

(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
2014年11月27日(27.11.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/189059 A1

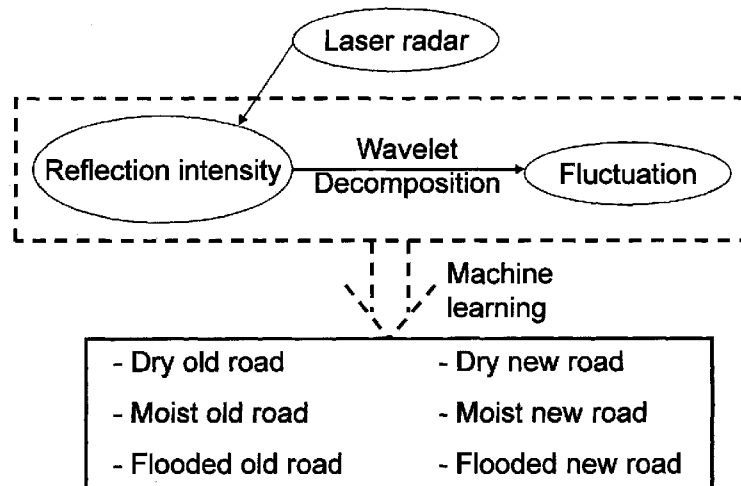
- (51) 国際特許分類:
G01N 21/17 (2006.01) G01S 17/88 (2006.01)
B60W 40/068 (2012.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/063388
- (22) 国際出願日: 2014年5月20日(20.05.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-105920 2013年5月20日(20.05.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社デンソー(DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 Aichi (JP). 国立大学法人東京大学(THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 磯貝 俊樹(ISOGAI, Toshiki); 〒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). 須田 義大(SUDA, Yoshihiro); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 安藝 雅彦(AKI, Masahiko); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo

- (JP). 中野 公彦(NAKANO, Kimihiko); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). ロジアナアーパテーラパット(ROJANAARPA, Teerapat); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 菊地 保宏(KIKUCHI, Yasuhiro); 〒1600003 東京都新宿区本塩町18番地4 MY K四ツ谷 2階 よつや国際特許事務所 Tokyo (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, LT, 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.
- (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,

[続葉有]

(54) Title: ROAD SURFACE CONDITION ESTIMATING DEVICE

(54) 発明の名称: 路面状態推定装置



(57) Abstract: The present invention is provided with a light irradiation unit for irradiating laser light so as to scan a road surface, a light reception unit for acquiring reflection intensity values corresponding to each irradiated point on the road surface, and a road surface condition determination device for determining a road surface condition using the reflection intensity values. A set of reflection intensity values acquired for each irradiated point on a road surface (hereafter referred to as a "multipoint reflection intensity value set") defines the relationship between the irradiation positions in the far-near direction from the light irradiation unit and the reflection intensity values, which are dependent on the road condition. The road surface condition determination device is created through machine learning using, as learned data, a plurality of multipoint reflection intensity value sets acquired for a plurality of road surfaces having different known road surface conditions and determines and outputs a road surface condition using, as input, a multipoint reflection intensity value set acquired for a road surface having an unknown road surface condition.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/189059 A1



MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロ
ッパ (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).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

路面上を走査するようにレーザ光を照射する投光部と、路面上の各照射点に対応する反射強度値を取
得する受光部と、反射強度値を用いて路面状態を判別する路面状態判別器と、を備える。路面上の各照
射点に対応して取得された反射強度値のセット(「多点反射強度値セット」という)は、路面状態に依
存する投光部を基準とした遠近方向の照射位置と反射強度値との関係を規定している。前記路面状態判
別器は、既知の異なる路面状態を備えた複数の路面についてそれぞれ取得された複数の多点反射強度値
セットを学習データとして用いた機械学習により生成され、路面状態が未知の路面について取得された
多点反射強度値セットを入力として、路面状態を判別して出力する。

明 細 書

発明の名称：路面状態推定装置

技術分野

[0001] 本発明は、車両が走行する路面の状態を推定する路面状態推定装置に関するものである。

背景技術

[0002] 省エネルギー技術の開発の一環として、エネルギーITS (Intelligent Transportation Systems) プロジェクトが進められており、その中の一つに自動隊列走行の技術開発がある（特許文献1、非特許文献1～3）。本プロジェクトは、隊列走行における車間距離を短くすることにより、空気抵抗を減少させ、省エネルギー化を図ることを目的としている。本プロジェクトにおける白線認識アルゴリズム（特許文献1、非特許文献2）は、短い車間距離による省燃費効率を得るために、隊列における前後車両の横位置ずれを所定範囲内に制御すること等に用いられる。

[0003] 自動操舵や自動速度制御を伴う自動隊列走行における車間距離制御の実用化において、路面状態の急変に対応した制動制御が必要となる。自動隊列走行において、例えば、路面状態に応じてチューニングした制御ゲインを作成しておき、トンネルから出た際に、走行環境が乾燥路面から湿潤・冠水・凍結路面などに变化した場合に路面状態の変化に対応して制御ゲインを瞬時に変更することは、安全確保上有用である。

[0004] 一般に、自動車などの車両の駆動力・制動力や操舵力は路面とタイヤの摩擦に依存しており、路面状態を推定することは、走行性能の確保や安全性の向上にとって有益な技術である。路面状態推定技術としては、これまでに様々な手法、例えば、レーザレーダ反射強度を活用する方法、カメラ画像を活用する方法などが提案されている（非特許文献4～7）。しかしながら、特に、自動運転走行車両に適切な手法は確立されていなかった。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-210165

非特許文献

[0006] 非特許文献1：青木啓二，森田康裕：自動運転・隊列走行システムの開発（第1報）－エネルギーITS推進事業－，自動車技術会2009秋季大会学術講演会前刷集，No.20095509，pp.1-4（2009）

非特許文献2：松浦充保，磯貝俊樹，川合健夫：隊列走行におけるレーザレーダ白線検知システム（第2報）－エネルギーITS推進事業－，自動車技術会2010秋季大会学術講演会前刷集，No.20105632，pp.1-4（2010）

非特許文献3：安藝雅彦，中野公彦，須田義大，岸波友紀，高須賀直一，磯貝俊樹，川合健夫，小野口一則，青木啓二：トレーラ型トラックの専用道路における自動運転に向けた長期計測試験，第11回ITSシンポジウム，CD-ROM（2012）

非特許文献4：佐藤祐輔，景山一郎：レーザレーダを用いた前方路面状態認識技術に関する研究，日本機械学会第14回交通物流部門大会，pp.373-376（2005）

非特許文献5：高木聖和，森川勝博，小川高志，佐分利誠：レーザレーダによる走行環境認識技術，デンソーテクニカルレビュー，Vol.12，NO.1，pp.29-34（2007）

非特許文献6：M.Yamada，T.Oshima，K.Ueda，I.Horiba，and S.Yamamoto：A study of the road Surface Condition Detection Technique for Deployment on a Vehicle，JSAE Review 24，p.183-188（2003）

非特許文献7：S.Kawai，K.Shibata，Y.Horita：D

i s t i n c t i o n o f R o a d S u r f a c e C o n d i t i o n s a t N i g h t - t i m e U s i n g C a r - m o u n t e d C a m e r a V i d e o I n c l u d i n g I l l u m i n a t e d A r e a s b y S t r e e t L a m p s , P r o c e e d i n g s o f S I C E A n n u a l C o n f e r e n c e , C D - R O M (2 0 1 2)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明者らは、自動運転・隊列走行における白線認識に用いられるレーザレーダを活用した新しい路面状態推定技術の開発を行った。従来レーザレーダを用いた路面状態推定法は反射強度のみを利用する手法が採用されているのに対して、本発明は、多点反射強度値を用いることで位置関係とレーザ光反射の路面状態に依存する機械的性質を考慮するものである。本発明は、白線認識技術に関連して創案されたものであるが、本発明に係る技術思想は、自動隊列走行や白線認識技術に限定されるものではなく、路面状態推定技術として一般化され、路面状態の推定全般に適用され得るものである。

[0008] 本発明は、機械学習を用いた新しい路面状態推定装置を提供するものである。

本発明の目的の1つは、自動運転走行車両に良好に適用し得る路面状態推定装置を提供することになる。

本発明の他の目的やより具体的な目的は、本明細書の記載および図面から明らかとなる。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明が採用した路面状態推定装置は、路面上を走査するようにレーザ光を照射する投光部と、路面上の各照射点に対応する反射強度値を取得する受光部と、反射強度値を用いて路面状態を判別する路面状態判別器と、を備えている。路面上の各照射点に対応して取得された反射強度値のセット（「多点反射強度値セット」という）は、路面状態に依存する投光部を基準とした

遠近方向の照射位置と反射強度値との関係を規定している。前記路面状態判別器は、既知の異なる路面状態を備えた複数の路面についてそれぞれ取得された複数の多点反射強度値セットを学習データとして用いた機械学習により生成されている。前記路面状態判別器は、路面状態が未知の路面について取得された多点反射強度値セットを入力として、路面状態を判別して出力する。

[0010] 本発明の原理上、レーザ光の照射・走査方向は限定されないが、1つの態様では、前記路面状態推定装置は、路面上を走行する車両に搭載されており、前記レーザ光は、路面を横切る方向に走査するように照射される。

1つの態様では、レーザ光の照射範囲には、路面の走行方向に延びる区画線（典型的な例では白線）が含まれており、路面状態が未知の路面について取得された多点反射強度値セットには、前記区画線に対応する反射強度値が含まれており、前記路面状態判別器は、前記取得された多点反射強度値セットから前記区画線に対応する反射強度値を除いた反射強度値セットを用いて路面状態の判別を行う。

この場合、1つの態様では、除去したデータを補間した上で、判別を行う。データ補間法（内挿、外挿）は当業者に既知であるため、説明は省略する。あるいは、除去したデータが欠落したままで路面状態の判別を行ってもよい。

また、前記区画線に対応する反射強度値から得られた特徴量（例えば、白線部分と白線以外の部分との反射強度値の差、白線部分における路面粗さ指標等）を利用してもよい。

[0011] 1つの態様では、前記多点反射強度値セット解析することで路面状態に依存した路面粗さ指標を取得する解析手段を備えている。前記学習データには、既知の異なる路面状態を備えた複数の路面についてそれぞれ取得された複数の路面粗さ指標が含まれている。前記路面状態判別器は、路面状態が未知の路面について取得された多点反射強度値セット及び路面粗さ指標を入力として、路面状態を判別して出力する。

1つの態様では、前記解析手段は、離散ウェーブレット解析である。

離散ウェーブレット解析に比べて処理速度が遅いものの、連続ウェーブレット解析を用いることも可能である。また、フーリエ解析によって路面粗さ指標を取得してもよい。

このように、1つの態様では、第1特徴量として「多点反射強度値セット」、第2特徴量として「路面粗さ指標」を用いるが、本発明において、第2特徴量は好ましい任意情報であって、必須情報ではない。路面状態に依存した第2特徴量として路面粗さ指標以外の指標を用いることは妨げない。すなわち、第2特徴量は、情報の種類・数を任意に選択することが可能であり、複数の特徴量を第2特徴量として採用してもよい。

また、路面状態推定技術は長年に亘って研究されていることから様々な知見が得られており、本発明に対して他の推定手段や知見を組み合わせることは任意である。

[0012] 1つの態様では、前記路面状態判別器は、ナイーブ・ベイズ推定器から構成されている。

1つの態様では、前記路面状態判別器は、ニューラルネットワークから構成されている。

本発明の路面状態判別器に適用し得る機械学習としては、「教師信号つき機械学習」の手法であれば、適用可能であり、例えば、クラスタリング、判別分析（線形判別関数やマハラノビス距離）、ロジスティック回帰分析、サポートベクターマシン、決定木などが適用可能である。

[0013] 1つの態様では、前記路面状態判別器は、少なくとも、乾燥状態と、湿潤状態と、を判別する。

1つの態様では、前記路面状態判別器は、さらに、冠水状態を判別する。

1つの態様では、前記路面状態判別器は、さらに、路面の劣化状態を判別する。

1つの態様では、上記状態の組み合わせでなる6つの路面状態を判別する。

典型的な態様では、前記路面はアスファルト舗装面である。

本発明の対象となる路面状態や路面の材質は、これらのものに限定されない。本発明は、機械学習により生成される路面状態判別器を用いるので、路面状態の種類や路面の材質に限定されずに、ある状態のある路面について取得した学習データを用いて路面状態判別器を生成すればよい。

発明の効果

[0014] 本発明は、機械学習を用いた新しい路面状態推定装置を提供するものである。

本発明に係る路面状態推定装置は車両に搭載することができ、車両走行中に反射強度データを取得ながらリアルタイムで路面状態を推定することができ、自動運転走行車両に良好に適用し得るものである。

本発明では、所定の路面状態の学習データを取得して路面状態判別器を生成することで、後述する実施形態のように、アスファルト路面の劣化状況、水による潤滑状況、水膜の存在といった摩擦係数に依存する状態を、レーザレーダによって取得した反射強度を用いて判別することができる。

本発明はまた、白線をレーザレーダで認識し、自動走行を行う車両において、白線検出用のレーザレーダ装置の出力を利用して、路面状態を推定することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]左図は、反射強度と横方向距離との関係を示す図である。右図は、レーザ光照射の態様を示す図である。

[図2]本実施形態に係る路面状態推定装置の全体の流れを示す概略図である。

[図3]路面状態推定器の生成及び路面状態の判別を示すブロック図である。

[図4]乾燥アスファルト路面／湿潤アスファルト路面に関連する反射特性を示す図である。

[図5]路面におけるレーザ光の吸収に関連する反射特性を示す図である。

[図6]新アスファルト路面／経年アスファルト路面に関連する反射特性を示す図である。

[図7]路面状態に依存する反射特性について、経年アスファルト、新アスファルトのそれぞれに対して、乾燥、湿潤、冠水、また車両遠位領域および車両近位領域で整理した図である。

[図8]図7における反射強度とスキャン位置（各照射点の位置）との関係をグラフに整理したものである。

[図9A]信号の分解を説明する図である。Aは低周波数信号、Dは高周波数信号である。

[図9B]フィルタバンクを用いた多段信号分解を示す。

[図9C]各分解段階において分離される周波数帯を示す。

[図9D]離散ウェーブレット解析による反射強度（乾燥状態）の分解を説明する図である。

[図10]本実施形態に係る路面状態推定装置の全体の流れを示す図である。

[図11]試験装置の概要図である。

[図12]レーザレーダによる反射強度値の取得を説明する図である。

[図13]測定データの例を示す図である。

[図14]測定された反射強度値（多点反射強度値セット）についての、反射強度と横方向距離との関係を示す図である。

[図15]乾燥路面、湿潤路面について取得した路面粗さ指標を示す図である。

[図16]ニューラルネットワークの構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] [A] 本発明の概要

本発明に係る路面状態推定装置は、路面上を走査するようにレーザ光を照射する投光部と、路面上の各照射点に対応する反射強度値を取得する受光部と、反射強度値を用いて路面状態を判別する路面状態判別器と、を備えている。路面状態推定装置は、ハードウェア構成としては、2次元スキャン式のレーザレーダ（L I D A R）と、コンピュータ（入力部、出力部、R A M、R O M等の記憶部、C P Uを主体とする処理部等を備える）と、から構成することができる。

[0017] レーザレーダは、投光部と受光部とを備える。投光部は、レーザダイオード、レーザダイオードからレーザ光を出射させるための駆動部、走査用の光学系（ミラー等）、を備える。受光部は、測定対象（路面）からの反射光を検出する光検出器（フォトダイオード）を備え、フォトダイオードの出力から反射強度が取得される。レーザレーダ自体の構成は、当業者によく知られているので、詳細な説明は省略する。

[0018] 路面状態判別器はコンピュータから構成することができる。路面状態判別器は、既知の異なる路面状態を備えた複数の路面についてそれぞれ取得された複数の多点反射強度値セットを学習データとして用いた機械学習により生成され、路面状態が未知の路面について取得された多点反射強度値セットを入力として、路面状態を判別して出力する。

[0019] 路面上の連続状の各照射点（後述する実施形態での走査間隔は0.0045 mである。さらに細かくして分解能を上げてよい）に対応して取得された連続状の反射強度値からなる多点反射強度値セット（後述する実施形態では、171点における反射強度値）は、路面状態に依存する投光部を基準とした遠近方向（走査線に沿った）の照射位置と反射強度値との関係を規定している。本発明においては、多数の照射点における多数の反射強度値（多点反射強度値セット）を機械学習に用いて、同じく多点反射強度値セットからなる計測データを入力として、路面状態のクラス分けを行う点に特徴の一つがある。

[0020] [B] レーザレーダを利用した路面状態の推定

[B-1] 路面状態推定手法の概要

本発明の一実施形態について詳細に説明する。本実施形態は、リアルタイムで乾燥・湿潤判定を行うことを目的とし、自動運転・隊列走行における白線認識に用いるレーザレーダを活用して路面状態を推定するものである。本実施形態では、レーザレーダ反射強度および反射強度の路面粗さ成分情報を用いて機械学習により路面の乾燥・湿潤を判定する路面状態推定アルゴリズムを提案し、このアルゴリズムを用いて路面状態推定実験を行った。

[0021] 図1右図に示すように、レーザレーダを車両に搭載し、投光部から車両の横幅方向に斜め下方に向けてレーザ光を走査させながら路面に照射する。レーザ光は、車両の側方に向かって路面を横切る方向に、白線の幅を含む所定範囲に亘ってスキャン送信される。路面で反射されたレーザ反射光は受光部によって受光され、レーザ光の各照射位置に対応する反射強度が取得される。この反射強度情報を活用することで白線認識と路面認識の双方を行う統合システムを構築する。

[0022] 自動運転隊列走行の技術開発において、レーザレーダを用いて白線の反射強度を計測することで白線認識を実施している（特許文献1、非特許文献2）。この白線認識は、白線と道路アスファルトでは反射率が異なるため、反射強度の差を利用して白線を検知するものである。白線はガラスビーズが混入されているためガラスビーズの再帰性反射により白線部分の反射強度は、アスファルト部分の反射強度よりも大きくなる。したがって、横軸に横方向距離（走査方向）、縦軸に反射強度をとると、図1左図のようになる。なお、横方向距離 X は、レーザレーダ設置高さを H としたとき、 $X = H * \tan$ （レーザレーダ取付角＋スキャン角度）で計算できる。白線認識の詳細については、特許文献1、非特許文献2を参照することができる。本実施形態においては、白線認識において取得された情報を用いて、同時に路面状態の推定を行うことができ、新たな装置や部品を必要としない。

[0023] 図2に示すように、本実施形態に係る路面状態推定手法は、レーザレーダ反射強度およびその反射強度から抽出した路面粗さ成分を活用するものであり、路面粗さ成分の抽出にはウェーブレット分解を、路面判別には機械学習を用いる。路面状態として乾燥・湿潤・冠水の3種類、路面の質として新アスファルト・経年アスファルトの2種類、計6種類の判別を目指す。機械学習を用いた路面状態判別器の全体図を図3に示す。

[0024] 本実施形態に係る路面状態推定手法は、計測範囲に含まれる多点反射強度値を用いることで位置関係とレーザ光反射の機械的性質を考慮するものである。路面状態によっては、異なる路面間で、複数個所で反射強度値が近づく

ことが考えられるため、さらに路面粗さ成分を指標として特徴量を増やし、この路面粗さ指標として、路面の空間周波数で分類するためウェーブレットを用いて算出したものを定義した。

[0025] このようにして用意された特徴量に対して、機械学習法としてナイーブ・ベイズ推定器を用いることで路面状態推定を行う。走行中、白線の有無によって路面状態推定に用いる多点反射強度値の特徴量のデータ数が異なり得るが（後述するように、白線がある場合には、白線に対応する特徴量データが取り除かれる）、ナイーブ・ベイズ推定器は特徴量データの部分的な欠落があっても良好に適用され得る。

[0026] [B-2] 路面状態推定特徴量

(1) レーザレーダ反射強度（第1特徴量）

レーザレーダ反射強度は、路面の質・状態や路面への入射角度によって異なることが知られている。そこでまずレーザレーダ反射強度の機械的性質について整理する。レーザレーダは車両の進行方向に対して横方向下向きに路面をスキャンする。このときのレーザ光の水膜による反射、水膜への吸収、路面の新旧による反射の3点から考察する。

[0027] 第1に、レーザ光の水膜による反射特性について述べる。乾燥路面においては、レーザ光は散乱効果により全方位に反射するが、水膜に覆われた路面においては散乱効果に加えて正反射が加わることで反射光は方向性を持つ。したがって遠位（光源から遠い側）において反射強度は低くなるが、近位（光源に近い側）においては正反射による強いレーザ光反射が生じる。この反射強度特性を図4に示す。

[0028] 第2に、水膜への吸収反射特性について述べる。乾燥路面においては水膜への吸収はないため反射強度は高い値を示すが、水膜に覆われた路面においては遠位および近位を問わずレーザ光が水膜へ吸収されるため、乾燥路面よりも反射強度は低い値を示す。この反射強度特性を図5に示す。

[0029] 第3に、路面の新旧による反射特性について述べる。アスファルト敷設当初は粒子が大きく路面の凹凸が存在していたものが、車両走行を経ることで

アスファルト粒子の凹凸が均されてゆく。それに伴い、アスファルト敷設当初は凹凸によってレーザ光が散逸して反射強度が低いものが、経年アスファルトになることによって凹凸によるレーザ光散逸が減ることで反射強度が高くなる。この反射強度特性を図6に示す。

[0030] このように路面の機械的性質によって反射状態が異なる。経年アスファルト、新アスファルトのそれぞれに対して、乾燥、湿潤、冠水、また車両遠位領域および車両近位領域で整理する。まず、新アスファルトと経年アスファルトを比較すると、上述のように、経年アスファルトに対して新アスファルトの方が、反射強度が高くなる。また、乾燥路面に比べて湿潤路面では、水膜へのレーザの吸収が生ずるため反射強度は低下するが、さらに水膜が厚くなり冠水路面となると正反射に近づくため湿潤路面よりも反射強度が上昇する。また、これらの特性に加えて、基本的にレーザレーダのレーザ光の出射部から遠方になるほど反射強度が緩やかに低下する傾向となるが、正反射に近づく路面状態（冠水・経年アスファルト、湿潤・新アスファルト、冠水・新アスファルト）では遠方になるほど反射強度の低下は顕著となる。これらの関係をまとめたものが図7である。これを反射強度とスキャン位置との関係をグラフに整理したものが図8である。この図8において有効データ範囲内で最も遠位のデータを原点にとり、レーザレーダ位置までを横軸の範囲とする。このように反射強度は路面の機械的性質により位置の関数として表現することが可能である。

[0031] (2) 路面粗さ指標 (第2特徴量)

路面粗さの凹凸によってレーザ反射角度に差が生じ、結果として反射強度値にも、スキャン方向に向かって路面波長に応じた波長成分が含まれることになる。より具体的には、「マクロになる程、路面全体のうねり」、「ミクロになる程、路面のミクロな(粒子)凹凸」という空間周波数の特徴によって(さらレーザ反射特性も加わって)、スキャン方向に反射強度値の凸凹の大きさの違いとして計測される(図15参照)。この波長成分は反射強度値を離散ウェーブレット分解することによって抽出される(図9A~

D)。連続ウェーブレット解析を用いて路面粗さ指標を取得することも可能であり、離散ウェーブレット解析を用いることで、連続ウェーブレット解析に比べて計算量を低減することができる。計算量の低減は、処理コストの低減をもたらす。本実施形態に係る離散ウェーブレット解析では Mallat アルゴリズムが用いられる。

[0032] 図9Aは、信号の分解を説明する図である。Aは低周波数信号、Dは高周波数信号である。図9Bは、フィルタバンクを用いた多段信号分解を示す。各段階において、低周波成分と高周波成分が分離される。オリジナルのウェーブレットが3回分離された時の各分解段階において分離される周波数帯を図9Cに示す。 f_n は、マザーウェーブレットの中心周波数である。ウェーブレット周波数は、通常、スケールに応じた疑似周波数から計算される。周波数とスケールの関係は以下の通りである。

$$F_a = \frac{F_n}{a \times \Delta}$$

F_a : 疑似周波数、 F_n : ウェーブレットの中心周波数（‘db2’では0.66667 Hz）、 a : スケール、 Δ : サンプルング周期（各走査位置間の距離は0.0045 m）、である。

図9Dに、本実施形態に係る離散ウェーブレット解析による反射強度（乾燥状態）の分解を示す。ここでは、5回の分解を行う。信号D1は、細かい詳細における路面粗さを表し、信号D5は低い分解能における路面粗さを表す。各高周波数信号に含まれる空間周波数を表3（後述する）に示す。

なお、ウェーブレット分解されたデータを路面粗さ指標算出に用いるだけでなく、白線のエッジ検出に利用することで、この一連の計測によって白線検知も統合することが可能である。

[0033] 本実施形態では路面粗さとして含まれるべき波長帯の総和を取ることで路面粗さ指標とした。したがって各スキャンで反射強度値がn個のデータが得られるのに対して、路面粗さは1個のデータが得られることになる。路面特徴量

としてこの路面粗さ指標を多点反射強度値の後の変数として加えることで路面状態推定精度向上を図る。表1に、6つの路面状態についてのレーザ光の吸収、全反射、路面粗さ指標をまとめる。なお、表1において、○は強、×は弱、そして△はその中間を示す。

[表1]

	Condition	Absorption	Specular reflection	Fluctuation
Old asphalt road	Dry	X	X	X
	Moist	△	X	△
	Flooded	△	O	△
New asphalt road	Dry	△	X	X
	Moist	O	△	O
	Flooded	O	O	O

[0034] [B-3] ナイブ・ベイズ推定器による路面認識

ナイブ・ベイズ推定器は教師あり機械学習として用いられているものであり、判別すべきクラスごとでベイズ分布に従うデータが得られるときに有効な推定手法である。

[0035] まず教師データを作成するために下記の手順を取る。

(1) 得られたレーザレーダデータより反射強度値とそれを離散ウェーブレット分解した結果得られる路面粗さ指標を算出する。

(2) 分類すべき6つのクラスのそれぞれに対して、特徴変数 (f_i) の平均値 μ_i と標準偏差 σ_i を算出する ($i = 1 \sim N$, $N = n + m$)。このとき、 n は反射強度数、 m は路面粗さ指標数であり、今回はそれぞれ $n = 171$, $m = 1$ である。このとき171点の多点反射強度値は遠位から近位までのスキヤニング位置と反射強度を関数値として表現している。なおスキヤニング範囲内に白線が含まれない時が171データであり、スキヤニング範囲内に白線が含まれた場合には白線に該当するスキヤニング位置の白線強度を推定範囲から外す処理を行う。このように特徴変数の数を変更し得ることから、それに対応する機械学習法としてナイブ・ベイズ推定器を用いた。さらに

、多点反射強度値の後に路面粗さ指標を加えることで推定精度向上を目指す。

[0036] 以上のように得られた教師データを用い、リアルタイムで式（１）、（２）を算出することにより計測路面が分類される。

$$P(x_{f_i} | class) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{class, f_i}^2}} e^{-\frac{(x_{f_i} - \mu_{class, f_i})^2}{2\sigma_{class, f_i}^2}} \quad (1)$$

$$P(class | x_{f_i}) = \frac{P(class) \prod_{i=1}^n P(x_{f_i} | class)}{\prod_{i=1}^n P(x_{f_i})} \quad (2)$$

[0037] [B-4] 路面状態推定システム

路面状態推定は各スキャンデータを用いてリアルタイムに行う。データ処理の流れを図10に示す。

[0038] (1) まずレーザレーダより得られた路面および白線反射強度値を元に白線位置を認識する（特許文献1、非特許文献2参照）。

(2) 特許文献1、非特許文献2に基づく白線検知によって得られた白線位置情報を元に白線部分を路面状態推定領域から除外する。具体的には今回のスキャン範囲に含まれるデータ数（171点のデータ）から、白線が含まれる場合には白線領域分のデータ数（1個）分を引いておく。その結果決定された多点反射強度値の数が、まずその時刻において定義される特徴量数とする。

(3) 計測データより反射強度値（ $n-1$ 個、ここに1は白線上のデータ数）と、それを元にした路面粗さ指標（ m ）と、を算出する。

(4) 最後にナイーブ・ベイズ推定器によって路面の分類が行われる。

[0039] [C] 宇部興産専用道における路面状態推定試験

[C-1] 計測環境の構築

エネルギーITSプロジェクトにおけるセンサ系評価のため宇部興産専用道において約6か月間にわたる計測試験を実施した(非特許文献3)。その中で、レーザレーダによる路面状態推定試験を実施した。試験装置の全体構成図を図11に示す。フェールセーフECU(FS-ECU)からの情報、レーザレーダを用いた白線認識装置(アクティブ方式)からの情報、レーザデータを用いた路面状態推定装置からの情報、画像処理を用いた白線認識装置(パッシブ方式)からの情報、GPSからの情報、WEBカメラからの情報、温湿度計からの情報、がデータ処理装置に入力される。データ処理装置はコンピュータ(入力部、出力部、記憶部、演算部等のハードウェア構成と、所定のソフトウェアを備える)から構成することができる。試験では、以下に述べるように、主として各種データを記憶するデータ記憶装置としての役割を有する。試験では、図12に示すように、レーザレーダ路面状態推定システムとこれらデータを収集するデータロガー装置をトレーラ型トラックに搭載し、営業走行中の計測を実施した。白線認識および路面状態推定に用いられるレーザレーダはトラックの天井部分に設置されている。また長期計測を行うにあたっての環境記録用にGPS受信機、気象記録用カメラ、温湿度センサを設置してこれらデータをデータロガーに記録する。

[0040] レーザレーダは、株式会社デンソー製のスキャン式のレーザレーダを用いた。レーザレーダの仕様は以下の通りである。これらの仕様は、本発明に用いられ得るレーザレーダの一例に過ぎないことに留意されたい。

[表2]

Term	Specification
Wavelength	850 nm
Detectable range	120 m
Field of vision (azimuth)	18 degree
Field of vision (elevation)	1.33 degree
Sampling time	100 ms
Scanning point	451 point x 6 scanning line
Angular resolution	0.08 degree

レーザレーダの最大検知エリア（±18 [deg]）の1本の走査線上の走査点の数は451点であるが、本実施形態では、図12に示すように、17.02-3.42 [deg]の照射角度に対応する171点のデータが取得される。171点に対応する横方向の距離は0.7641mである。171点の各点（照射位置）に対応する反射光が受光され、171点の反射強度が取得される。

[0041] 計測車両は上記路面を50-60km/hで走行し、レーザレーダのサンプリング周波数は10Hzである。このときレーザレーダにより路面を計測した反射強度結果の例を図13に示す。横軸は横方向距離、縦軸は時間である。反射強度は実際にはカラースケール（輝度値）で表示されているが、特許図面の限界からグレースケールとなっている。図13は、経年アスファルト・乾燥路面上での10秒間の走行中に取得された100回の走査で得られた反射強度マップである。濃度の高い部分が白線部分からの反射強度を表している。

[0042] 今回の試験において推定する路面6条件は、「経年アスファルト・乾燥路面」、「経年アスファルト・湿潤路面」、「経年アスファルト・冠水路面」、「新アスファルト・乾燥路面」、「新アスファルト・湿潤路面」、「新アスファルト・冠水路面」の6種類である。

[0043] (1) 反射強度

図13のようにして得られた反射強度を横軸にスキャン位置・縦軸に反射強度にまとめたものを図14に示す。6条件の路面における反射強度はスキャン位置に対してこのような値を示している。乾燥・新アスファルトと湿潤・経年アスファルトの反射強度、および湿潤・新アスファルトと冠水・新アスファルトの反射強度が近い値を示しているが、それ以外の条件では分離されていることが確認できる。

[0044] (2) 路面粗さ指標

図14のように反射強度のみでは路面条件間の判別が困難な場合があることから、路面粗さ指標を追加することでより精確な判別を行えるようにする。

今回、路面粗さ指標は1つとし、n個の反射強度値に追加する。この路面粗さ指標は各スキャンにより得られる生データからリアルタイムで算出する。各スキャンにおける粗さデータを、離散ウェーブレット分解によって抽出し、粗さ指標を算出する。このときの路面粗さ波長はD1～D4に相当するものを採用し、これらの総和を取ることで路面粗さ指標とした。D1～D4の総和として算出された結果を図15に示す。路面粗さ指標はこの図15における横方向に総和を取るものであり、反射強度のばらつきの面積を取ることに相当する。

[表3]

Spatial frequency range and wavelength in high frequency signal obtained by level-5 decomposition

Signal	Level of decomposition	Spatial frequency range	Wavelength
D1	1	$74.07m^{-1} - 148.15m^{-1}$	$6.75mm - 13.5mm$
D2	2	$37.04m^{-1} - 74.07m^{-1}$	$13.5mm - 27.0mm$
D3	3	$18.52m^{-1} - 37.04m^{-1}$	$27.0mm - 54.0mm$
D4	4	$9.26m^{-1} - 18.52m^{-1}$	$54.0mm - 108.0mm$
D5	5	$4.63m^{-1} - 9.26m^{-1}$	$108.0mm - 216.0mm$

[0045] [C-2] 路面状態認識結果

路面状態認識は1000 [sec]の走行データを用い、6つの路面状態の認識を行った。路面状態は、カメラ画像から取得した。各クラスにおける平均値及び標準偏差は、クラスごとに1000個の訓練データから計算した。路面特徴量として多点反射強度値(171点の反射強度値)のみを用いてナীব・ベイズ推定器による路面認識した結果を表4に示す。判別に用いた計算式は以下の通りである。

$$p(class | RI_1, \dots, RI_{171}) = \frac{p(class) \left(p(RI_1 | class) p(RI_2 | class) \dots p(RI_{171} | class) \right)}{z}$$

$$classify(RI_1, \dots, RI_{171}) = \arg \max_{class} \left(\prod_{i=1}^{171} p(RI_i | class) \right)$$

多点反射強度値（171点の反射強度値）に路面粗さ指標を加えたパラメータを路面特徴量としてナイーブ・ベイズ推定器による路面認識した結果を表5に示す。判別に用いた計算式は以下の通りである。

$$p(class | RI_1, \dots, RI_{171}, F) = \frac{p(class)(p(RI_1 | class)p(RI_2 | class)\dots p(RI_{171} | class)) p(F | class)}{Z}$$

$$classify(RI_1, \dots, RI_{171}, F) = \arg \max_{class} \left(\left(\prod_{i=1}^{171} p(RI_i | class) \right)^{\frac{1}{171}} p(F | class) \right)$$

上記式において、 RI_{1-171} ：各反射強度値、 F ：路面粗さ指標、 $Class$ ：路面状態、 Z ：定数、である。

[表4]

Recognition rate by using NB with 171 values of reflection intensity

Real condition	Estimated	Dry Old	Moist Old	Flooded Old	Dry New	Moist New	Flooded New
Dry old asphalt	99.35%	0.65%	0%	0%	0%	0%	0%
Moist old asphalt	0%	27.26%	0.09%	72.55%	0.09%	0%	0%
Flood old asphalt	0%	8.91%	86.20%	4.50%	0%	0.39%	
Dry new asphalt	0.30%	0.44%	0.15%	99.11%	0%	0%	
Moist new asphalt	0%	1.60%	0.80%	0%	93.86%	3.74%	
Flooded new asphalt	0%	0.62%	0.31%	0%	77.05%	21.86%	

[表5]

Recognition rate by using NB with 171 values of reflection intensity
+ Fluctuation

Real condition	Estimated	Dry Old	Moist Old	Flooded Old	Dry New	Moist New	Flooded New
Dry old asphalt		98.71%	0%	0.46%	0.83%	0%	0%
Moist old asphalt		0%	93.21%	0.57%	6.04%	0.19%	0%
Flooded old asphalt		0%	15.22%	82.26%	1.50%	0.47%	0.55%
Dry new asphalt		4.87%	0.86%	1.18%	93.06%	0%	0%
Moist new asphalt		0.13%	1.07%	1.20%	0%	92.92%	4.67%
Flooded new asphalt		0%	0%	0%	0%	43.57%	56.43%

[0046] 反射強度値のみを用いた場合には湿潤・経年アスファルトが27.26%、冠水・新アスファルトが21.86%と低認識率であったものが、反射強度値と路面粗さ指標を組み合わせた場合には湿潤・経年アスファルトが93.21%、冠水・新アスファルトが56.43%と大幅に認識率が向上しており、路面特徴量として路面粗さ指標を加える効果が確認できた。

[0047] その結果、本実施形態で目的とされていた乾燥・湿潤の判別は92%以上の認識率であることが確認された。さらに路面の質まで考慮した場合には新アスファルトで92%以上、経年アスファルトで93%以上の認識率であることが確認された。冠水・新アスファルトの認識率が低くなっているが、これは路面状態の正解データの判別を天候カメラデータから行ったため、湿潤から冠水への切り替わりにおける水膜厚さの判別に実際とのずれが生じたためと考えられる。また、この時のデータ処理時間として0.06 [sec/scanned data] であることから、リアルタイム処理としても問題なく行えることが確認された。

[0048] 以上述べたように、本実施形態では自動運転・隊列走行における白線認識に活用しているレーザレーダを活用した路面状態推定技術の開発を目指し、レーザレーダ反射強度および路面粗さ指標を用い、機械学習としてナイーブ・ベイズ推定器を用いることで路面のDry/Wetを判定するアルゴリズム

開発を行った。本手法の特徴として、第1に従来レーザレーダを用いた路面状態推定法は反射強度のみを利用しているのに対し、計測範囲に含まれる多点反射強度値を用いることで位置関係とレーザ光反射の機械的性質が考慮できるようにしたことが挙げられる。第2に推定精度向上のため路面粗さ成分を指標として特徴量を増やし、この路面粗さ指標に路面の空間周波数で分類するためウェーブレット分解を用い路面粗さに関係するうねり成分を算出した。このようにして用意された特徴量に対して、機械学習法としてナイーブ・ベイズ推定器を用いることで路面状態推定を行うことにする。走行中、白線の有無によって路面状態推定に用いる多点反射強度値の特徴量数が異なってくる。このように特徴量数が変化し得る推定対象にも適用できる機械学習法としてナイーブ・ベイズ推定器を選定した。隊列走行に必要とされる路面情報はアスファルトのDry/Wet情報であるが、実車計測により得られた結果を用い、路面をDry/Wetだけではなく乾燥・湿潤・冠水およびアスファルトの新旧まで条件を拡大した6路面にて路面判別を実施した。その結果、本プロジェクトで必要とされる乾燥・湿潤の判別は92%以上の認識率という結果が得られた。さらにアスファルトの新旧という質まで判別が行えることも確認できた。

なお、上述した例では路面状態判別器としてナイーブ・ベイズ推定器から構成されている例を示したが、路面状態判別器は、ニューラルネットワークから構成されてもよい。ニューラルネットワークは、図16に示すように、171個の入力ノード（171個の多点反射強度値）と、3つのクラス（路面状態）をラベリングする出力ノードと、10個の隠れノードと、を備えている。

[0049] 上記実施形態は、本発明を具現化する構成を例示する態様に過ぎず、本発明の技術思想を逸脱しない範囲で、各種変更、改良が可能であることが当業者に理解される。

請求の範囲

[請求項1]

路面上を走査するようにレーザ光を照射する投光部と、
路面上の各照射点に対応する反射強度値を取得する受光部と、
反射強度値を用いて路面状態を判別する路面状態判別器と、を備え、

路面上の各照射点に対応して取得された反射強度値のセット（「多点反射強度値セット」という）は、路面状態に依存する投光部を基準とした遠近方向の照射位置と反射強度値との関係を規定しており、

前記路面状態判別器は、既知の異なる路面状態を備えた複数の路面についてそれぞれ取得された複数の多点反射強度値セットを学習データとして用いた機械学習により生成され、

前記路面状態判別器は、路面状態が未知の路面について取得された多点反射強度値セットを入力として、路面状態を判別して出力する、
路面状態推定装置。

[請求項2]

前記路面状態推定装置は、路面上を走行する車両に搭載されており、

前記レーザ光は、路面を横切る方向に走査するように照射される、
請求項1に記載の路面状態推定装置。

[請求項3]

レーザ光の照射範囲には、路面の走行方向に延びる区画線が含まれており、

路面状態が未知の路面について取得された多点反射強度値セットには、前記区画線に対応する反射強度値が含まれており、

前記路面状態判別器は、前記取得された多点反射強度値セットから前記区画線に対応する反射強度値を除いた反射強度値セットを用いて路面状態の判別を行う、

請求項2に記載の路面状態推定装置。

[請求項4]

前記多点反射強度値セットを解析することで路面状態に依存した路面粗さ指標を取得する解析手段を備え、

前記学習データには、既知の異なる路面状態を備えた複数の路面についてそれぞれ取得された複数の路面粗さ指標が含まれており、

前記路面状態判別器は、路面状態が未知の路面について取得された多点反射強度値セット及び路面粗さ指標を入力として、路面状態を判別して出力する、

請求項 1 ～ 3 いずれか 1 項に記載の路面状態推定装置。

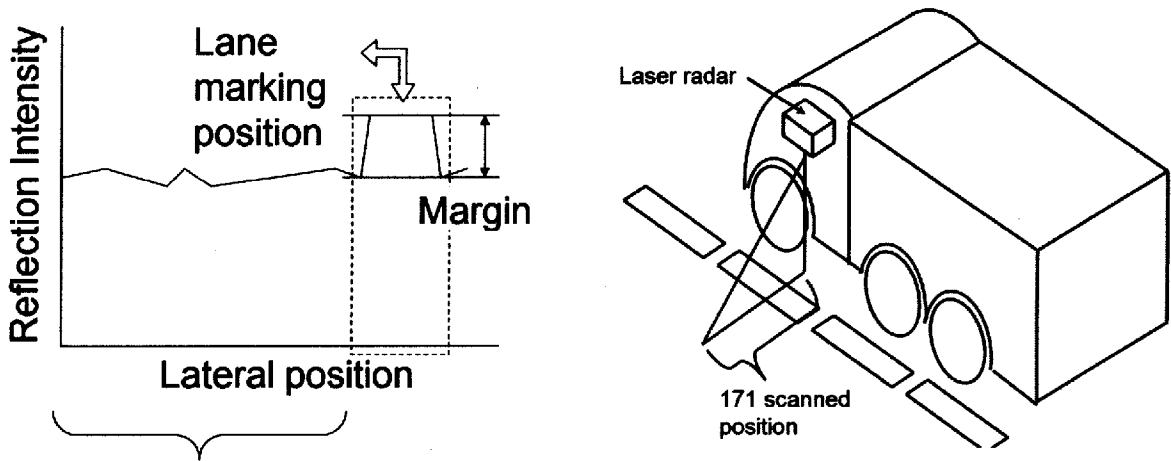
[請求項5] 前記解析手段は、離散ウェーブレット解析である、請求項 4 に記載の路面状態推定装置。

[請求項6] 前記路面状態判別器は、ナイーブ・ベイズ推定器から構成されている、請求項 1 ～ 5 いずれか 1 項に記載の路面状態推定装置。

[請求項7] 前記路面状態判別器は、ニューラルネットワークから構成されている、請求項 1 ～ 5 いずれか 1 項に記載の路面状態推定装置。

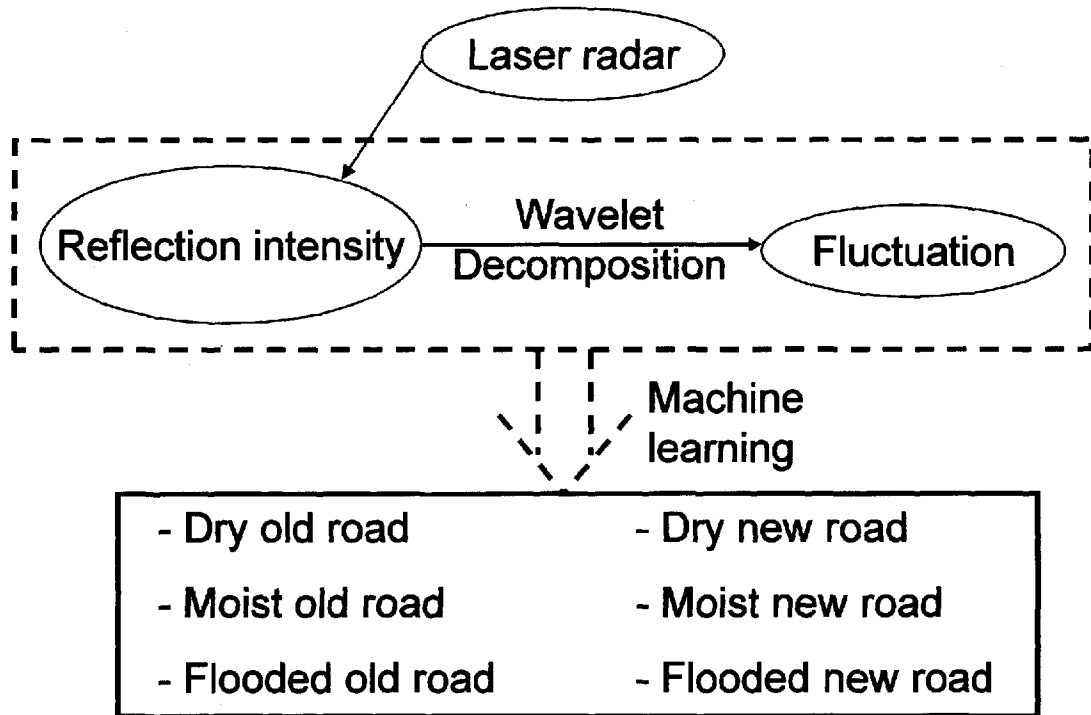
[請求項8] 前記路面状態判別器は、少なくとも、乾燥状態と、湿潤状態と、を判別する、請求項 1 ～ 7 いずれか 1 項に記載の路面状態推定装置。

[図1]

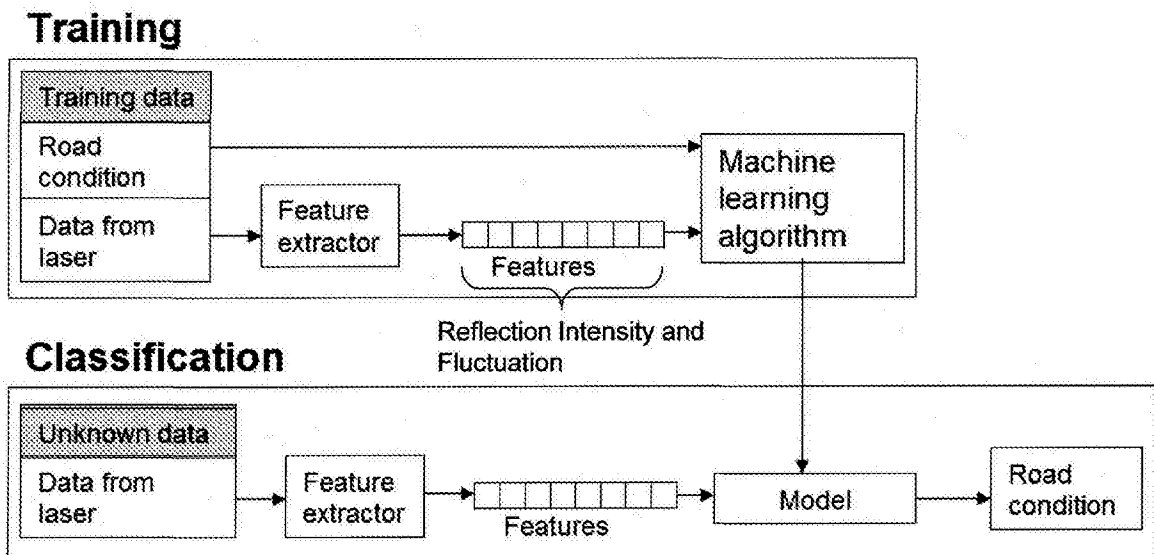


Utilize these information

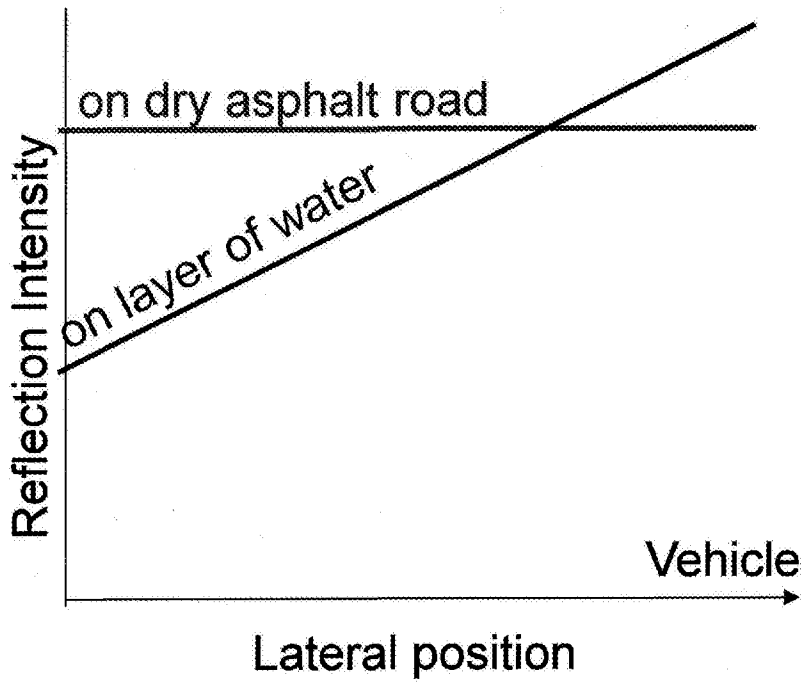
[図2]



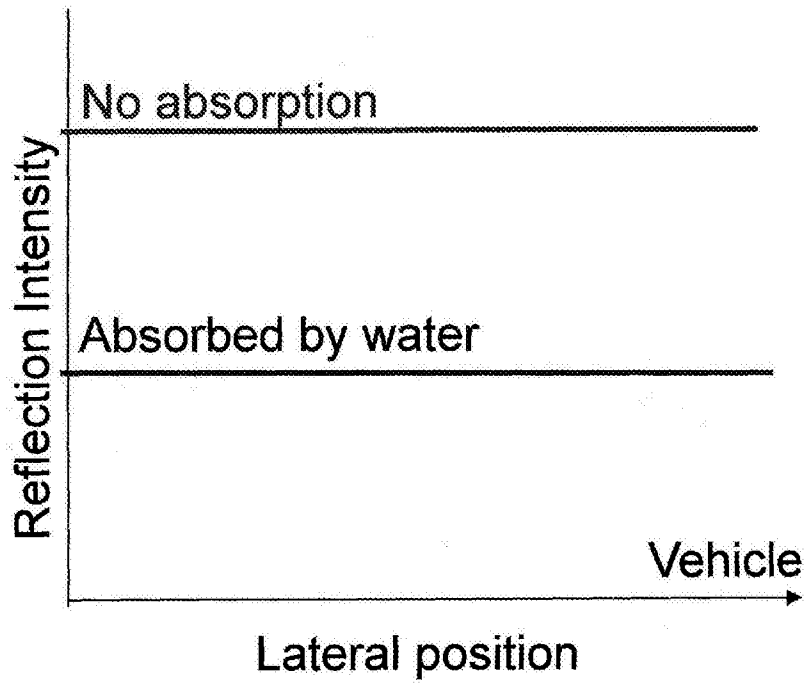
[図3]



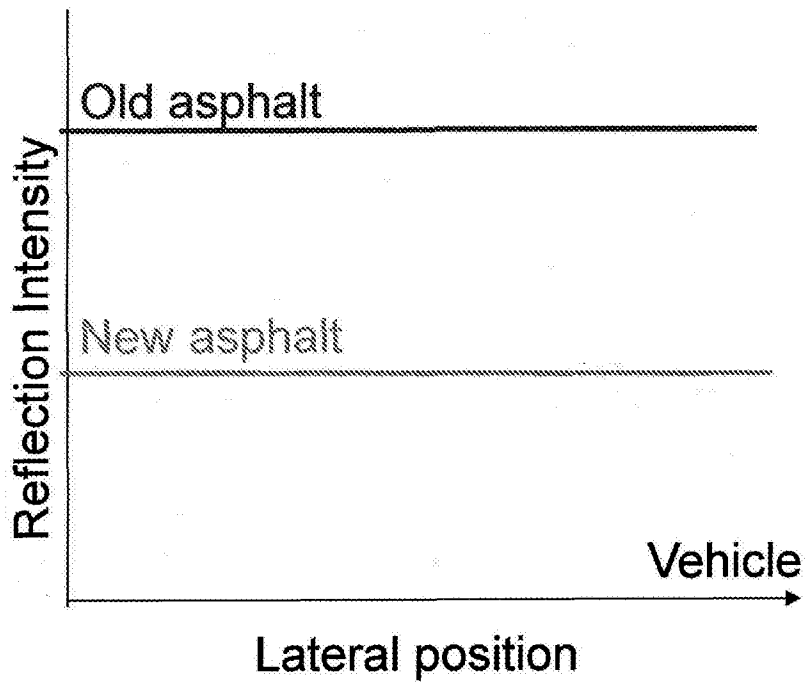
[圖4]



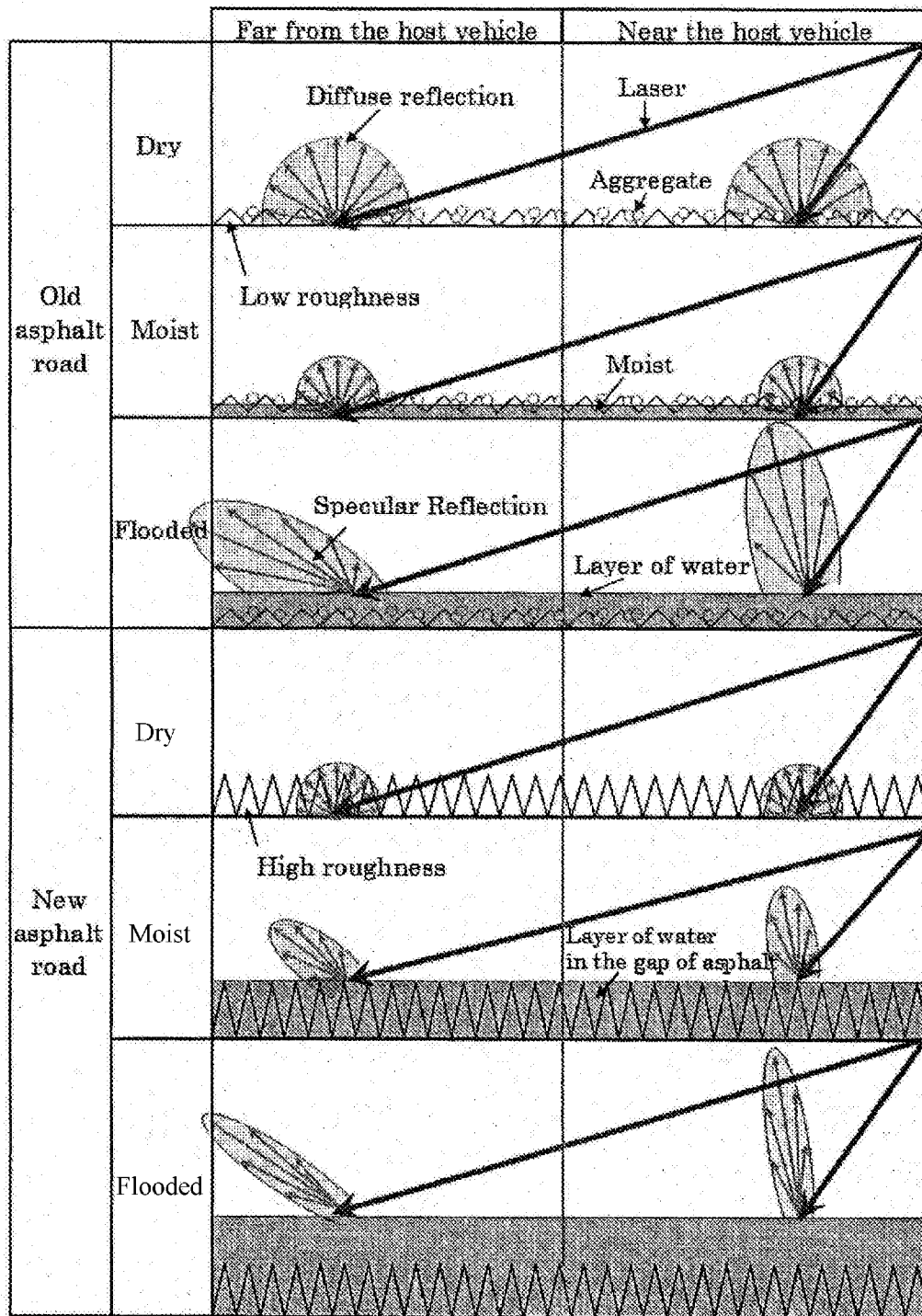
[圖5]



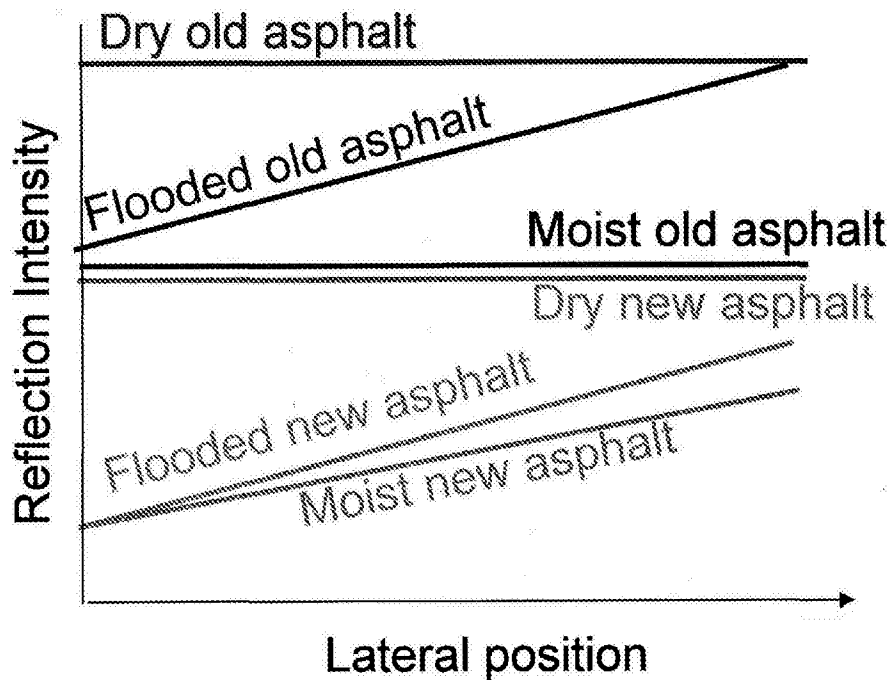
[図6]



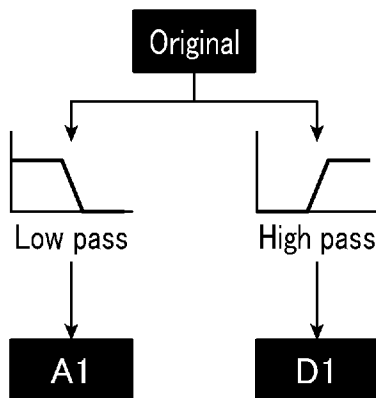
[図7]



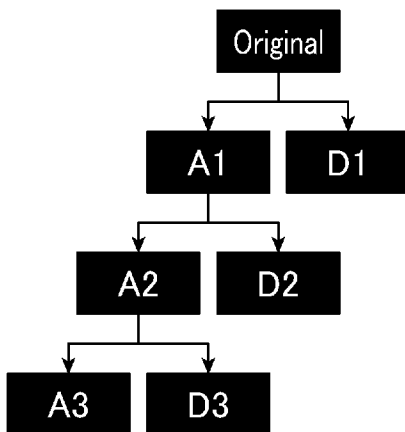
[圖8]



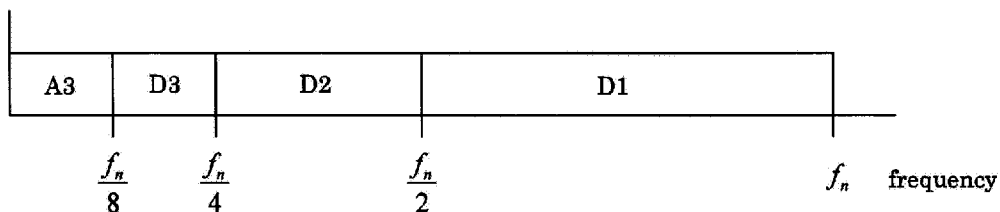
[圖9A]



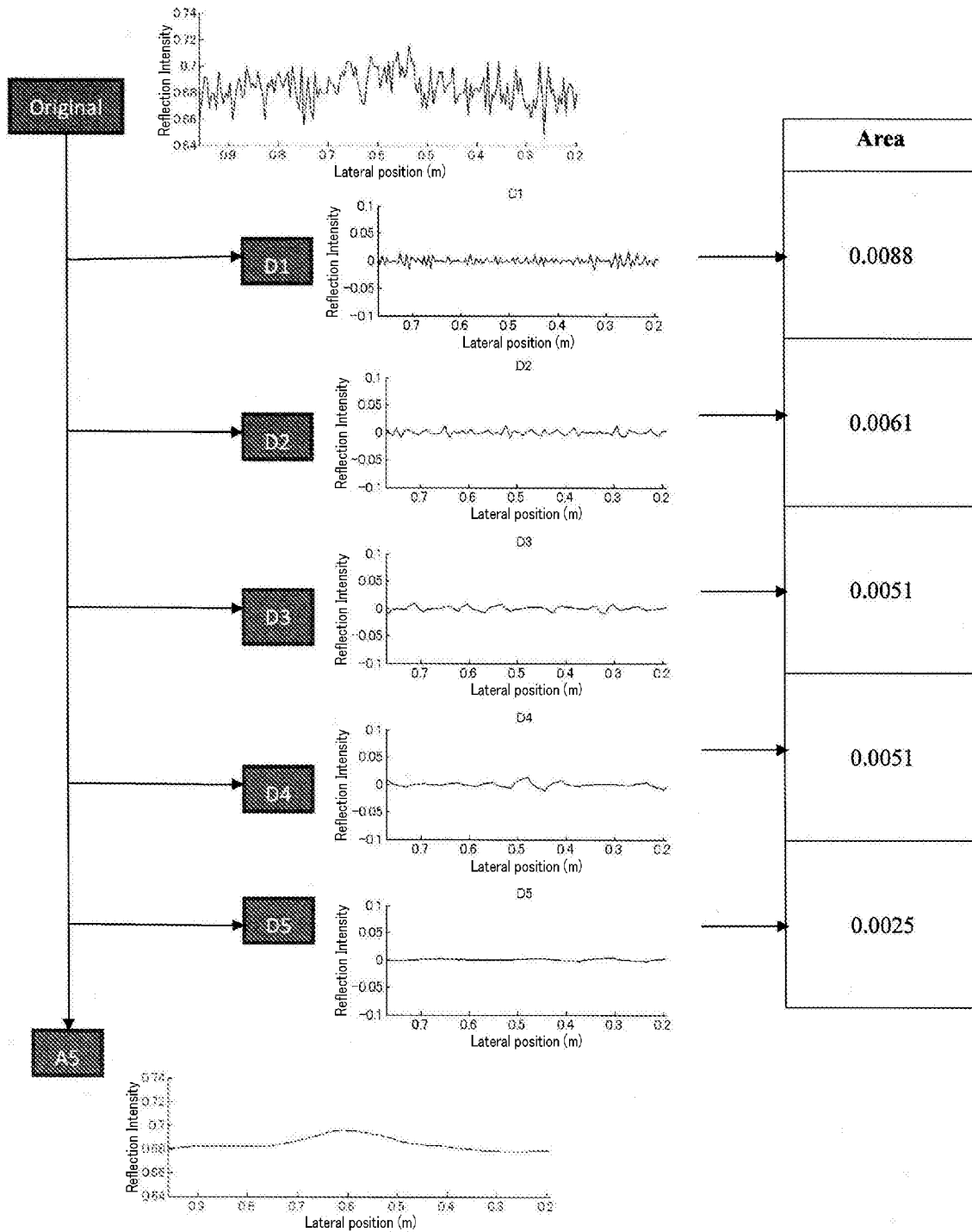
[圖9B]



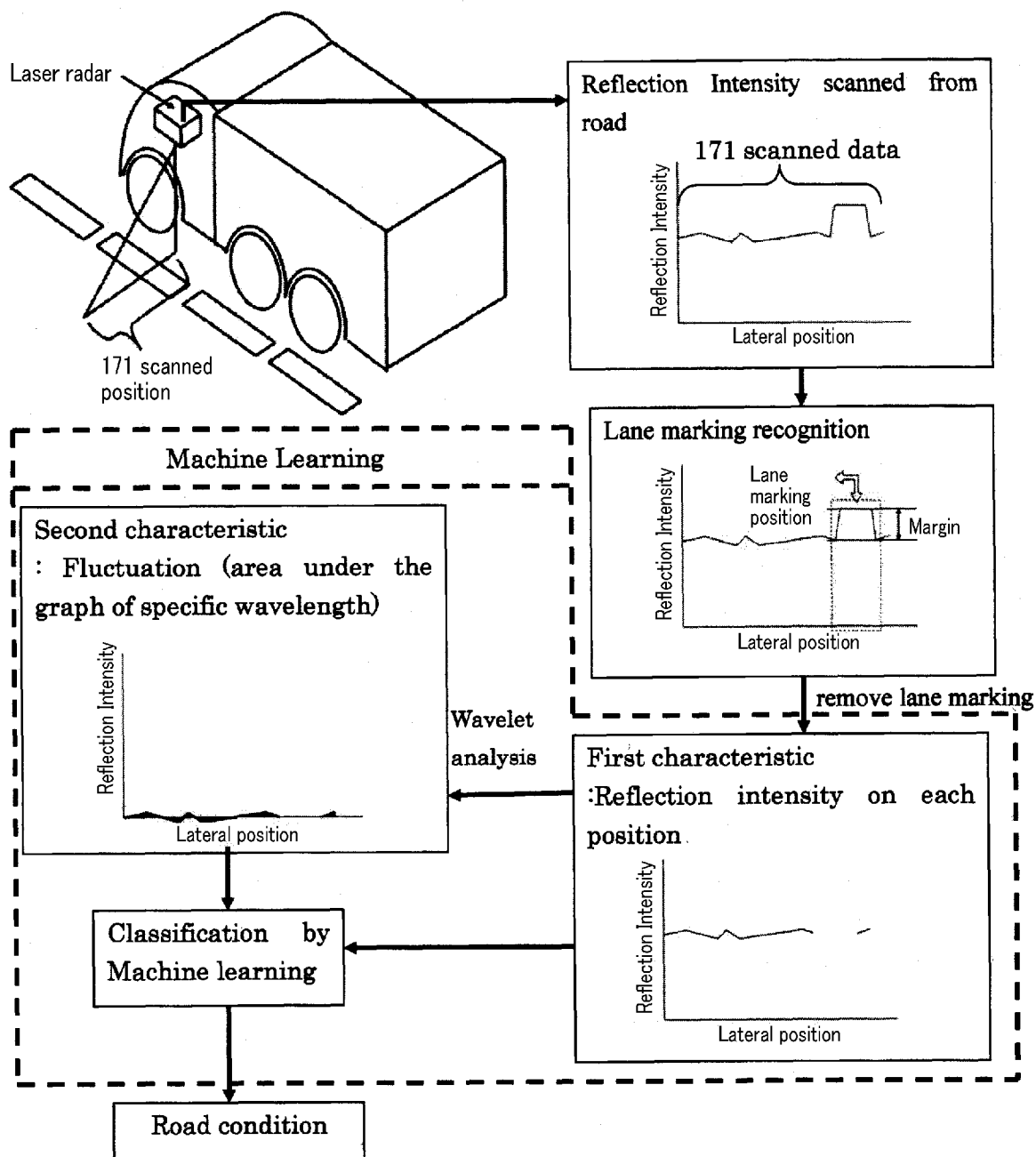
[圖9C]



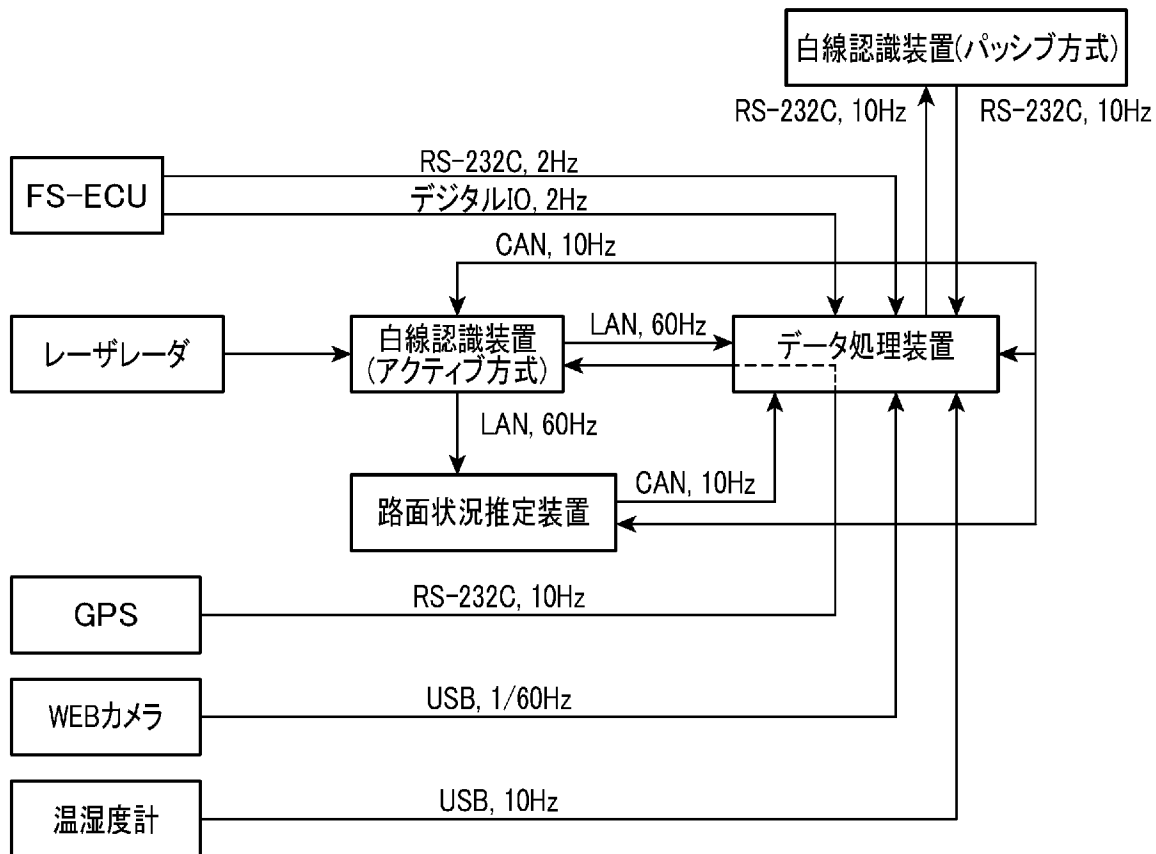
[9D]



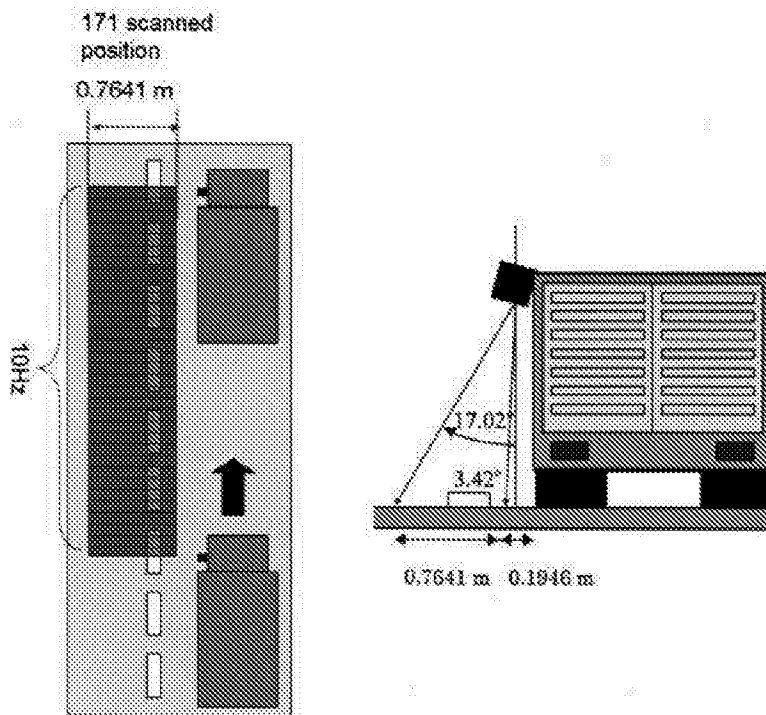
[図10]



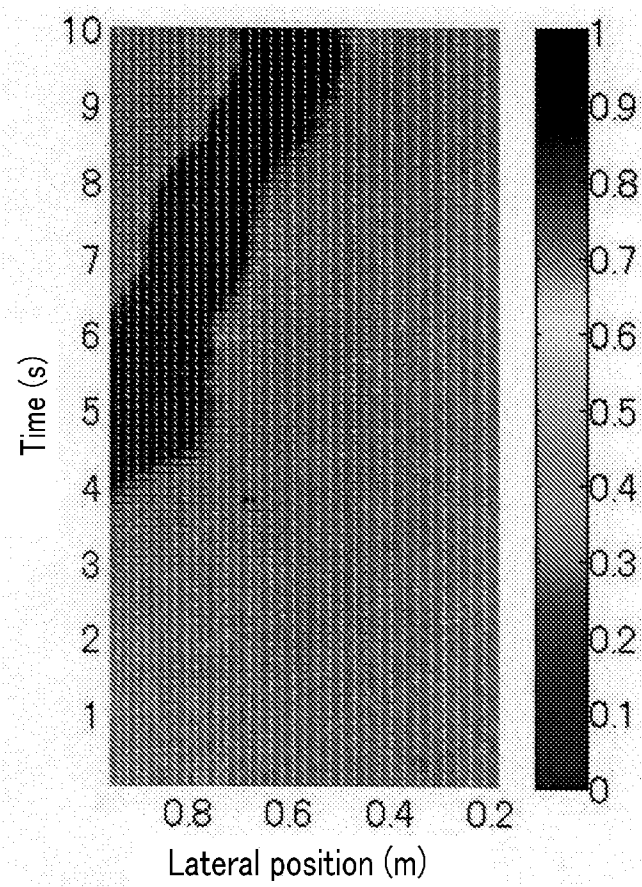
[図11]



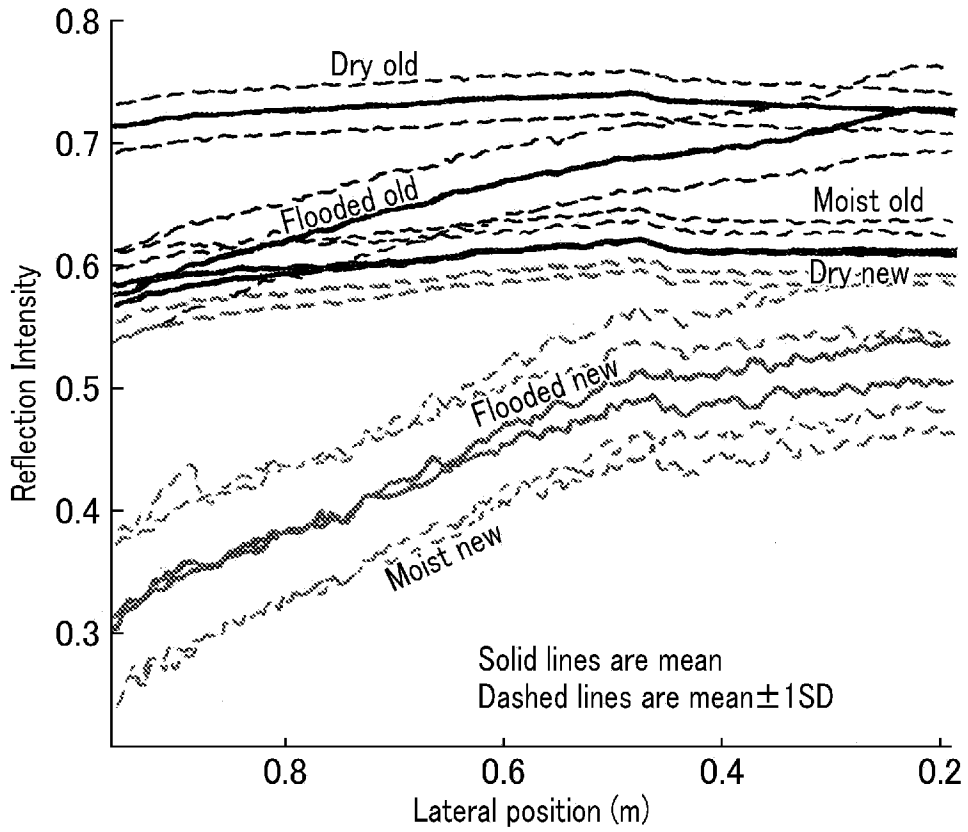
[図12]



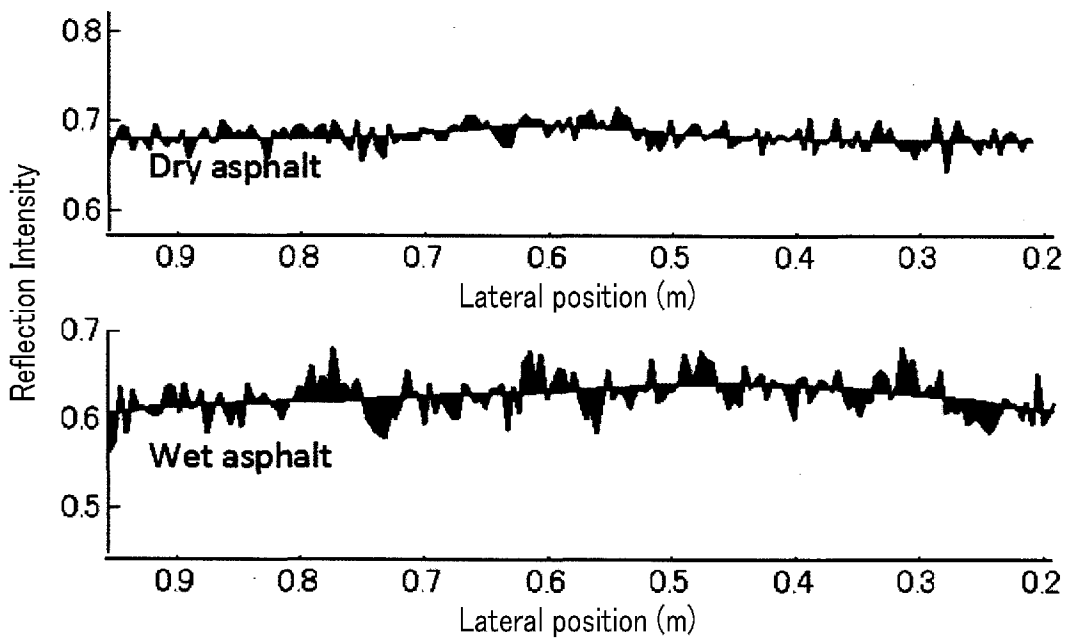
[図13]



[圖14]

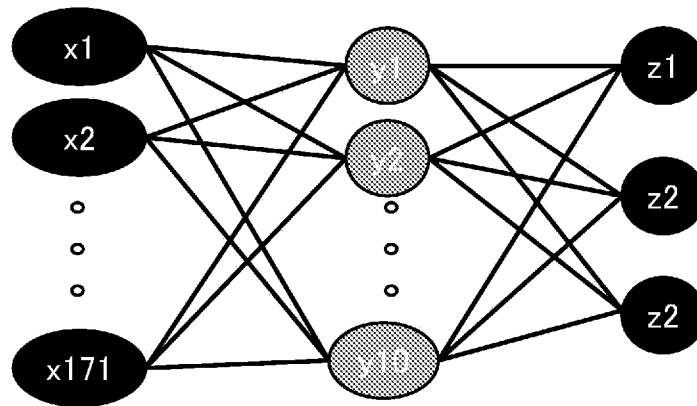


[圖15]



[図16]

- Input node: 171 (Scanned Relection intensity)
- Output node: 3 (Road condition)
- Hidden node: 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/063388

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N21/17(2006.01)i, B60W40/068(2012.01)i, G01S17/88(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)
G01N21/00-21/61, B60W40/068, G01S17/88, G05D1/00-1/12

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2009-199154 A (IHI Corp.), 03 September 2009 (03.09.2009), paragraphs [0029] to [0057], [0083]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1, 2, 8 4, 6, 7 3, 5
Y	JP 4-054600 A (Mazda Motor Corp.), 21 February 1992 (21.02.1992), page 2, lower right column, line 7 to page 3, upper left column, line 14; fig. 3 (Family: none)	4, 6, 7
Y	WO 2011/158306 A1 (Honda Motor Co., Ltd.), 22 December 2011 (22.12.2011), paragraph [0055] (Family: none)	6, 7

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 04 August, 2014 (04.08.14)	Date of mailing of the international search report 19 August, 2014 (19.08.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/063388

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-174794 A (Kyushu Institute of Technology), 08 September 2011 (08.09.2011), paragraphs [0025] to [0032] (Family: none)	5
A	Mitsuyasu MATSUURA et al., "Tairetsu Soko ni Okeru Laser Radar Hakusen Kenchi System (2nd report)", Preprints of Meeting on Automotive Engineers, 29 September 2010 (29.09.2010), no.145-10, pages 1 to 4	3
A	WO 2011/095605 A1 (DELTA DANSK ELEKTRONIK, LYS & AKUSTIK), 11 August 2011 (11.08.2011), entire text; all drawings & US 2013/0194565 A1 & EP 2531837 A	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. G01N21/17(2006.01)i, B60W40/068(2012.01)i, G01S17/88(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. G01N21/00-21/61, B60W40/068, G01S17/88, G05D1/00-1/12

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 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014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）
 JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

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
X Y A	JP 2009-199154 A (株式会社 I H I) 2009.09.03, 段落 0029 - 段落 0057、段落 0083、図 1 - 図 4 (ファミリーなし)	1, 2, 8 4, 6, 7 3, 5
Y	JP 4-054600 A (マツダ株式会社) 1992.02.21, 第 2 頁右下欄第 7 行 - 第 3 頁左上欄第 14 行、第 3 図 (ファミリーなし)	4, 6, 7
Y	WO 2011/158306 A1 (本田技研工業株式会社) 2011.12.22, 段落 0055 (ファミリーなし)	6, 7

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 04.08.2014	国際調査報告の発送日 19.08.2014
--------------------------	--------------------------

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) 横尾 雅一 電話番号 03-3581-1101 内線 3250	2W	3716
--	--	----	------

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
A	JP 2011-174794 A (国立大学法人九州工業大学) 2011.09.08, 段落 0025-段落0032 (ファミリーなし)	5
A	松浦充保、外2名, 隊列走行におけるレーザレーザ白線検知システム (第2報), 自動車技術会 学術講演会前刷集, 2010.09.29, N o. 145-10, 第1頁-第4頁	3
A	WO 2011/095605 A1 (DELTA DANSK ELEKTRONIK, LYS & AKUSTIK) 2011.08.11, 全文、全図 & US 2013/0194565 A1 & EP 2531837 A	1-8