

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7166502号

(P7166502)

(45)発行日 令和4年11月7日(2022.11.7)

(24)登録日 令和4年10月27日(2022.10.27)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 B 10/60 (2013.01)

H 0 4 B 10/60

H 0 4 B 10/118 (2013.01)

H 0 4 B 10/118

H 0 4 B 10/112 (2013.01)

H 0 4 B 10/112

請求項の数 7 (全16頁)

(21)出願番号 特願2022-541357(P2022-541357)
 (86)(22)出願日 令和2年8月4日(2020.8.4)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2020/029749
 (87)国際公開番号 WO2022/029864
 (87)国際公開日 令和4年2月10日(2022.2.10)
 審査請求日 令和4年7月6日(2022.7.6)
 早期審査対象出願

(73)特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74)代理人 110003166弁理士法人山王内外特許事
 務所
 (72)発明者 越川 翔太
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 三菱電機株式会社内
 (72)発明者 松田 恵介
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 三菱電機株式会社内
 審査官 後澤 瑞征

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 信号処理装置、信号処理方法、受信器及び光通信システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信器から送信された光信号が複数の経路を介して受信器まで伝搬されたとき、前記受信器により受信された光信号の受信信号を処理する信号処理装置であって、

それぞれの経路における光信号の伝搬距離と、前記送信器から送信される光信号の強度と、前記送信器から送信される光信号に対する雑音の強度とから、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出部と、

前記信号対雑音比算出部により算出されたそれぞれの信号対雑音比を用いて、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の受信信号の振幅を調整する振幅調整部と、

前記振幅調整部による振幅調整後の複数の受信信号を合成する信号合成部と

を備えたことを特徴とする信号処理装置。

【請求項2】

送信器から送信された光信号が複数の経路を介して受信器まで伝搬されたとき、前記受信器により受信された光信号の受信信号を処理する信号処理方法であって、

信号対雑音比算出部が、それぞれの経路における光信号の伝搬距離と、前記送信器から送信される光信号の強度と、前記送信器から送信される光信号に対する雑音の強度とから、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の信号対雑音比を算出し、

振幅調整部が、前記信号対雑音比算出部により算出されたそれぞれの信号対雑音比を用いて、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の受信信号の振幅を調整し、

信号合成部が、前記振幅調整部による振幅調整後の複数の受信信号を合成する

10

20

ことを特徴とする信号処理方法。

【請求項 3】

送信器から送信された光信号が伝搬される経路が複数あり、
それぞれの経路を伝搬してきた光信号を受信し、それぞれの光信号の受信信号を出力する複数の受信部と、
それぞれの経路における光信号の伝搬距離と、前記送信器から送信される光信号の強度と、前記送信器から送信される光信号に対する雑音の強度とから、それぞれの受信部により受信された光信号の信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出部と、
前記信号対雑音比算出部により算出されたそれぞれの信号対雑音比を用いて、それぞれの受信部から出力された受信信号の振幅を調整する振幅調整部と、
前記振幅調整部による振幅調整後の複数の受信信号を合成する信号合成部と
を備えた受信器。

10

【請求項 4】

前記送信器から送信された光信号を転送する中継器が、それぞれの経路に配置されており、
それぞれの受信部は、それぞれの経路に配置されている中継器により転送された光信号を受信することを特徴とする請求項 3 記載の受信器。

【請求項 5】

光信号を複数の経路に送信する送信器と、
それぞれの経路に配置されており、それぞれの経路を伝搬してきた光信号を転送する複数の中継器と、
それぞれの中継器により転送された光信号を受信する受信器とを備え、
前記受信器は、請求項 3 又は請求項 4 記載の受信器であることを特徴とする光通信システム。

20

【請求項 6】

それぞれの中継器は、それぞれの経路を伝搬してきた光信号を電気信号に変換し、前記電気信号から送信データを復号し、復号後の送信データを変調し、変調後の送信データである変調信号を光信号に変換し、当該光信号を転送することを特徴とする請求項 5 記載の光通信システム。

【請求項 7】

前記送信器が、恒星を周回する第 1 の衛星を周回する第 2 の衛星に配置され、
前記受信器が、前記恒星を周回する第 3 の衛星を周回する第 4 の衛星に配置され、
それぞれの中継器が、前記恒星と前記第 1 の衛星とのラグランジュ点に配置されていることを特徴とする請求項 5 記載の光通信システム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、複数の受信信号を合成する信号処理装置、信号処理方法及び受信器と、受信器を備える光通信システムとに関するものである。

【背景技術】

40

【0002】

光信号を送受信する光通信システムの中には、送信器が、複数の経路を介して、光信号を受信器に送信し、受信器が、それぞれの経路を伝搬してきた光信号を受信し、複数の光信号の受信信号を合成する光通信システム（以下「従来の光通信システム」という）がある。

【0003】

ところで、送信器が、受信器に送信する光信号の中に、経路のチャネル品質を示すパイロット信号を含める方法がある（例えば、特許文献 1 を参照）。チャネル品質は、経路を伝搬する光信号の劣化具合等を示すものである。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【 0 0 0 4 】

【文献】特開 2 0 1 7 - 3 8 3 5 5 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

従来の光通信システムでは、複数の経路のチャネル品質が互いに異なる場合、複数の受信信号の合成信号に含まれるビットエラーの数が増えてしまうことがあるという課題があった。

特許文献 1 に開示されている方法を従来の光通信システムに適用すれば、受信器が、複数の経路のチャネル品質を認識し、ビットエラーの低減に寄与できる可能性がある。しかし、光信号の中に含めることが可能な送信データのデータ量に上限がある場合に、特許文献 1 に開示されている方法を従来の光通信システムに適用すると、光信号の中にパイロット信号を含める分だけ、光信号の中に含めることが可能な送信データのデータ量が減少する。送信データのデータ量が減少することによって、送信対象の全ての送信データを光信号の中に含めることができなくなることがある。送信対象の全ての送信データを光信号の中に含めることができない場合、当該方法を従来の光通信システムに適用できないことがある。

【 0 0 0 6 】

本開示は、上記のような課題を解決するためになされたもので、光信号の中にパイロット信号を含めることなく、複数の受信信号の合成信号に含まれるビットエラーの数の増加を抑えることができる信号処理装置及び信号処理方法を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本開示に係る信号処理装置は、送信器から送信された光信号が複数の経路を介して受信器まで伝搬されたとき、受信器により受信された光信号の受信信号を処理する装置であって、それぞれの経路における光信号の伝搬距離と、送信器から送信される光信号の強度と、送信器から送信される光信号に対する雑音の強度とから、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出部と、信号対雑音比算出部により算出されたそれぞれの信号対雑音比を用いて、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の受信信号の振幅を調整する振幅調整部と、振幅調整部による振幅調整後の複数の受信信号を合成する信号合成部とを備えるものである。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本開示によれば、光信号の中にパイロット信号を含めることなく、複数の受信信号の合成信号に含まれるビットエラーの数の増加を抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】実施の形態 1 に係る光通信システム 1 を示す構成図である。

【図 2】実施の形態 1 に係る光通信システム 1 に含まれる送信器 2 を示す構成図である。

【図 3】実施の形態 1 に係る光通信システム 1 に含まれる中継器 3 , 4 を示す構成図である。

【図 4】実施の形態 1 に係る光通信システム 1 に含まれる受信器 5 を示す構成図である。

【図 5】実施の形態 1 に係る信号処理装置 3 5 のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

【図 6】信号処理装置 3 5 が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

【図 7】実施の形態 1 に係る信号処理装置 3 5 の処理手順である信号処理方法を示すフローチャートである。

【図 8】実施の形態 2 に係る光通信システム 1 に含まれている、送信器 2、中継器 3 , 4

10

20

30

40

50

及び受信器 5 の配置例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本開示をより詳細に説明するために、本開示を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

【0011】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 に係る光通信システム 1 を示す構成図である。

図 1 に示す光通信システム 1 は、宇宙空間において、光信号を送受信するシステムである。しかし、これは一例に過ぎず、図 1 に示す光通信システム 1 は、例えば、地球上で、光信号を送受信するシステムであってもよい。

10

光通信システム 1 は、送信器 2、M 個の中継器 3 - 1 ~ 3 - M、M 個の中継器 4 - 1 ~ 4 - M 及び受信器 5 を備えている。M は、2 以上の整数である。以下、M 個の中継器 3 - 1 ~ 3 - M を区別しない場合、中継器 3 と表記することがある。また、M 個の中継器 4 - 1 ~ 4 - M を区別しない場合、中継器 4 と表記することがある。

送信器 2 から受信器 5 に至る、光信号が伝搬する経路が全部で M 個あり、M 個の経路のそれぞれに中継器 3、4 が配置されている。以下、M 個の経路は、経路 R₁、R₂、・・・、R_M のように表記する。

図 1 に示す光通信システム 1 では、それぞれの経路 R_m に 2 つ以上の中継器 3、4 が配置されている。しかし、これは一例に過ぎず、それぞれの経路 R_m に 1 つの中継器のみが配置されていてもよい。また、それぞれの経路 R_m に中継器が配置されておらず、送信器 2 から光信号が受信器 5 に直接送信されるものであってもよい。

20

なお、図 1 に示す光通信システム 1 では、光信号が伝搬する経路として、意図的に M 個の経路を形成しており、M 個の経路以外に、意図しない経路は、存在しないものとする。

【0012】

送信器 2 は、光信号を中継器 3 - 1 ~ 3 - M のそれぞれに送信する。

中継器 3 - m (m = 1 , ... , M) は、経路 R_m に配置されている。

中継器 3 - m は、送信器 2 から送信された光信号を中継器 4 - m に転送する。

中継器 4 - m は、経路 R_m に配置されている。

中継器 4 - m は、中継器 3 - m により転送された光信号を受信器 5 に転送する。

30

受信器 5 は、中継器 4 - 1 ~ 4 - M により転送された光信号を受信する。

【0013】

図 2 は、実施の形態 1 に係る光通信システム 1 に含まれる送信器 2 を示す構成図である。

図 2 に示す送信器 2 は、入力端子 11、誤り訂正符号付与部 12、信号変調部 13、電気光変換部 14 及び出力端子 15 を備えている。

入力端子 11 は、例えば、コネクタによって実現される。

入力端子 11 には、外部から、送信データが与えられる。

誤り訂正符号付与部 12 は、例えば、誤り訂正符号付与回路によって実現される。

誤り訂正符号付与部 12 は、送信データに誤り訂正符号を付与し、誤り訂正符号付与後の送信データを信号変調部 13 に出力する。

40

【0014】

信号変調部 13 は、例えば、信号変調器によって実現される。

信号変調部 13 は、誤り訂正符号付与部 12 から出力された誤り訂正符号付与後の送信データを変調する。送信データの変調方式としては、BPSK (二値位相変調)、又は、QPSK (四値直交位相変調) 等が用いられる。

信号変調部 13 は、変調後の送信データである変調信号を電気光変換部 14 に出力する。

電気光変換部 14 は、例えば、光変調器によって実現される。

電気光変換部 14 は、信号変調部 13 から出力された変調信号を光信号に変換し、光信号を出力端子 15 に出力する。

出力端子 15 は、例えば、コリメートレンズによって実現される。

50

電気光変換部 1 4 から出力された光信号は、出力端子 1 5 を介して、中継器 3 - 1 ~ 3 - M のそれぞれに送信される。

【 0 0 1 5 】

図 3 は、実施の形態 1 に係る光通信システム 1 に含まれる中継器 3 , 4 を示す構成図である。

図 3 に示す中継器 3 , 4 は、入力端子 2 1、光電気変換部 2 2、硬判定処理部 2 3、信号変調部 2 4、電気光変換部 2 5 及び出力端子 2 6 を備えている。

入力端子 2 1 は、例えば、コリメートレンズによって実現される。

入力端子 2 1 には、送信器 2 から送信された光信号、又は、中継器 3 により転送された光信号が与えられる。

10

【 0 0 1 6 】

光電気変換部 2 2 は、例えば、集積コヒーレントレシーバ (I C R : I n t e g r a t e d C o h e r e n t R e c e i v e r) によって実現される。

光電気変換部 2 2 は、光信号を電気信号に変換し、電気信号を硬判定処理部 2 3 に出力する。

硬判定処理部 2 3 は、例えば、硬判定処理回路によって実現される。

硬判定処理部 2 3 は、光電気変換部 2 2 から出力された電気信号に対する硬判定処理を実施することによって、電気信号から送信データを復号する。

硬判定処理部 2 3 は、復号した送信データを信号変調部 2 4 に出力する。

【 0 0 1 7 】

20

信号変調部 2 4 は、例えば、信号変調器によって実現される。

信号変調部 2 4 は、硬判定処理部 2 3 から出力された送信データを変調する。送信データの変調方式としては、B P S K、又は、Q P S K 等が用いられる。

信号変調部 2 4 は、変調後の送信データである変調信号を電気光変換部 2 5 に出力する。

電気光変換部 2 5 は、例えば、光変調器によって実現される。

電気光変換部 2 5 は、信号変調部 2 4 から出力された変調信号を光信号に変換し、光信号を出力端子 2 6 に出力する。

出力端子 2 6 は、例えば、コリメートレンズによって実現される。

電気光変換部 2 5 から出力された光信号は、出力端子 2 6 を介して、中継器 4 - m、又は、受信器 5 に送信される。

30

【 0 0 1 8 】

図 4 は、実施の形態 1 に係る光通信システム 1 に含まれる受信器 5 を示す構成図である。

図 4 に示す受信器 5 は、入力端子 3 1 - 1 ~ 3 1 - M、受信部 3 2 - 1 ~ 3 2 - M、信号処理装置 3 5 及び出力端子 4 2 を備えている。

入力端子 3 1 - m (m = 1 , . . . , M) は、例えば、コリメートレンズによって実現される。

入力端子 3 1 - m には、中継器 4 - m により転送された光信号が与えられる。

【 0 0 1 9 】

受信部 3 2 - m は、光電気変換部 3 3 - m 及び同期処理部 3 4 - m を備えている。

受信部 3 2 - m は、経路 R_m を伝搬してきた光信号を受信し、光信号の受信信号 S_m を信号処理装置 3 5 に出力する。

40

光電気変換部 3 3 - m は、例えば、I C R によって実現される。

光電気変換部 3 3 - m は、光信号を電気信号に変換し、電気信号を同期処理部 3 4 - m に出力する。

同期処理部 3 4 - m は、光電気変換部 3 3 - 1 ~ 3 3 - M のそれぞれから出力された電気信号の同期を取るために、光電気変換部 3 3 - m から出力された電気信号に対する同期バッファ処理を実施する。

同期処理部 3 4 - m は、同期バッファ処理後の電気信号を、光信号の受信信号 S_m として、信号処理装置 3 5 に出力する。

【 0 0 2 0 】

50

図 5 は、実施の形態 1 に係る信号処理装置 35 のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

信号処理装置 35 は、信号対雑音比算出部 36、振幅調整部 38、信号合成部 40 及び誤り訂正部 41 を備えている。

信号処理装置 35 は、送信器 2 から送信された光信号が M 個の経路を介して受信器 5 まで伝搬されたとき、受信器 5 により受信された光信号の受信信号を処理する装置である。

信号対雑音比算出部 36 は、 SNR 算出処理部 37-1 ~ 37- M を備えている。

信号対雑音比算出部 36 は、例えば、図 5 に示す信号対雑音比算出回路 51 によって実現される。

信号対雑音比算出部 36 は、経路 $R_1 \sim R_M$ におけるそれぞれの光信号の伝搬距離 $L_1 \sim L_M$ と、送信器 2 から送信される光信号の強度 K と、当該光信号に対する雑音の強度 N_0 とから、受信部 32-1 ~ 32- M によりそれぞれ受信された光信号の信号対雑音比である $SNR_1 \sim SNR_M$ を算出する。

信号対雑音比算出部 36 は、 $SNR_1 \sim SNR_M$ を振幅調整部 38 に出力する。

SNR 算出処理部 37- m は、経路 R_m における光信号の伝搬距離 L_m と、送信器 2 から送信される光信号の強度 K と、当該光信号に対する雑音の強度 N_0 とから、受信部 32- m により受信された光信号の SNR_m を算出する。

SNR 算出処理部 37- m は、 SNR_m を振幅調整処理部 39- m に出力する。

【0021】

振幅調整部 38 は、振幅調整処理部 39-1 ~ 39- M を備えている。

振幅調整部 38 は、例えば、図 5 に示す振幅調整回路 52 によって実現される。

振幅調整部 38 は、信号対雑音比算出部 36 により算出された $SNR_1 \sim SNR_M$ を用いて、受信部 32-1 ~ 32- M によりそれぞれ受信された光信号の受信信号 $S_1 \sim S_M$ の振幅 $Amp_1 \sim Amp_M$ を調整する。

振幅調整部 38 は、振幅調整後の受信信号 $S_1' \sim S_M'$ を信号合成部 40 に出力する。

振幅調整処理部 39- m は、 SNR 算出処理部 37- m により算出された SNR_m を用いて、受信部 32- m により受信された光信号の受信信号 S_m の振幅 Amp_m を調整する。

振幅調整処理部 39- m は、振幅調整後の受信信号 S_m' を信号合成部 40 に出力する。

【0022】

信号合成部 40 は、例えば、図 5 に示す信号合成回路 53 によって実現される。

信号合成部 40 は、振幅調整部 38 による振幅調整後の M 個の受信信号 $S_1' \sim S_M'$ を合成する。

信号合成部 40 は、 M 個の受信信号 $S_1' \sim S_M'$ の合成信号 C を誤り訂正部 41 に出力する。

【0023】

誤り訂正部 41 は、例えば、図 5 に示す誤り訂正回路 54 によって実現される。

誤り訂正部 41 は、信号合成部 40 から出力された合成信号 C に対する誤り訂正処理を実施する。

誤り訂正部 41 は、誤り訂正処理後の合成信号 C' を出力端子 42 に出力する。

出力端子 42 は、例えば、コネクタによって実現される。

誤り訂正部 41 から出力された誤り訂正処理後の合成信号 C' は、出力端子 42 を介して、外部に出力される。

【0024】

図 4 では、信号処理装置 35 の構成要素である信号対雑音比算出部 36、振幅調整部 38、信号合成部 40 及び誤り訂正部 41 のそれぞれが、図 5 に示すような専用のハードウェアによって実現されるものを想定している。即ち、信号処理装置 35 が、信号対雑音比算出回路 51、振幅調整回路 52、信号合成回路 53 及び誤り訂正回路 54 によって実現されるものを想定している。

信号対雑音比算出回路 51、振幅調整回路 52、信号合成回路 53 及び誤り訂正回路 54 のそれぞれは、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プロ

10

20

30

40

50

グラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、又は、これらを組み合わせたものが該当する。

【0025】

信号処理装置35の構成要素は、専用のハードウェアによって実現されるものに限るものではなく、信号処理装置35が、ソフトウェア、ファームウェア、又は、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現されるものであってもよい。

ソフトウェア又はファームウェアは、プログラムとして、コンピュータのメモリに格納される。コンピュータは、プログラムを実行するハードウェアを意味し、例えば、CPU (Central Processing Unit)、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、あるいは、DSP (Digital Signal Processor) が該当する。

10

【0026】

図6は、信号処理装置35が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

信号処理装置35が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合、信号対雑音比算出部36、振幅調整部38、信号合成部40及び誤り訂正部41におけるそれぞれの処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムがメモリ61に格納される。そして、コンピュータのプロセッサ62がメモリ61に格納されているプログラムを実行する。

20

【0027】

また、図5では、信号処理装置35の構成要素のそれぞれが専用のハードウェアによって実現される例を示し、図6では、信号処理装置35がソフトウェア又はファームウェア等によって実現される例を示している。しかし、これは一例に過ぎず、信号処理装置35における一部の構成要素が専用のハードウェアによって実現され、残りの構成要素がソフトウェア又はファームウェア等によって実現されるものであってもよい。

【0028】

例えば、地球外天体の地上探査機の観測データは、地球外天体の周回軌道にある多目的探査機を介して、地球に送信される。観測データが電波通信によって送信される場合、通信速度が限られており、通信速度が数百キロBPS (Bits Per Second) 程度である。光通信は、電波通信と比べて、高速通信が可能であるため、地上探査機の観測データの送信に用いられることがある。

30

例えば、地球と地球外天体との間の光通信では、太陽光の影響によって、長期間の通信遮断が発生することがある。そのため、地球と地球外天体との間で、直接通信を行えない期間では、中継器を介して、光通信を行う必要がある。つまり、送信器2が、中継器3, 4が配置されている複数の経路 $R_1 \sim R_M$ を介して、光信号を受信器5に送信する必要がある。

しかし、複数の経路 $R_1 \sim R_M$ のチャネル品質が互いに異なる場合、複数の経路 $R_1 \sim R_M$ のそれぞれを伝搬してきた光信号の受信信号を単に合成してしまうと、合成信号に含まれるビットエラーの数が増えてしまうことがある。

40

図1に示す光通信システム1では、合成信号に含まれるビットエラーの数の増加を抑えるため、複数の経路 $R_1 \sim R_M$ のそれぞれを伝搬してきた光信号の $SNR_1 \sim SNR_M$ に基づいて、複数の経路 $R_1 \sim R_M$ を伝搬してきた光信号の受信信号を合成する。

【0029】

次に、図1に示す光通信システム1の動作について説明する。

送信器2は、光信号を中継器3-1~3-Mのそれぞれに送信する。

以下、送信器2による光信号の送信動作を具体的に説明する。

【0030】

送信器2の入力端子11には、外部から、送信データが与えられる。

誤り訂正符号付与部12は、送信データに誤り訂正符号を付与し、誤り訂正符号付与後

50

の送信データを信号変調部 13 に出力する。送信データに誤り訂正符号を付与する処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

【0031】

信号変調部 13 は、誤り訂正符号付与部 12 から誤り訂正符号付与後の送信データを受けると、例えば、BPSK、又は、QPSKの変調方式によって、誤り訂正符号付与後の送信データを変調する。

信号変調部 13 は、変調後の送信データである変調信号を電気光変換部 14 に出力する。

【0032】

電気光変換部 14 は、信号変調部 13 から変調信号を受けると、変調信号を光信号に変換し、光信号を出力端子 15 に出力する。

電気光変換部 14 から出力された光信号は、出力端子 15 を介して、中継器 3 - 1 ~ 3 - M のそれぞれに送信される。

【0033】

中継器 3 - m ($m = 1, \dots, M$) は、送信器 2 から送信された光信号を中継器 4 - m に転送する。

中継器 4 - m は、中継器 3 - m により転送された光信号を受信器 5 に転送する。

以下、中継器 3 - m, 4 - m による光信号の転送動作を具体的に説明する。

ただし、中継器 3 - m による光信号の転送動作と中継器 4 - m による光信号の転送動作とは同じであるため、ここでは、中継器 3 - m による光信号の転送動作を具体的に説明する。

【0034】

中継器 3 - m の入力端子 21 には、送信器 2 から送信された光信号が与えられる。中継器 3 - 1 ~ 3 - M の入力端子 21 に与えられる光信号は、同じ光信号である。

光電気変換部 22 は、光信号を電気信号に変換し、電気信号を硬判定処理部 23 に出力する。

【0035】

硬判定処理部 23 は、光電気変換部 22 から電気信号を受けると、電気信号に対する硬判定処理を実施することによって、電気信号から送信データを復号する。

送信器 2 の信号変調部 13 による変調方式が例えば BPSK である場合、中継器 3 - m の入力端子 21 には、信号レベルが “0” の光信号、又は、信号レベルが “1” の光信号が与えられる。

しかし、送信器 2 から送信されたのち、中継器 3 - m の入力端子 21 に与えられるまでの間に、光信号にノイズが重畳される。光信号にノイズが重畳されることによって、中継器 3 - m の入力端子 21 には、信号レベルが、“0”、又は、“1” からずれている光信号が与えられる。例えば、信号レベルが “0” の光信号が、信号レベルが “0.1” の光信号として入力端子 21 に与えられ、信号レベルが “1” の光信号が、信号レベルが “0.8” の光信号として入力端子 21 に与えられることがある。

硬判定処理部 23 の内部メモリには、例えば、“0” と “1” との中間値である “0.5” の閾値 T_h が格納されている。

硬判定処理部 23 は、光電気変換部 22 から出力された電気信号に含まれている複数の送信データの信号レベルと閾値 T_h とをそれぞれ比較する。

硬判定処理部 23 は、送信データの信号レベルが閾値 T_h 未満であれば、“0” の信号点を復元し、送信データの信号レベルが閾値 T_h 以上であれば、“1” の信号点を復元する。

硬判定処理部 23 は、復元した信号点を復号後の送信データとして、信号変調部 24 に出力する。

【0036】

信号変調部 24 は、硬判定処理部 23 から復号後の送信データを受けると、例えば、BPSK、又は、QPSKの変調方式によって、復号後の送信データを変調する。

信号変調部 24 は、変調後の送信データである変調信号を電気光変換部 25 に出力する。

電気光変換部 25 は、信号変調部 24 から変調信号を受けると、変調信号を光信号に変

10

20

30

40

50

換し、光信号を出力端子 26 に出力する。

電気光変換部 25 から出力された光信号は、出力端子 26 を介して、中継器 4 - m に送信される。

これにより、中継器 3 - 1, 4 - 1 が配置されている経路 R_1 を伝搬してきた光信号が受信器 5 の入力端子 31 - 1 に与えられ、中継器 3 - 2, 4 - 2 が配置されている経路 R_2 を伝搬してきた光信号が受信器 5 の入力端子 31 - 2 に与えられる。また、中継器 3 - M, 4 - M が配置されている経路 R_M を伝搬してきた光信号が受信器 5 の入力端子 31 - M に与えられる。

【0037】

受信器 5 の受信部 32 - m ($m = 1, \dots, M$) は、経路 R_m を伝搬してきた光信号を受信し、光信号の受信信号 S_m を信号処理装置 35 に出力する。

10

即ち、電気光変換部 33 - m は、入力端子 31 - m に与えられた光信号を電気信号に変換し、電気信号を同期処理部 34 - m に出力する。

同期処理部 34 - m は、電気光変換部 33 - 1 ~ 33 - M のそれぞれから出力された電気信号の同期を取るために、電気光変換部 33 - m から出力された電気信号に対する同期バッファ処理を実施する。

同期処理部 34 - m は、同期バッファ処理後の電気信号を受信信号 S_m として、信号処理装置 35 に出力する。

電気信号に対する同期バッファ処理としては、例えば、以下の処理が考えられる。

【0038】

20

送信器 2 から送信されてから、受信器 5 の受信部 32 - m ($m = 1, \dots, M$) に光信号が到達するまでに要する時間である伝搬時間 T_m は、経路 R_m の伝搬距離 L_m に比例する。即ち、経路 R_m の伝搬距離 L_m が短いほど、伝搬時間 T_m が小さくなる。

同期処理部 34 - m は、同期バッファ処理を実施する前に、経路 R_m の伝搬距離 L_m を算出し、経路 R_m の伝搬距離 L_m から、経路 R_m における光信号の伝搬時間 T_m を算出する。

経路 R_m の伝搬距離 L_m の算出は、SNR 算出処理部 37 - m における伝搬距離 L_m の算出と同様であり、後述する。同期処理部 34 - m では、経路 R_m の伝搬距離 L_m を算出せずに、同期処理部 34 - m から経路 R_m の伝搬距離 L_m を取得するようにしてもよい。

伝搬距離 L_m から光信号の伝搬時間 T_m を算出する処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

30

また、同期処理部 34 - m は、同期バッファ処理を実施する前に、伝搬時間 $T_1 \sim T_M$ の中の最大の伝搬時間 T_{max} を特定し、最大の伝搬時間 T_{max} と伝搬時間 T_m との時間差 ΔT_m を算出する。同期処理部 34 - 1 ~ 34 - M のうち、伝搬時間 T_m が最大の伝搬時間 T_{max} に係る同期処理部 34 - m は、時間差 ΔT_m として、0 を算出する。

同期処理部 34 - m は、電気光変換部 33 - m から電気信号を受けると、電気信号に対する同期バッファ処理として、当該電気信号を時間差 ΔT_m だけ保持してから、当該電気信号を振幅調整処理部 39 - m に出力する処理を行う。

【0039】

信号処理装置 35 は、送信器 2 から送信された光信号が M 個の経路を介して受信器 5 まで伝搬されたとき、受信器 5 により受信された光信号の受信信号を処理する。

40

図 7 は、実施の形態 1 に係る信号処理装置 35 の処理手順である信号処理方法を示すフローチャートである。

以下、信号処理装置 35 の処理内容を具体的に説明する。

【0040】

信号対雑音比算出部 36 の SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリには、送信器 2 から送信される光信号の強度 K と、当該光信号に対する雑音の強度 N_0 とが格納されている。

図 1 に示す光通信システム 1 では、送信器 2 から送信される光信号の強度 K が一定であり、信号処理装置 35 において、光信号の強度 K が既値である。しかし、これは一例に過ぎず、例えば、光信号の強度 K が時間の経過に伴って変化する場合、それぞれの時刻にお

50

ける光信号の強度 K が、 SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリに格納されていてもよい。

光信号に対する雑音の強度 N_0 は、宇宙空間において、一定値に近似できることが知られており、雑音の強度 N_0 として、当該一定値が SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリに格納されている。

図 1 に示す光通信システム 1 が、例えば、地球上で光信号を送受信する場合、雑音の強度 N_0 を一定値に近似することができない。この場合、例えば、図示せぬコンピュータが、コンピュータシミュレーションを実施することによって、経路 R_m を伝搬する光信号に対する雑音の強度 N_0 を演算し、強度 N_0 の演算結果が、 SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリに格納されるようにしてもよい。

図 1 に示す光通信システム 1 では、光信号の強度 K と雑音の強度 N_0 とが SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリに格納されている。しかし、これは一例に過ぎず、光信号の強度 K と雑音の強度 N_0 とが、受信器 5 の外部から与えられるものであってもよい。

【0041】

信号対雑音比算出部 36 の SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリには、送信器 2、中継器 3、4 及び受信器 5 におけるそれぞれの 3 次元位置を示す情報が格納されている。それぞれの 3 次元位置が、時刻の経過に伴って変化する場合、それぞれの時刻における 3 次元位置を示す情報が、 SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリに格納される。

図 1 に示す光通信システム 1 が、例えば、宇宙空間で使用される場合、3 次元位置の座標系は、宇宙空間の座標系である。

図 1 に示す光通信システム 1 では、3 次元位置を示す情報が SNR 算出処理部 37 - m の内部メモリに格納されている。しかし、これは一例に過ぎず、3 次元位置を示す情報が、受信器 5 の外部から与えられるものであってもよい。

【0042】

SNR 算出処理部 37 - m は、3 次元位置を示す情報を用いて、経路 R_m の伝搬距離 L_m を算出する。

即ち、 SNR 算出処理部 37 - m は、3 次元位置を示す情報を用いて、送信器 2 と中継器 3 - m との距離 $L_{m,1}$ 、中継器 3 - m と中継器 4 - m との距離 $L_{m,2}$ 、中継器 4 - m と受信器 5 との距離 $L_{m,3}$ を算出する。3 次元位置を示す情報を用いて、距離 $L_{m,1}$ 、距離 $L_{m,2}$ 及び距離 $L_{m,3}$ を算出する処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

SNR 算出処理部 37 - m は、以下の式 (1) に示すように、距離 $L_{m,1}$ 、距離 $L_{m,2}$ 及び距離 $L_{m,3}$ から、経路 R_m の伝搬距離 L_m を算出する。

$$L_m = L_{m,1} + L_{m,2} + L_{m,3} \quad (1)$$

【0043】

SNR 算出処理部 37 - m は、以下の式 (2) に示すように、送信器 2 から送信される光信号の強度 K と、当該光信号に対する雑音の強度 N_0 と、経路 R_m における光信号の伝搬距離 L_m とから、受信部 32 - m により受信された光信号の SNR_m を算出する (図 7 のステップ ST1)。

$$SNR_m = \frac{K}{N_0 L_m^2} \quad (2)$$

SNR 算出処理部 37 - m は、光信号の SNR_m を振幅調整処理部 39 - m に出力する。

【0044】

振幅調整処理部 39 - m は、同期処理部 34 - m から受信信号 S_m を受けると、以下の式 (3) に示すように、 SNR 算出処理部 37 - m から出力された SNR_m を用いて、受信信号 S_m の振幅 Amp_m を調整する (図 7 のステップ ST2)。

$$Amp_m' = g_n \times Amp_m \quad (3)$$

式 (3) において、 Amp_m' は、調整後の振幅であり、 g_n は、 SNR_m と正比例する

係数である。

振幅調整処理部 39 - m は、振幅調整後の受信信号 S_m' を信号合成部 40 に出力する。

【0045】

信号合成部 40 は、振幅調整処理部 39 - 1 ~ 39 - M から、振幅調整後の M 個の受信信号 $S_1' \sim S_M'$ を取得する。

信号合成部 40 は、以下の式 (4) に示すように、M 個の受信信号 $S_1' \sim S_M'$ を合成する (図 7 のステップ ST3)。

$$C = S_1' + S_2' + \dots + S_M' \quad (4)$$

信号合成部 40 は、M 個の受信信号 $S_1' \sim S_M'$ の合成信号 C を誤り訂正部 41 に出力する。

10

信号合成部 40 では、光信号の SNR に応じて振幅が調整された M 個の受信信号 $S_1' \sim S_M'$ を合成しており、SNR が大きい光信号の受信信号ほど、大きなウェイトで合成され、SNR が小さい光信号の受信信号ほど、小さなウェイトで合成されている。したがって、SNR が小さい光信号の受信信号の影響が軽減されるため、振幅調整が行われなくて、M 個の受信信号 $S_1 \sim S_M$ が合成されるものよりも、合成信号 C に含まれるエラービットの数の増加が抑えられる。

【0046】

誤り訂正部 41 は、信号合成部 40 から合成信号 C を受けると、合成信号 C に対する誤り訂正処理を実施する (図 7 のステップ ST4)。合成信号 C に対する誤り訂正処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

20

誤り訂正部 41 は、誤り訂正処理後の合成信号 C' を出力端子 42 に出力する。

誤り訂正部 41 から出力された誤り訂正処理後の合成信号 C' は、出力端子 42 を介して、外部に出力される。

【0047】

以上の実施の形態 1 では、送信器 2 から送信された光信号が複数の経路を介して受信器 5 まで伝搬されたとき、受信器 5 により受信された光信号の受信信号を処理する信号処理装置 35 であって、それぞれの経路における光信号の伝搬距離と、送信器 2 から送信される光信号の強度と、送信器 2 から送信される光信号に対する雑音の強度とから、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出部 36 と、信号対雑音比算出部 36 により算出されたそれぞれの信号対雑音比を用いて、それぞれの経路を伝搬してきた光信号の受信信号の振幅を調整する振幅調整部 38 と、振幅調整部 38 による振幅調整後の複数の受信信号を合成する信号合成部 40 とを備えるように、信号処理装置 35 を構成した。したがって、信号処理装置 35 は、光信号の中にパイロット信号を含めることなく、複数の受信信号の合成信号に含まれるビットエラーの数の増加を抑えることができる。

30

【0048】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 では、送信器 2 が、恒星 71 を周回する第 1 の衛星 72 を周回する第 2 の衛星 74 に配置され、受信器 5 が、恒星 71 を周回する第 3 の衛星 76 を周回する第 4 の衛星 78 に配置され、複数の中継器 3, 4 が、恒星 71 と第 1 の衛星 72 とのラグランジュ点に配置されている光通信システム 1 について説明する。

40

【0049】

図 8 は、実施の形態 2 に係る光通信システム 1 に含まれている、送信器 2、中継器 3, 4 及び受信器 5 の配置例を示す説明図である。

図 8 に示す配置例では、光通信システム 1 が宇宙空間で使用される場合に、経路 R_m を伝搬する光信号の SNR_m が高まる。

図 8 において、71 は、恒星である。

第 1 の衛星 72 は、恒星 71 を中心として、恒星 71 を周回する衛星である。

衛星軌道 73 は、第 1 の衛星 72 の衛星軌道である。

第 2 の衛星 74 は、第 1 の衛星 72 を中心として、第 1 の衛星 72 を周回する衛星であ

50

る。

衛星軌道 75 は、第 2 の衛星 74 の衛星軌道である。

送信器 2 は、第 2 の衛星 74 に配置されている。

【0050】

第 3 の衛星 76 は、恒星 71 を中心として、恒星 71 を周回する衛星である。

衛星軌道 77 は、第 3 の衛星 76 の衛星軌道である。

第 4 の衛星 78 は、第 3 の衛星 76 を中心として、第 3 の衛星 76 を周回する衛星である。

衛星軌道 79 は、第 4 の衛星 78 の衛星軌道である。

受信器 5 は、第 4 の衛星 78 に配置されている。

10

【0051】

ラグランジュ点 81 ~ 85 は、恒星 71 と第 1 の衛星 72 とのラグランジュ点である。

中継器 3 - 1 は、ラグランジュ点 83 に配置されている。

中継器 4 - 1 は、ラグランジュ点 84 に配置されている。

中継器 3 - 2 は、ラグランジュ点 82 に配置されている。

中継器 4 - 2 は、ラグランジュ点 85 に配置されている。

送信器 2 から、中継器 3 - 1 及び中継器 4 - 1 を介して、受信器 5 に至る経路は、 R_1 である。

送信器 2 から、中継器 3 - 2 及び中継器 4 - 2 を介して、受信器 5 に至る経路は、 R_2 である。

20

【0052】

図 8 に示す配置例では、2 個の経路 R_1 , R_2 が形成されている。しかし、これは一例に過ぎず、3 個以上の経路が形成されていてもよい。2 個の経路 R_1 , R_2 のほかに、例えば、送信器 2 から中継器 3 - 1 を介して受信器 5 に至る経路 R_3 、又は、送信器 2 から直接受信器 5 に至る経路 R_4 が形成されていてもよい。

図 8 に示す配置例では、送信器 2 が第 2 の衛星 74 に配置され、受信器 5 が第 4 の衛星 78 に配置されている。しかし、これは一例に過ぎず、例えば、送信器 2 が第 4 の衛星 78 に配置され、受信器 5 が第 2 の衛星 74 に配置されていてもよい。

【0053】

ラグランジュ点に配置される中継器 3 , 4 は、ラグランジュ点以外に配置される中継器と比べて、恒星 71 からの外乱光の影響が小さくなる。

30

したがって、ラグランジュ点 83 に配置されている中継器 3 - 1、ラグランジュ点 82 に配置されている中継器 3 - 2、ラグランジュ点 84 に配置されている中継器 4 - 1 及びラグランジュ点 85 に配置されている中継器 4 - 2 は、恒星 71 からの外乱光の影響をあまり受けることなく、光信号を転送することが可能である。

【0054】

以上の実施の形態 2 では、送信器 2 が、恒星 71 を周回する第 1 の衛星 72 を周回する第 2 の衛星 74 に配置され、受信器 5 が、恒星 71 を周回する第 3 の衛星 76 を周回する第 4 の衛星 78 に配置され、複数の中継器 3 , 4 が、恒星 71 と第 1 の衛星 72 とのラグランジュ点に配置されているように、光通信システム 1 を構成した。したがって、光通信システム 1 は、恒星 71 からの外乱光の影響に伴う、ビットエラーの数の増加を抑えることができる。

40

【0055】

なお、本開示は、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0056】

本開示は、複数の受信信号を合成する信号処理装置、信号処理方法及び受信器に適している。

本開示は、受信器を備える光通信システムに適している。

50

【符号の説明】

【0057】

1 光通信システム、2 送信器、3 - 1 ~ 3 - M 中継器、4 - 1 ~ 4 - M 中継器、
5 受信器、11 入力端子、12 誤り訂正符号付与部、13 信号変調部、14 電気
光変換部、15 出力端子、21 入力端子、22 光電気変換部、23 硬判定処理部、
24 信号変調部、25 電気光変換部、26 出力端子、31 - 1 ~ 31 - M 入力端子
、32 - 1 ~ 32 - M 受信部、33 - 1 ~ 33 - M 光電気変換部、34 - 1 ~ 34 - M
同期処理部、35 信号処理装置、36 信号対雑音比算出部、37 - 1 ~ 37 - M S N
R算出処理部、38 振幅調整部、39 - 1 ~ 39 - M 振幅調整処理部、40 信号合成
部、41 誤り訂正部、51 信号対雑音比算出回路、52 振幅調整回路、53 信号合成
回路、54 誤り訂正回路、61 メモリ、62 プロセッサ、71 恒星、72 第1
の衛星、73 衛星軌道、74 第2の衛星、75 衛星軌道、76 第3の衛星、77
衛星軌道、78 第4の衛星、81 ~ 85 ラグランジュ点。

10

20

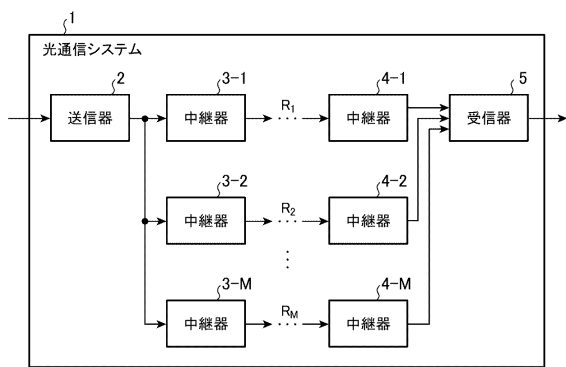
30

40

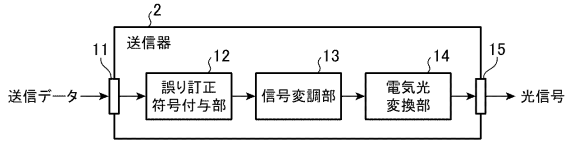
50

【図面】

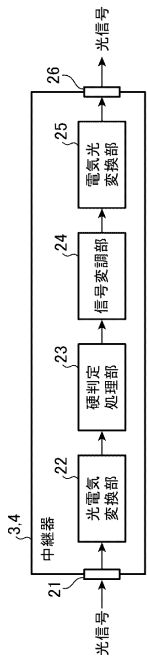
【図 1】



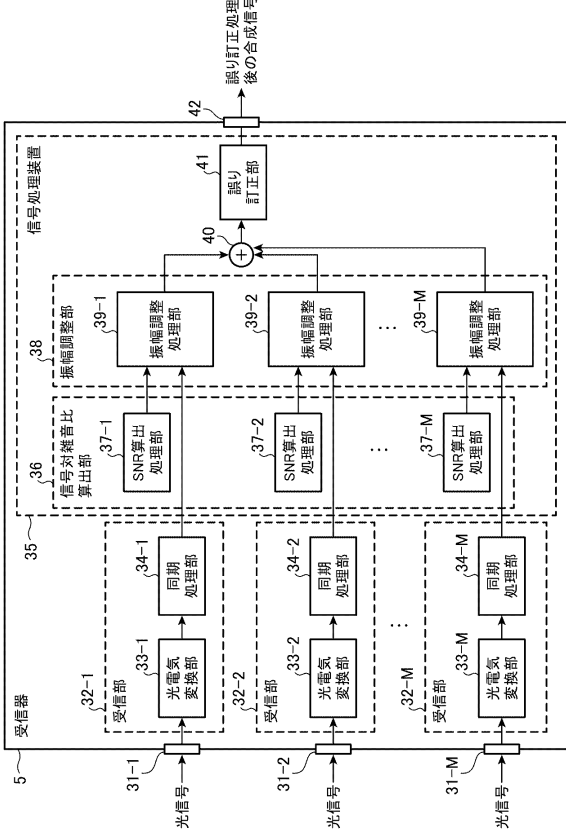
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

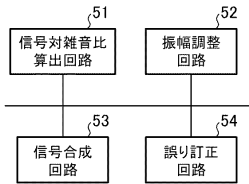
20

30

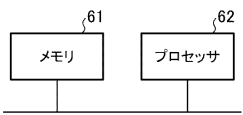
40

50

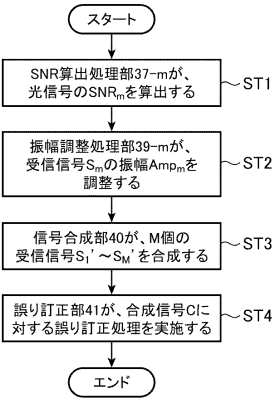
【図 5】



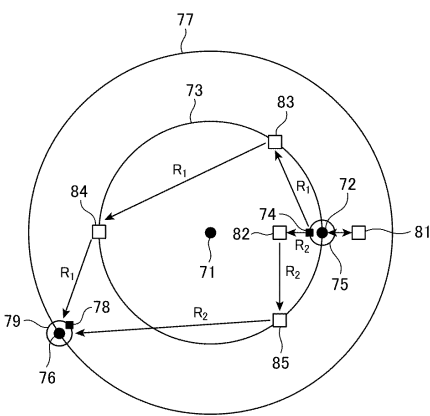
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 1 1 9 0 5 9 (U S , A 1)
国際公開第 2 0 1 4 / 0 3 7 1 3 1 (W O , A 2)
Aniceto Belmonte and Joseph M. Kahn , Capacity of coherent free-space optical links using diversity-combining techniques , OPTICS EXPRESS [online] , 2009年 , Vol. 17, No. 15 , pp. 12601-12611 , [retrieved on 2022.09.15], Retrieved from the Internet : URL: https://opg.optica.org/DirectPDFAccess/72D4BA3A-0E00-4902-B4B77A7E42613792_183574/oe-17-15-12601.pdf?da=1&id=183574&seq=0&mobile=no
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 4 B 1 0 / 6 0 - 1 0 / 6 9
H 0 4 B 1 0 / 1 1 - 1 0 / 1 1 8