

(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 5 月 8 日(08.05.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/068959 A1

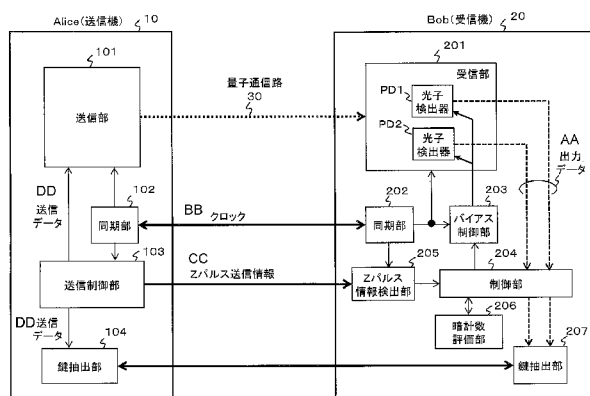
- (51) 国際特許分類:
H04B 10/077 (2013.01) H04B 10/70 (2013.01)
H04B 10/66 (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/006397
- (22) 国際出願日: 2013 年 10 月 29 日(29.10.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-241488 2012 年 11 月 1 日(01.11.2012) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 吉野 健一郎(YOSHINO, Ken-ichiro); 〒
1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号日本電気
株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 桂木 雄二(KATSURAGI, Yuji); 〒1700013
東京都豊島区東池袋 3 丁目 2 1 - 1 8 第一笠原
ビル 6 0 3 号室 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, JP, 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,
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))

(54) Title: LIGHT-RECEIVING DEVICE IN OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM, PHOTON-DETECTOR CONTROL METHOD AND DEVICE, AND PHOTON-DETECTOR DARK-COUNT-RATE EVALUATION METHOD

(54) 発明の名称: 光通信システムにおける光受信装置、光子検出器の制御方法および装置、並びに光子検出器の暗計数評価方法



10 Transmitter
20 Receiver
30 Quantum communication path
101 Transmission unit
102, 202 Synchronization unit
103 Transmission control unit
104, 207 Key-extraction unit
201 Reception unit
203 Bias control unit
204 Control unit
205 Z-pulse-information detection unit
206 Dark-count-rate evaluation unit
PD1, PD2 Photon detector
AA Transmission data
BB Clock
CC Z-pulse transmission information
DD Output data

(57) Abstract: [Problem] To provide a light-receiving device, photon-detector control method and device, and photon-detector dark-count-rate evaluation method that make it possible to evaluate the dark count rate of a photon detector while said photon detector is operating. [Solution] The following are included: a Z-pulse-information detection unit (205) and control unit (204) that selectively extract the responses of photon detectors (PD1, PD2) to transmitted-light pulses of effectively zero optical intensity included in a transmitted-light pulse train; and a dark-count-rate evaluation unit (206) that evaluates the dark count rates of the photon detectors on the basis of the number of photon detections indicated by the extracted responses.

(57) 要約: 【課題】光子検出器の受信動作を実行しつつ暗計数評価を可能にする光受信装置、光子検出器の制御方法および装置、並びに光子検出器の暗計数評価方法を提供する。【解決手段】送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する光子検出器 PD1、PD2 の出力を選択的に抽出する Z パルス情報検出部 205 および制御部 204 と、抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて光子検出器の暗計数を評価する暗計数評価部 206 と、を有する。

明 細 書

発明の名称：

光通信システムにおける光受信装置、光子検出器の制御方法および装置、
並びに光子検出器の暗計数評価方法

技術分野

[0001] 本発明は光子を通信媒体とする光通信システムにおける光受信装置に係り、特に光子検出器の暗計数評価方法、暗計数確率に基づく光子検出器の制御方法および装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、盗聴行為に対して情報理論的安全性を持つ暗号通信を実現する方法として量子鍵配送(quantum key distribution: QKD)が盛んに研究され(非特許文献1)、実用化に向けた開発が進められている。特に安全性向上のために、QKDに用いる微弱光パルスの強度を時折変化させることにより盗聴攻撃を検知する「デコイ法」がほとんどの実用向けQKDシステムに採用されている(非特許文献2を参照)。

[0003] QKDでは、1パルス中に光子を1つしか含まない「単一光子」(もしくは通常のレーザ光を極度に減衰させた「擬似単一光子」)を通信媒体としているので、通常の光通信で用いられるような光検出器ではなく、単一光子を検出可能な光子検出器が用いられる。光子検出器としては、ブレイクダウン電圧を超えるバイアスを印加したアバランシェフォトダイオード(avalanche photodiode: APD)や、数Kまで冷却した超伝導素子が一般的に用いられている。

[0004] QKDには様々な方式が提案されているが、2個もしくは4個の光子検出器を用いる方式が一般的である(たとえば非特許文献3を参照)。複数の光子検出器を用いる場合、QKDによって生成される暗号鍵の安全性を担保するためには全ての光子検出器の特性ができるだけ均一であることが望ましいが、一般的に、APD素子や超伝導素子の特性には大きなばらつきがあり、

さらに環境温度の変動や素子の劣化などによっても変化する。したがって、QKDを長時間稼働させる際には定期的に特性をチェックし、バイアス電圧などの外部パラメータを個別に調整して特性の均一化を図る必要がある。

- [0005] 光子検出器の特性を示す主要なパラメータとしては量子効率および暗計数確率が挙げられる。量子効率は1つの光子を含むパルスが光子検出器が受光した際に正しく検出信号を出力する確率（光子の検出確率）である。暗計数確率は光子が存在しないにも拘わらず検出信号を出力してしまう確率であり、雑音の大きさを示す。典型的な値としては、量子効率が10%程度、暗計数確率が 10^{-5} 程度である。

先行技術文献

非特許文献

- [0006] 非特許文献1：ベネット（Bennett）、ブラッサード（Brassard）著 IEEEコンピュータ、システム、信号処理国際会議（IEEE Int. Conf. on Computers, Systems, and Signal Processing, Bangalore, India, p. 175, 1984）
非特許文献2：M. Hayashi, “Upper bounds of eavesdropper’s performances in finite-length code with the decoy method” Physical Review A, Vol. 76, 012329 (2007)
非特許文献3：M. Sasaki et al., “Field test of quantum key distribution in the Tokyo QKD Network” Opt. Express 19, 10387 (2011)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] しかしながら、量子効率の評価は各光子検出器における検出数を比較すればよいので比較的容易であるが、暗計数は入射光を遮断してカウントする必要がある、その間、所定の受信動作ができないという難点がある。
- [0008] QKDシステムを長時間稼働させる場合を例示すれば、図1に示すように、通常通り暗号鍵生成を行う受信動作モード1と、光子検出器への入射光を一時的に遮断して暗計数確率を評価・調整する調整モード2とを用意し、こ

れらを定期的に切り替えて光子検出器の暗計数評価3を実行する。多くの場合、この調整モードには稼動時間全体の5%程度が割り当てられるので、その間の受信動作が停止することでQKDの鍵生成速度が低下する。

[0009] そこで、本発明の目的は、光子検出器の受信動作を実行しつつ暗計数評価を可能にする光受信装置、光子検出器の制御方法および装置、並びに光子検出器の暗計数評価方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明による光受信装置は、送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する光子検出器の出力を選択的に抽出する抽出手段と、前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の暗計数を評価する暗計数評価手段と、を有することを特徴とする。

本発明による光子検出器の制御方法は、送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出し、前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の特性パラメータを制御する、ことを特徴とする。

本発明による光子検出器の制御装置は、送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出する抽出手段と、前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の特性パラメータを制御する制御手段と、を有することを特徴とする。

本発明による光子検出器の暗計数評価方法は、送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出し、前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の暗計数を評価する、ことを特徴とする。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスを利用して暗計数を評価することで、光子検出器の受信動作を実行しつつ暗計数評価を行うことが可能となる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は調整モードを設定した暗計数評価方法を示すタイムチャートである。

[図2]図2は本発明の概要を説明するためのタイムチャートである。

[図3]図3は本発明の一実施形態による光通信システムの送信機および受信機の構成を示すブロック図である。

[図4]図4は本実施形態による光通信システムの暗計数評価方法を説明するためのタイムチャートである。

発明を実施するための形態

[0013] 図2に示すように、本発明の実施形態によれば、送信光パルス列を光子検出器で検出した検出データのうち送信光パルス列に含まれる実質的に光強度0（平均光子数0）のタイミング（以下、便宜上、Zパルスという。）の検出データを利用して暗計数評価を行う。具体的には、送信されたZパルス数に対する光子検出器による光子検出回数の割合を暗計数確率として評価する。したがって、光子検出器を動作モードにしたままで暗計数評価を実行することができ、システム動作を調整のために中断する必要がない。以下、Zパルスを含むデコイ法を採用したQKDシステムを一例として、本発明の一実施形態による暗計数評価方法について詳細に説明する。

[0014] 1. システム構成

図3に示すように、本発明の一実施形態による光通信システムは、暗号鍵を送信する側（Alice）の送信機10と暗号鍵を受信する側（Bob）の受信機20とが光ファイバにより接続されている。送信機10と受信機20とは、後述する量子通信路30および古典通信路31～33により通信を行うものとする。

[0015] 送信機10は、量子通信を行う送信部101と、受信側とのクロック同期をとる同期部102と、デコイ送信制御および受信側へZパルス送信情報を通知する送信制御部103と、受信機20との間でデータの一部を互いに送信することで暗号鍵を生成する鍵抽出部104とを有する。なお、送信部1

01には、光パルスを生成するレーザ光源や位相変調器なども設けられているが、本発明の動作に直接関係しないので説明は省略する。

[0016] 受信機20は、複数の光子検出器（ここではPD1およびPD2）を有する受信部201と、送信側とのクロック同期をとる同期部202と、光子検出器PD1およびPD2のバイアス電圧をそれぞれ制御するバイアス制御部203と、後述する暗計数評価や鍵抽出などの制御を行う制御部204と、送信器10から受信したZパルス送信情報からZパルス情報を検出するZパルス情報検出部205と、Zパルス情報および光子検出器PD1およびPD2の出力データに基づいて光子検出器の暗計数確率の評価を行う暗計数評価部206と、送信器10との間でデータの一部を互いに送信することで暗号鍵を生成する鍵抽出部207とを有する。なお、受信部201には、位相変調器や2入力2出力の干渉計（たとえば、マッハツェンダ（Mach-Zehnder）干渉計）なども設けられているが、本発明の動作に直接関係しないので説明は省略する。

[0017] なお、制御部204、Zパルス情報検出部205および暗計数評価部206は、図示しないメモリに格納されたプログラムを実行するコンピュータにより同等の機能を実現することもできる。

[0018] 2. システム動作

送信機10の送信部101は、送信制御部103からの送信データに従って、デコイ法に基づいて強度変調された光子パルスを量子通信路30を通して受信機20へ送信する。これと並行して、送信制御部103は送信された光子パルスにおける光強度0のZパルスの送信情報を受信機20へ通知する。ここで量子通信路30は、単一光子あるいは疑似単一光子からなる光子パルスを伝送する所定波長の通信路である。クロック信号やZパルス送信情報は通常強度の光パルスによる古典通信路でよい。なお、量子通信路30と古典通信路とは1本の光ファイバに波長多重されてもよい。また、鍵抽出部104と鍵抽出部207との間は双方向に伝送する古典通信路であればよく、インターネット回線などが代表的である。

[0019] 受信部201の光子検出器PD1およびPD2は量子通信路30を通して到達した光子パルスを検出し、その検出データを制御部204の制御に従って鍵抽出部207へ出力する。バイアス制御部203は、光子パルス到達タイミングに同期して光子検出器PD1およびPD2へバイアス電圧を印加し、光子検出器PD1およびPD2をそれぞれ駆動する。したがって、光子検出器PD1およびPD2が出力するデータは、量子通信路30を通して到達した光子パルスの有無を示すと共に、光強度0のZパルスのタイミングでの暗出力の有無も示す。Zパルス情報検出部205は送信機10から古典通信路を通して受信したZパルス送信情報を検出し、制御部204へ出力する。

[0020] 制御部204は、Zパルス送信情報に従って、光子検出器PD1およびPD2の出力データからZパルスに対する出力データを抽出し、暗計数評価部206へ出力する。暗計数評価部206は、Zパルス送信情報とZパルスに対する出力データとに基づいて各光子検出器の暗出力の確率を計算する。Zパルスは強度がゼロであるため、Zパルス受信時の検出確率は光子検出器の暗計数確率に相当する。バイアス制御部203は暗計数確率に基づいて各光子検出器に印加するバイアス電圧を決定し、光子検出器PD1およびPD2の特性を調整する。

[0021] 3. 暗計数評価

図4(A)に示すように、一般に、デコイ法では3種類の光強度が用いられ、1パルス中に含まれる平均光子数をここではそれぞれ s 、 d 、 z とする。平均光子数 s の光パルスは信号(signal)光として用い、ここから得た情報を量子暗号鍵の生成に利用する。伝送距離50km程度の典型的なQKDシステムでは $s \sim 0.5$ である。平均光子数 d および z の光パルスは盗聴を検知するための囷(decoy)パルスとして用い、典型的には $d \sim 0.2$ 、 $z = 0$ である。以下、平均光子数 s 、 d 、 z の光パルスをそれぞれ S 、 D 、 Z パルスと表す。デコイ法を用いたQKDシステムでは、送信パルスのほとんどを S パルスとし、一部に D パルスや Z パルスをランダムに混入させて盗聴を検知する。典型的には送信パルスのうち、 S パルスが90%、 D パルスが6

%、Zパルスが4 %程度である（非特許文献3 参照）。なお、S、D、Zの各パルスはランダムに送信されるが、受信機20での検出後にはどのパルスがS、D、Zパルスであったかが通知される。

[0022] 図4（B）および（C）に示すように、本実施形態によるQKDシステムは、複数のZパルスを利用して光子検出器の暗計数評価を行うことで、常に鍵生成モードで動作させることができる。以下、本実施形態による暗計数評価動作について説明する。

[0023] Zパルス情報検出部205がZパルス送信情報を検出すると、制御部204は、光子検出器PD1およびPD2の出力データからZパルスの検出データ（暗出力）を選択的に抽出し、暗計数評価部206に逐次保存する。図4（B）および（C）に示すように、Zパルス検出データが統計的に有意義な数N（10kカウント程度の検出数）になるまで蓄積されると、暗計数評価部206は、Zパルス送信情報から得られる送信されたZパルス数のうち暗出力があった回数Nの割合を暗計数確率として評価する。すなわち、暗計数確率は以下の式で計算される：

暗計数確率 = (Zパルスの検出数N) / (送信されたZパルス数)。

この暗計数確率に基づいて、バイアス制御部203は光子検出器PD1およびPD2に印加するバイアス電圧を決定し、それらの暗計数確率を並列に調整することができる。こうして複数の光子検出器の暗計数確率を均一にすることが可能となり、暗号鍵の安全性を向上させることができる。本実施形態では、QKDシステムに光子検出器の調整モードを用意する必要がないため、鍵生成速度の低下や盗聴攻撃を回避することが可能となる。

[0024] 4. 他の実施形態

上述した実施形態では、受信部201に2個の光子検出器PD1、PD2が設けられている例を示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、任意の個数の光子検出器の受信部に適用可能である。たとえば非特許文献3に示すような2入力4出力の非対称マッハツェンダ（Mach-Zehnder）干渉計と4個の光子検出器を有する受信部であっても同様に適用可能である。

[0025] また、上述した実施形態ではデコイ法を用いたQKDシステムについて述べたが、本発明はデコイ法に限らず強度ゼロの光パルスの送信を含む方式全般に適用可能である。

[0026] 本発明を用いれば調整モードを用いることなく光子検出器の暗計数確率を評価・調整することができるため、調整モードの導入による鍵生成速度の低下および盗聴攻撃を回避することが可能となる。

[0027] 5. 付記

上述した実施形態の一部あるいは全部は、以下の付記のようにも記載されるが、これらに限定されるものではない。

(付記1)

光子検出器を有する光受信装置であって、

送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出する抽出手段と、

前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の暗計数を評価する暗計数評価手段と、

を有することを特徴とする光受信装置。

(付記2)

前記抽出手段は、前記送信光パルスの送信側から、前記光強度ゼロの送信光パルスの前記送信光パルス列における分散配置情報を受信することを特徴とする付記1に記載の光受信装置。

(付記3)

前記送信光パルス列は、光強度ゼロを含む複数の光強度レベルを有することを特徴とする付記1または2に記載の光受信装置。

(付記4)

前記評価された暗計数に基づいて前記光子検出器の特性を制御する制御手段を更に有することを特徴とする付記1－3のいずれか1項に記載の光受信装置。

(付記5)

前記制御手段は複数の光子検出器の暗計数確率を均一化するように各光子検出器の特性パラメータを調整することを特徴とする付記４に記載の光受信装置。

(付記６)

光受信機における光子検出器の制御方法であって、

送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出し、

前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の特性パラメータを制御する、

ことを特徴とする光子検出器の制御方法。

(付記７)

前記光強度ゼロの送信光パルスは送信側において前記送信光パルス列に予め分散配置されていることを特徴とする付記６に記載の光子検出器の制御方法。

(付記８)

複数の光子検出器の暗計数確率を均一化するように各光子検出器の特性パラメータを調整することを特徴とする付記６または７に記載の光子検出器の制御方法。

(付記９)

光受信機における光子検出器の制御装置であって、

送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出する抽出手段と、

前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の特性パラメータを制御する制御手段と、

ことを特徴とする光子検出器の制御装置。

(付記１０)

前記光強度ゼロの送信光パルスは送信側において前記送信光パルス列に予め分散配置されていることを特徴とする付記９に記載の光子検出器の制御装

置。

(付記 1 1)

前記制御手段は複数の光子検出器の暗計数確率を均一化するように各光子検出器の特性パラメータを調整することを特徴とする付記 9 または 10 記載の光子検出器の制御装置。

(付記 1 2)

光通信システムにおける光子検出器の暗計数評価方法であって、
送信光パルス列に含まれる光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出し、
前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の暗計数を評価する、
ことを特徴とする光子検出器の暗計数評価方法。

(付記 1 3)

前記光強度ゼロの送信光パルスは送信側において前記送信光パルス列に予め分散配置されていることを特徴とする付記 1 2 に記載の光子検出器の暗計数評価方法。

(付記 1 4)

送信光パルスを送信する光送信機と前記送信光パルスを受信する光受信機とからなる光通信システムであって、
前記光送信機が、実質的に光強度ゼロの送信光パルスを含む送信光パルス列を送信する送信手段を有し、
前記受信機が、
前記送信光パルスを検出する光子検出手段と、
前記送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出手段の出力を選択的に抽出する抽出手段と、
前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出手段の暗計数を評価する暗計数評価手段と、
を有する、

ことを特徴とする光通信システム。

(付記 15)

前記抽出手段は、前記送信機から前記光強度ゼロの送信光パルスの前記送信光パルス列における分散配置情報を受信することを特徴とする付記 14 に記載の光通信システム。

(付記 16)

前記送信光パルス列は、光強度ゼロを含む複数の光強度レベルを有することを特徴とする付記 14 または 15 に記載の光通信システム。

(付記 17)

前記受信機は前記評価された暗計数に基づいて前記光子検出手段の特性を制御する制御手段を更に有することを特徴とする付記 14 - 16 のいずれか 1 項に記載の光通信システム。

(付記 18)

前記光子検出手段は複数の光子検出器を有し、前記制御手段が前記複数の光子検出器の暗計数確率を均一化するように各光子検出器の特性パラメータを調整することを特徴とする付記 17 に記載の光通信システム。

(付記 19)

前記送信光パルスは単一光子あるいは疑似単一光子からなる光子パルスであることを特徴とする付記 14 - 18 のいずれか 1 項に記載の光通信システム。

(付記 20)

光受信機における光子検出器を制御するようにコンピュータを機能させるプログラムであって、

送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出する機能と、

前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の特性パラメータを制御する機能と、

を前記コンピュータで実現することを特徴とするプログラム。

産業上の利用可能性

[0028] 本発明は光子検出器を有する光受信装置一般に適用可能であり、たとえば量子鍵配付システムの光子検出器の特性調整に適用可能である。

符号の説明

[0029] 1 0 送信機
2 0 受信機
3 0 量子通信路
1 0 1 送信部
1 0 2 同期部
1 0 3 送信制御部
1 0 4 鍵抽出部
2 0 1 受信部
2 0 2 同期部
2 0 3 バイアス制御部
2 0 4 制御部
2 0 5 Zパルス情報検出部
2 0 6 暗計数評価部
2 0 7 鍵抽出部
P D 1、P D 2 光子検出器

請求の範囲

- [請求項1] 光子検出器を有する光受信装置であって、
 送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出する抽出手段と、
 前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の暗計数を評価する暗計数評価手段と、
 を有することを特徴とする光受信装置。
- [請求項2] 前記抽出手段は、前記送信光パルスの送信側から、前記光強度ゼロの送信光パルスの前記送信光パルス列における分散配置情報を受信することを特徴とする請求項1に記載の光受信装置。
- [請求項3] 前記送信光パルス列は、光強度ゼロを含む複数の光強度レベルを有することを特徴とする請求項1または2に記載の光受信装置。
- [請求項4] 前記評価された暗計数に基づいて前記光子検出器の特性を制御する制御手段を更に有することを特徴とする請求項1－3のいずれか1項に記載の光受信装置。
- [請求項5] 前記制御手段は複数の光子検出器の暗計数確率を均一化するように各光子検出器の特性パラメータを調整することを特徴とする請求項4に記載の光受信装置。
- [請求項6] 光受信機における光子検出器の制御方法であって、
 送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出し、
 前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の特性パラメータを制御する、
 ことを特徴とする光子検出器の制御方法。
- [請求項7] 光受信機における光子検出器の制御装置であって、
 送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出する抽出手段と、
 前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器

の特性パラメータを制御する制御手段と、

を有することを特徴とする光子検出器の制御装置。

[請求項8]

光通信システムにおける光子検出器の暗計数評価方法であって、

送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出し、

前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の暗計数を評価する、

ことを特徴とする光子検出器の暗計数評価方法。

[請求項9]

送信光パルスを送信する光送信機と前記送信光パルスを受信する光受信機とからなる光通信システムであって、

前記光送信機が、実質的に光強度ゼロの送信光パルスを含む送信光パルス列を送信する送信手段を有し、

前記受信機が、

前記送信光パルスを検出する光子検出手段と、

前記送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出手段の出力を選択的に抽出する抽出手段と、

前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出手段の暗計数を評価する暗計数評価手段と、

を有する、

ことを特徴とする光通信システム。

[請求項10]

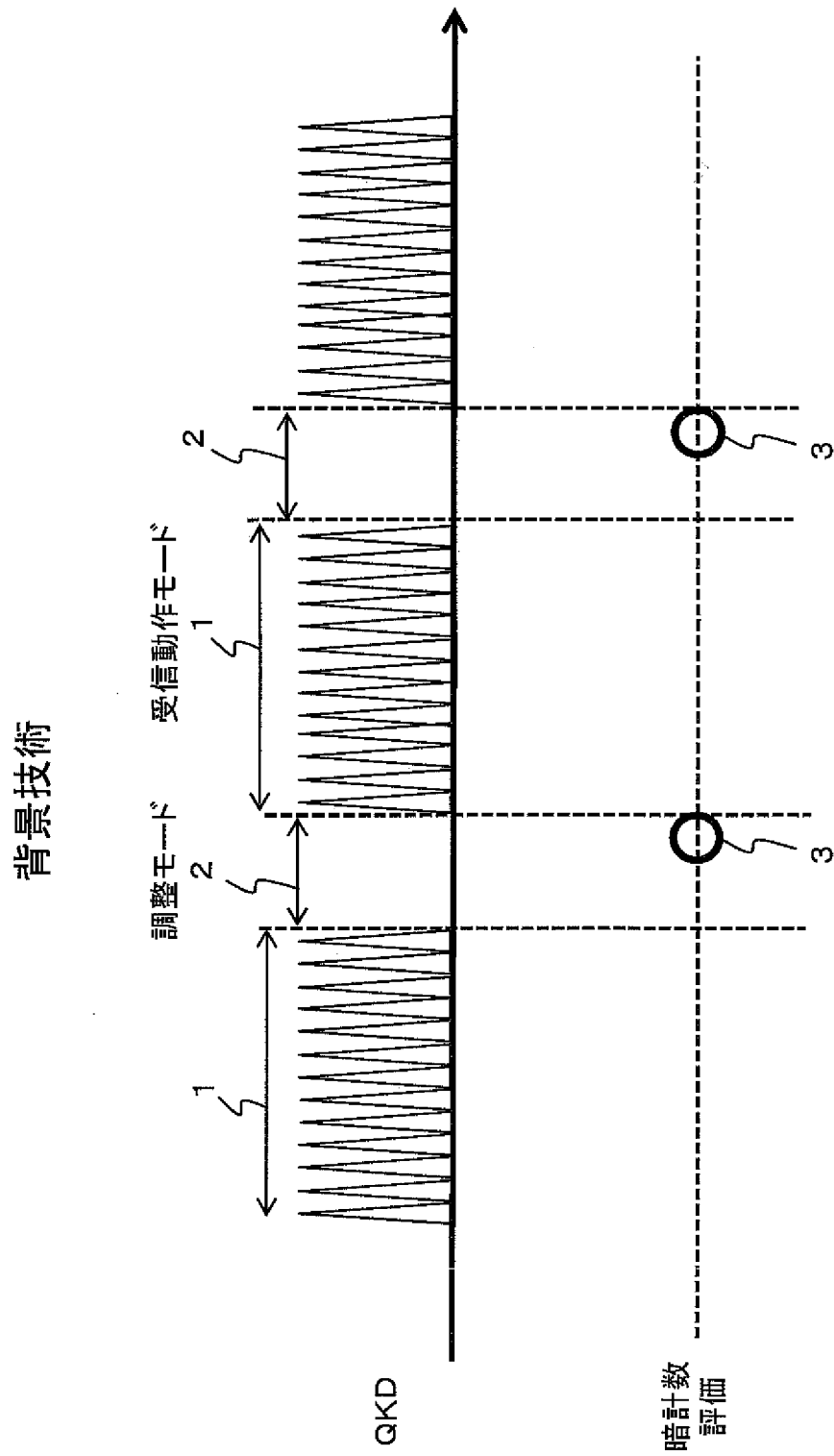
光受信機における光子検出器を制御するようにコンピュータを機能させるプログラムであって、

送信光パルス列に含まれる実質的に光強度ゼロの送信光パルスに対する前記光子検出器の出力を選択的に抽出する機能と、

前記抽出された出力が示す光子検出回数に基づいて前記光子検出器の特性パラメータを制御する機能と、

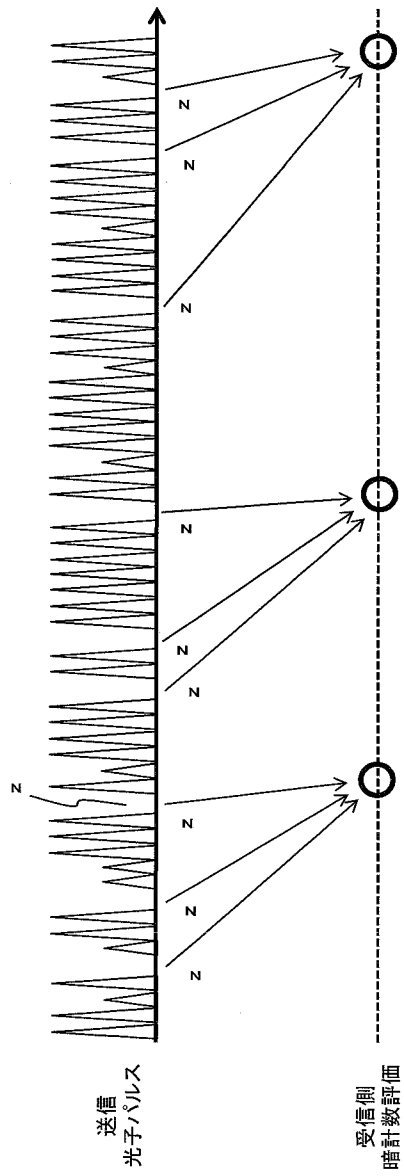
を前記コンピュータで実現することを特徴とするプログラム。

[図1]

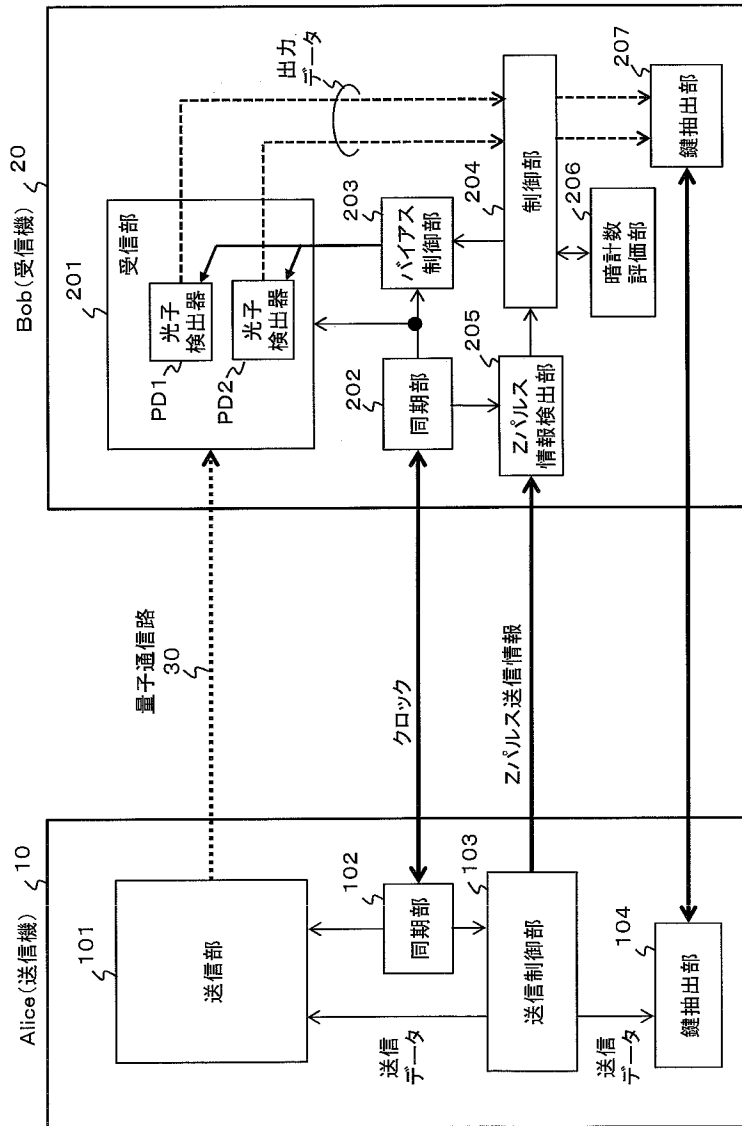


[図2]

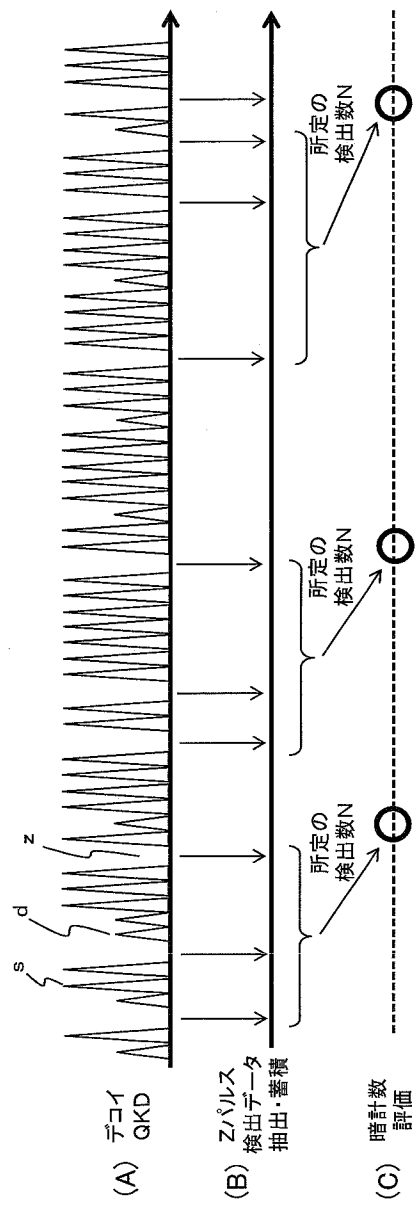
本発明の概要



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/006397

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B10/077(2013.01)i, H04B10/66(2013.01)i, H04B10/70(2013.01)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)

H04B10/077, H04B10/66, H04B10/70

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
P, X	JP 2013-13068 A (Toshiba Corp.), 17 January 2013 (17.01.2013), paragraphs [0050] to [0060]; fig. 3 & US 2012/0294625 A1 & GB 2491115 A	1-4, 6-10
X A	JP 2009-509367 A (The Chinese University of Hong Kong), 05 March 2009 (05.03.2009), paragraphs [0027] to [0038]; fig. 4 to 6 & US 2007/0065155 A1 & US 2010/0074447 A1 & US 2012/0002968 A1 & WO 2007/033561 A1 & KR 10-2008-0034211 A & CN 101204034 A	1, 3, 8, 9 2, 4-7, 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
19 December, 2013 (19.12.13)

Date of mailing of the international search report
07 January, 2014 (07.01.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/006397

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 2009-509366 A (The Chinese University of Hong Kong), 05 March 2009 (05.03.2009), paragraphs [0010] to [0026]; fig. 2 to 4 & US 2007/0065154 A1 & WO 2007/033560 A1 & KR 10-2008-0045220 A & CN 101208890 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04B10/077(2013.01)i, H04B10/66(2013.01)i, H04B10/70(2013.01)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（I P C））

Int.Cl. H04B10/077, H04B10/66, H04B10/70

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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
P, X	JP 2013-13068 A (株式会社東芝) 2013.01.17, 段落【0050】－【0060】, 図 3 & US 2012/0294625 A1 & GB 2491115 A	1-4, 6-10
X A	JP 2009-509367 A (ザ チャイニーズ ユニバーシティー オブ ホ ンコン) 2009.03.05, 段落【0027】－【0038】, 図 4-6 & US 2007/0065155 A1 & US 2010/0074447 A1 & US 2012/0002968 A1 & WO 2007/033561 A1 & KR 10-2008-0034211 A & CN 101204034 A	1, 3, 8, 9 2, 4-7, 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

1 9 . 1 2 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 1 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

角田 慎治

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 3 4

5 J

9 4 6 6

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 2009-509366 A (ザ チャイニーズ ユニバーシティー オブ ホンコン) 2009.03.05, 段落【0010】－【0026】, 図 2-4 & US 2007/0065154 A1 & WO 2007/033560 A1 & KR 10-2008-0045220 A & CN 101208890 A	1-10