

(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
2017年8月31日(31.08.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/146249 A1

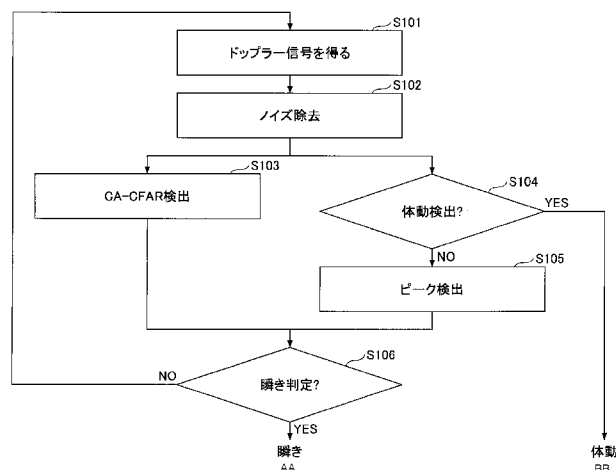
- (51) 国際特許分類:
A61B 5/11 (2006.01) *G01S 13/58* (2006.01)
A61B 3/113 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/007318
- (22) 国際出願日: 2017年2月27日(27.02.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-036467 2016年2月26日(26.02.2016) JP
- (71) 出願人: 学校法人慶應義塾(KEIO UNIVERSITY)
[JP/JP]; 〒1088345 東京都港区三田二丁目15番
45号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大槻 知明(OHTSUKI, Tomoaki); 〒
2238522 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14
番1号 慶應義塾大学 理工学部内 Kanagawa
(JP). 丹波 千尋(TAMBA, Chihiro); 〒2238522 神奈
川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應
義塾大学 理工学部内 Kanagawa (JP). 林 寛貴
(HAYASHI, Hirotaka); 〒2238522 神奈川県横浜市
港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学
理工学部内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外(ITO, H, Tadashige et al.); 〒
1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号
丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビ
ル) 16階 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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC,
LK, LR, LS, 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,
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
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).

[続葉有]

(54) Title: BLINK DETECTING SYSTEM, BLINK DETECTING METHOD

(54) 発明の名称: 瞬き検出システム、瞬き検出方法

[図3]



- S101 Obtain Doppler signal
S102 Remove noise
S103 Perform CA-CFAR detection
S104 Has body movement been detected?
S105 Detect peak
S106 Has blink been determined?
AA Blink
BB Body movement

(57) Abstract: This blink detecting system includes: a Doppler sensor for obtaining a Doppler signal; a first detecting unit which obtains an amplitude signal of the Doppler signal, divides the amplitude signal into a plurality of cells that are continuous in the time axis direction, sets a first threshold on the basis of amplitude values of cells that are before and after a cell of interest but are not adjacent thereto, and detects a signal component equal to or greater than the first threshold in the cell of interest; and a blink determining unit which removes erroneous detections from the signal component equal to or greater than the first threshold, on the basis of the characteristics of a blink waveform, and determines that the remaining signal component is a blink.

(57) 要約: 本瞬き検出システムは、ドップラー信号を得るドップラーセンサと、前記ドップラー信号の振幅信号を求め、前記振幅信号を時間軸方向に連続する複数のセルに分割し、注目するセルに隣接しない前後のセルの振幅値に基づいて第1閾値を決定し、前記注目するセルにおいて前記第1閾値以上の信号成分を検出する第1検出部と、瞬き波形の特徴に基づいて、前記第1閾値以上の信号成分の中から誤検出を除去し、残りの信号成分を瞬きと判定する瞬き判定部と、を有する。

WO 2017/146249 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：瞬き検出システム、瞬き検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、瞬き検出システム及び瞬き検出方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、コンピュータの画像表示端末（V D T : Visual Display Terminal）での作業の普及に伴い、多くの作業員から肩や腰、手、特に目の痛みを訴える事例が多く挙げられており、これらの事例はV D T 症候群等と呼ばれている。長時間のV D T 作業は、眼精疲労等の様々な眼症状を引き起こすため、V D T 作業員の間で問題となっている。

[0003] 瞬きは涙液膜を広げたり角膜を守ったりする役割があり、瞬き情報の取得は疲労度や集中度、眠気といった身体状態の把握のみならず、V D T 作業員の眼症状を防ぐという観点でも有効である。

[0004] こうした背景から、瞬き情報の取得に注目した様々な取り組みが行われており、例えば、機械学習に基づく手法が提案されている（例えば、非特許文献1 参照）。この手法では、瞬き信号について5 つの特徴量（電圧最大値、時間幅、分散、生信号の分散、生信号の電圧最大値）を定義し、機械学習の一つであるS V M（Support Vector Machine）により瞬きと非瞬きを識別する。

[0005] これら特徴量は人や環境毎に異なるため、事前に様々な瞬きについて特徴量を学習することで、検出特性が向上する。しかし、機械学習を用いた手法では、人や環境毎に事前学習を行う必要があり、学習データとテストデータが適さない場合には検出精度が劣化してしまう。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1：C, Tamba and T. Ohtsuki, “Learning-based Blink Detection Using a Doppler Sensor,” IEICE technical report, vol. 114, no. 41

8, ASN2014-123, pp. 97-102, Jan. 2015.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであり、機械学習が不要で高精度な瞬き検出を可能とする、ドップラーセンサを用いた瞬き検出システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本瞬き検出システムは、ドップラー信号を得るドップラーセンサと、前記ドップラー信号の振幅信号を求め、前記振幅信号を時間軸方向に連続する複数のセルに分割し、注目するセルに隣接しない前後のセルの振幅値に基づいて第1閾値を決定し、前記注目するセルにおいて前記第1閾値以上の信号成分を検出する第1検出部と、瞬き波形の特徴に基づいて、前記第1閾値以上の信号成分の中から誤検出を除去し、残りの信号成分を瞬きと判定する瞬き判定部と、を有することを要件とする。

発明の効果

[0009] 開示の技術によれば、機械学習が不要で高精度な瞬き検出を可能とする、ドップラーセンサを用いた瞬き検出システムを提供できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本実施の形態に係る瞬き検出システムを例示する機能ブロック図である。

[図2]ドップラーセンサ10で得たドップラー信号の一例である。

[図3]本実施の形態に係る瞬き検出方法のフローチャートの一例である。

[図4]C A - C F A R検出について説明する図である。

[図5]振幅信号A、振幅信号Aを平滑化した振幅信号 A_M について説明する図である。

[図6]第2閾値 TH_2 以下の振幅信号 A_M のピークの一例である。

[図7]ピーク高判定部の判定について説明する図である。

[図8] I 信号及びQ信号のそれぞれの高低差 M_I 及び M_Q について説明する図である。

[図9A]平滑化したI信号及びQ信号から得られた極大点と極小点について説明する図（その1）である。

[図9B]平滑化したI信号及びQ信号から得られた極大点と極小点について説明する図（その2）である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照して、実施の形態の説明を行う。なお、各図面において、同一構成部分には同一符号を付し、重複した説明を省略する場合がある。

[0012] 図1は、本実施の形態に係る瞬き検出システムを例示する機能ブロック図である。図1に示す瞬き検出システム1は、主要な構成要素として、ドップラーセンサ10と、信号処理部20とを有している。

[0013] ドップラーセンサ10は、ドップラー効果による送信信号と受信信号の周波数シフトを観測することで、観測対象（被験者）の動きを検出するセンサである。本実施の形態では、一例として、送信波として無変調連続波（CW：Continuous Wave）を用いる。

[0014] ドップラーセンサ10は被験者の近傍に配置され、被験者の眼又はその近傍で反射された信号（反射波）を受信し、受信信号に送信信号の周波数を掛け合わせてドップラー信号を得る。被験者としては、例えば、画像表示端末（VDT）で作業する作業員、車両の運転者等が挙げられる。

[0015] 図2は、ドップラーセンサ10で得たドップラー信号の一例である。図2に示す信号は、送信信号と受信信号の間の周波数シフトを表わすドップラー信号を時間の関数として取得したものであり、送信信号と同相（In-phase）成分であるI信号、及び直交位相（Quadrature）成分であるQ信号で構成される。

[0016] 瞬き、心拍や呼吸、体動（身体による動作）等の身体の表面の動きはドップラーセンサ10により観測できる。身体の表面積が広い体動の場合、ドップラーセンサ10の出力信号も大きくなるため、50Hz程度の高周波数領

域までスペクトルが広がって分布する。

[0017] 一方、心拍や呼吸等の小さな身体動作は、スペクトルが数Hz程度の低周波領域に分布する傾向にあり、心拍成分は0.8～1.5Hz程度、呼吸成分は0.15～0.4Hz程度の周波数となる。瞬きは、心拍や呼吸よりも高く、体動よりも低い周波数領域となり、約10～20Hzまでスペクトルが広がる。

[0018] 従って、瞬き検出を行う際には、バンドパスフィルタ等を用いて適宜ノイズ除去を行うことが好ましい。

[0019] 図1に戻り、信号処理部20は、ドップラーセンサ10の出力信号であるドップラー信号に基づいて、被験者の瞬きを検出する。信号処理部20は、適宜、ドップラーセンサ10で受信したドップラー信号のI信号及びQ信号をそのまま利用したり、I信号及びQ信号に基づいて振幅信号を生成したりすることができる。

[0020] 信号処理部20は、CA-CFAR (Cell Averaging Constant False Alarm Rate) 検出部21と、体動検出部22と、ピーク検出部23と、瞬き判定部24とを有している。又、瞬き判定部24は、ピーク高判定部241と、電圧高低差判定部242と、位相変化判定部243とを有している。これら各部の機能については、図3のフローチャートを参照しながら後述する。

[0021] 信号処理部20は、例えば、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、メインメモリ等を含む構成とすることができる。この場合、信号処理部20の各種機能は、ROM等に記録されたプログラムがメインメモリに読み出されてCPUにより実行されることによって実現できる。但し、信号処理部20の一部又は全部は、ハードウェアのみにより実現されてもよい。又、信号処理部20は、物理的に複数の装置等により構成されてもよい。

[0022] 図3は、本実施の形態に係る瞬き検出方法のフローチャートの一例である。図3を中心にして適宜他の図も参照しながら、本実施の形態に係る瞬き検出方法について説明する。

[0023] まず、ステップS101では、ドップラーセンサ10で被験者からの反射波を受信してドップラー信号を得る。ここで得るドップラー信号は、例えば、図2に示すようなI信号及びQ信号で構成されている。

[0024] 次に、ステップS102では、ステップS101で受信したドップラー信号のノイズ除去を行う。ノイズ除去は、ドップラーセンサ10と信号処理部20との間にバンドパスフィルタ等を挿入してハードウェア的に行ってもよいし、ドップラーセンサ10の出力信号を直接信号処理部20に入力し、信号処理部20内においてデジタル信号処理（デジタルフィルタ等）により行ってもよい。

[0025] 又、除去すべきノイズの周波数（通過させるべき信号の周波数）は各処理により異なる場合があるから、通過帯域の異なる複数の信号を出力可能に構成しておくことが好ましい。例えば、通過帯域を5～50Hz程度とした信号、通過帯域を5～25Hz程度とした信号、ノイズ除去を行わない信号等を適宜出力させるように構成することができる。但し、ステップS102は必要に応じて実行すればよい。

[0026] 次に、ステップS103では、第1検出部であるCA-CFAR検出部21は、ステップS102においてノイズ除去されたドップラー信号に基づいてCA-CFAR検出を行う。まず、ノイズ除去されたドップラー信号（I信号及びQ信号）から式（1）により振幅信号Aを求める。なお、CA-CFAR検出では、ステップS102で通過帯域を5～50Hz程度とした信号を用いることが好ましい。前述のように、心拍成分は0.8～1.5Hz程度、呼吸成分は0.15～0.4Hz程度であるから、通過帯域を5～50Hz程度とすることで、心拍や呼吸の影響を低減できるからである。

[0027]

[数1]

$$A(t) = \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2} \quad \cdots (1)$$

次に、振幅信号Aを用いてCA-CFAR検出を行う。CA-CFAR検出では、所望の誤警報確率に基づいて第1閾値 TH_1 を決定する。第1閾値 TH_1 を決定するには、図4に示すように振幅信号Aを時間軸方向に連続する複数のセルに分割し、注目するセル(Cut: Cell under test)を決定する。

[0028] 次に、Cutに隣接しない前後のセルの振幅値に基づいて第1閾値 TH_1 を決定する。具体的には、Cutの直前の所定数のセルをガードセル G_F 、Cutの直後の所定数のセルをガードセル G_R とし、更に、ガードセル G_F の直前の所定数のセルをフロントセルF、ガードセル G_R の直後の所定数のセルをリアセルRとする。ドップラーセンサ10で観測された瞬き信号の時間長は、経験的に約0.4秒であることがわかっている。そこで、図4における各セルのセル長は0.2秒程度に設定することが好ましい。

[0029] なお、図4では、ガードセル G_F 、ガードセル G_R 、フロントセルF、及びリアセルRをそれぞれ3セルで構成しているが、これは一例であり、ガードセル G_F 、ガードセル G_R 、フロントセルF、及びリアセルRを構成するセル数は適宜決定することができる。

[0030] 次に、フロントセルFの振幅値とリアセルRの振幅値の平均値 A_{AVE} を算出し、式(2)に示すように平均値 A_{AVE} を係数 α 倍したものを第1閾値 TH_1 とする。なお、ガードセル G_F 及び G_R は第1閾値 TH_1 の算出には用いない。これは、注目するセルであるCut自身が第1閾値 TH_1 へ影響することを防ぐためである。

[0031]

[数2]

$$TH_1 = A_{AVE} \times \alpha \quad \dots (2)$$

第1 閾値 TH_1 が低すぎると、多くの雑音を瞬きと誤検出し F P (False Positive) が増加する。一方、第1 閾値 TH_1 が高すぎると、瞬きの検出漏れが多くなり F N (False Negative) が増加する。そこで、係数 α を適切な値に設定する必要があるが、発明者らの事前実験により、 $\alpha = 3.4$ 程度とすることで F P 及び F N を低減できることがわかっている。

[0032] 以上のようにして第1 閾値 TH_1 が決定されると、C A - C F A R 検出部 21 は、C u t において第1 閾値 TH_1 以上の信号成分を検出する。引き続き C u t の位置を移動させながら同様の検出を繰り返す。そして、第1 閾値 TH_1 以上の信号成分は、瞬きである可能性があるとは判断され、ステップ S 1 0 6 (後述) の処理が実行される。

[0033] 次に、ステップ S 1 0 4 では、第2 検出部である体動検出部 22 は、体動検出を行う。体動検出は、身体の大きな動きを検出し、瞬き検出処理から除外するために行う処理である。例えば、退屈な直線道路の運転中や V D T 作業集中時等、動作中でない状況での瞬きを検出対象とする。瞬きによる振幅値は小さくなるのに対し、身体の大きな動きによる振幅値は大きくなるため、大きな振幅値を持つ信号は体動によるものであると判別できる。

[0034] 具体的には、体動検出部 22 は、ステップ S 1 0 2 においてノイズ除去されたドップラー信号に基づいて体動検出を行う。まず、ノイズ除去されたドップラー信号から式 (1) により振幅信号 A を求める。ここでは、ステップ S 1 0 2 で通過帯域を 5 ~ 25 H z 程度とした信号 (心拍や呼吸、高周波雑音成分を低減した信号) を用いて図 5 に示す振幅信号 A を求める。

- [0035] 続いて、振幅信号 A を移動平均により平滑化した振幅信号 A_M を生成する。そして、振幅信号 A_M と第 2 閾値 TH_2 とを比較する。そして、第 2 閾値 TH_2 より大きな信号成分を体動によるものと判定する。なお、第 2 閾値 TH_2 は、事前実験に基づいて適宜決定することができる。
- [0036] 振幅信号 A_M が第 2 閾値 TH_2 以下である信号成分は、体動が検出されていないものと判断され、ステップ S 105 へ進む。ステップ S 105 では、ピーク検出部 23 は、ステップ S 104 における第 2 閾値 TH_2 以下の振幅信号 A_M のピーク検出を行う。図 6 は、ステップ S 105 で検出された第 2 閾値 TH_2 以下の振幅信号 A_M のピークの一例である。図 6 に示すように、通常は複数のピークが検出される。
- [0037] ピーク検出部 23 において第 2 閾値 TH_2 以下の振幅信号 A_M でピークが検出された信号成分は、瞬きである可能性があると判断され、ステップ S 106（後述）の処理が実行される。
- [0038] なお、ステップ S 103 の処理とステップ S 104 及び S 105 の処理は、ステップ S 101 でドップラーセンサ 10 で得た同一のドップラー信号に対して行われる処理であり、並行して行うことができる。
- [0039] 次に、ステップ S 106 では、瞬き判定部 24 は、ステップ S 103 において第 1 閾値 TH_1 以上の信号成分、及びステップ S 105 においてピークが検出された信号成分について、瞬き波形の特徴に基づいて瞬き判定（誤検出の除去）を行う。
- [0040] ステップ S 103 の C A - C F A R 検出やステップ S 105 のピーク検出でステップ S 106 の処理対象であると判断された信号成分は、瞬きである可能性が高い。しかし、ステップ S 103 や S 105 において心拍や呼吸成分を完全に取り除けず、ステップ S 106 の処理対象であると判断された信号成分に、心拍や呼吸成分のピークが含まれている場合があるため、いくつかの F P が生じる。これらの F P を取り除くことがステップ S 106 の処理の目的である。
- [0041] まず、ピーク高判定部 241 は、ステップ S 103 において第 1 閾値 TH_1

以上の信号成分、及びステップS 1 0 5においてピークが検出された信号成分について、ピーク高判定を行うことでF Pを取り除く。具体的には、ステップS 1 0 3において第1 閾値 TH_1 以上の信号成分に含まれるピークの高さ、及びステップS 1 0 5においてピークが検出された信号成分のピークの高さと基準値 S_v とをそれぞれ比較し、ピークの高さが基準値 S_v 以下の部分を誤検出（非瞬き）と判定する。

[0042] 例えば、図7に示すように、ピーク高判定部2 4 1は、ピークの高さが基準値 S_v 以下の部分（丸で囲んだ部分）を誤検出（非瞬き）であると判定する。なお、図7は、ステップS 1 0 5で検出された第2 閾値 TH_2 以下の振幅信号 A_M のピークの高さと基準値 S_v とを比較した例であるが、ステップS 1 0 3において第1 閾値 TH_1 以上の信号成分に含まれるピークの高さについても同様に基準値 S_v と比較する。

[0043] ここで基準値 S_v は、式（3）に示すように、ピークの高さの平均値 P_{AVE} の定数 c 倍で定義される。式（3）における定数 c は経験的に0. 7程度に設定することが好ましい。ピークの高さは、瞬きの様子やドップラーセンサ1 0からの距離によって変化するが、長時間観測の場合は基準値 S_v の値を更新することで対応することができる。

[0044] [数3]

$$S_v = P_{AVE} \times c \quad \dots (3)$$

次に、電圧高低差判定部2 4 2は、I 信号の電圧値及びQ 信号の電圧値の高低差に基づいてF Pを取り除く。まず、ハイパスフィルタにより、ステップS 1 0 1で得たドップラー信号（I 信号及びQ 信号）から心拍や呼吸の周波数成分を除去する。ここで、ハイパスフィルタのカットオフ周波数は、例

えば、5 Hz程度に設定することができる。

[0045] そして、図8に示すように、I信号及びQ信号のそれぞれにおいて、0.2秒の時間幅内における電圧値の高低差 M_I 及び M_Q を求める。高低差 M_I 及び M_Q が共に式(4)により求まる第3閾値 TH_3 以上の場合、表面積の大きな動きによってドップラーセンサ10の出力信号(I信号及びQ信号)が大きくなったと考えられ、誤検出(体動による信号成分)と判定できる。

[0046] [数4]

$$TH_3 = \frac{M_I + M_Q}{2} \quad \dots (4)$$

次に、位相変化判定部243は、I信号の電圧値及びQ信号の電圧値の極大点と極小点の合計数に基づいてFPを取り除く。まず、ローパスフィルタにより、ステップS101で得たドップラー信号(I信号及びQ信号)の高周波数成分を除去して平滑化する。ここで、ローパスフィルタのカットオフ周波数は、例えば、25 Hz程度に設定することができる。

[0047] 体動による信号波形は極大点と極小点を多く持つ傾向にある。そこで、平滑化したI信号及びQ信号から得られた極大点と極小点の合計数が共に第4閾値 TH_4 以上の場合は、その信号が誤検出(体動による信号)であると判定する。ここでは、一例として第4閾値 TH_4 を5点とするが、これには限定されない。

[0048] 第4閾値 TH_4 を5点とした場合、例えば、図9Aでは極小点が1点であるから瞬きであると判定し、図9Bでは極大点と極小点の合計数が5点であるから体動であると判定する。

[0049] 以上をまとめると、ステップS106において、ピーク高判定部241の判定でピークの高さが基準値 S_v 以下の信号、電圧高低差判定部242の判

定で高低差 M_I 及び M_Q が共に第3閾値 TH_3 以上の信号、及び位相変化判定部243の判定で平滑化したI信号及びQ信号から得られた極大点と極小点の合計数が共に第4閾値 TH_4 以上の信号がFPとして除外される。

[0050] そして、ステップS103において第1閾値 TH_1 以上の信号成分、及びステップS105においてピークが検出された信号成分のうち、ステップS106でFPとして除外された信号成分を除いた残りの信号成分が瞬きと判定される。ここで、ピーク高判定部241の判定、電圧高低差判定部242の判定、及び位相変化判定部243の判定の処理順は任意に決定して構わない。

[0051] なお、ステップS101～S106の全てを実行する必要はなく、最低限ステップS101、S103、及びS106（ピーク高判定、電圧高低差判定、位相変化判定の何れか1つ）を実行することで、従来よりも瞬き検出の精度を向上できる。

[0052] 但し、ステップS104及びS105を実行することで瞬き検出の精度を向上できる。又、ステップS106でピーク高判定、電圧高低差判定、位相変化判定の何れか2つを実行することで更に瞬き検出の精度を向上でき、3つ全てを実行することで更に瞬き検出の精度を向上できる。

[0053] このように、本実施の形態に係る瞬き検出システム1では、CA-CFAR検出部21によるCA-CFAR検出において第1閾値 TH_1 を動的に決定することで、身体の揺らぎや雑音に対するロバスト性を高め、瞬きの検出漏れ（FN）を低減することができる。又、瞬き波形の特徴に基づく瞬き判定部24の処理により、誤って瞬きと検出しやすい微かな体動を除外し、誤検出（FP）の数を低減させることができる。そして、これらを組み合わせることで、機械学習が不要で高精度な瞬き検出が可能となる。

[0054] [実施例]

ドップラーセンサ10を用いて3種類の実験を行った。実験の諸元を表1に示す。

[0055]

[表1]

デバイス諸元	
変調方式	無変調連続波
搬送波周波数	24 GHz
サンプリング周波数	781.25 Hz
センサからの距離	約45 cm
実験1: 瞬きの検出率評価	
瞬き数	150回
環境 (1)	部屋に被験者のみ
環境 (2)	周囲に2～4人
実験2: 瞬きの検出率評価	
瞬き数	75回
環境	周囲に2～4人
被験者	A, B, C, D (計4人)
実験3: FP低減の効果確認	
状況1	身体の揺らぎ
状況2	大きな身体の動き

実験 1 は異なる環境 (1) 及び (2)、実験 2 は異なる被験者 A～D での

実験である。実験3は、C A - C F A R 検出で生じる F P を低減する瞬き判定部 2 4 による処理の効果を確認する実験である。実験3において、状況1では被験者は目を瞑りながら着座静止し、身体の揺らぎの影響がある状況とする。状況2では、身体を前後に動かす動作と静止を各2～3秒間ずつ交互に繰り返す。

[0056] 又、評価には検出率 R_r と適合率 P_r を用いる。検出率 R_r は実際の瞬きのうち検出できた瞬きの割合を、適合率 P_r は瞬きと検出したうちの正解の割合を示し、式(5)及び式(6)で定義される。式(5)及び式(6)において、 TP は正しく検出できた瞬きの数、 FN は検出漏れした瞬きの数、 FP は誤って瞬きとして検出した数を示している。

[0057] [数5]

$$R_r = \frac{TP}{TP + FN} \quad \dots (5)$$

[0058] [数6]

$$P_r = \frac{TP}{TP + FP} \quad \dots (6)$$

実験1の結果、及び比較として従来法の結果を表2に示す。なお、ここでは、非特許文献1に記載の機械学習を用いた手法を従来法、図3等を参照して説明した本実施の形態に係る瞬き検出方法を提案法と称する。

[0059]

[表2]

実験1: 瞬き検出精度評価			
	検出数 (TP)	検出率 (Rr)	適合率 (Pr)
環境 (1)	148 (FN: 2, FP: 0)	98.7%	100.0%
環境 (2)	149 (FN: 1, FP: 1)	99.3%	99.3%
従来法	119 (FN: 1, FP: 13)	99.2%	90.2%

従来法ではSVMを用いて様々な瞬き波形を事前に学習することで瞬き検出性能を向上させ、99.2%と高精度な検出率Rrを達成している。しかし適合率Prは90.2%であり、十分な値とはいえない。これは従来法が微かな体動や雑音を誤って瞬きとして検出し、FPが増加したためである。

[0060] 一方、提案法は検出率Rr、適合率Prともに約99%の高い瞬き検出精度を達成した。提案法では、瞬き信号の検出にCA-CFAR検出を適用することで身体の揺らぎや雑音に対するロバスト性を高めたことでFPを低減した。更に、瞬き波形の特徴に基づく瞬き判定部24の処理により、瞬きとして誤検出しやすい微かな体動を除外し、FPを低減した。このように、提案法が従来法と比較して瞬き検出の精度を向上できることが確認された。

[0061] 次に、実験2の結果を表3に示す。

[0062]

[表3]

実験2: 瞬き検出精度評価			
被験者	検出数 (TP)	検出率 (Rr)	適合率 (Pr)
A	75 (FN: 0, FP: 0)	100.0%	100.0%
B	74 (FN: 1, FP: 1)	98.7%	98.7%
C	74 (FN: 1, FP: 0)	98.7%	100.0%
D	75 (FN: 0, FP: 2)	100.0%	97.4%
平均検出精度		99.35%	99.03%

被験者Dにおいて適合率Prが97.4%と被験者A、B、及びCに比べて僅かに低い結果となった。これは、判定過程における各パラメータ（定数c、第1閾値TH₁、第2閾値TH₂、第3閾値TH₃、第4閾値TH₄等）が被験者Aに基づいて設定されていることによりFP低減の効果が低下したためと考えられる。しかし、この結果から、提案法が平均して99%以上の高い瞬き検出の精度を達成できることが確認された。

[0063] なお、この結果から、判定過程における各パラメータを複数の被験者に基づいて設定することで、適合率Prが更に向上すると考えられる。又、瞬き判定の前に、被験者毎にキャリブレーションを行い、被験者毎に各パラメータを微調整することで、適合率Prが更に向上すると考えられる。このキャリブレーションは、従来法のような大掛かりな学習とは異なり、極短時間で各パラメータを微調整できる。

[0064] 最後に、実験3の結果を表4に示す。

[0065] [表4]

実験3: FP低減の効果確認		
	CA-CFAR誤検出後 → 訂正数	瞬き誤検出数 (FP)
状況1	7 7	0
: 身体揺らぎ (計90秒間)		
状況2	21 21	0
: 大きい動作 (計10回)		

身体揺らぎを伴った状況1において、CA-CFAR検出のみを適用した場合には、身体揺らぎによる誤検出FPが生じた。これは、身体揺らぎによる信号がCA-CFAR検出の第1閾値 TH_1 を超えてしまうためである。又、身体の大動作を伴った状況2において、その動作も多くのFPの原因となった。しかし、何れの場合にも、瞬き波形の特徴に基づく瞬き判定部24の処理により、瞬きとして誤検出しやすい体動を除外し、FPを低減できることが確認された。

[0066] 以上の実験結果から、提案法のようにCA-CFAR検出部21によるCA-CFAR検出と瞬き判定部24によるFP除外処理とを組み合わせることで、TPの数を増加させつつFPの数を低減させることが可能となり、検出率 R_r 及び適合率 P_r が何れも約99%である高精度の瞬き検出を実現できることがわかった。

[0067] 以上、好ましい実施の形態等について詳説したが、上述した実施の形態等に制限されることはなく、特許請求の範囲に記載された範囲を逸脱すること

なく、上述した実施の形態等に種々の変形及び置換を加えることができる。

[0068] 本国際出願は2016年2月26日に出願した日本国特許出願2016-036467号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願2016-036467号の全内容を本国際出願に援用する。

符号の説明

- [0069] 1 瞬き検出システム
- 10 ドップラーセンサ
- 20 信号処理部
- 21 CA-CFAR検出部
- 22 体動検出部
- 23 ピーク検出部
- 24 瞬き判定部
- 241 ピーク高判定部
- 242 電圧高低差判定部
- 243 位相変化判定部

請求の範囲

- [請求項1] ドップラー信号を得るドップラーセンサと、
前記ドップラー信号の振幅信号を求め、前記振幅信号を時間軸方向に連続する複数のセルに分割し、注目するセルに隣接しない前後のセルの振幅値に基づいて第1 閾値を決定し、前記注目するセルにおいて前記第1 閾値以上の信号成分を検出する第1 検出部と、
瞬き波形の特徴に基づいて、前記第1 閾値以上の信号成分の中から誤検出を除去し、残りの信号成分を瞬きと判定する瞬き判定部と、を有する瞬き検出システム。
- [請求項2] 前記振幅信号を平滑化した振幅信号を生成し、前記平滑化した振幅信号と第2 閾値とを比較し、前記第2 閾値以下の信号成分を検出する第2 検出部と、
前記第2 閾値以下の信号成分のピーク検出を行うピーク検出部と、を有し、
前記瞬き判定部は、瞬き波形の特徴に基づいて、前記第1 閾値以上の信号成分の中から誤検出を除去すると共に、前記ピーク検出部で検出されたピークの中から誤検出を除去し、それぞれの残りの信号成分を瞬きと判定する請求項1 に記載の瞬き検出システム。
- [請求項3] 前記瞬き判定部は、前記第1 閾値以上の信号成分に含まれるピークの高さ及び前記ピーク検出部で検出されたピークの高さと基準値とをそれぞれ比較し、前記ピークの高さが前記基準値以下の部分を誤検出と判定するピーク高判定部を備えている請求項2 に記載の瞬き検出システム。
- [請求項4] 前記瞬き判定部は、前記ドップラー信号を構成するI 信号及びQ 信号のそれぞれの電圧値の高低差を求め、前記高低差が共に第3 閾値以上の場合に誤検出と判定する電圧高低差判定部を備えている請求項1 に記載の瞬き検出システム。
- [請求項5] 前記瞬き判定部は、前記ドップラー信号を構成するI 信号及びQ 信

号のそれぞれの電圧値の極大点と極小点の合計数を求め、前記合計数が共に第4閾値以上の場合に誤検出と判定する位相変化判定部を備えている請求項1に記載の瞬き検出システム。

[請求項6] ドップラーセンサで被験者からの反射波を受信してドップラー信号を得る第1ステップと、

前記ドップラー信号の振幅信号を求め、前記振幅信号を時間軸方向に連続する複数のセルに分割し、注目するセルに隣接しない前後のセルの振幅値に基づいて第1閾値を決定し、前記注目するセルにおいて前記第1閾値以上の信号成分を検出する第2ステップと、

瞬き波形の特徴に基づいて、前記第1閾値以上の信号成分の中から誤検出を除去し、残りの信号成分を瞬きと判定する第3ステップと、を有する瞬き検出方法。

[請求項7] 前記振幅信号を平滑化した振幅信号を生成し、前記平滑化した振幅信号と第2閾値とを比較し、前記第2閾値以下の信号成分を検出する第4ステップと、

前記第2閾値以下の信号成分のピーク検出を行う第5ステップと、を有し、

前記第3ステップでは、瞬き波形の特徴に基づいて、前記第1閾値以上の信号成分の中から誤検出を除去すると共に、前記第5ステップで検出されたピークの中から誤検出を除去し、それぞれの残りの信号成分を瞬きと判定する請求項6に記載の瞬き検出方法。

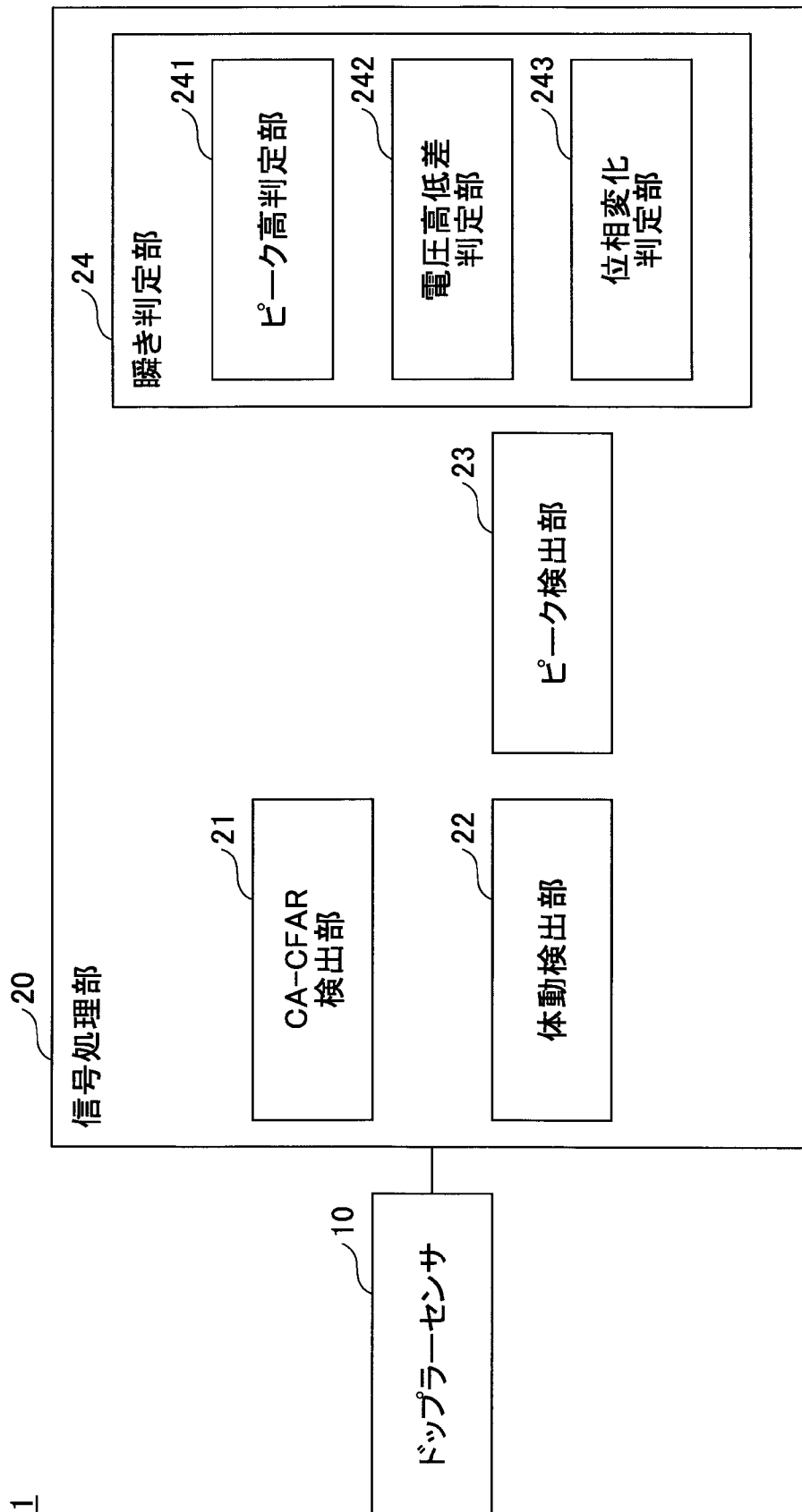
[請求項8] 前記第3ステップは、前記第1閾値以上の信号成分に含まれるピークの高さ及び前記第5ステップで検出されたピークの高さと基準値とをそれぞれ比較し、前記ピークの高さが前記基準値以下の部分を誤検出と判定するステップを備えている請求項7に記載の瞬き検出方法。

[請求項9] 前記第3ステップは、前記ドップラー信号を構成するI信号及びQ信号のそれぞれの電圧値の高低差を求め、前記高低差が共に第3閾値以上の場合に誤検出と判定するステップを備えている請求項6に記載

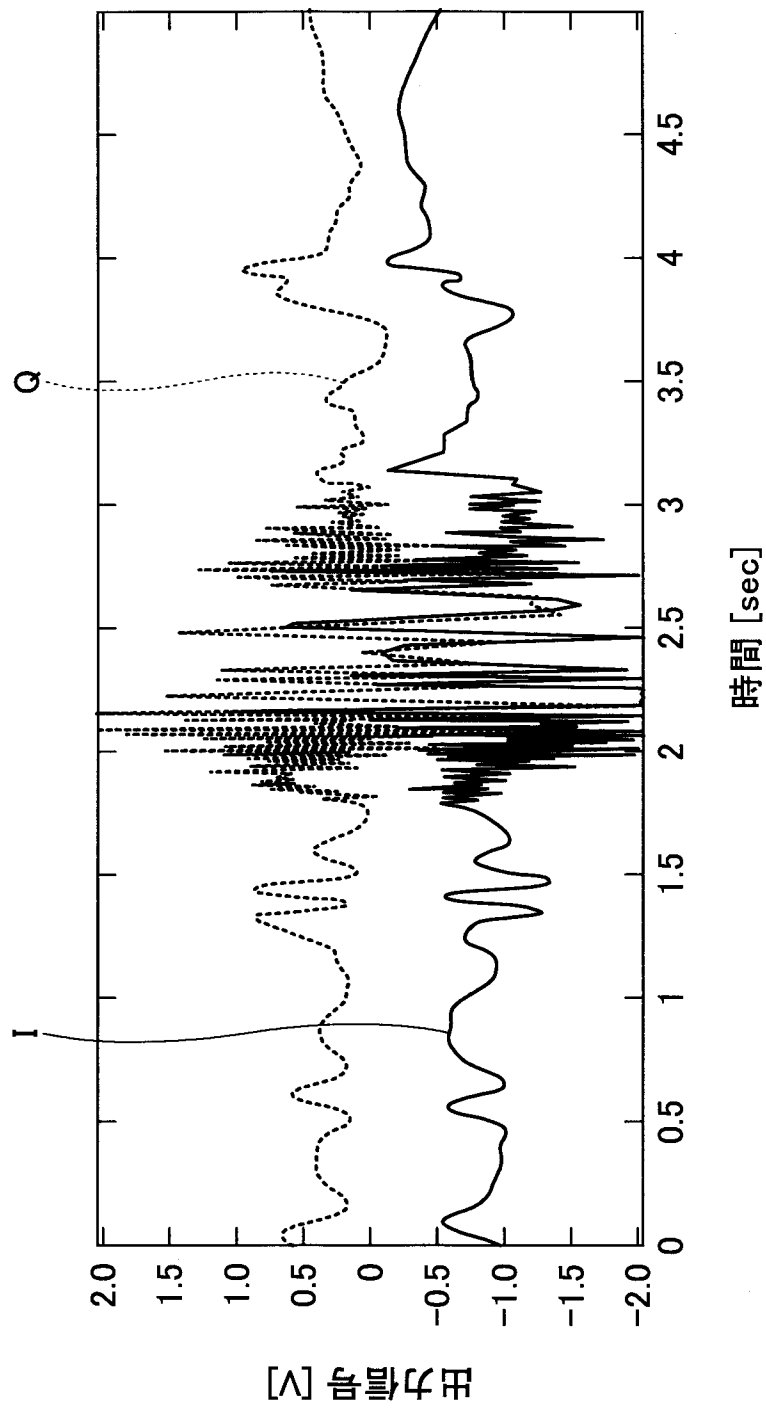
の瞬き検出方法。

[請求項10] 前記第3ステップは、前記ドップラー信号を構成するI信号及びQ信号のそれぞれの電圧値の極大点と極小点の合計数を求め、前記合計数が共に第4閾値以上の場合に誤検出と判定するステップを備えている請求項6に記載の瞬き検出方法。

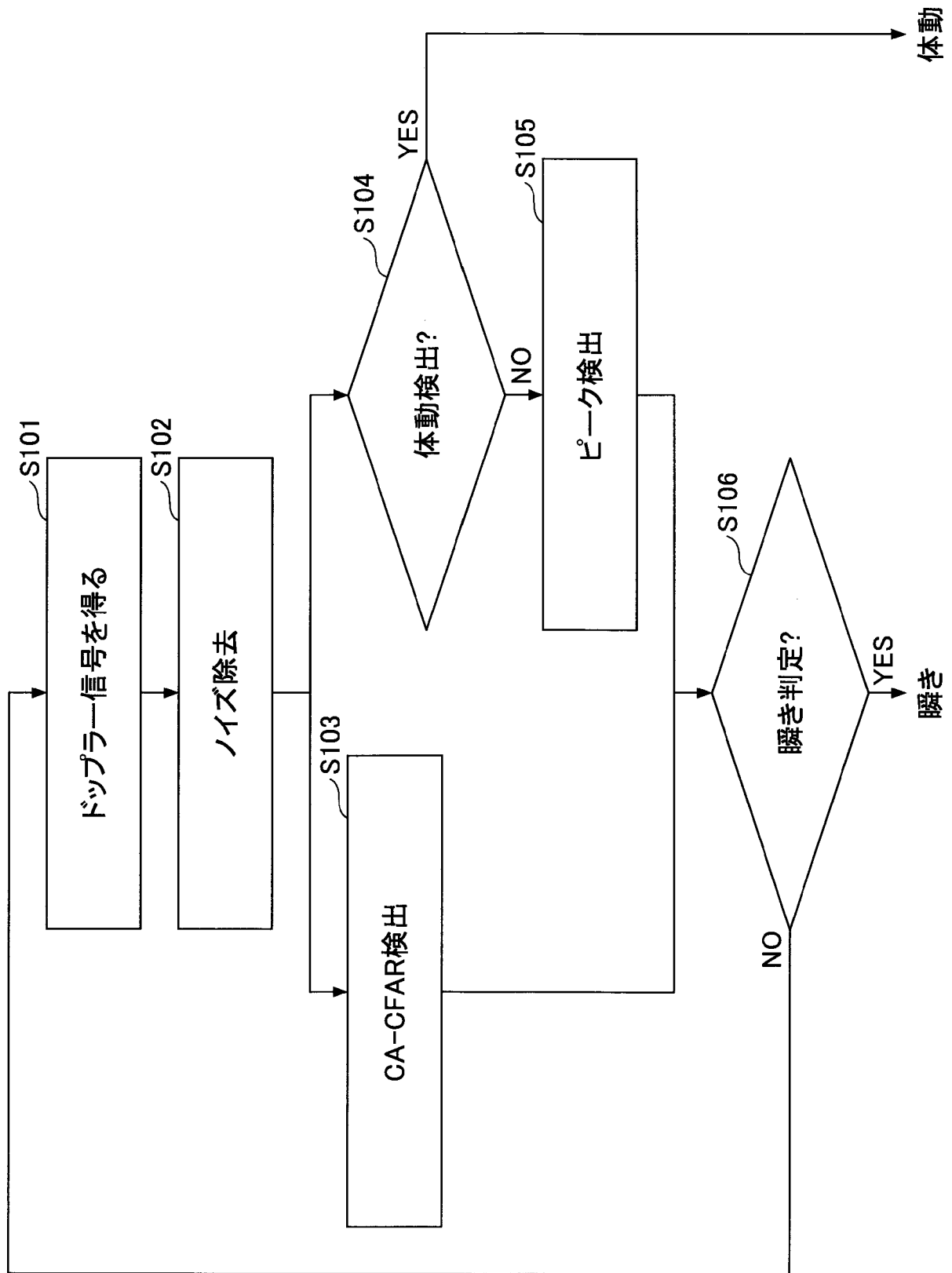
[図1]



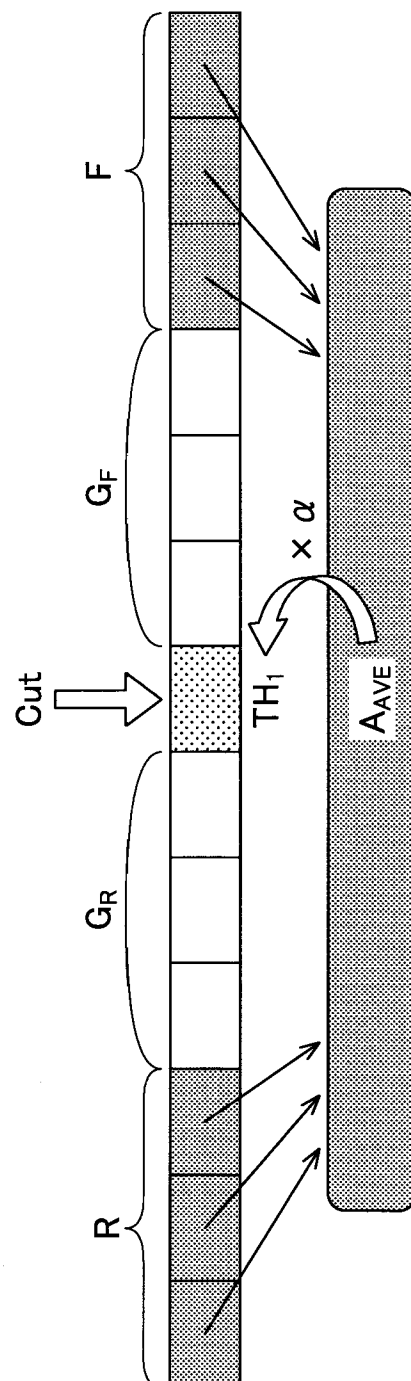
[図2]



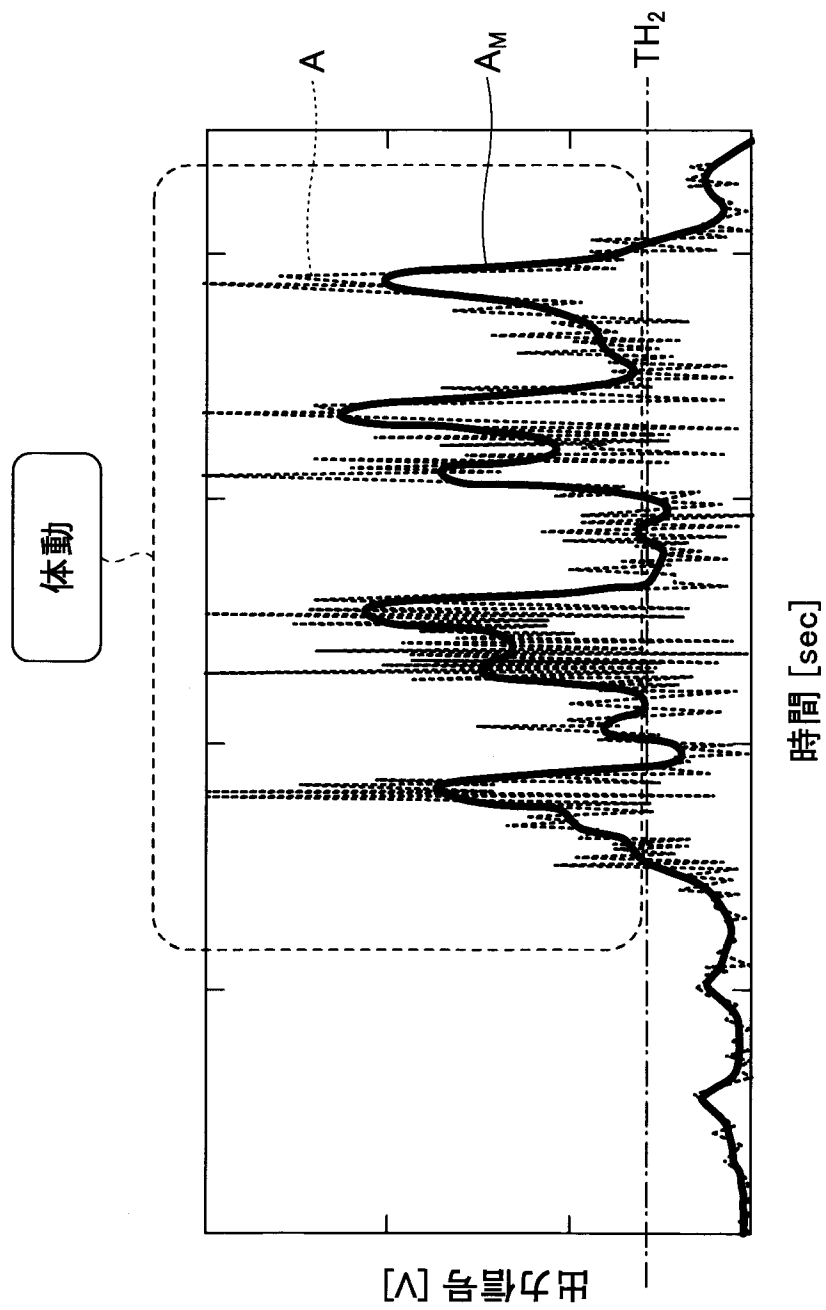
[図3]



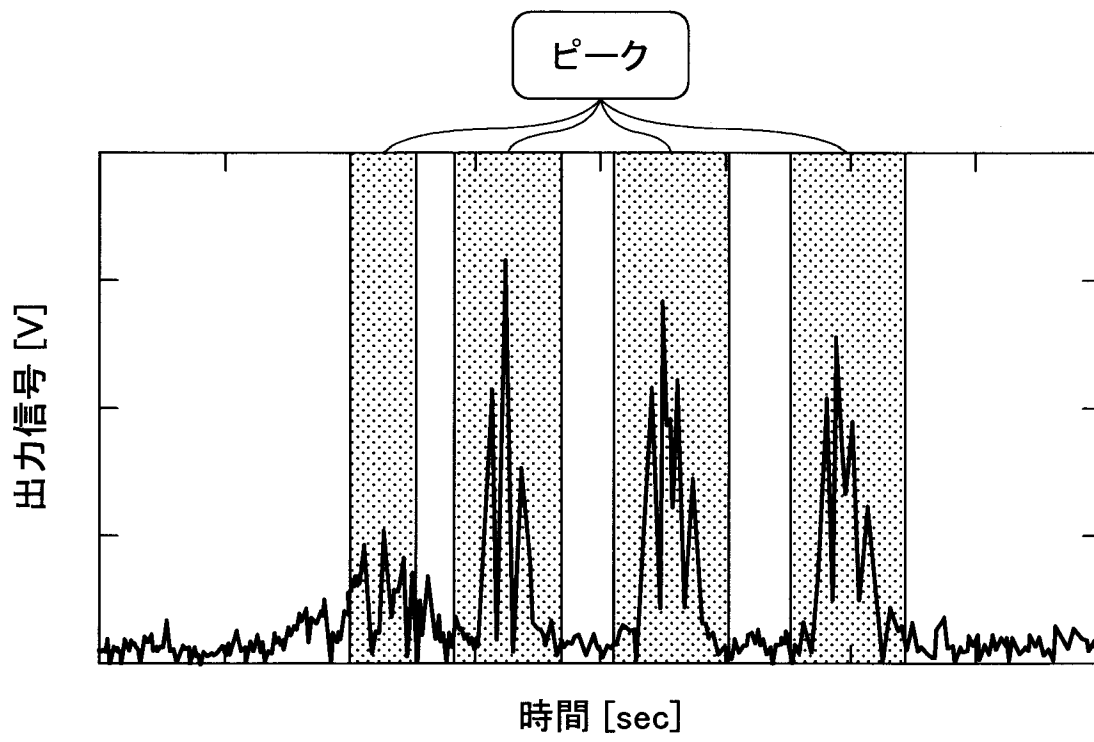
[図4]



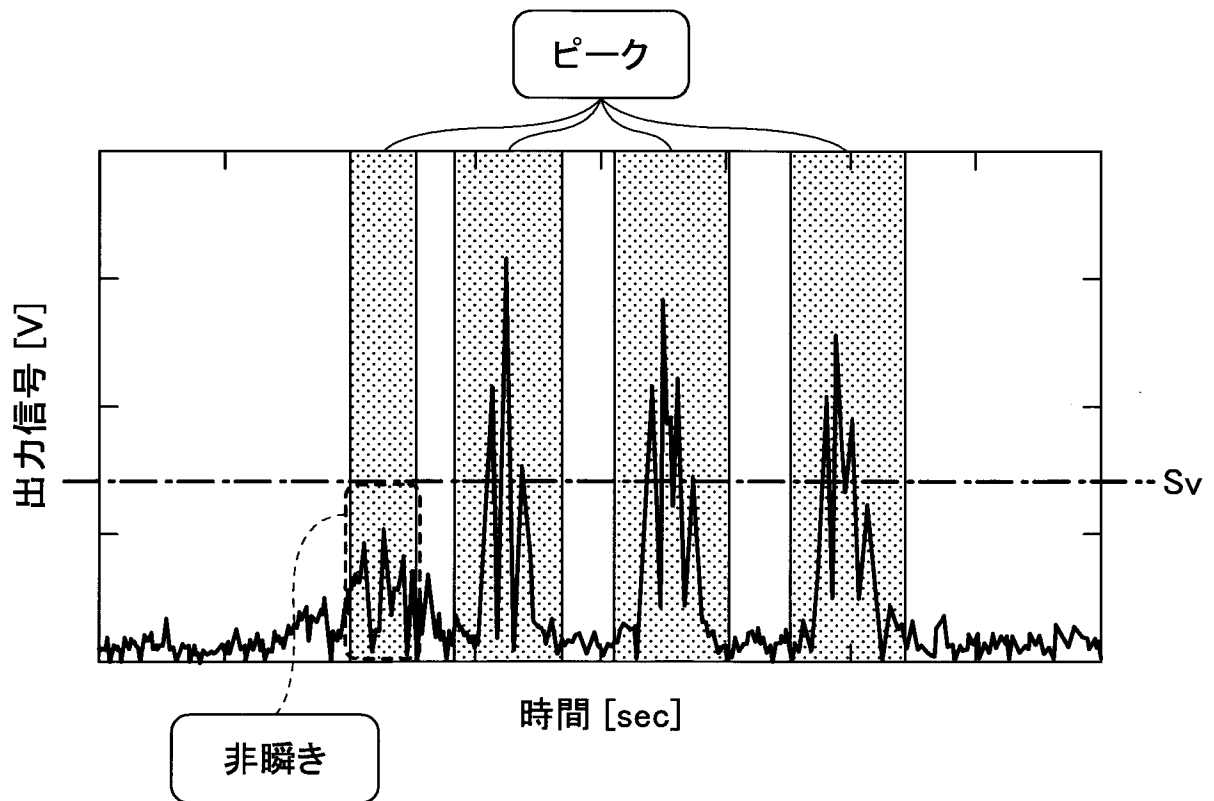
[図5]



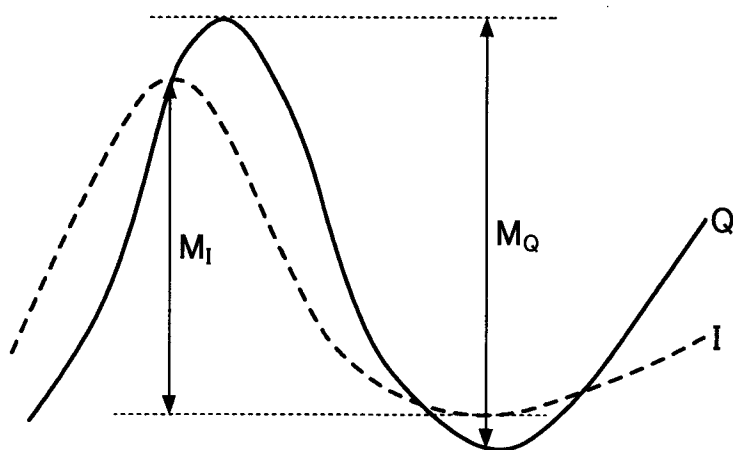
[図6]



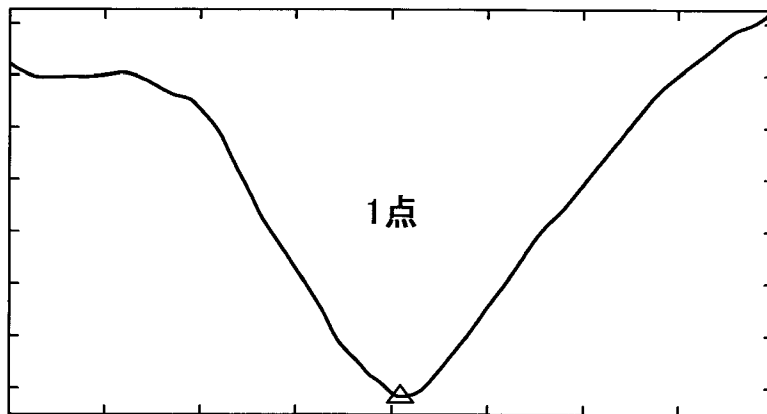
[図7]



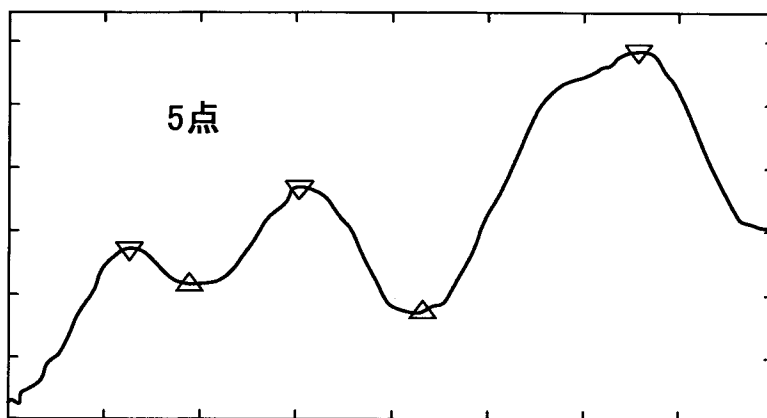
[図8]



[図9A]



[図9B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/007318

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B5/11(2006.01)i, A61B3/113(2006.01)n, G01S13/58(2006.01)n

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)

A61B5/11, A61B3/113, G01S13/58

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
X	Chihiro TANBA, "Improvement of Blink Detection Using a Doppler Sensor Based on CFAR Processing", IEICE Technical Report, vol.115, no.467, 22 February 2016 (22.02.2016), vol.115, 69 to 74	1-10
A	JP 2015-213634 A (Keio University), 03 December 2015 (03.12.2015), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

☐ 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
13 March 2017 (13.03.17)

Date of mailing of the international search report
28 March 2017 (28.03.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. A61B5/11(2006.01)i, A61B3/113(2006.01)n, G01S13/58(2006.01)n

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. A61B5/11, A61B3/113, G01S13/58

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X	丹波 千尋 Chihiro TAMBA, CFAR処理を用いたドップラーセンサによる瞬き検出性能の向上 Improvement of Blink Detection Using a Doppler Sensor Based on CFAR Processing, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.115 No.467 IEICE Technical Report, 2016.02.22, 第115巻, 69~74	1-10
A	JP 2015-213634 A (学校法人慶應義塾) 2015.12.03, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10

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

13.03.2017

国際調査報告の発送日

28.03.2017

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）

九鬼 一慶

2Q

4404

電話番号 03-3581-1101 内線 3292