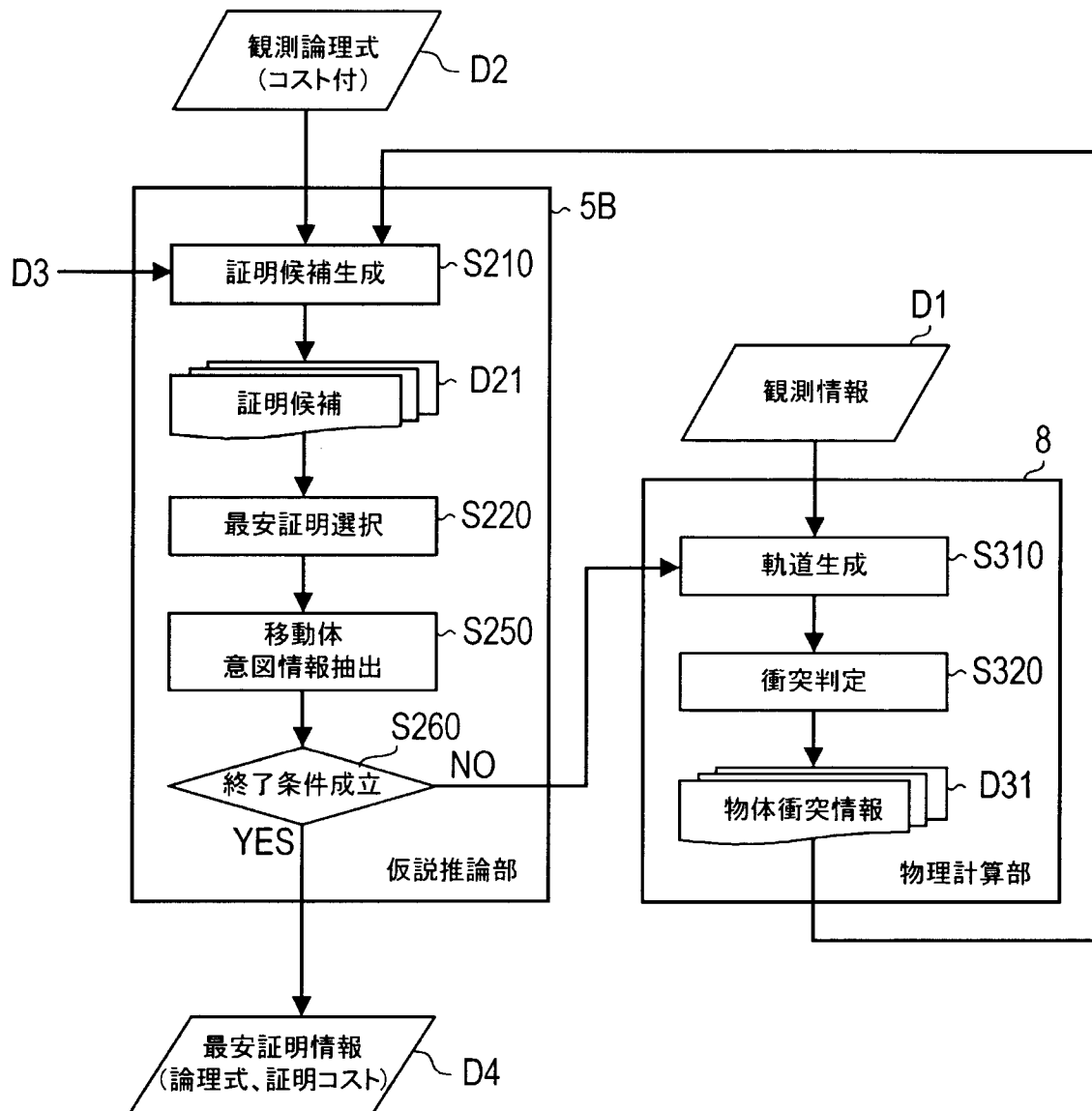
(a)



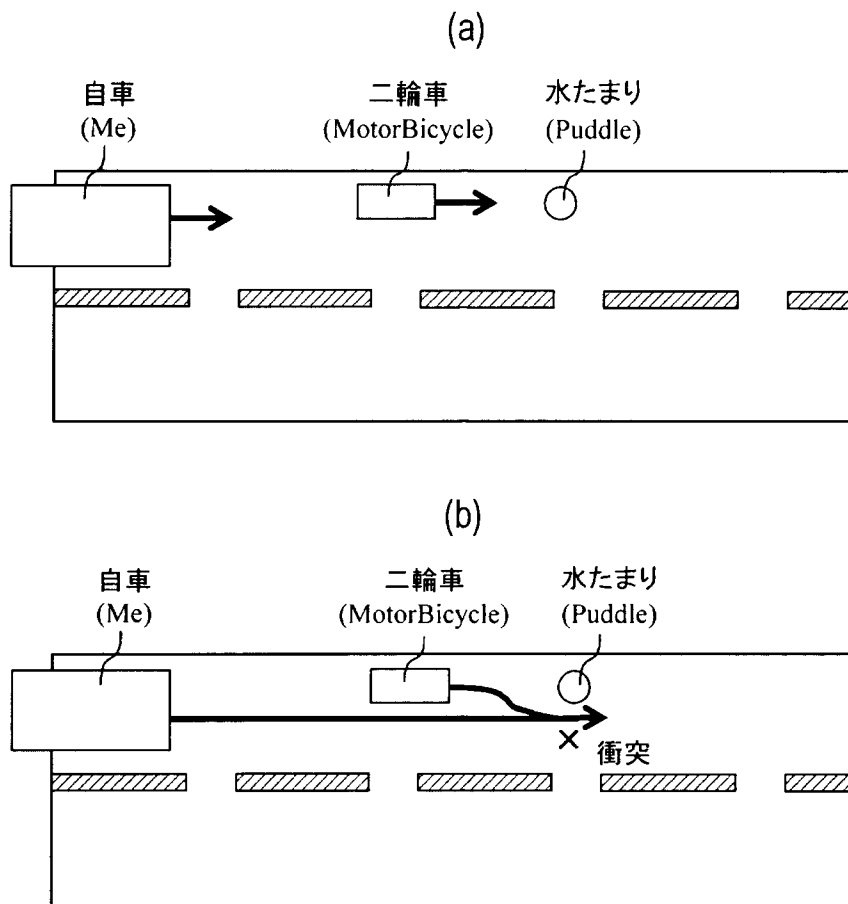
(b)

周	観測情報	最安証明	危険行動の否定
1	ボールBがある。 壁Wがある。 赤い車Rがいる。 T字路Cがある。	壁Wの陰から子供Xが 飛び出すので、危険 (コスト:70)	壁Wの陰から子供は 飛び出さない
2	ボールBがある。 壁Wがある。 赤い車Rがいる。 T字路Cがある。 壁Wの陰から子供は 飛び出さない。	赤い車Rが突然バック してくるので、危険 (コスト:80)	赤い車Rは バックしてこない
3	ボールBがある。 壁Wがある。 赤い車Rがいる。 T字路Cがある。 壁Wの陰から子供は 飛び出さない。 赤い車Rはバックしてこない。	T字路Cの死角から 自動車Yが 飛び出すので、危険 (コスト:85)	T字路Cの死角から 自動車は 飛び出さない

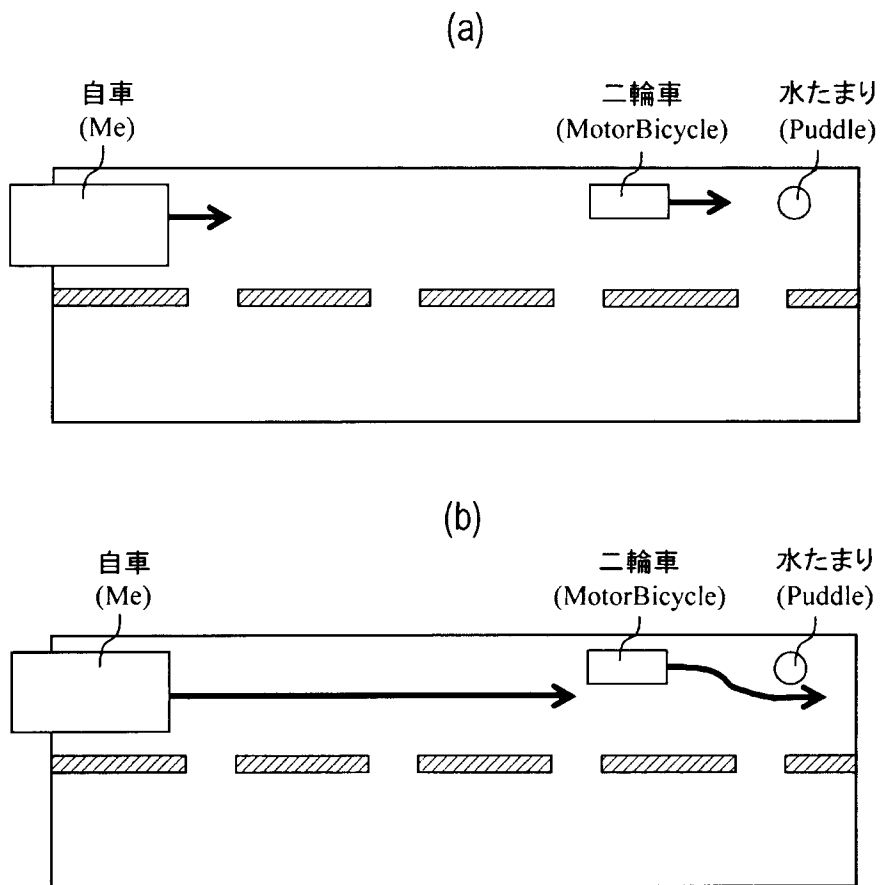
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/005261

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G08G1/16(2006.01)i, B60R21/00(2006.01)i, G06N5/04(2006.01)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)

G08G1/00-99/00, B60R21/00-21/13, G06N5/00-7/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 9-2098 A (Fuji Heavy Industries Ltd.), 07 January 1997 (07.01.1997), paragraphs [0022] to [0038], [0051] to [0062]; fig. 1 to 2, 4 (Family: none)	1-11
Y	JP 8-137695 A (Fujitsu Ltd.), 31 May 1996 (31.05.1996), paragraphs [0019] to [0066]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-11
Y	JP 7-334368 A (Hitachi, Ltd.), 22 December 1995 (22.12.1995), paragraphs [0007] to [0021]; fig. 1 to 9 & US 5748850 A column 3, line 56 to column 5, line 3; column 5, line 35 to column 12, line 60; fig. 1 to 9	4-11

☒ 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
 "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
07 January 2016 (07.01.16)

Date of mailing of the international search report
19 January 2016 (19.01.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/005261

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-185322 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 16 July 1996 (16.07.1996), paragraphs [0006] to [0011] (Family: none)	6-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G08G1/16(2006.01)i, B60R21/00(2006.01)i, G06N5/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G08G1/00-99/00, B60R21/00-21/13, G06N5/00-7/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 9-2098 A（富士重工株式会社）1997.01.07, 段落 [0022] - [0038], 段落 [0051] - [0062], [図1] - [図2], [図4]（ファミリーなし）	1-11
Y	JP 8-137695 A（富士通株式会社）1996.05.31, 段落 [0019] - [0066], [図1] - [図5]（ファミリーなし）	1-11
Y	JP 7-334368 A（株式会社日立製作所）1995.12.22, 段落 [0007] - [0021], [図1] - [図9] & US 5748850 A, 第3欄第56行-第5欄第3行, 第5欄第35行-第12欄第60行, 図1-9	4-11

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.01.2016

国際調査報告の発送日

19.01.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 純一

3H

9074

電話番号 03-3581-1101 内線 3316

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 8-185322 A (日本電信電話株式会社) 1996. 07. 16, 段落 [0 0 0 6] - [0 0 1 1] (ファミリーなし)	6-11