

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Système de détection d'un véhicule automobile comportant un module d'émission et un module de réception d'un faisceau lumineux.

②② Date de dépôt : 23.12.22.

③③ Priorité :

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : VALEO VISION Société par actions
simplifiée — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 28.06.24 Bulletin 24/26.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 13.12.24 Bulletin 24/50.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : MIMOUN Mickaël, BEDDAR Sid
Ahmed, GOURDON Matheo, RENAUD Pierre et
PIQUARD Geoffrey.

⑦③ Titulaire(s) : VALEO VISION Société par actions
simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : AQUINOV.



Description

Titre de l'invention : Système de détection d'un véhicule automobile comportant un module d'émission et un module de réception d'un faisceau lumineux

- [0001] L'invention concerne le domaine de l'éclairage automobile et des fonctions de détection d'un objet par un véhicule automobile et d'estimation de la distance séparant cet objet du véhicule. Plus précisément, l'invention concerne un système d'éclairage d'un véhicule automobile apte à mettre en œuvre des fonctions de télémétrie au moyen de la lumière qu'il émet, avec une précision améliorée.
- [0002] Il est connu, dans le domaine automobile, d'utiliser un faisceau lumineux pulsé émis par un module lumineux d'un système lumineux d'un véhicule automobile pour réaliser une fonction photométrique donnée.
- [0003] De façon classique, la source lumineuse permettant l'émission de ce faisceau lumineux est contrôlée par un signal électrique modulé en largeur d'impulsion, ou PWM (de l'anglais « Pulse Width Modulation »). La source lumineuse est ainsi périodiquement activée et désactivée par ce signal PWM, de sorte que le faisceau lumineux émis soit composé d'impulsions lumineuses se succédant avec une fréquence suffisamment élevée pour que l'œil humain ne les distingue plus. L'intensité du faisceau lumineux émis est fonction du rapport cyclique de ce signal PWM, de sorte qu'il soit possible de la contrôler en ajustant ce rapport cyclique et donc de réaliser une fonction photométrique.
- [0004] Au-delà de la réalisation d'une ou plusieurs fonctions photométriques, comme un feu diurne ou un éclairage de type croisement, diverses fonctions peuvent être mises en œuvre par ce type de module lumineux. Par exemple, la source lumineuse du module lumineux peut être contrôlée pour que les impulsions du faisceau lumineux émis transportent une séquence de données. Le système lumineux peut ainsi être équipé d'un module de réception afin de recevoir le faisceau lumineux émis, après réflexion sur un objet au voisinage du véhicule. Une unité de calcul du véhicule automobile peut alors, après détection de la séquence de données dans le faisceau lumineux reçu, déterminer le temps de vol du faisceau lumineux émis et donc évaluer la distance séparant le véhicule de l'objet.
- [0005] De la sorte, le faisceau lumineux peut conserver sa fonction originelle, à savoir réaliser une fonction photométrique, tout en permettant au système lumineux de mettre en œuvre une fonction de télémétrie, laquelle peut être particulièrement avantageuse par exemple pour des fonctions d'assistance à la conduite ou dans le cadre d'une conduite autonome ou semi-autonome.

[0006] Toutefois, ce type de système basé sur l'utilisation d'impulsions lumineuses présente un inconvénient. En effet, le module de réception destiné à recevoir le faisceau lumineux réfléchi doit comporter au moins un photodétecteur pour convertir ce faisceau lumineux en un signal électrique, lequel peut alors être traité par l'unité de calcul pour y détecter une impulsion particulière.

[0007] Or, dans certaines conditions, ce photodétecteur peut voir son rapport signal à bruit être fortement dégradé, compte tenu des sources de lumière parasite présentes dans l'environnement du véhicule, comme de l'éclairage urbain, de l'éclairage automobile de véhicules croisés ou suivis, voire de la lumière du soleil, et de la nature des objets présents dans l'environnement, et notamment de leur capacité de réflexion. Cette dégradation du rapport signal à bruit peut alors diminuer la précision de l'unité de calcul dans l'estimation de la distance de l'objet cible, voire entraîner des détections de faux positifs. Afin de pallier ce problème, une solution serait d'augmenter la puissance lumineuse de chacune des impulsions du faisceau émis. Toutefois, cette solution entraînerait une augmentation de la puissance moyenne du faisceau lumineux émis, ce qui le rendrait impropre à la réalisation de la fonction photométrique qu'il est destiné à réaliser.

[0008] Il existe ainsi un besoin pour un système lumineux d'un véhicule automobile, capable de d'émettre un faisceau lumineux réalisant à la fois une fonction photométrique donnée et une fonction de télémétrie, et dont la précision ainsi que le rapport signal à bruit soient améliorés.

[0009] La présente invention se place dans ce contexte, et vise à répondre à ce besoin.

[0010] A ces fins, l'invention a pour objet un système lumineux d'un véhicule automobile, comportant :

- a. un module d'émission comportant un module lumineux apte à émettre un faisceau lumineux dont le spectre présente au moins une portion dans le spectre visible et une unité de modulation apte à recevoir une séquence de données, dite modulante, et agencée pour moduler ledit faisceau lumineux émis à partir de la séquence de données reçues ;
- b. un module de réception apte à recevoir un faisceau lumineux, dans lequel le module de réception comporte un module d'acquisition élémentaire comprenant un photodétecteur apte à convertir un signal lumineux qu'il reçoit en un signal électrique et une unité de démodulation reliée au photodétecteur et agencée pour extraire une séquence de données, dite démodulée, depuis un signal électrique converti par ce photodétecteur.

[0011] L'invention est caractérisée en ce que le système comporte une unité de calcul apte à recevoir une consigne de rapport cyclique de la séquence de données, l'unité de calcul étant agencée pour :

- a. générer une séquence de données initiale de type binaire, chaque donnée de ladite séquence initiale étant associée à une même durée de pulsation prédéterminée ;
- b. générer une séquence de données modulante à partir de la séquence initiale en diminuant uniquement les durées de pulsation associées aux valeurs hautes de ladite séquence initiale, cette diminution étant réalisée selon un facteur déterminé à partir de la consigne de rapport cyclique et du rapport cyclique de la séquence initiale ; et
- c. transmettre ladite séquence de données modulante à l'unité de modulation pour l'émission d'un faisceau lumineux modulé par le module d'émission.

[0012] L'unité de calcul étant apte à recevoir une séquence de données démodulée par l'unité de démodulation depuis un signal électrique converti par le photodétecteur à partir d'un faisceau lumineux reçu par le module de réception, l'unité de calcul est agencée pour estimer des valeurs d'une fonction de corrélation entre ladite séquence de données démodulée et ladite séquence de données modulante et pour déterminer un temps de vol séparant l'émission dudit faisceau lumineux modulé émis de la réception dudit faisceau lumineux reçu à partir des valeurs de la fonction de corrélation.

[0013] De façon classique, le faisceau lumineux résultant sera un faisceau pulsé, chaque pulsation, ou impulsion, correspondant à une ou plusieurs valeurs hautes consécutives de la séquence modulante et l'intervalle séparant deux pulsations consécutives correspondant à une ou plusieurs valeurs basses consécutives de la séquence modulante. Toutefois, selon l'invention, le faisceau lumineux émis sera modulé par l'unité de modulation à l'aide de la séquence modulante ainsi obtenue, de sorte que chaque impulsion du faisceau lumineux modulé soit émise pendant une durée de pulsation modifiée associée à la valeur haute correspondant à cette impulsion. On comprend ainsi que, compte tenu de la diminution du rapport cyclique de la séquence de données modulante, la puissance pic de chacune des impulsions peut être augmentée sans que la puissance lumineuse moyenne du faisceau lumineux modulé ne change. On améliore ainsi le rapport signal à bruit du système, puisqu'il sera plus simple pour l'unité de démodulation de distinguer une impulsion d'une absence d'impulsion dans un faisceau lumineux reçu, y compris en cas de bruit important.

[0014] On notera que la diminution de la durée d'impulsion pourra être réalisée en rajoutant des valeurs basses dans la séquence initiale entre les valeurs hautes et/ou en remplaçant des valeurs hautes par des valeurs basses dans la séquence initiale.

[0015] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'unité de calcul est agencée pour générer une séquence initiale de type binaire pseudo-aléatoire et pour générer ladite séquence de données modulante à partir de ladite séquence initiale.

[0016] Une séquence binaire pseudo-aléatoire, ou PRBS (de l'anglais « Pseudo Random

Binary Sequence »), est une séquence de données composée de valeurs hautes, à savoir des « 1 », et de valeurs basses, à savoir des « 0 ». Ce type de séquence présente des propriétés particulièrement intéressantes. En effet, sa fonction d'autocorrélation est maximum pour un décalage temporel nul, c'est-à-dire lorsque la séquence est comparée à elle-même, et présente une valeur sensiblement inférieure à ce maximum pour tous les autres décalages temporels, c'est-à-dire lorsque la séquence est comparée à des versions décalées temporellement d'elle-même. Par ailleurs, la fonction de corrélation croisée entre deux séquences binaires pseudo-aléatoires est sensiblement inférieure au maximum des fonctions d'autocorrélation de ces séquences. Enfin, ce type de séquence est généralement générée au moyen d'un registre à décalage à rétroaction linéaire, ou LFSR (de l'anglais « Linear Feedback Shift Register »), lequel produit une suite récurrente périodique dont le motif est une séquence binaire pseudo-aléatoire.

- [0017] On comprend ainsi que ce mode de réalisation propose d'employer un tel type de séquence binaire pseudo-aléatoire pour obtenir une séquence modulant le faisceau lumineux émis par le module lumineux du module d'émission, lequel réalise nativement une fonction photométrique. Du fait du caractère cyclique de cette séquence, le faisceau lumineux modulé émis contiendra périodiquement cette séquence tout en réalisant de façon continue la fonction photométrique.
- [0018] Du côté de la chaîne de réception, le module de réception recevra un faisceau lumineux composé d'une part du faisceau lumineux modulé et de bruit. L'unité de démodulation peut alors déduire une séquence de données depuis le faisceau lumineux reçu, par exemple par seuillage des signaux électriques convertis par le ou les photodétecteurs. Une fois ce faisceau lumineux démodulé, l'unité de calcul pourra alors estimer les valeurs d'une fonction de corrélation entre la séquence de données démodulée et la séquence de données modulantes, chaque valeur de la fonction de corrélation est associée à une valeur d'un décalage temporel de la séquence modulante, ou de la séquence démodulée, employée pour estimer cette valeur de la fonction de corrélation.
- [0019] Compte tenu des propriétés d'autocorrélation des séquences binaires pseudo-aléatoires, la fonction de corrélation ainsi estimée sera ainsi maximum pour la valeur de décalage temporel correspondant au temps de vol du faisceau lumineux modulé émis, réfléchi puis reçu, même en cas de bruit important. Par conséquent, l'unité de calcul peut identifier cette valeur de décalage temporel associée à la valeur maximum de la fonction de corrélation avec une précision importante et en déduire la distance séparant l'objet sur lequel le faisceau s'est réfléchi et le véhicule automobile. En outre, compte tenu des propriétés de corrélation croisée, il apparaît ainsi peu probable que la réception d'un faisceau lumineux modulé émis par un système équivalent d'un autre véhicule automobile entraîne la détection d'un faux positif.

- [0020] Avantageusement, l'unité de calcul est agencée pour générer une séquence initiale de type binaire pseudo-aléatoire de taille maximum et pour générer ladite séquence de données modulante à partir de ladite séquence initiale. Pour une séquence binaire pseudo-aléatoire, le maximum de la fonction d'autocorrélation, c'est-à-dire pour un décalage temporel nul, correspond au nombre de valeurs hautes dans la séquence, tandis que sa valeur, pour tous les autres décalages temporels, correspond à ce nombre de valeurs hautes multiplié par le rapport cyclique de la séquence, c'est-à-dire au rapport entre le nombre de valeurs hautes et la longueur totale de la séquence. Pour une séquence de type binaire pseudo-aléatoire de taille maximum, également appelée MLS (de l'anglais « Maximum Length Sequence ») ou M-séquence, ce rapport cyclique est de 50%. Cette valeur de rapport cyclique permet ainsi d'augmenter la précision de détection du pic, ou d'estimation du maximum, de la fonction d'autocorrélation, et donc la précision d'estimation de la distance du véhicule à l'objet détecté.
- [0021] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'unité de modulation est apte à recevoir une valeur de puissance lumineuse pic de l'unité de calcul et l'unité de modulation est agencée pour contrôler le module lumineux de sorte que ledit faisceau lumineux modulé soit émis uniquement pour des valeurs hautes de ladite séquence de données modulante reçue de l'unité de calcul et de sorte que le faisceau lumineux modulé soit émis selon ladite valeur de puissance lumineuse pic. Par exemple, l'unité de modulation est agencée pour générer un signal de contrôle, pour moduler ledit signal de contrôle à partir de la séquence de données reçue et pour contrôler l'émission dudit faisceau lumineux modulé par le module lumineux à partir du signal de contrôle modulé. Le cas échéant, l'unité de modulation peut être agencée pour contrôler la source lumineuse du module lumineux, et notamment une alimentation électrique fournie à cette source lumineuse, pour contrôler l'émission du faisceau lumineux. Le signal de contrôle pourra par exemple être un signal de contrôle modulé en largeur d'impulsion, dont le rapport cyclique est prédéfini selon une consigne donnée, ou un signal de contrôle modulé en fréquence d'impulsion, dont la fréquence est prédéfinie selon une consigne donnée. On comprend ainsi que chaque impulsion du faisceau lumineux modulé est émise avec ladite puissance lumineuse pic et que la puissance lumineuse moyenne du faisceau lumineux modulé émis, nécessaire à la réalisation de la fonction photométrique, est ainsi définie par la puissance lumineuse pic, le rapport cyclique de la séquence de données modulante et par le signal de contrôle.
- [0022] Avantageusement, les valeurs hautes de la séquence initiale sont associées à une même valeur de puissance pic prédéterminée. Le cas échéant, l'unité de calcul peut être agencée pour générer ladite séquence de données modulante à partir de la séquence initiale en diminuant uniquement les durées de pulsation associées aux valeurs hautes de ladite séquence initiale et en augmentant la valeur de puissance pic

associée aux valeurs hautes, cette diminution et cette augmentation étant réalisées selon un facteur déterminé à partir de la consigne de rapport cyclique et du rapport cyclique de la séquence initiale.

- [0023] Dans un exemple de réalisation, les durées de pulsation seront toutes diminuées d'un facteur correspondant au rapport entre le rapport cyclique de la séquence initiale et la consigne de rapport cyclique et les puissances pics seront toutes augmentées d'un facteur correspondant à la multiplication de ce rapport par la puissance pic initiale.
- [0024] Dans un mode de réalisation de l'invention alternatif ou cumulatif, l'unité de calcul pourra être agencée pour générer une séquence de données intermédiaire à partir d'une modification de la séquence initiale selon un algorithme de type codage Manchester, la séquence de données modulante étant générée à partir de ladite séquence de données intermédiaire. On pourra par exemple remplacer, dans la séquence initiale, chaque valeur basse par une ou plusieurs valeurs basses successives suivies d'une valeur haute et chaque valeur haute par une valeur haute suivie d'une ou plusieurs valeurs basses successives.
- [0025] Cette opération permet ainsi d'obtenir une séquence modulante qui améliore sensiblement les propriétés de corrélation de la séquence initiale et dont le rapport cyclique est diminué. D'une part, la fonction de corrélation de la séquence modulante ainsi obtenue présente alors un pic central, autour de son maximum, resserré au regard du pic central de la séquence initiale, ce qui permet d'améliorer encore le rapport signal à bruit du système, dans la mesure où le maximum de la fonction de corrélation pourra être discriminé par l'unité de calcul avec une plus grande précision. D'autre part, on notera que ce mode de réalisation est particulièrement avantageux lorsque la séquence initiale est de type binaire pseudo-aléatoire de taille maximum.
- [0026] Dans encore un mode de réalisation de l'invention alternatif ou cumulatif, l'unité de calcul pourra être agencée pour générer une séquence de données intermédiaire en insérant les données de la séquence initiale dans une séquence nulle de taille supérieure à la séquence initiale, chaque donnée de la séquence initiale étant insérée dans la séquence nulle à une position dépendante de sa position dans la séquence initiale, la séquence de données modulante étant générée à partir de ladite séquence de données intermédiaire. De façon similaire au mode précédent, cette opération permet ainsi d'obtenir une séquence modulante qui améliore sensiblement les propriétés de corrélation de la séquence initiale et dont le rapport cyclique est diminué. En effet, le maximum de la fonction d'autocorrélation de la séquence ainsi obtenue, c'est-à-dire pour un décalage temporel nul, reste inchangé et correspond au nombre de valeurs hautes dans la séquence initial, tandis que sa valeur, pour tous les autres décalages temporels, est sensiblement diminuée au regard de la valeur de la fonction d'autocorrélation de la séquence initiale. Le maximum de la fonction de corrélation

peut ainsi être discriminé par l'unité de calcul avec une plus grande précision. D'autre part, compte tenu de la diminution du rapport cyclique de la séquence de données, la puissance pic des impulsions du faisceau lumineux modulé émis peut alors être augmentée, de façon équivalente au mode précédent.

- [0027] Par exemple, la séquence nulle pourra être de longueur égale au carré de la longueur de la séquence initiale en étant composée d'une succession de sous-séquences nulles de longueur égale à la longueur de la séquence initiale. Le cas échéant, chaque donnée de la séquence initiale pourra être insérée dans la sous-séquence nulle dont la position dans la séquence nulle correspond à la position de cette donnée dans la séquence initiale, cette donnée étant insérée dans cette sous-séquence à une position correspondant à sa position dans la séquence initiale.
- [0028] On pourra indifféremment employer une seule de ces méthodes, ou combiner plusieurs de ces méthodes, voire combiner toutes ces méthodes, pour générer la séquence intermédiaire à partir de la séquence initiale, la séquence modulante étant ainsi générée selon l'invention à partir de cette séquence intermédiaire, sans sortir du cadre de la présente invention.
- [0029] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'unité de calcul est agencée pour estimer chaque valeur de la fonction de corrélation entre ladite séquence de données démodulée et ladite séquence de données modulante en évaluant la corrélation croisée de la séquence de données démodulée et la séquence de données modulante retardée d'une durée donnée associée à ladite valeur. En d'autres termes, chaque valeur de la fonction de corrélation est ainsi associée à une valeur d'un décalage temporel de la séquence modulante employée pour estimer cette valeur de la fonction de corrélation. L'unité de calcul est ainsi agencée pour identifier la valeur de décalage temporel associée à la valeur maximum de la fonction de corrélation croisée.
- [0030] Avantagusement, l'unité de calcul est agencée pour évaluer la corrélation croisée de la séquence de données démodulée et de la séquence de données modulante retardée au moyen d'une porte logique de type ET si le rapport cyclique de la séquence de données modulante est inférieur à 25%. En effet, il a été constaté que le rapport signal à bruit du système est optimal pour des valeurs de rapport cyclique autour de 50% mais qu'il se dégrade pour des valeurs de rapport cyclique plus faible, notamment aux alentours de 25%. En effet, pour ces valeurs de rapport cyclique, la séquence modulante contient plus de valeurs basses que de valeurs hautes. Or, en présence de bruit, il est plus complexe de corréler des valeurs basses entre elles que des valeurs hautes. L'emploi d'une porte logique de type NON-OU EXCLUSIF, également nommée XNOR, qui permet de vérifier la synchronisation de deux signaux tant pour les valeurs basses et que pour les valeurs hautes, implique ainsi une dégradation du rapport signal à bruit pour de faibles valeurs du rapport cyclique. En revanche, pour de faibles valeurs du

rapport cyclique, l'emploi d'une porte logique de type ET, également nommée AND, qui permet de vérifier la synchronisation de deux signaux uniquement pour les valeurs hautes, permet ainsi d'obtenir un rapport signal à bruit plus important que la porte logique de type NON-OU EXCLUSIF. Il est ainsi possible de diminuer le rapport cyclique de la séquence modulante, par exemple au moyen d'une des méthodes listées ci-dessus, de sorte à pouvoir augmenter la puissance pic des impulsions du faisceau lumineux modulé émis, tout en conservant un rapport signal à bruit pour l'opération de corrélation optimal.

- [0031] Avantageusement, l'unité de calcul est agencée pour évaluer la corrélation croisée de la séquence de données démodulée et de la séquence de données modulante retardée au moyen d'une porte logique de type NON-OU EXCLUSIF ou au moyen d'une porte logique de type ET, l'unité de calcul étant agencée pour sélectionner l'une ou l'autre de ces portes en fonction du rapport cyclique de la séquence de données modulante. L'unité de calcul peut ainsi, en fonction du cas d'usage, sélectionner la porte logique correspondant au rapport cyclique employé pour ce cas d'usage, par exemple pour adapter le système à des conditions de l'environnement dégradées. Par exemple, si le rapport cyclique est inférieur à 25%, l'unité de calcul pourra sélectionner la porte logique de type ET, et elle pourra sélectionner la porte logique de type NON-OU EXCLUSIF, dans le cas contraire.
- [0032] Dans un mode de réalisation de l'invention, le module lumineux est apte à émettre un faisceau lumineux dont le spectre présente un pic à une longueur d'onde dans le visible, notamment comprise entre 400 nm et 500 nm. Avantageusement, le module lumineux comporte une source lumineuse comprenant un générateur à semi-conducteur apte à émettre un faisceau lumineux élémentaire, notamment dont le spectre présente un pic à une longueur d'onde dans le visible, et un élément photoluminescent apte à convertir ledit faisceau lumineux élémentaire pour obtenir ledit faisceau lumineux.
- [0033] Le semi-conducteur pourra par exemple être un nitrure de gallium, ou encore GaN, apte à émettre, par électroluminescence et en réponse à un courant électrique le traversant, des rayons de lumière bleue. L'élément photoluminescent pourra par exemple être sous la forme d'une résine comportant un grenat d'yttrium et d'aluminium dopé au cérium, ou CE:YAG, apte à absorber de la lumière bleue et, par photoluminescence et en réponse à l'excitation réalisée par cette lumière, à émettre des rayons de lumière jaune. L'élément photoluminescent est disposé sur le générateur de sorte qu'une partie des rayons de lumière bleue excite cet élément pour qu'il émette, par photoluminescence des rayons de lumière jaune. L'autre partie des rayons de lumière bleue traverse cet élément. Ainsi, la source lumineuse émet simultanément, lorsqu'elle est alimentée électriquement, des rayons de lumière bleue et jaune, la

lumière ainsi formée apparaissant blanche pour l'œil humain.

- [0034] La source lumineuse pourra ainsi être une source de type laser, une diode électroluminescente, une diode laser à cavité verticale émettant par la surface, également appelée VCSEL (de l'anglais « Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser ») ou encore une diode superluminescente ou SLED (de l'anglais « Superluminescent diode »).
- [0035] Avantageusement, le module lumineux pourra comporter une unité optique agencée pour projeter les rayons lumineux émis par la source lumineuse pour former ledit faisceau lumineux.
- [0036] Dans un mode de réalisation de l'invention, le module de réception comporte une pluralité de modules d'acquisition élémentaires comprenant chacun un photodétecteur apte à convertir un signal lumineux qu'il reçoit en un signal électrique.
- [0037] Par exemple, l'ensemble des photodétecteurs peut former un capteur, par exemple un unique composant électronique.
- [0038] Avantageusement, le photodétecteur du ou de chaque module d'acquisition élémentaire est une photodiode à avalanche. Ce type de photodétecteur est également connu sous le nom de SPAD, de l'anglais « Single-Photon Avalanche Diode ». L'ensemble des photodiodes à avalanche peut ainsi former un photomultiplicateur sur silicium ou SiPM (de l'anglais « Silicon PhotoMultiplier »). Ce type de photodétecteur permet de détecter l'incidence d'un seul photon avec un gain important, par exemple de l'ordre de 10^6 , et donc de pallier les dégradations du rapport signal-à-bruit dues aux conditions externes
- [0039] Selon un exemple de réalisation de l'invention, le module de réception peut comporter une unité optique agencée devant le module d'acquisition élémentaire.
- [0040] Dans un mode de réalisation de l'invention, le module d'émission est agencé dans un projecteur avant du véhicule automobile. Avantageusement, le module de réception et le module d'émission sont agencés dans un projecteur avant du véhicule automobile.
- [0041] De préférence, le module d'émission est agencé de sorte que le faisceau lumineux participe, totalement ou partiellement, à la réalisation d'une fonction photométrique réglementaire prédéterminée. Il pourra par exemple s'agir d'un feu diurne ou DRL (de l'anglais « Daytime Running Lamp »), lequel présente comme avantage d'être émis dans un champ large avec une intensité faible.
- [0042] L'invention a également pour objet un procédé de détection d'un obstacle situé dans l'environnement d'un véhicule automobile et d'estimation de la distance séparant cet objet du véhicule, le procédé étant mis en œuvre par un système lumineux, notamment par un système lumineux selon l'invention.
- [0043] Avantageusement, le procédé comporte les étapes suivantes :
 - a. Réception d'une consigne de rapport cyclique d'une séquence de données ;
 - b. Génération, par une unité de calcul du système lumineux, d'une séquence de

- données initiale de type binaire ;
- c. Génération d'une séquence de données modulante à partir de la séquence initiale en diminuant uniquement les durées de pulsation associées aux valeurs hautes de ladite séquence initiale, cette diminution étant réalisée selon un facteur déterminé à partir de la consigne de rapport cyclique et du rapport cyclique de la séquence initiale
 - d. Modulation, par une unité de modulation du système lumineux, d'un faisceau lumineux émis par un module lumineux du système lumineux ;
 - e. Réception et conversion, par un module d'acquisition élémentaire du système lumineux, d'un faisceau lumineux en un signal électrique ;
 - f. Démodulation, par une unité de démodulation du système lumineux, du signal électrique pour extraire une séquence de données démodulée ;
 - g. Estimation de valeurs, par l'unité de calcul, d'une fonction de corrélation entre ladite séquence de données démodulée et ladite séquence de données modulante ; et
 - h. Détermination d'un temps de vol séparant l'émission dudit faisceau lumineux modulé émis de la réception dudit faisceau lumineux reçu à partir des valeurs de la fonction de corrélation.
- [0044] La présente invention est maintenant décrite à l'aide d'exemples uniquement illustratifs et nullement limitatifs de la portée de l'invention, et à partir des dessins annexés, dessins sur lesquels les différentes figures représentent :
- [0045] [Fig.1] représente, schématiquement et partiellement, une vue d'un système d'un véhicule automobile selon un exemple de réalisation de l'invention ;
- [0046] [Fig.2] représente, schématiquement et partiellement, un procédé de télémétrie mis en œuvre par le système de la [Fig.1] ;
- [0047] [Fig.3] représente, schématiquement et partiellement, un exemple de génération d'une séquence de données modulante par l'unité de calcul du système de la [Fig.1] ;
- [0048] [Fig.4] représente, schématiquement et partiellement, un deuxième exemple de génération d'une séquence de données modulante par l'unité de calcul du système de la [Fig.1] ;
- [0049] [Fig.5] représente, schématiquement et partiellement, un troisième exemple de génération d'une séquence de données modulante par l'unité de calcul du système de la [Fig.1] ;
- [0050] [Fig.6] représente, schématiquement et partiellement, un exemple de réalisation de l'unité de calcul du système de la [Fig.1].
- [0051] Dans la description qui suit, les éléments identiques, par structure ou par fonction, apparaissant sur différentes figures conservent, sauf précision contraire, les mêmes références.

- [0052] On a représenté en [Fig.1] un système 1 d'un véhicule automobile selon un exemple de réalisation de l'invention.
- [0053] Le système 1 comporte un module d'émission 2 agencé pour émettre un faisceau lumineux F1 et un module de réception 3 destiné à recevoir un faisceau lumineux F2.
- [0054] Dans l'exemple décrit, le module d'émission 2 et le module de réception 3 sont agencés dans un même projecteur avant du véhicule automobile. On pourra prévoir que les modules 2 et 3 soient agencés en différents endroits du véhicule automobile, sans sortir du cadre de la présente invention.
- [0055] Le module d'émission 2 comporte un module lumineux 21 et une unité de modulation 22.
- [0056] Le module lumineux 2 est agencé pour que le faisceau lumineux F1, qu'il émet, présente un spectre électromagnétique dont au moins une portion est située dans le spectre visible. Dans l'exemple décrit, le spectre présente un pic d'intensité P1, ou raie, dans le bleu à 450 nm. On notera qu'il est possible que le spectre présente d'autres pics d'intensité, dans le visible et/ou dans l'infrarouge.
- [0057] Afin d'émettre ce faisceau lumineux F1, le module lumineux 21 comporte une source lumineuse 23 apte à émettre des rayons lumineux et une unité optique 24 agencée pour projeter ces rayons lumineux pour former le faisceau lumineux F1. Dans l'invention, l'unité optique 24 pourra indifféremment comporter un ou plusieurs réflecteurs, une ou plusieurs lentilles, un ou plusieurs diaphragmes ou un ou plusieurs collimateurs ou encore une combinaison de plusieurs de ces éléments optiques.
- [0058] La source lumineuse 23 comporte par exemple un générateur à semi-conducteur (non représenté), par exemple un nitrure de gallium ou encore GaN, apte à émettre, par électroluminescence et en réponse à un courant électrique le traversant, des rayons de lumière bleue avec un pic d'émission à 450 nm. La source lumineuse comporte également un élément photoluminescent, sous la forme d'une résine comportant un grenat d'yttrium et d'aluminium dopé au cérium, ou CE:YAG, apte à absorber de la lumière bleue et, par photoluminescence et en réponse à l'excitation réalisée par cette lumière, à émettre des rayons de lumière jaune.
- [0059] L'élément photoluminescent est disposé sur le générateur de sorte qu'une partie des rayons de lumière bleue excite cet élément pour qu'il émette, par photoluminescence des rayons de lumière jaune. L'autre partie des rayons de lumière bleue traverse cet élément. Ainsi, la source lumineuse 23 émet simultanément, lorsqu'elle est alimentée électriquement, des rayons de lumière bleue et jaune, la lumière ainsi formée apparaissant blanche pour l'œil humain.
- [0060] Dans la mesure où le faisceau lumineux F1 est composé, partiellement ou totalement, de lumière blanche, il est possible d'employer ce faisceau lumineux F1 pour participer, partiellement ou totalement, à la réalisation d'une fonction photométrique, notamment

réglementaire, prédéterminée. Dans ce cas, l'unité optique 24 est agencée pour mettre en forme ce faisceau lumineux F1 de sorte que sa distribution photométrique satisfasse les exigences de ladite fonction. On pourra par exemple prévoir que le faisceau lumineux F1 participe à la réalisation d'une fonction de type feu diurne, ou DRL.

- [0061] En plus de cette fonction photométrique, le faisceau lumineux F1 permet au système 1 réaliser des fonctions de détection et d'évaluation de la position d'un objet O sur la route, comme cela va être décrit en lien avec la [Fig.2] qui représente un procédé de télémétrie mis en œuvre par le système 1.
- [0062] A ces fins, le système 1 comporte une unité de calcul 4.
- [0063] Dans une première étape E1, l'unité de calcul 4 génère une séquence de données initiale Seq1. La séquence initiale Seq1 est, dans l'exemple décrit, une séquence de type binaire, composée de « 0 » et de « 1 », pseudo aléatoire et de taille maximum, également nommée M-séquence.
- [0064] On pourra prévoir que cette séquence Seq1 soit stockée dans une mémoire de l'unité de calcul 4 (non représentée), l'unité de calcul 4 générant alors cette séquence de façon périodique. En variante, on pourra prévoir que l'unité de calcul soit équipée d'un registre à décalage à rétroaction linéaire, dont l'état initial, le nombre d'étages et les portes logiques ont été définis de sorte que la suite de bits générée par le registre soit périodique et dont le motif soit la séquence Seq1. Quel que soit le mode de réalisation envisagé, l'unité de calcul 4 génère ainsi la séquence Seq1 de façon périodique et continue.
- [0065] Dans une deuxième étape E2, l'unité de calcul 4 génère une séquence de données Seq2, dite modulante, à partir de la séquence initiale Seq1, en conservant au moins les mêmes propriétés d'autocorrélation et de corrélation croisée de la séquence initiale Seq1. Différentes méthodes de génération de cette séquence modulante seront décrites ultérieurement. On pourra indifféremment employer une seule de ces méthodes ou combiner plusieurs de ces méthodes, voire toutes ces méthodes, dans n'importe quel ordre. En variante, on pourra prévoir que la séquence modulante Seq2 soit identique à la séquence initiale Seq1.
- [0066] On pourra notamment prévoir, selon la méthode de génération employée, que la séquence modulante Seq2 soit générée de façon continue à partir de chaque bit de la séquence initiale Seq1 qui est générée, que chaque séquence initiale Seq1 générée soit stockée dans une mémoire tampon pour pouvoir générer la séquence modulante Seq2, voire que la séquence modulante Seq2 soit stockée dans la mémoire de l'unité de calcul 4, laquelle génère ainsi directement cette séquence Seq2 sans générer la séquence initiale Seq1.
- [0067] Concomitamment, l'unité de calcul 4 définit une valeur de puissance pic P_p ainsi qu'une durée d'impulsion T_p , et transmet la séquence de données Seq2, la puissance

pic P_p et la durée d'impulsion T_p à l'unité de modulation 22.

[0068] Dans une troisième étape E3, l'unité de modulation 22 module le faisceau lumineux F1 émis par le module lumineux 21, à partir de cette séquence de données Seq2, par exemple en contrôlant l'alimentation électrique fournie à la source lumineuse 23.

[0069] Dans l'exemple décrit, l'unité de modulation 22 comporte un générateur d'un signal de contrôle modulé en fréquence d'impulsion. Ce signal de contrôle permet de contrôler une alimentation à découpage (non représenté) de la source lumineuse 23. De façon classique, la consigne de fréquence de ce signal de contrôle, fixé par l'unité de modulation 22, permet ainsi de contrôler la puissance électrique moyenne fournie à la source lumineuse 23, et donc de contrôler l'intensité lumineuse du faisceau lumineux F1, de sorte à satisfaire les exigences de la fonction photométrique qu'il réalise.

[0070] Ainsi, l'unité de modulation 22 convertit la séquence de données Seq2 en un signal modulant et module le signal de contrôle initial à l'aide de ce signal modulant. En d'autres termes, le faisceau lumineux F1 ainsi émis sous le contrôle du signal modulé Sseq est composé d'un train d'impulsions lumineuses. Les impulsions se succèdent avec une fréquence variable suffisamment élevée, par exemple supérieure à de 10 MHz, notamment comprise entre 50 MHz et 100 MHz, pour que l'œil humain ne les distingue plus. Par ailleurs, l'amplitude, la largeur et/ou la position de chaque impulsion au regard de la période permet au faisceau lumineux F1 de transporter la séquence de données vers le module de réception 3.

[0071] On notera, que dans l'exemple décrit, chaque impulsion lumineuse correspond à un bit de valeur « 1 » de la séquence modulante Seq2, la largeur de l'impulsion correspondant à la durée d'impulsion T_p et sa puissance lumineuse correspondant à la puissance pic P_p . La puissance moyenne P_m d'une portion du faisceau lumineux F1 contenant la séquence Seq2 est ainsi définie par le nombre de bits de valeur « 1 » de cette séquence Seq2 au regard du nombre de bits total de cette séquence Seq2, par la durée d'impulsion T_p et par la puissance pic P_p :

[0072] [Math.1]

$$P_m = P_p \cdot T_p \cdot DC_s$$

où P_m est la puissance moyenne du faisceau F1, P_p est la puissance pic, T_p est la durée d'impulsion et DC_s est le rapport cyclique de la séquence modulante Seq2, défini comme le rapport entre le nombre de bits de valeur « 1 » de cette séquence Seq2 et le nombre de bits total de cette séquence Seq2.

[0073] La puissance moyenne P_m du faisceau lumineux F1 étant généralement contrainte par les exigences réglementaires encadrant la fonction photométrique que doit réaliser le faisceau F1, l'unité de calcul 4 peut ainsi générer les valeurs de la puissance pic P_p et de la durée d'impulsion T_p en fonction du rapport cyclique DC_s de la séquence modulante Seq2 et d'une consigne de fonction photométrique, par exemple exprimée

comme une consigne de puissance moyenne ou une consigne de fréquence du signal modulé Sseq.

- [0074] On notera que d'autres types de modulation peuvent être indifféremment employés dans le cadre de la présente invention, et notamment une modulation en codage d'impulsion (ou PCM de l'anglais « Pulse Code Modulation »), une modulation en amplitude d'impulsion (ou PAM de l'anglais « Pulse Amplitude Modulation »), une modulation en largeur d'impulsion (ou PWM de l'anglais « Pulse Width Modulation ») ou encore une modulation en position d'impulsion (ou PPM de l'anglais « Pulse Position Modulation »).
- [0075] Le faisceau lumineux F1 est ainsi émis jusqu'à atteindre un objet O, situé dans l'environnement du véhicule, lequel le réfléchit en direction du module de réception 3. Le faisceau lumineux F2 reçu par le module de réception est ainsi composé d'une partie du faisceau lumineux F1 réfléchi par l'objet O et de bruit, par exemple généré par des sources de lumière parasite comme de l'éclairage urbain, de l'éclairage automobile, voire le soleil.
- [0076] Le module de réception 3 comporte une unité optique 31, en aval de laquelle sont prévus une pluralité de modules d'acquisition élémentaires 32. Le module de réception 3 comporte par ailleurs une unité de démodulation 33.
- [0077] Chacun des modules d'acquisition élémentaires 32 comporte un photodétecteur. Le faisceau lumineux F2 reçu par le module de réception 3 est ainsi concentré par l'unité optique 31 sur l'un ou plusieurs des photodétecteurs 32a.
- [0078] Les photodétecteurs sont identiques et sont chacun formés par une photodiode à avalanche d'un photomultiplicateur sur silicium. Ces photodiodes sont réparties de façon matricielle. On notera que les dimensions des photodétecteurs sont de l'ordre du micromètre. L'ensemble forme ainsi un capteur dont la résolution spatiale de réception est de l'ordre de 1° , voire de $0,1^\circ$, et dont les capacités de détection, du fait de l'utilisation de photodiodes à avalanche, sont particulièrement importantes, même en cas de conditions d'acquisition dégradées.
- [0079] Dans une étape E4, chacun des photodétecteurs convertit la portion du faisceau lumineux F2 qu'il reçoit, en un signal électrique Sel qu'il transmet à l'unité de démodulation 33, laquelle peut alors en extraire une séquence de données Seq3, dite démodulée, dans une étape E5.
- [0080] Dans l'exemple décrit, l'unité de démodulation 33 peut par exemple, dans l'étape E5, comptabiliser, depuis le signal électrique Sel, le nombre de photons reçus par un module d'acquisition élémentaires 32 pendant un intervalle de temps correspondant à une durée d'impulsion T_p , puis déterminer par seuillage au regard d'une valeur déterminée à partir de la puissance pic P_p si cette quantité de photons correspond ou non à une impulsion du faisceau lumineux F1, et donc à un bit de valeur « 1 » ou à un bit

de valeur « 0 ».

- [0081] La séquence binaire démodulée Seq3 est ainsi transmise à l'unité de calcul 4, qui estime, dans une étape E6, des valeurs d'une fonction de corrélation Fcorr entre la séquence modulante Seq2 et la séquence démodulée Seq3.
- [0082] Dans l'étape E6, l'unité de calcul 4 évalue ainsi, pour une pluralité de valeurs de décalage temporel, la valeur de la corrélation croisée, au moyen d'un produit de convolution cyclique, entre la séquence démodulée Seq3 et la séquence modulante Seq2 retardée selon chacune des valeurs de décalage temporel.
- [0083] Compte tenu des propriétés d'autocorrélation et de corrélation croisée des séquences de type binaire pseudo aléatoire, la fonction de corrélation Fcorr sera ainsi maximum pour une valeur de décalage temporel correspondant au temps de vol du faisceau lumineux F1, séparant l'instant où il est émis par le module d'émission 2 et l'instant où il est reçu par le module de réception 3, la séquence modulante Seq2 retardée de cette valeur correspondant ainsi sensiblement à la séquence démodulée Seq3, au bruit près.
- [0084] Dans une étape E7, l'unité de calcul 4 identifie cette valeur maximum de la fonction de corrélation Fcorr et estime la valeur τ de ce temps de vol du faisceau lumineux F1 entre l'objet O et le véhicule, associée à cette valeur maximum.
- [0085] Dans une étape E8, l'unité de calcul 4 estime la distance d séparant l'objet O du véhicule.
- [0086] On a représenté en [Fig.3] une première méthode de génération de la séquence modulante Seq2 à partir de la séquence initiale Seq1.
- [0087] Dans l'exemple décrit, chaque bit de valeur « 1 » de la séquence initiale Seq1 devrait correspondre à une impulsion dans le faisceau lumineux F1 de durée T_p et de puissance P_p . Toutefois, en cas de bruit important, il est possible que l'unité de démodulation 33, lors de l'opération de seuillage, estime par erreur être en présence d'une impulsion du faisceau lumineux F1 et attribue au bit une valeur de « 1 ». Une solution palliant ces faux positifs serait d'augmenter la puissance pic P_p de sorte à améliorer le rapport signal à bruit. Toutefois, cette opération conduirait à une augmentation de la puissance moyenne P_m du faisceau lumineux F1 qui la rendrait incompatible avec les exigences réglementaires de la fonction photométrique que doit réaliser ce faisceau F1.
- [0088] Afin de répondre à ce problème, la méthode de la [Fig.3] propose, en réponse à une consigne de rapport cyclique reçue par l'unité de calcul 4, de dupliquer chaque bit de la séquence initiale Seq1, puis de remplacer certains bits de valeur « 1 » par des bits de valeur « 0 » pour que le rapport cyclique de la nouvelle séquence Seq2 corresponde sensiblement à la consigne reçue par l'unité de calcul. Dans l'exemple décrit, un pourcentage, défini à partir de la consigne reçue et du rapport cyclique de la séquence initiale, de bits de valeur « 1 » à chaque fin de sous-séquence de bits de valeur « 1 » est ainsi supprimée. Cette opération conserve sensiblement les propriétés d'autocorrélation

et de corrélation croisée de la séquence initiale Seq1.

[0089] On constate ainsi que cette opération revient alors à diminuer les durées d'impulsion T_p' des impulsions du faisceau lumineux F1, selon l'équation suivante :

[0090] [Math.2]

$$T_p' = \frac{DC_2}{DC_1} \cdot T_p$$

, où T_p est la durée d'impulsion initiale, T_p' est la nouvelle durée d'impulsion, DC_1 est le rapport cyclique de la séquence initiale Seq1 et DC_2 est le rapport cyclique de la séquence modulante Seq2.

[0091] On notera que, dans le cas où la séquence initiale Seq1 est générée par l'unité de calcul 4, on pourra directement prévoir un registre de taille plus importante permettant de générer la séquence intermédiaire correspondant à la duplication des bits de la séquence initiale Seq1.

[0092] En contrepartie, afin de conserver une puissance moyenne P_m constante, l'unité de calcul 4 peut alors augmenter la valeur de puissance pic P_p' , selon l'équation suivante :

[0093] [Math.3]

$$P_p' = \frac{DC_1}{DC_2} \cdot P_p$$

, où P_p est la puissance pic initiale, P_p' est la nouvelle puissance pic, DC_1 est le rapport cyclique de la séquence initiale Seq1 et DC_2 est le rapport cyclique de la séquence modulante Seq2.

[0094] On améliore ainsi le rapport signal à bruit du système, puisqu'il sera plus simple pour l'unité de démodulation 33 de distinguer une impulsion d'une absence d'impulsion dans un faisceau lumineux reçu F2, y compris en cas de bruit important.

[0095] On a représenté en [Fig.4] une deuxième méthode de génération de la séquence modulante Seq2 à partir de la séquence initiale Seq1.

[0096] Comme montré en [Fig.4], la fonction d'autocorrélation F_{corr} d'une séquence de type binaire pseudo aléatoire est donnée par l'équation suivante :

[0097] [Math.4]

$$F_{corr}(v) = \begin{cases} m_1 & \text{si } v \equiv 0 \pmod{N} \\ \frac{m_1}{2}, & \text{sinon} \end{cases}$$

, où $F_{corr}(v)$ est la fonction d'autocorrélation de la séquence pour un décalage temporel v , m_1 est le nombre de bits de valeur « 1 » de la séquence et N est le nombre de bits total de la séquence.

[0098] En d'autres termes, cette fonction F_{corr} présente classiquement une forme avec un plateau depuis lequel s'étend un pic. Or, en présence de bruit, les valeurs de la fonction d'autocorrélation F_{corr} , tant au niveau du pic qu'au niveau du plateau, peuvent s'écarter de ces valeurs, plus ou moins fortement selon le rapport signal à bruit. En

d'autres termes, des points aux alentours du pic peuvent avoir une valeur supérieure ou inférieure à la valeur attendue du pic, de sorte qu'il existe une incertitude sur un ensemble des points aux alentours du pic pour déterminer s'il s'agit ou non du pic, et que cette incertitude disparaît à une distance donnée du pic, de l'ordre de la durée d'impulsion initiale.

- [0099] Dès lors, l'identification du maximum de cette fonction d'autocorrélation permet d'identifier ce pic avec une précision limitée, de l'ordre de $2.T_p$, où T_p est la durée d'impulsion initiale, qui peut être insuffisante au regard des besoins en précision du système de télémétrie.
- [0100] Afin d'augmenter la précision, la méthode de la [Fig.3] propose de modifier la séquence initiale Seq1 à l'aide d'un codage Manchester, où chaque bit de valeur « 1 » est remplacé par une séquence d'un bit de valeur « 1 » suivi d'un ou plusieurs bits de valeur « 0 » et où chaque bit de valeur « 0 » est remplacé par une séquence d'un ou plusieurs bits de valeur « 0 » suivi d'un bit de valeur « 1 ». Cette opération conserve sensiblement les propriétés d'autocorrélation et de corrélation croisée de la séquence initiale Seq1.
- [0101] Dans l'exemple de la [Fig.3], chaque bit de valeur « 1 » est remplacé par une séquence d'un bit de valeur « 1 » suivi d'un bit de valeur « 0 » et où chaque bit de valeur « 0 » est remplacé par une séquence d'un bit de valeur « 0 » suivi d'un bit de valeur « 1 ».
- [0102] Cette modification permet ainsi de modifier la forme de la fonction d'autocorrélation F_{corr} , de sorte que la plage d'incertitude sur la position du maximum est réduite à $4/3.T_p$, où T_p est la durée d'impulsion initiale. On améliore ainsi la précision du système.
- [0103] On a représenté en [Fig.5] une troisième méthode de génération de la séquence modulante Seq2 à partir de la séquence initiale Seq1.
- [0104] Dans cette troisième méthode, l'unité de calcul 4 génère une séquence nulle, c'est-à-dire contenant uniquement des bits de valeur « 0 », et modifie cette séquence au moyen de la séquence initiale Seq1 pour obtenir la séquence Seq2.
- [0105] Dans l'exemple décrit, la séquence nulle générée par l'unité de calcul 4 est de taille $N.N$, où N est le nombre de bits total de la séquence initiale Seq1, et est ainsi composée de N sous-séquences composées chacune de N bits de valeur « 0 ».
- [0106] L'unité de calcul 4 insère alors chaque bit de la séquence initiale Seq1 dans une des sous-séquences dont la position dans la séquence nulle correspond à la position de ce bit dans la séquence initiale, ce bit étant insérée dans cette sous-séquence à une position correspondant à sa position dans la séquence initiale Seq1.
- [0107] Ainsi, dans l'exemple décrit, un bit b_i de position i dans la séquence initiale Seq1 est ainsi insérée dans la i ème sous-séquence, en position i de cette sous-séquence. Cette

opération conserve sensiblement les propriétés d'autocorrélation et de corrélation croisée de la séquence initiale Seq1. En d'autres termes, la séquence Seq2 peut être donnée par l'équation suivante :

[0108] [Math.5]

$$b'_j = \begin{cases} b_i & \text{si } j = (i-1).N + i \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

, où b'_j est le bit en position j de la séquence Seq2, b_i est le bit en position i de la séquence Seq2 et N est le nombre de bits total de la séquence Seq1.

[0109] On comprend ainsi que le rapport cyclique DC_2 de la séquence Seq2 est réduit au regard du rapport cyclique DC_1 de la séquence initiale Seq1, d'un rapport N .

[0110] Dès lors, le plateau de la fonction de corrélation F_{corr} , initialement positionné en $m_1 / 2$, où m_1 est le nombre de bits de valeur « 1 » de la séquence initiale Seq1, est positionné, pour Seq2 en $m_1/4$, ce qui permet donc d'améliorer encore la précision de la télémétrie. En outre, cette diminution du rapport cyclique, de façon équivalente à la méthode de la [Fig.3], permet ainsi d'augmenter la puissance pic P_p des impulsions du faisceau lumineux F1.

[0111] On a décrit, en [Fig.6], un exemple de réalisation partiel de l'unité de calcul 4 mettant en œuvre l'opération de convolution pour l'estimation des valeurs de la fonction de corrélation entre la séquence modulante Seq2 et la séquence démodulée Seq3.

[0112] L'unité de calcul 4 comporte, d'une part, une sous-unité 41 évaluant la corrélation croisée de la séquence démodulée Seq3 et de la séquence modulante Seq2 retardée au moyen d'une porte logique de type ET. Elle comporte, d'autre part, une sous-unité 42 évaluant la corrélation croisée de la séquence démodulée Seq3 et de la séquence modulante Seq2 retardée au moyen d'une porte logique de type NON-OU EXCLUSIF.

[0113] Les sorties de ces sous-unités 41 et 42 sont reliées aux entrées d'un multiplexeur 43, recevant sur son entrée de contrôle, une instruction déterminée par l'unité de calcul 4 en fonction du rapport cyclique DC_2 de la séquence modulante Seq2.

[0114] Enfin, la sortie du multiplexeur 43 est reliée à une sous-unité 44 déterminant, à partir des valeurs de la fonction de corrélation qui lui sont transmises, la valeur maximale, le temps de vol du faisceau lumineux F1 et la distance d de l'objet O.

[0115] Le multiplexeur 43 propage ainsi sur sa sortie, et vers la sous-unité 44, la fonction de corrélation déterminée par la sous-unité 41 ou par la sous-unité 42 en fonction de la valeur de ce rapport cyclique DC_2 . Plus précisément, dans l'exemple décrit, si le rapport cyclique devient inférieur à 25%, l'unité de calcul 4 génère une instruction de sélection de la sortie de la sous-unité 41 et si le rapport cyclique devient supérieur à 25%, l'unité de calcul 4 génère une instruction de sélection de la sortie de la sous-unité 42.

- [0116] Il est ainsi possible, pour l'unité de contrôle, de sélectionner la porte logique ET ou NON-OU EXCLUSIF de sorte à obtenir un rapport signal-à-bruit, lors de l'opération de corrélation, optimal au regard du rapport cyclique DC_2 de la séquence modulante Seq2.
- [0117] On notera que l'unité de calcul 4 pourra, en fonction des conditions de circulation du véhicule par exemple, sélectionner la sous-unité 41 ou la sous-unité 42 selon le rapport cyclique employé pour la génération de la séquence modulante Seq2, de sorte à conserver un rapport cyclique de corrélation optimal.
- [0118] La description qui précède explique clairement comment l'invention permet d'atteindre les objectifs qu'elle s'est fixée, à savoir fournir un système d'un véhicule automobile capable de réaliser des fonctions télémétrie à partir de lumière visible et dont le rapport signal à bruit et la précision de mesure soit améliorés. Ces objectifs sont notamment atteints en modulant le faisceau lumineux émis à partir d'une séquence de données modulante générée à partir d'une séquence binaire pseudo-aléatoire
- [0119] En tout état de cause, l'invention ne saurait se limiter aux modes de réalisation spécifiquement décrits dans ce document, et s'étend en particulier à tous moyens équivalents et à toute combinaison techniquement opérante de ces moyens. En particulier, on pourra prévoir d'employer d'autres types de source lumineuse que celui décrit, comme une diode laser, une VCSEL ou une SLED. On pourra encore prévoir de réaliser d'autres fonctions photométriques que celle décrite, et notamment des fonctions d'éclairage de type croisement ou des fonctions de signalisation de type feu de position. On pourra encore prévoir d'autres méthodes de génération d'une séquence modulante que celles décrites.

Revendications

[Revendication 1]

Système lumineux (1) d'un véhicule automobile, comportant :

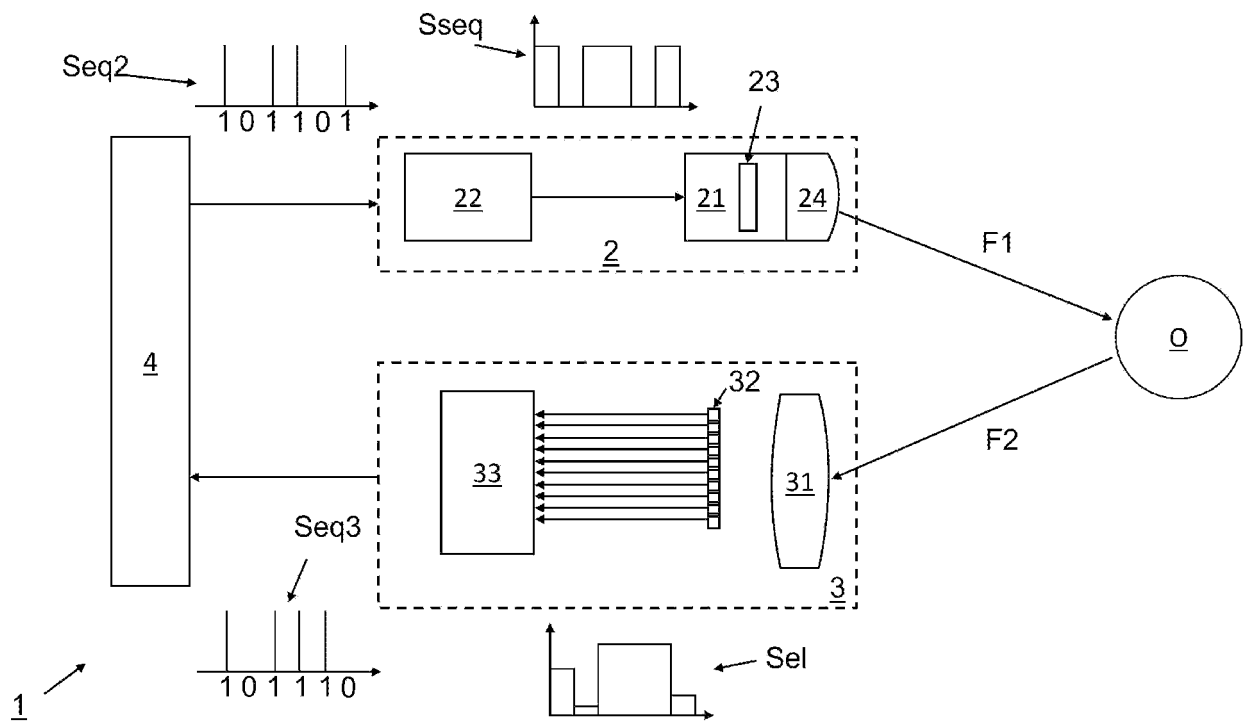
- a. un module d'émission (2) comportant un module lumineux (21) apte à émettre un faisceau lumineux (F1) dont le spectre présente au moins une portion dans le spectre visible et une unité de modulation (22) apte à recevoir une séquence de données, dite modulante, et agencée pour moduler ledit faisceau lumineux émis à partir de la séquence de données reçues ;
- b. un module de réception (3) apte à recevoir un faisceau lumineux (F2), dans lequel le module de réception comporte un module d'acquisition élémentaire (32) comprenant un photodétecteur apte à convertir un signal lumineux qu'il reçoit en un signal électrique et une unité de démodulation (33) reliée au photodétecteur et agencée pour extraire une séquence de données, dite démodulée, depuis un signal électrique converti par ce photodétecteur ;
- c. une unité de calcul (4) apte à recevoir une consigne de rapport cyclique (DC_2) de la séquence de données, l'unité de calcul étant agencée pour :
 - i. générer une séquence de données initiale de type binaire (Seq1), chaque donnée de ladite séquence initiale étant associée à une même durée de pulsation prédéterminée (T_p) ;
 - ii. générer une séquence de données modulante (Seq2) à partir de la séquence initiale en diminuant uniquement les durées de pulsation (T_p') associées aux valeurs hautes de ladite séquence initiale, cette diminution étant réalisée selon un facteur déterminé à partir de la consigne de rapport cyclique et du rapport cyclique (DC_1) de la séquence initiale ; et
 - iii. transmettre ladite séquence de données modulante à l'unité de modulation (22) pour l'émission d'un faisceau lumineux modulé (F1) par le module d'émission ;

caractérisé en ce que, l'unité de calcul étant apte à recevoir une séquence de données démodulée (Seq3) par l'unité de démodulation depuis un signal électrique (Sel) converti par le photodétecteur à partir d'un faisceau lumineux (F2) reçu par le module de réception (3) ; l'unité de calcul (4) est agencée pour estimer des valeurs d'une fonction de corrélation (F_{corr}) entre ladite séquence de données démodulée (Seq3) et ladite séquence de données modulante (Seq2) et pour déterminer un temps de vol (τ) séparant l'émission dudit faisceau lumineux émis de la réception dudit faisceau lumineux reçu à partir des valeurs de la fonction de corrélation.

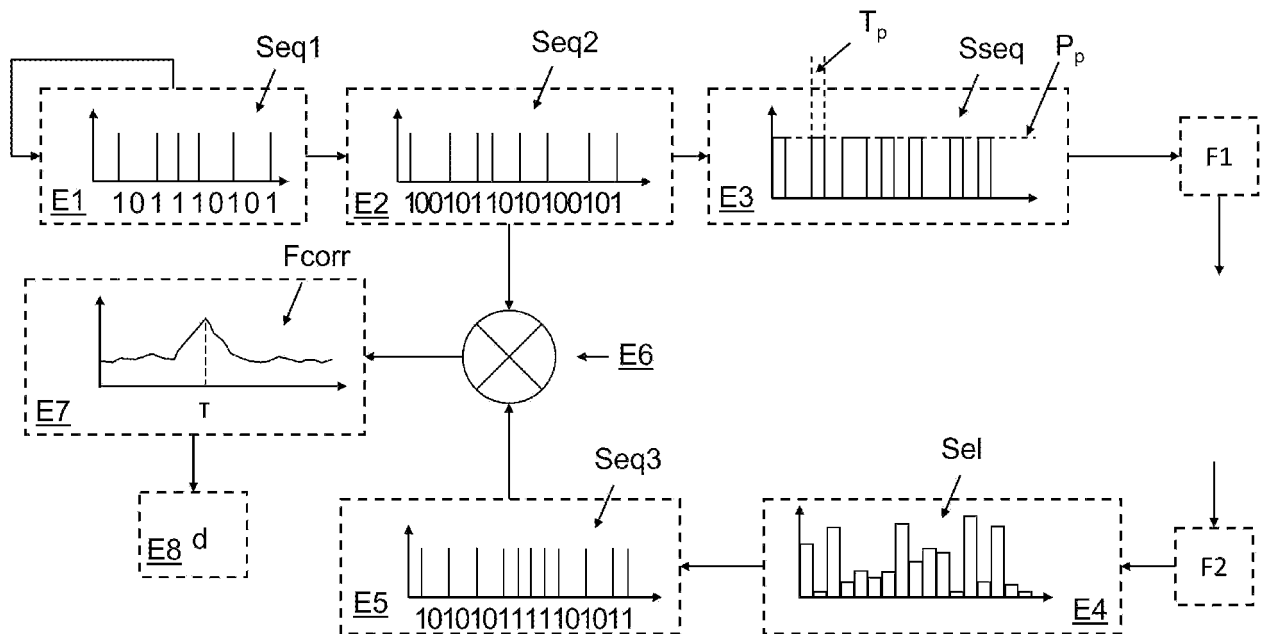
- [Revendication 2] Système lumineux (1) selon la revendication précédente, dans lequel l'unité de calcul (4) est agencée pour générer une séquence initiale de type binaire pseudo-aléatoire et pour générer ladite séquence de données modulante à partir de ladite séquence initiale.
- [Revendication 3] Système lumineux selon la revendication précédente, dans lequel l'unité de calcul est agencée pour générer une séquence initiale (Seq1) de type binaire pseudo-aléatoire de taille maximum et pour générer ladite séquence de données modulante (Seq2) à partir de ladite séquence initiale.
- [Revendication 4] Système lumineux (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'unité de modulation (22) est apte à recevoir une valeur de puissance lumineuse pic (P_p) de l'unité de calcul (4) et en ce que l'unité de modulation est agencée pour contrôler le module lumineux (21) de sorte que ledit faisceau lumineux modulé (F1) soit émis uniquement pour des valeurs hautes de ladite séquence de données modulante (Seq2) reçue de l'unité de calcul et de sorte que le faisceau lumineux modulé soit émis selon ladite valeur de puissance lumineuse pic .
- [Revendication 5] Système lumineux (1) selon la revendication précédente, dans lequel les valeurs hautes de la séquence initiale (Seq1) sont associées à une même valeur de puissance pic (P_p) prédéterminée, caractérisé en ce que l'unité de calcul (4) est agencée pour générer ladite séquence de données modulante (Seq2) à partir de la séquence initiale en diminuant uniquement les durées de pulsation (T_p') associées aux valeurs hautes de ladite séquence initiale et en augmentant la valeur de puissance pic (P_p') associée aux valeurs hautes, cette diminution et cette augmentation étant réalisées selon un facteur déterminé à partir de la consigne de rapport cyclique (DC_2) et du rapport cyclique (DC_1) de la séquence initiale .
- [Revendication 6] Système lumineux (1) selon l'une des revendications précédentes, ca-

- ractérisé en ce que l'unité de calcul (4) est agencée pour générer une séquence de données intermédiaire à partir d'une modification de la séquence initiale (Seq1) selon un algorithme de type codage Manchester, la séquence de données modulante (Seq2) étant générée par l'unité de calcul à partir de ladite séquence de données intermédiaire.
- [Revendication 7] Système lumineux (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'unité de calcul (4) est agencée pour générer une séquence de données intermédiaire en insérant les données de la séquence initiale (Seq1) dans une séquence nulle de taille supérieure à la séquence initiale, chaque donnée de la séquence initiale étant insérée dans la séquence nulle à une position dépendante de sa position dans la séquence initiale, la séquence de données modulante (Seq2) étant générée par l'unité de calcul à partir de ladite séquence de données intermédiaire.
- [Revendication 8] Système lumineux (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'unité de calcul (4) est agencée pour estimer chaque valeur de la fonction de corrélation (F_{corr}) entre ladite séquence de données démodulée (Seq3) et ladite séquence de données modulante (Seq2) en évaluant la corrélation croisée de la séquence de données démodulée et la séquence de données modulante retardée d'une durée donnée associée à ladite valeur.
- [Revendication 9] Système lumineux (1) selon la revendication précédente, dans lequel l'unité de calcul (4) est agencée pour évaluer la corrélation croisée de la séquence de données démodulée (Seq3) et de la séquence de données modulante (Seq2) retardée au moyen d'une porte logique (42) de type NON-OU EXCLUSIF ou au moyen d'une porte logique (41) de type ET, l'unité de calcul étant agencée pour sélectionner l'une ou l'autre de ces portes en fonction du rapport cyclique (DC_2) de la séquence de données modulante.
- [Revendication 10] Système lumineux (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module d'émission (2) est agencé dans un projecteur avant du véhicule automobile.
- [Revendication 11] Système lumineux (1) selon la revendication précédente, dans lequel le module d'émission (2) est agencé de sorte que le faisceau lumineux (F1) participe, totalement ou partiellement, à la réalisation d'une fonction photométrique réglementaire prédéterminée.

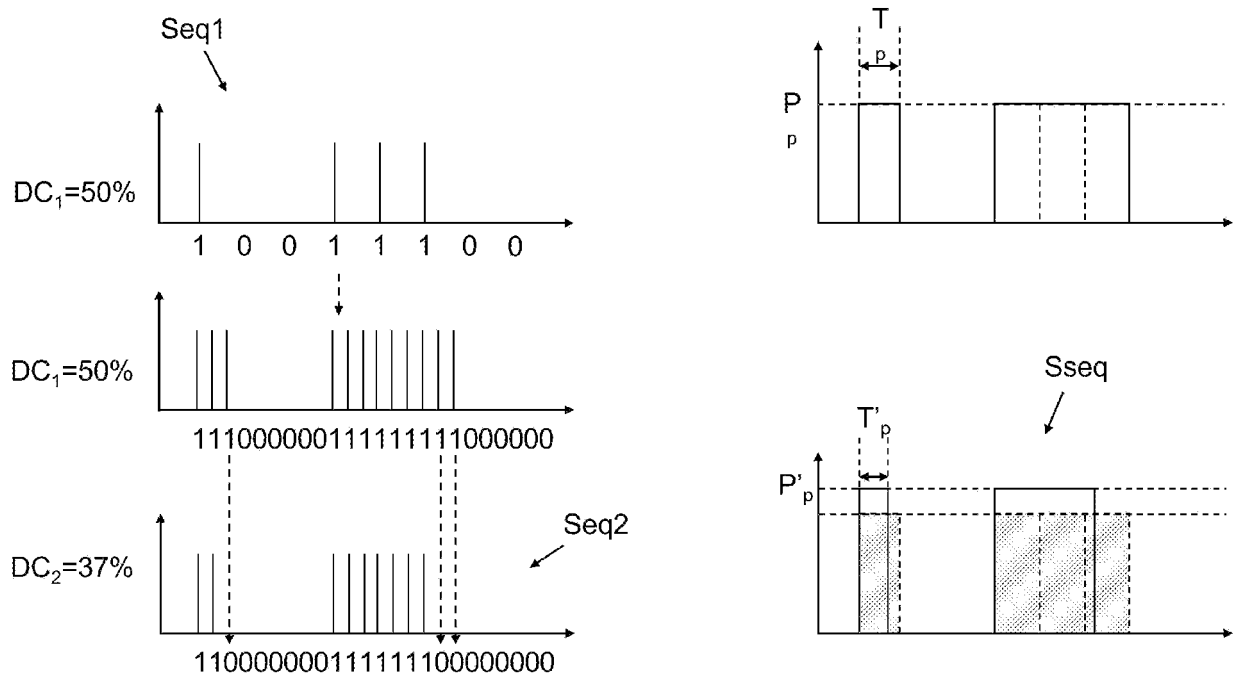
[Fig. 1]



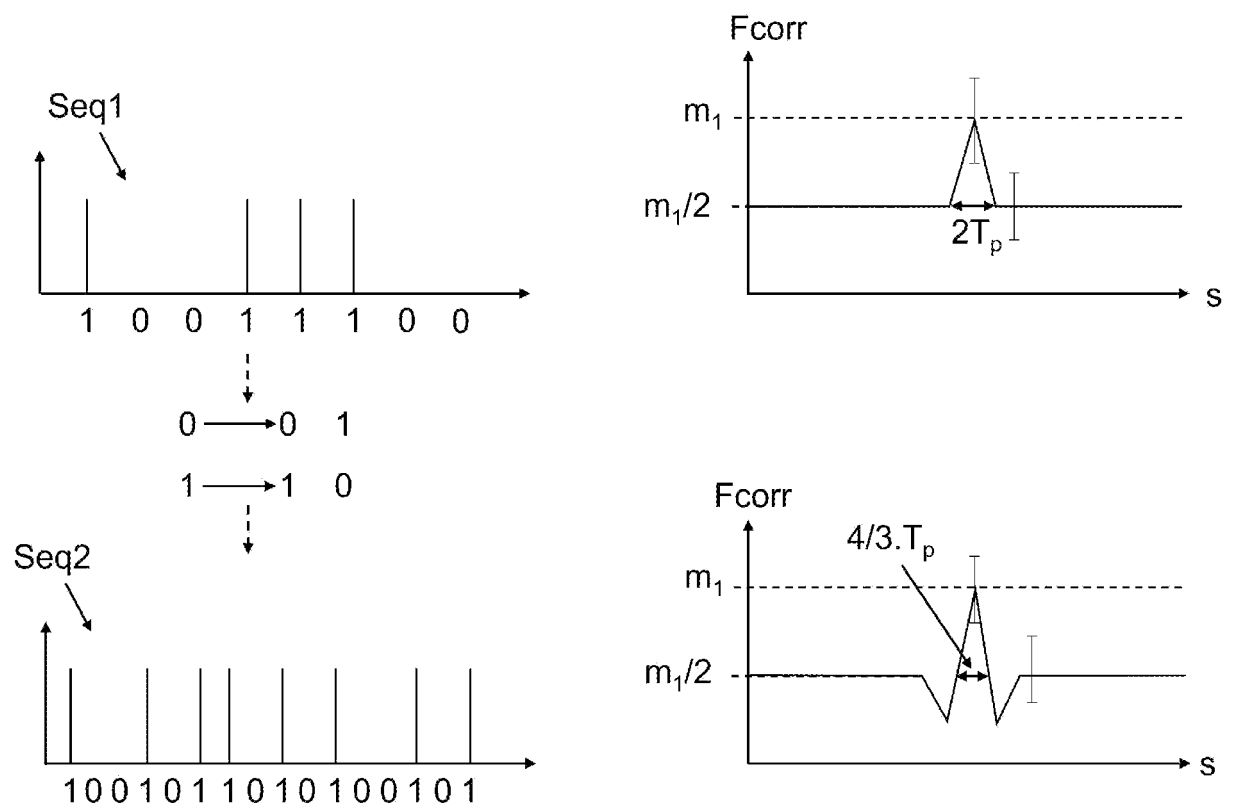
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 2016/128162 A1 (RAYNOR JEFFREY M [GB])
5 mai 2016 (2016-05-05)

US 2021/072382 A1 (KASHMIRI SAYYED MAHDI
[US]) 11 mars 2021 (2021-03-11)

US 2022/350004 A1 (EMADI ARVIN [US] ET AL)
3 novembre 2022 (2022-11-03)

US 2013/258312 A1 (LEWIS ROBERT ALDEN
[US]) 3 octobre 2013 (2013-10-03)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT