

(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
2020年3月12日(12.03.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/050101 A1

- (51) 国際特許分類:
H04L 7/00 (2006.01) *H04B 10/60* (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/033532
- (22) 国際出願日: 2019年8月27日(27.08.2019)
- (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 2018-167103 2018年9月6日(06.09.2018) JP
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 飯山 法子(HIYAMA Noriko); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T

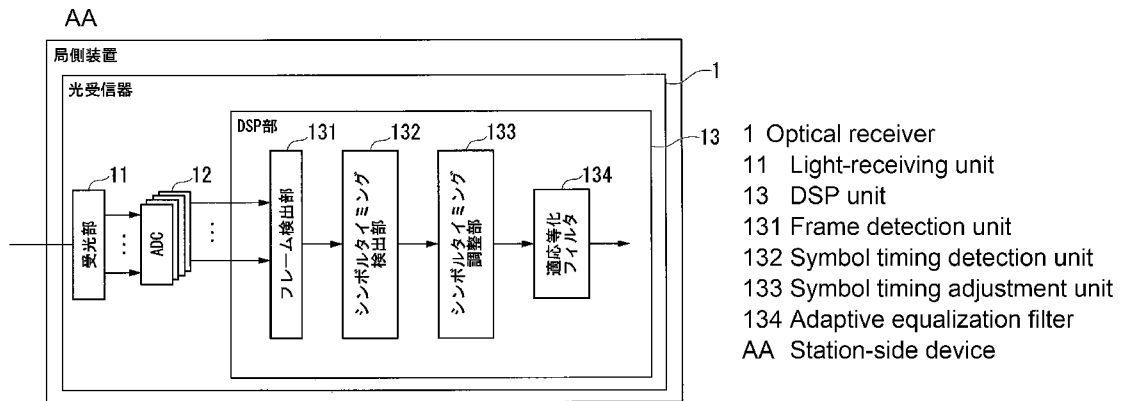
T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 藤原 正満 (FUJIWARA Masamichi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 可児 淳一(KANI Junichi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 志賀国際特許事務所 (SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,

(54) Title: SIGNAL PROCESSING DEVICE AND OPTICAL RECEIVER

(54) 発明の名称: 信号処理装置及び光受信器



(57) Abstract: An ADC (12) of an optical receiver (1) oversamples a received signal that has been converted from an optical signal to an electrical signal by a light-receiving unit (11), and thereby generates a sample signal comprising time-series samples. A symbol timing detection unit (132) of a DSP unit (13) detects a symbol timing in the sample signal. When it is determined on the basis of the detection result that a symbol timing is appearing at an interval longer than a prescribed interval, a symbol timing adjustment unit (133) carries out reading at the prescribed interval by skipping one or more samples included in the sample signal, and when it is determined that a symbol timing is appearing at an interval shorter than the prescribed interval, the symbol timing adjustment unit carries out reading at the prescribed interval by inserting, immediately after one or more samples included in the sample signal, a sample which is the same as the relevant sample.

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：光受信器（１）のADC（１２）は、受光部（１１）が光信号から電気信号に変換した受信信号をオーバーサンプリングして、時系列のサンプルからなるサンプル信号を生成する。DSP部（１３）のシンボルタイミング検出部（１３２）は、サンプル信号におけるシンボルタイミングを検出する。シンボルタイミング調整部（１３３）は、この検出結果に基づいて所定間隔よりも長い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、サンプル信号に含まれるサンプルを１以上飛ばして所定間隔で読み出し、所定間隔よりも短い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、サンプル信号に含まれる１以上のサンプルの直後に当該サンプルと同じサンプルを挿入して所定間隔で読み出す。

明 細 書

発明の名称： 信号処理装置及び光受信器

技術分野

[0001] 本発明は、信号処理装置及び光受信器に関する。

背景技術

[0002] 現在の日本の光加入者系アクセスネットワークは、図8に示すように、一つの局側装置に対して複数の加入者装置を、光ファイバと光カプラを介して接続するPON (Passive Optical Network) 構造をとる。同図では、N台 (Nは2以上の整数) の加入者装置をそれぞれ、加入者装置#1～加入者装置#Nと記載している。この構造により、局側装置と加入者装置を1対1で光ファイバにより接続するよりも、経済的に光ファイバを敷設できる。

[0003] PONのような1対多通信においては、複数の加入者装置から一つの局側装置への上り信号、および一つの局側装置から複数の加入者装置への下り信号を、衝突や信号の消失をせずに送受信するための多重技術が必要となる。現行の実用化されているPONシステムでは、多重技術として、局側装置が各加入者装置へ個別の時間を割り当てて送受信を行うTDM (Time Division Multiplexing: 時分割多重) 技術が、さらに各加入者装置へ上り信号の通信時間を割り当てるためのL2 (レイヤ2) 制御として、DBA (Dynamic Bandwidth Allocation: 動的帯域割当) 技術が用いられている。図9に示すように、DBAを用いたTDM-PONの上り通信においては、各加入者装置は信号の送信が許可された時間にフレームとして、上り信号を送信する。同図では、加入者装置#n (nは1以上N以下の整数) から送信されるフレームを F_n 、フレーム F_n の送信時刻を t_n と記載している。このような上り信号の特徴としては、以下の2点が挙げられる。

[0004] (1) 局側装置において受信する信号は、各加入者装置から時間を分けて送信された信号であるため、連続信号ではなく、間欠的な (信号と信号の間に無信号の時間が存在する) 信号となる。

(2) 局側装置において受信する信号は、各加入者装置の周波数特性の個体差や、各加入者装置と局側装置の間の伝送路条件（距離など）が異なるため、送信した加入者装置ごとに信号の強度、歪みなどの特性がそれぞれ異なる。

[0005] 上記のような特徴をもつ信号を、TDM-PONの上りバースト信号（以下、バースト信号）と呼ぶ。

[0006] 図10に示すように、バースト信号のフレーム（以下、バーストフレーム）は一般的に、プリアンプル、ペイロード、およびエンドオブバーストの3部から構成される。ペイロードが実信号部であり、その前に信号同期、受信信号レベルの等化などを行うプリアンプルを付加し、最後のエンドオブバーストはレーザの立下りなどを含む時間である。また、現在商用化されているPONにおいては、信号の変調方式として、OOK (On-Off Keying) 方式が用いられている。OOK方式では、1シンボルあたり1ビットの信号を光の強度により識別する。

[0007] 一方で、現在、移動体通信網においては、急増するモバイルトラフィックに対応するためのスモールセル化が進むことが見込まれ、そのスモールセルの経済的な収容方法としてPON技術の活用が検討されている。移動体通信網の収容は、光加入者系よりも伝送距離や伝送速度などの条件がより厳しく、現行のPONにおける検波技術として採用されている、アナログ部品のみで構成されたDD (Direct Detection: 直接検波) 方式（ここではアナログDD方式と呼ぶ）では限界があると考えられる。そこで、アナログDD方式では実現困難な様々な変調方式への対応、および伝送による信号の歪み補償も可能となる、DSP (Digital Signal Processing: デジタル信号処理) を用いた検波方式のPONへの適用に関する技術が検討されている。

[0008] DSPを用いた検波方式として最も一般的なものは、コヒーレント検波方式と組み合わせたデジタルコヒーレント検波方式であり、上に述べたDSPを用いる利点とともに、コヒーレント検波による受光感度の飛躍的改善という利点も享受できる。デジタルコヒーレント検波方式を用いた光受信器は既

にコア／メトロネットワーク向けに商用化されており、要素技術は確立されている（例えば、非特許文献1参照）。

[0009] デジタルコヒーレント検波方式を含め、DSPを用いた検波／受信方式においてDSPがどのような処理を施すかは、対象となるシステムや、何を補償するかにより異なるが、一般的には複数の処理を組み合わせで用いる。例えば、1シンボルで2ビット以上の信号を伝送する高次変調方式を採用する場合には、DSPにより復調処理を行うことも可能である。また例えば、コヒーレント検波方式、特にイントラダイン検波方式と組み合わせる場合には、信号光とローカル光の周波数差による信号の歪み（IQ平面上での信号点の回転という形で現れる）をDSPの計算により補償する。最小受光感度を改善するための波形歪みの等化処理も、DSPを用いた光受信器で一般的に施される処理の一つである。

[0010] 図11は、DSPを用いた光受信器の一般的な構成を示す図であり、例えば、局側装置に実装される。受光部は、受信した光信号を電気信号に変換する。ADC（Analog/Digital Converter）は、電気信号に変換された受信信号をデジタル信号に変換し、DSP部に入力する。DSP部は、入力されたデジタル信号に種々の信号処理を行う。ADCの数は偏波多重の有無、位相情報の有無など、システムおよび光受信器の構成により異なる。

[0011] ADCは、図12に示すように、入力されたアナログ信号をシンボルレートの m 倍（ $m > 1$ ）のサンプリングレートでオーバーサンプリングし、デジタル信号に変換する。同図の例では $m = 3$ であり、図中の1シンボル間隔の時間 T は $T = 1 / \text{シンボルレート}$ である。

先行技術文献

非特許文献

[0012] 非特許文献1：鈴木扇太ほか、「光通信ネットワークの大容量化に向けたデジタルコヒーレント信号処理技術の研究開発」、電子情報通信学会誌、2012年、Vol. 95、No. 12、p. 1100-1116

非特許文献2：野河正史ほか、「10 Gbit/sバーストモード受信IC技術」、201

1年、NTT技術ジャーナル、Vol.23、No.1、p.31-35

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] TDM-PONや光伝送系に限らず、全ての信号を伝送する系においては、受信器と送信器の間でクロック同期を行わない限り、ある決められた同一のクロック周波数に合わせるよう動作していても、個体差や特性により送信器と受信器のクロック周波数にずれが生じる。その場合受信器には、受信器を動作させているクロック周波数とは厳密には異なるクロック周波数で動作する送信器において生成された信号が入力されるため、そのクロック周波数差による影響を緩和／吸収するような処理が必要となる。クロック周波数差に対応するための処理は様々な実現方法が提案されているが、TDM-PONにおいて送信器と受信器の間でクロック同期を行わなかった場合に、そのバースト信号に適用できる、クロック周波数差への対処方法はない。

[0014] 例えば、コア／メトロネットワーク等の大容量系においては、局側装置が備える光受信器は、図13に示すような構成を用いてクロック周波数差を吸収している（例えば、非特許文献1参照）。ただし、同図では、クロック周波数差の吸収に関連する処理以外の部分は省略している。送信器と受信器のクロック周波数が同期している系において、ADCによりシンボルレートの m 倍でオーバーサンプリングされたデジタル信号は、図14に示すように、各シンボル内で一番シンボルタイミングに近いサンプル（ここでは黒丸）が m サンプル毎に現れるはずである。シンボルタイミングは、各シンボルを表す信号が出現するタイミングであり、例えば、位相変調の場合、各シンボルを表す信号の強度はほぼ同一で、シンボル間の遷移中は強度が低下する。そこで、この黒丸で表されるサンプルを入力デジタル信号のシンボルタイミングとする。

[0015] 図13に示す構成によるクロック周波数差の吸収方法では、ADCがオーバーサンプリングした信号においてシンボルタイミングに一番近いサンプルのタイミングをDSPにより計算し、DAC（Digital/Analog Converter）

を介してアナログ的にADCにフィードバック制御をかける。これにより、ADCを入力信号に同期させ、送信器と受信器のクロック周波数の平均的なずれやゆっくりとした変動の影響を抑えている。ただし、この手法は、コア／メトロネットワークのような、1対1通信、かつ信号が連続的に流れ続けている系を想定している。

[0016] 一方、TDM-PONの上りバースト信号の場合、各バースト信号の送信元ごとにクロック周波数は異なるため、各バースト信号と光受信器のクロック周波数差は異なる。それぞれのバーストフレームにおいて、図10に示すペイロード部を正しく受信するためには、クロック周波数の同期動作がプリアンプル部で完了している必要がある。しかし、次々とやってくるバースト信号ごとに異なるクロック周波数差に対し、図13に示す構成で行われるようなフィードバック制御を適用すると追従に時間がかかり、プリアンプル部を長くする必要がある。長いプリアンプルは相対的にペイロードを短くすることとなり、伝送効率を低下させる。以上の理由により、コア／メトロ系で用いられているサンプリング位相同期機能をそのままTDM-PONのバースト信号に適用することは好ましくない。

[0017] また別の例として、従来のアナログDDを用いたPONにおいては、バースト信号のためのCDR (Clock and Data Recovery) が開発されており、バースト信号に対して高速なクロック抽出が可能である（例えば、非特許文献2）。しかし、CDRは基本的に変調方式としてOOKを使用することを前提としており、入力信号のレベルがローからハイに立ち上がるタイミングに合わせてクロックを抽出する。そのため、例えばQPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 等の位相のみを変調に使用する信号にはそのまま適用できない。

[0018] 以上のように、送信器と受信器のクロック周波数の同期がとれていない状況において、これまでに提案されているクロック周波数差の影響を緩和する手法は、TDM-PON、特にOOK以外の変調方式を使用してDSPを用いた復調を前提としている場合にそのまま適用できないという問題があった

。

[0019] 上記事情に鑑み、本発明は、変調方式によらずバースト信号に対して送信側と受信側のクロック周波数ずれを補償することができる信号処理装置及び光受信器を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0020] 本発明の一態様は、受信信号をオーバーサンプリングして得られた時系列のサンプルからなるサンプル信号におけるシンボルタイミングを検出するシンボルタイミング検出部と、前記シンボルタイミング検出部による検出結果に基づいて所定間隔よりも長い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、前記サンプル信号に含まれる前記サンプルを1以上飛ばして前記所定間隔で読み出し、前記検出結果に基づいて前記所定間隔よりも短い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、前記サンプル信号に含まれる1以上の前記サンプルの直後に当該サンプルと同じサンプルを挿入して前記所定間隔で読み出すシンボルタイミング調整部と、を備える信号処理装置である。

[0021] 本発明の一態様は、上述の信号処理装置であって、前記シンボルタイミング調整部は、受信時刻順に前記サンプル信号を保存するバッファと、前記検出結果に基づいて前記所定間隔よりも長い又は短い間隔でシンボルタイミングが現れているかを判断し、判断結果に応じて前記バッファから前記サンプルを読み出すバッファ位置を変化させる読み出しバッファ位置決定部と、前記バッファ位置から前記サンプルを読み出すサンプル読み出し部とを備える。

。

[0022] 本発明の一態様は、上述の信号処理装置であって、前記サンプル信号に含まれる前記サンプル間のサンプルの値を予測する内挿処理部をさらに備え、前記シンボルタイミング検出部は、前記サンプル信号に含まれる前記サンプルと、前記内挿処理部により予測された前記サンプルとに基づいてシンボルタイミングを検出する。

[0023] 本発明の一態様は、上述の信号処理装置であって、前記シンボルタイミン

グ検出部は、前記サンプル信号に含まれる所定サンプル数間隔毎の前記サンプルからなるサンプル群の振幅の統計値を、1 サンプル間隔ずつずらしたサンプル群ごとに算出し、算出結果に基づいてシンボルタイミングを検出する。

[0024] 本発明の一態様は、光信号を受信し、電気信号に変換する受光部と、前記電気信号をオーバーサンプリングして得られた時系列のサンプルからなるサンプル信号を生成する変換部と、上述のいずれかの信号処理装置と、を備える光受信器である。

発明の効果

[0025] 本発明により、変調方式によらずバースト信号に対して送信側と受信側のクロック周波数ずれを補償することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本発明の実施形態による光受信器の処理を示す図である。

[図2]同実施形態による光受信器の処理を示す図である。

[図3]第1の実施形態による光受信器の構成を示す図である。

[図4]同実施形態によるシンボルタイミング検出部が行うシンボルタイミング検出処理を示す図である。

[図5]同実施形態によるシンボルタイミング調整部の構成例を示す図である。

[図6]第2の実施形態によるシンボルタイミング検出部が行うシンボルタイミング検出処理を示す図である。

[図7]第3の実施形態によるシンボルタイミング調整部の構成例を示す図である。

[図8]光加入者系アクセスネットワークの構成図である。

[図9]光加入者系アクセスネットワークの上り通信を示す図である。

[図10]バースト信号のフレームを示す図である。

[図11]従来の光受信器の構成を示す図である。

[図12]オーバーサンプリングを示す図である。

[図13]クロック周波数差を吸収する従来の光受信器の構成を示す図である。

[図14]クロック周波数ずれがある系におけるサンプリング結果を示す図である。

[図15]クロック周波数ずれがある系におけるサンプリング結果を示す図である。

[図16]クロック周波数ずれがある系におけるサンプリング結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。本実施形態は、1対多通信におけるTDM (Time Division Multiplexing: 時分割多重) のバースト信号を受信する信号処理装置、及び、その信号処理装置を備える光受信器に関する。

[0028] DSPおよび位相変調を用いたTDM-PONのバースト信号に対し、送信器と受信器のクロック周波数差による影響を吸収する手法の難しさは、コア/大容量系のようなADCへのフィードバック制御ではプリアンプが長くなることによる伝送効率の低下につながる。また、この難しさは、アナログDDで用いられているようなCDRでは、変調信号の特徴の違いからクロックを抽出できないということにある。そこで、本実施形態においては、光受信器への入力信号からクロックを抽出し、そのクロックに受信系を同期させるのではなく、受信系のサンプルタイミングに入力信号のサンプルタイミングが合うよう入力信号に操作を加えることで、この課題を解決する。

[0029] 図1及び図2は、送信器と受信器のクロック周波数がずれている系において、受信器がオーバーサンプリングを行ったときの現象を示す図である。これらの図は、サンプリングレートが、シンボルレートの3倍 ($m=3$) である場合を示している。送信器と受信器のクロック周波数が一致していれば、受信器のADCによりシンボルレートの3倍のサンプリングレートでオーバーサンプリングされたデジタル信号 (サンプル信号) においては、図14に示したようにシンボルタイミングが毎回必ず3サンプルごとに現れるはずである。一方で、受信器のクロック周波数が送信器のクロック周波数よりも大

きい場合には、あるシンボルタイミングの $m+1$ サンプル後にシンボルタイミングが現れることがある。図15の例では3オーバーサンプリングであるに関わらず、シンボルタイミングの4サンプル後に再びシンボルタイミングが現れている部分がある。逆に、受信器のクロック周波数が送信器のクロック周波数よりも小さい場合には、あるシンボルタイミングの $m-1$ サンプル後にシンボルタイミングが現れてしまうことがある。図16の例では、あるシンボルタイミングの2サンプル後にシンボルタイミングが現れている。

[0030] 図1及び図2は、このようなケースに対する本実施形態の光受信器の処理を示す図である。本実施形態の光受信器は、図1に示すようにサンプル信号を一つ飛ばす、又は、図2に示すように、サンプル信号を一つ重複させるという処理を行い、毎回 m サンプル毎にシンボルタイミングが現れるようサンプル信号に操作を加える。

[0031] 本実施形態の光受信器は、図15に示すように、シンボルタイミングから次のシンボルタイミングまでが4サンプル（ $m+1$ サンプル）になってしまった状況を検出する。この場合、本実施形態の光受信器は、図1に示すように、次のシンボルタイミングのサンプルの一つ前のサンプルを飛ばし（処理A1）、飛ばしたサンプル以降は1サンプルずつ間をつめて処理をする（処理A2）。これにより、光受信器は、シンボルタイミングを3サンプルおき（ m サンプルおき）にすることができる。

[0032] また、本実施形態の光受信器は、図2に示すようにシンボルタイミングから次のシンボルタイミングまでが2サンプル（ $m-1$ サンプル）になってしまった状況を検出する。この場合、本実施形態の光受信器は、図2に示すように、次のシンボルタイミング以降のサンプルを1サンプルずつ遅らせ（処理B1）、次のシンボルタイミングのサンプルの直後に同じサンプルを重複して挿入する（処理B2）。これにより、光受信器は、シンボルタイミングを3サンプルおき（ m サンプルおき）にすることができる。

[0033] この特徴により、本実施形態の光受信器は、DSP（Digital Signal Processing：デジタル信号処理）および位相変調を用いたTDM-PONのバー

スト信号に対し、送信側とのクロック周波数差による影響を緩和／吸収できるという効果を奏する。

以下に、詳細な実施形態を説明する。

[0034] (第1の実施形態)

図3は、第1の実施形態による光受信器1の構成例を示す図である。ただし、同図において、本実施形態に直接関係のない部品や機能は省略している。同図に示す光受信器1は、例えば、図8に示すTDM-PONの局側装置に備えられる。本実施形態の技術を搭載した光受信器1は、受光部11と、ADC12と、DSP部13とを備える。光受信器1は、ADC12を複数備え得る。

[0035] 受光部11は、光信号を受光して電気信号に変換する。ADC12は、受光部11により変換された電気信号をアナログ信号からデジタル信号に変換し、DSP部13に入力する。デジタル信号は、オーバーサンプリングにより得られた時系列のサンプルからなるサンプリング信号である。ADC12がオーバーサンプリングを行う際のサンプリングのタイミングは、例えば、光受信器1（又は局側装置）が備えるクロック（図示せず）の発振周波数を通倍するなどして生成したタイミングに基づく。

[0036] DSP部13は、信号処理装置の一例である。DSP部13は、フレーム検出部131と、シンボルタイミング検出部132と、シンボルタイミング調整部133と、適応等化フィルタ134とを備える。まず、フレーム検出部131は、DSP部13に入力された信号のバーストフレームを検出する。つまり、フレーム検出部131は、無信号状態から新しいバーストフレームが到着したことを検知する。その後、バーストフレームは、シンボルタイミング検出部132とシンボルタイミング調整部133とを経て、適応等化フィルタ134に入力される。このシンボルタイミング検出部132及びシンボルタイミング調整部133が、図1及び図2に示した動作を実施する機能部である。

[0037] 受光部11として用いられる受光器には、DD検波器を用いてもよいし、

コヒーレント検波器を用いてもよい。受光器に、コヒーレント検波器を用いたり、偏波ダイバーシティ、偏波多重などを組み合わせて用いたりする場合には、受光器からの出力の数が増えるので、それに合わせてADC12の数や、DSP部13への入力信号の数も増える。

[0038] シンボルタイミング検出部132は、オーバーサンプリングされた入力信号のシンボルタイミングを検出する。その手法は種々提案されており、対象の信号の変調方式などにより適応できる手法は異なる。例えば、シンボルタイミングのサンプルにおいて他のサンプルよりも振幅Aが大きくなるような変調方式（BPSK（Binary Phase Shift Keying）、QPSKなど）を採用しているのであれば、MAM（Maximum Amplitude Method）法を用いることができる。MAM法は、例えば、以下に示す参考文献に記載されている。

[0039] （参考文献）三瓶政一ほか、「16QAM/TDMAのためのシンボルタイミング再生方式」、通信総合研究所季報、1995年6月、Vol.41、No.2、p.189-196

[0040] 図4は、シンボルタイミング検出部132が行うシンボルタイミング検出処理を示す図である。同図に示すシンボルタイミング検出処理は、MAM法を用いている。MAM法では、mサンプルごとに別個に振幅の平均値あるいは平均値と同じ傾向を示す値（総計など）などの統計値を計算し、その統計値に基づいてm個の中で最大の平均値をもつサンプルが出現するタイミングをシンボルタイミングとする。例えば、シンボルタイミング検出部132は、1以上m以下の整数であるjのそれぞれについて、 $j + m \times (n - 1)$ 番目（ $n = 1, 2, \dots$ ）のサンプルの振幅Aを取得して合計し、総計 $\sum A_j$ を求める。シンボルタイミング検出部132は、総計 $\sum A_1 \sim \sum A_m$ のうち最大（max）の総計 $\sum A_j$ （jは1以上m以下の整数）を選択する。シンボルタイミング検出部132は、選択された最大の総計 $\sum A_j$ の算出に用いたシンボルが得られたタイミングを、シンボルタイミングとして検出する。

[0041] 図5は、シンボルタイミング調整部133の構成例を示す図である。シンボルタイミング調整部133は、同図に示すような構成することができる。同図では、簡単のため、主信号がサンプリングレートと同じ速度でシリアル

に信号処理が行われている状況を示している。シンボルタイミング調整部 133 は、バッファ 21 と、読み出しバッファ位置決定部 22 と、サンプル読み出し部 23 とを備える。バッファ 21 は、前方バッファ 21-1、現サンプル用バッファ 21-2、後方バッファ 21-3 からなる。前方バッファ 21-1 は現サンプル用バッファ 21-2 の前に、後方バッファ 21-3 の現サンプル用バッファ 21-2 の後ろに位置する。現サンプル用バッファ 21-2 は 1 サンプルを記憶し、前方バッファ 21-1 及び後方バッファ 21-3 はそれぞれ、複数サンプルを記憶する。

[0042] シンボルタイミング検出部 132 からシンボルタイミング調整部 133 へ、主信号と、検出したシンボルタイミングを示すシンボルタイミング情報が入力される。バッファ 21 は、シンボルタイミング調整部 133 に入力された主信号を到着順に格納し、1 サンプリング時間が進むごとにバッファ 21 に格納されるサンプルを一つずつ進めていく。すなわち、1 サンプリング時間が進むごとに、バッファ 21 は、格納している各サンプルの格納位置（以下、単に位置と記載）をそれぞれ 1 サンプル分先頭の方角に移動し、新たに到着したサンプルをバッファ 21（後方バッファ 21-3）の最後の位置に格納する。一方で、シンボルタイミング検出部 132 から出力されたシンボルタイミング情報は、読み出しバッファ位置決定部 22 に入力される。読み出しバッファ位置決定部 22 は、シンボルタイミング情報から、シンボルタイミングが図 14 に示すように、想定通り一定の間隔で現れているかを観測する。読み出しバッファ位置決定部 22 は、その観測結果に基づいて、主信号が格納されているバッファ 21 のどの位置から信号を読み出すかを決定する。

[0043] 例えば、あるバーストフレームの信号処理開始時からずっと想定通りの間隔でシンボルタイミングが現れている場合、読み出しバッファ位置決定部 22 は、バッファ指定位置を現サンプル用バッファ 21-2 の位置に指定する。これにより、サンプル読み出し部 23 は、常に現サンプル用バッファ 21-2 からシンボルタイミング毎にサンプルを読み出し、それを主信号として

次の信号処理ブロックに送る。このシンボルタイミングは、例えば、光受信器 1（又は局側装置）が備えるクロック（図示せず）の発振周波数を通倍するなどして生成した時間 T 間隔のタイミングに基づくものであり、ADC 12 がオーバーサンプリングを行うタイミングの $1/m$ 倍の周波数である。この場合には、バッファ 21 を信号で埋めるまでの遅延は生じるものの、シンボルタイミング調整部 133 を介さずにそのまま主信号を出力しているのと動作は変わらない。

[0044] 次に、図 1 に示すように、あるシンボルタイミングから $m+1$ サンプル目に次のシンボルタイミングが現れる場合には、 m サンプル目が現サンプル用バッファ 21-2 に格納されているタイミングにおいて、現サンプル用バッファ 21-2 から後方側に一つずれたバッファ 21 の位置にシンボルタイミングのサンプルが格納されているはずである。そこで、読み出しバッファ位置決定部 22 は、現サンプル用バッファ 21-2 ではなく、バッファ 21 において現サンプル用バッファ 21-2 より一つ後方側にずれている後方バッファ 21-3 における位置を指定する。サンプル読み出し部 23 は、シンボルタイミングにおいて、後方バッファ 21-3 における指定位置からサンプルを読み出す。これにより、サンプル読み出し部 23 は、バッファ 21 から 1 サンプルを飛ばして読み出しを行い、以降は 1 サンプルずつ間をつめて処理することができる。つまり、図 1 に示すような、サンプルを一つ飛ばす動作が可能となる。その後、また次のシンボルタイミングまでは想定通りの間隔であれば、読み出しバッファ位置決定部 22 は、現サンプル用バッファ 21-2 から後方側に一つずれた後方バッファ 21-3 における位置をそのまま指定し続け、またシンボルタイミングの間隔が $m+1$ サンプルになったタイミングで、指定するバッファ位置をさらに一つ後方側にずらす。

[0045] 逆に、図 2 に示すように、あるシンボルタイミングから $m-1$ サンプル目に次のシンボルタイミングが現れる場合には、 m サンプル目が現サンプル用バッファ 21-2 に格納されているタイミングにおいて、現サンプル用バッファ 21-2 から前方側に一つずれたバッファ 21 の位置にシンボルタイミ

ングのサンプルが格納されているはずである。そこで、読み出しバッファ位置決定部 22 は、現サンプル用バッファ 21-2 ではなく、バッファ 21 において現サンプル用バッファ 21-2 より一つ前方側にずれている前方バッファ 21-1 における位置を指定する。サンプル読み出し部 23 は、シンボルタイミングにおいて、前方バッファ 21-1 の指定位置からサンプルを読み出す。これにより、サンプル読み出し部 23 は、シンボルタイミング以降のサンプル、すなわち、現サンプル用バッファ 21-2 及び後方バッファ 21-3 のサンプルを 1 サンプルずつ遅らせ、シンボルタイミングのサンプル、すなわち、現サンプル用バッファ 21-2 のサンプルより一つ前のサンプルを重複して挿入したように、バッファ 21 からサンプルの読み出しを行うことができる。つまり、図 2 に示すように、同じサンプルを重複して読み出すような動作が可能となる。その後、また次のシンボルタイミングまで想定通りの間隔であれば、読み出しバッファ位置決定部 22 は、現サンプル用バッファ 21-2 から前方側に一つずれた前方バッファ 21-1 における位置を指定し続け、またシンボルタイミングの間隔が $m-1$ サンプルになったタイミングで、指定するバッファ位置をさらに一つ前方側にずらす。

[0046] 上記の動作を組み合わせ、読み出しバッファ位置決定部 22 は、ある一つのバーストフレームの信号処理を開始したときには、最初は読み出すバッファ位置を現サンプル用バッファ 21-2 としておく。読み出しバッファ位置決定部 22 は、シンボルタイミングの間隔が m サンプルであればバッファ位置を変えず、 $m+1$ サンプルであることを検出したときにはバッファ位置を現在よりも後方側に一つずらし、 $m-1$ サンプルであることを検出したときには現在よりも前方側に一つずらず、という動作を繰り返していく。これにより、常にサンプル読み出し部 23 から出力される主信号は、 m サンプルおきにシンボルタイミングが現れる信号とすることができる。

[0047] 前方バッファ 21-1、後方バッファ 21-3 のサイズ $B(s)$ は、許容するサンプリング周波数のずれの大きさ $F_d(Hz)$ 、およびバーストフレームの長さ $L(s)$ を用いて、それぞれ以下の式 (1) のように決定するこ

とができる。

[0048] $B = L \cdot F d \quad \dots (1)$

[0049] 上記のバッファサイズを超えるようなバーストフレームおよびサンプリング周波数のずれに対しては、クロック周波数のずれは補償できない。

[0050] (第2の実施形態)

第1の実施形態におけるシンボルタイミング検出処理は、シンボルタイミングのサンプルにおいて他のサンプルよりも振幅Aが大きくなるような変調方式(BPSK、QPSKなど)を採用している場合に適用できる。一方、本実施形態は、シンボルタイミングのサンプルにおいて他のサンプルよりも振幅Aの分散や標準偏差が大きくなるような変調方式(OOKなど)を採用している場合に適用できる。以下では、第1の実施形態との差分を説明する。本実施形態の光受信器の構成は、第1の実施形態と同様である。

[0051] 図6は、本実施形態のシンボルタイミング検出部132が行うシンボルタイミング検出処理を示す図である。シンボルタイミング検出部132は、mサンプルごとに別個に振幅の分散あるいは標準偏差、もしくはそれらと同様の傾向を示す値を計算し、m個の中で最大の振幅の分散あるいは標準偏差をもつサンプルをシンボルタイミングとする。同図では、シンボルタイミング検出部132は、1以上m以下の整数であるjのそれぞれについて、 $j + m \times (n - 1)$ 番目($n = 1, 2, \dots$)のサンプルの振幅Aを取得して標準偏差 σA_j を求める。シンボルタイミング検出部132は、標準偏差 $\sigma A_1 \sim \sigma A_m$ のうち最大の σA_j (jは1以上m以下の整数)を選択する。シンボルタイミング検出部132は、選択された最大の σA_j の算出に用いたシンボルが得られたタイミングを、シンボルタイミングとする。

[0052] (第3の実施形態)

第1の実施形態においては、図3に示すように、ADC12においてオーバーサンプリングを行っている。本実施形態では、ADCによりオーバーサンプリングを行った後段でDSPによる内挿処理を行う。「内挿処理」は、「補間」および「interpolation」と同義語の周知の技術であり、ADCで取

得した各サンプル点の間の点の値を予測する処理である。以下では、第1の実施形態及び第2の実施形態との差分を説明する。

[0053] 図7は、第3の実施形態による光受信器1aの構成例を示す図である。同図において、図3に示す第1の実施形態による光受信器1と同一の部分には同一の符号を付し、その説明を省略する。同図に示す光受信器1aが、図3に示す光受信器1と異なる点は、DSP部13に代えてDSP部13aを備える点である。DSP部13aは、図3に示すDSP部13のフレーム検出部131とシンボルタイミング検出部132との間に、内挿処理部135を追加した構成である。内挿処理部135は、ADC12がオーバーサンプリングを行った結果に対して内挿処理を行い、サンプル点間の値を予測することにより更にサンプル点を増やし、サンプリングレートを所望の値とする。シンボルタイミング検出部132及びシンボルタイミング調整部133は、ADC12がオーバーサンプリングにより得たサンプルに対して、内挿処理部135がサンプル点を増加させたシンボルからなるシンボル信号（デジタル信号）に対し、第1の実施形態又は第2の実施形態と同様の処理を行う。

[0054] 以上説明した実施形態によれば、光受信器は、受光部と、変換部（例えば、ADC12）と、信号処理装置（例えば、DSP部13、13a）とを備える。受光部は、光信号を受信し、電気信号に変換する。変換部は、この電気信号に変換された受信信号をオーバーサンプリングして、時系列のサンプルからなるサンプル信号を生成する。信号処理装置は、シンボルタイミング検出部及びシンボルタイミング調整部を備える。シンボルタイミング検出部は、サンプル信号におけるシンボルタイミングを検出する。シンボルタイミング調整部は、シンボルタイミング検出部による検出結果に基づき所定間隔よりも長い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、サンプル信号に含まれるサンプルを1以上飛ばして所定間隔で読み出し、検出結果に基づいて所定間隔よりも短い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、サンプル信号に含まれる1以上のサンプルの直後に当該サンプルと同じサンプルを挿入して所定間隔で読み出す。これにより、

信号処理装置は、予め規定した所定間隔でシンボルタイミングが現れるように調整する機能を実現する。所定間隔は、例えば、光受信器が備えるクロックから供給される信号の周波数に基づく時間間隔である。

[0055] シンボルタイミング調整部を、バッファと、読み出しバッファ位置決定部と、サンプル読み出し部とを備える構成としてもよい。バッファは、受信時刻順にサンプル信号を保存する。読み出しバッファ位置決定部は、シンボルタイミング検出部による検出結果に基づいて、サンプル信号に所定間隔よりも長い又は短い間隔でシンボルタイミングが現れているかを判断し、サンプル読み出し部がバッファからサンプルを読み出すバッファ位置をこの判断結果に応じて変化させる。

[0056] また、信号処理装置は、サンプル信号に含まれるサンプル間のサンプルの値を予測する内挿処理部をさらに備えてもよい。シンボルタイミング検出部は、サンプル信号に含まれるサンプルと、内挿処理部により予測されたサンプルとに基づいてシンボルタイミングを検出する。

[0057] シンボルタイミング検出部は、サンプル信号に含まれる所定サンプル数間隔毎のサンプルからなるサンプル群の振幅の統計値を、1サンプル間隔ずつずらしたシンボル群ごとに算出し、算出結果に基づいてシンボルタイミングを検出してもよい。

[0058] 光アクセスネットワークに用いられるTDM-PONにおいて、局側装置が上りバースト信号を受信する際に、送信側である加入者装置と受信側である局側装置とのクロック周波数がずれている場合には補償する機能が必要となる。主に、コア／メトロ系で用いられるアナログ回路によるサンプリング位相補償法では応答速度が低いためそのままの適用が難しく、従来PONで用いられてきたバーストCDRは、変調方式の違いにより対応できない。本実施形態の信号処理装置は、オーバーサンプリングされたデジタル信号に対し、サンプル信号を一つ飛ばす、あるいはあるサンプル信号の直後に同じサンプル信号を挿入するなど、常にシンボルタイミングが所望の間隔で現れるようにサンプル信号に処理を施す。局側装置に、本実施形態の信号処理装置

を備えた光受信器を用いることで、OOKや位相変調を用いたバースト信号に対して、加入者装置と局側装置とのクロック周波数差を補償することができる。

[0059] 以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0060] バーストフレームを受信する光受信器に適用可能である。

符号の説明

[0061] 1、1 a…光受信器， 1 1…受光部， 1 2…ADC， 1 3、1 3 a…DSP部， 1 3 1…フレーム検出部， 1 3 2…シンボルタイミング検出部， 1 3 3…シンボルタイミング調整部， 1 3 4…適応等化フィルタ， 1 3 5…内挿処理部， 2 1…バッファ， 2 1-1…前方バッファ， 2 1-2…現サンプル用バッファ， 2 1-3…後方バッファ， 2 2…読み出しバッファ位置決定部， 2 3…サンプル読み出し部

請求の範囲

[請求項1] 受信信号をオーバーサンプリングして得られた時系列のサンプルからなるサンプル信号におけるシンボルタイミングを検出するシンボルタイミング検出部と、

前記シンボルタイミング検出部による検出結果に基づいて所定間隔よりも長い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、前記サンプル信号に含まれる前記サンプルを1以上飛ばして前記所定間隔で読み出し、前記検出結果に基づいて前記所定間隔よりも短い間隔でシンボルタイミングが現われていると判断した場合に、前記サンプル信号に含まれる1以上の前記サンプルの直後に当該サンプルと同じサンプルを挿入して前記所定間隔で読み出すシンボルタイミング調整部と、

を備える信号処理装置。

[請求項2] 前記シンボルタイミング調整部は、

受信時刻順に前記サンプル信号を保存するバッファと、

前記検出結果に基づいて前記所定間隔よりも長い又は短い間隔でシンボルタイミングが現れているかを判断し、判断結果に応じて前記バッファから前記サンプルを読み出すバッファ位置を変化させる読み出しバッファ位置決定部と、

前記バッファ位置から前記サンプルを読み出すサンプル読み出し部とを備える、

請求項1に記載の信号処理装置。

[請求項3] 前記サンプル信号に含まれる前記サンプル間のサンプルの値を予測する内挿処理部をさらに備え、

前記シンボルタイミング検出部は、前記サンプル信号に含まれる前記サンプルと、前記内挿処理部により予測された前記サンプルとに基づいてシンボルタイミングを検出する、

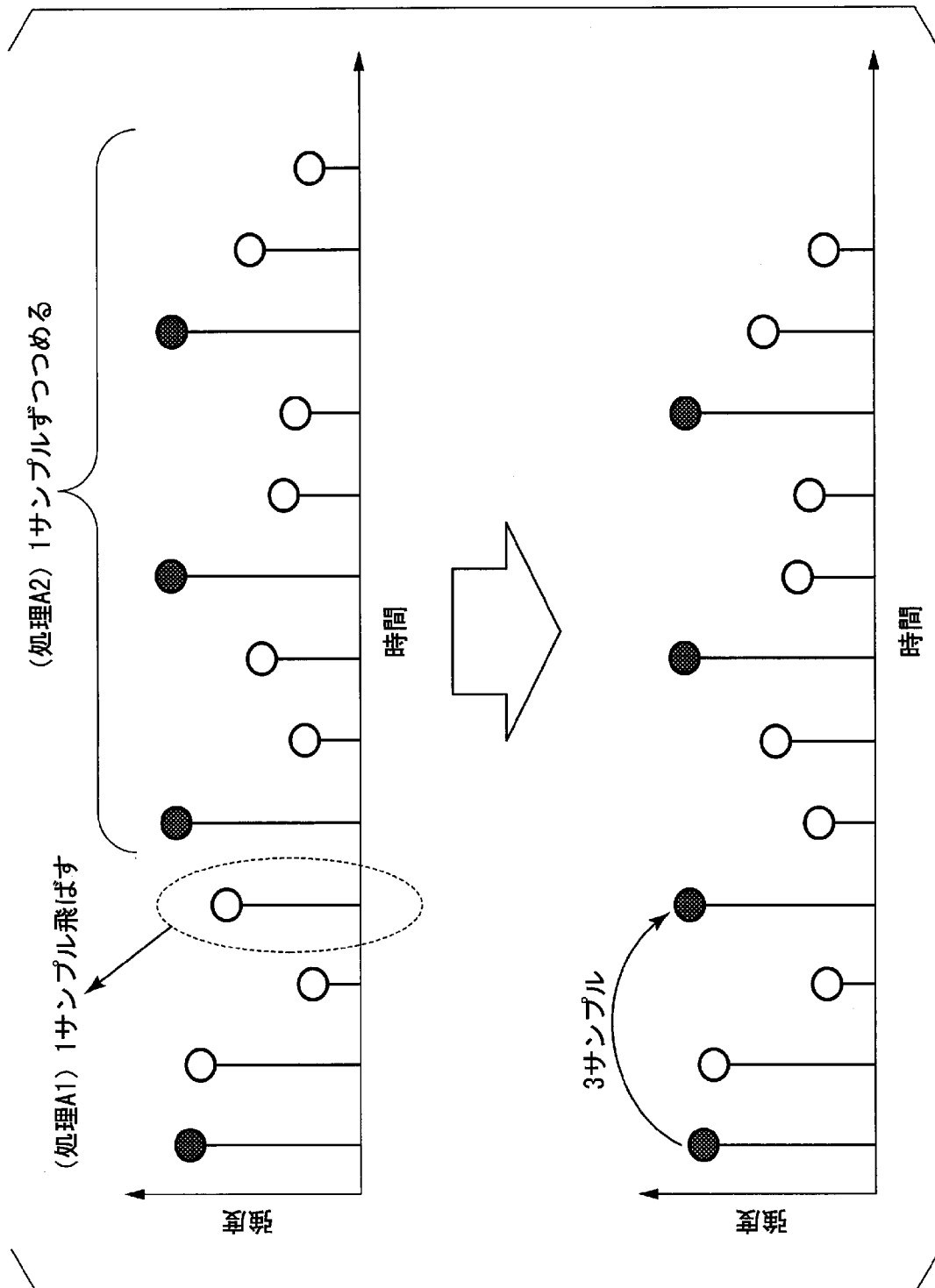
請求項1又は請求項2に記載の信号処理装置。

[請求項4] 前記シンボルタイミング検出部は、前記サンプル信号に含まれる所定サンプル数間隔毎の前記サンプルからなるサンプル群の振幅の統計値を、1 サンプル間隔ずつずらしたサンプル群ごとに算出し、算出結果に基づいてシンボルタイミングを検出する、

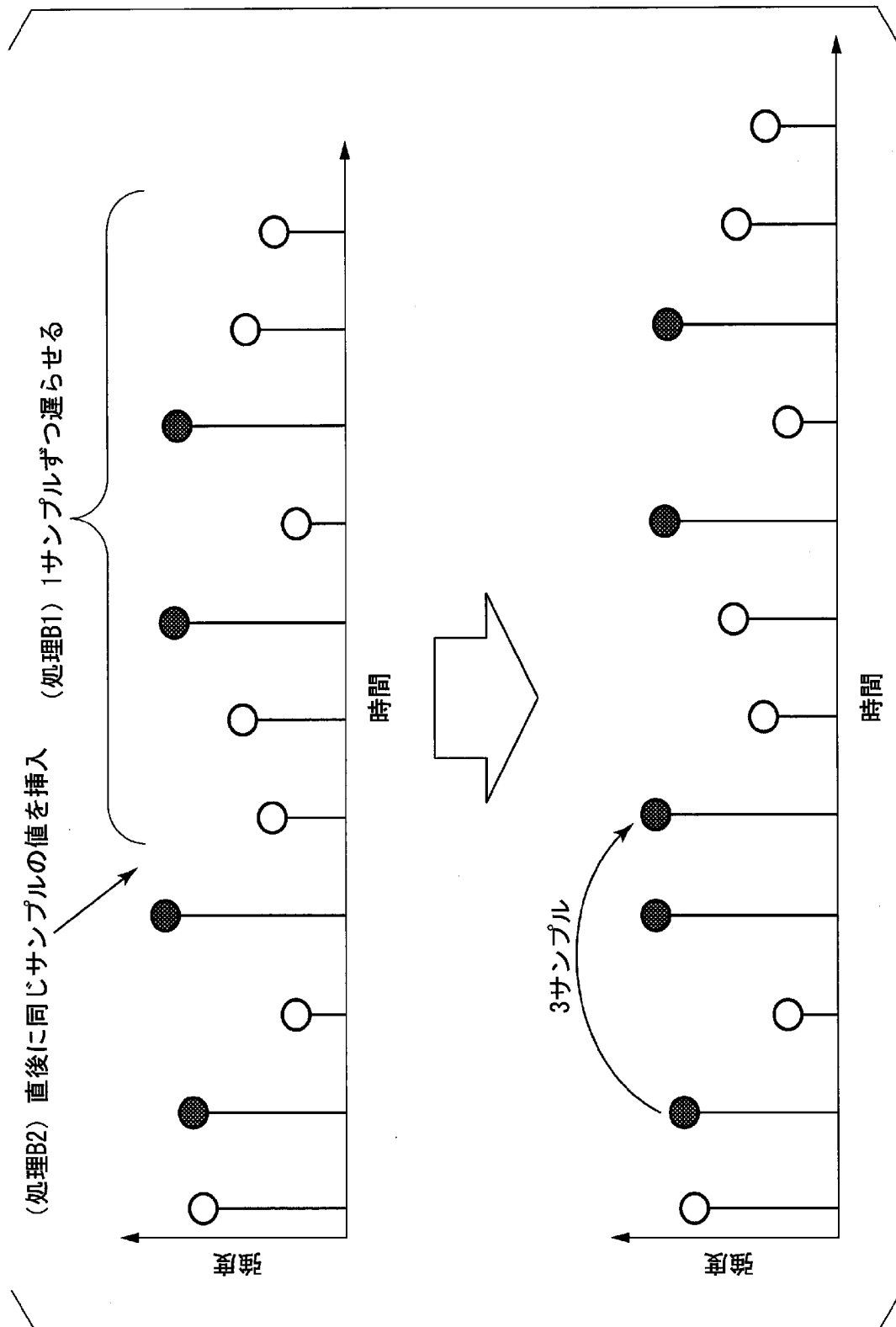
請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の信号処理装置。

[請求項5] 光信号を受信し、電気信号に変換する受光部と、
前記電気信号をオーバーサンプリングして得られた時系列のサンプルからなるサンプル信号を生成する変換部と、
請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の信号処理装置と、
を備える光受信器。

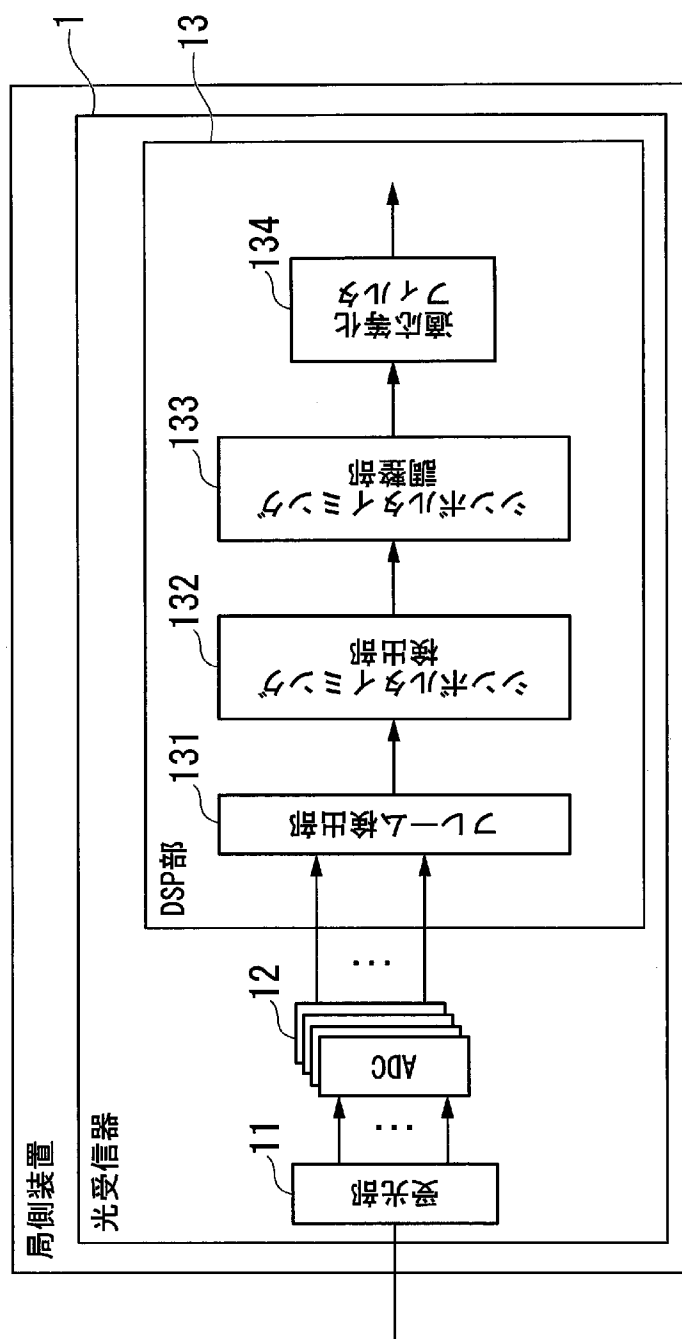
[図1]



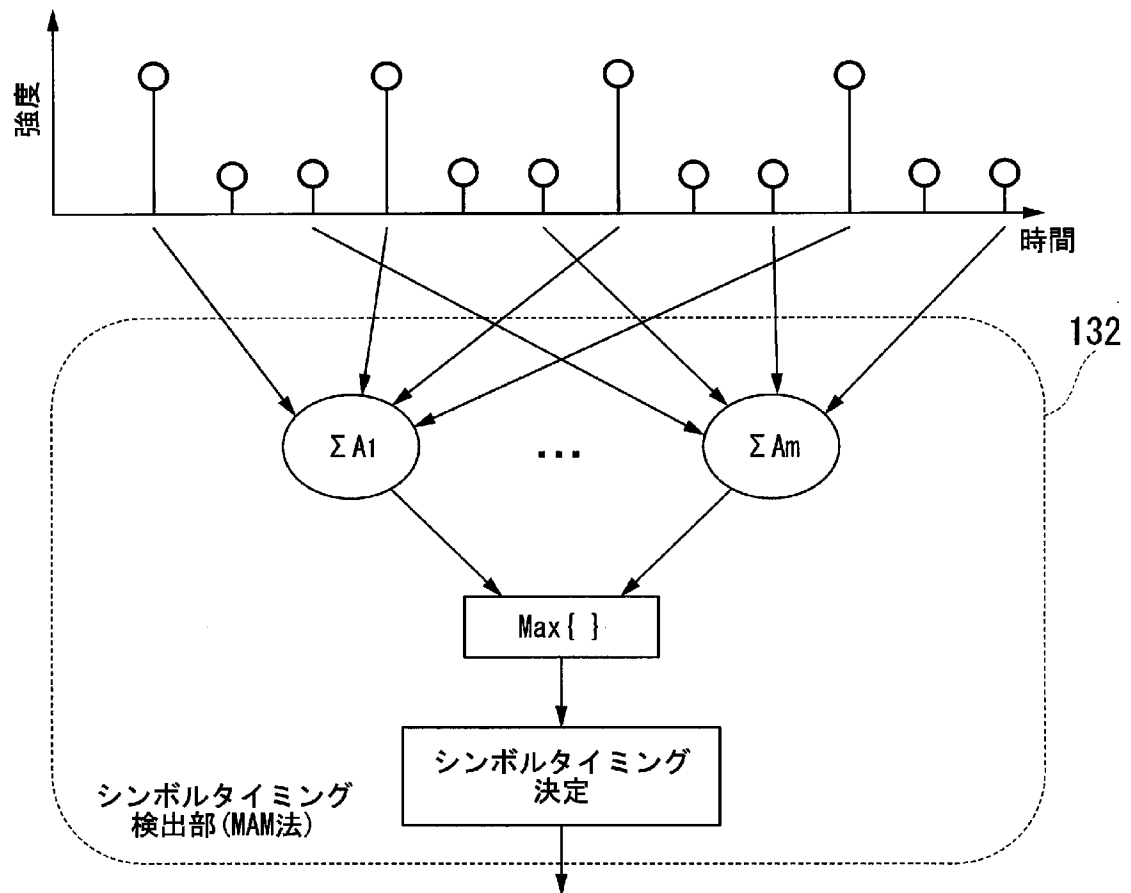
[図2]



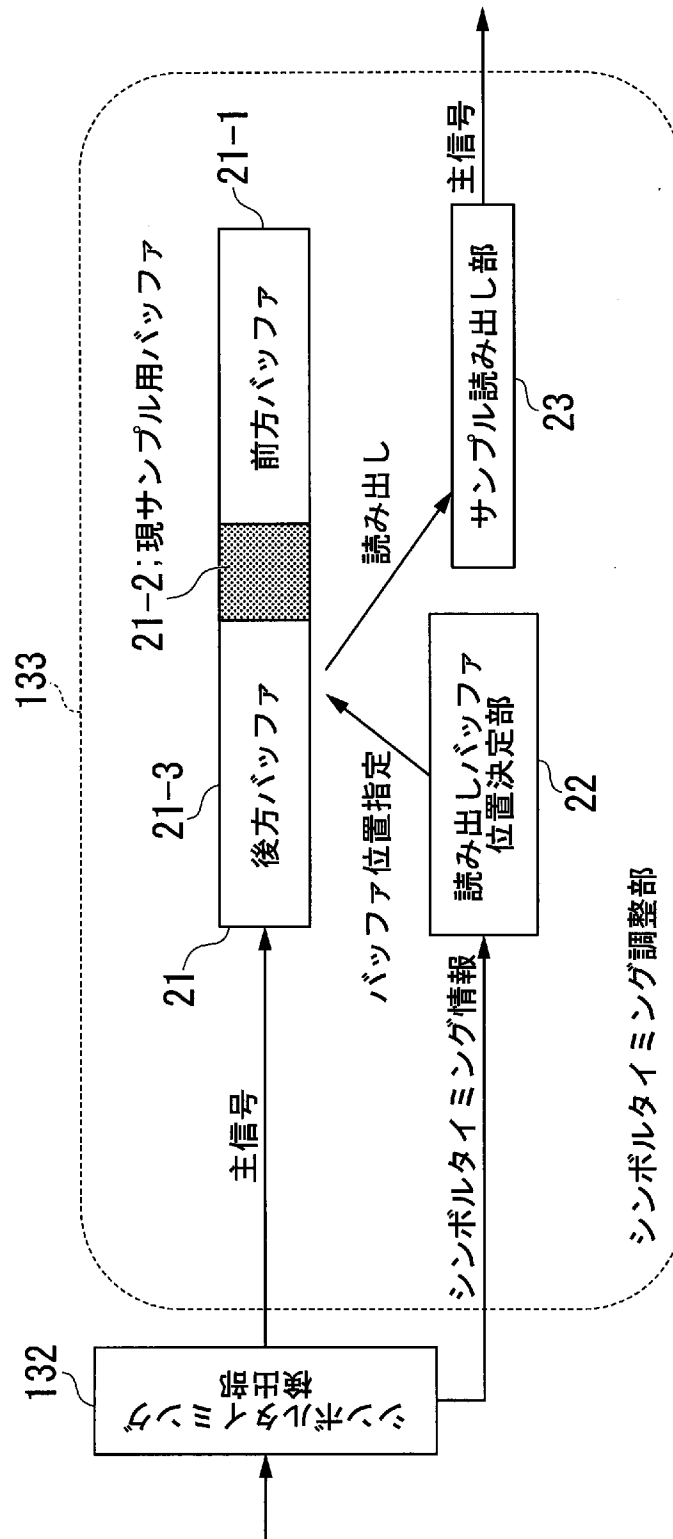
[図3]



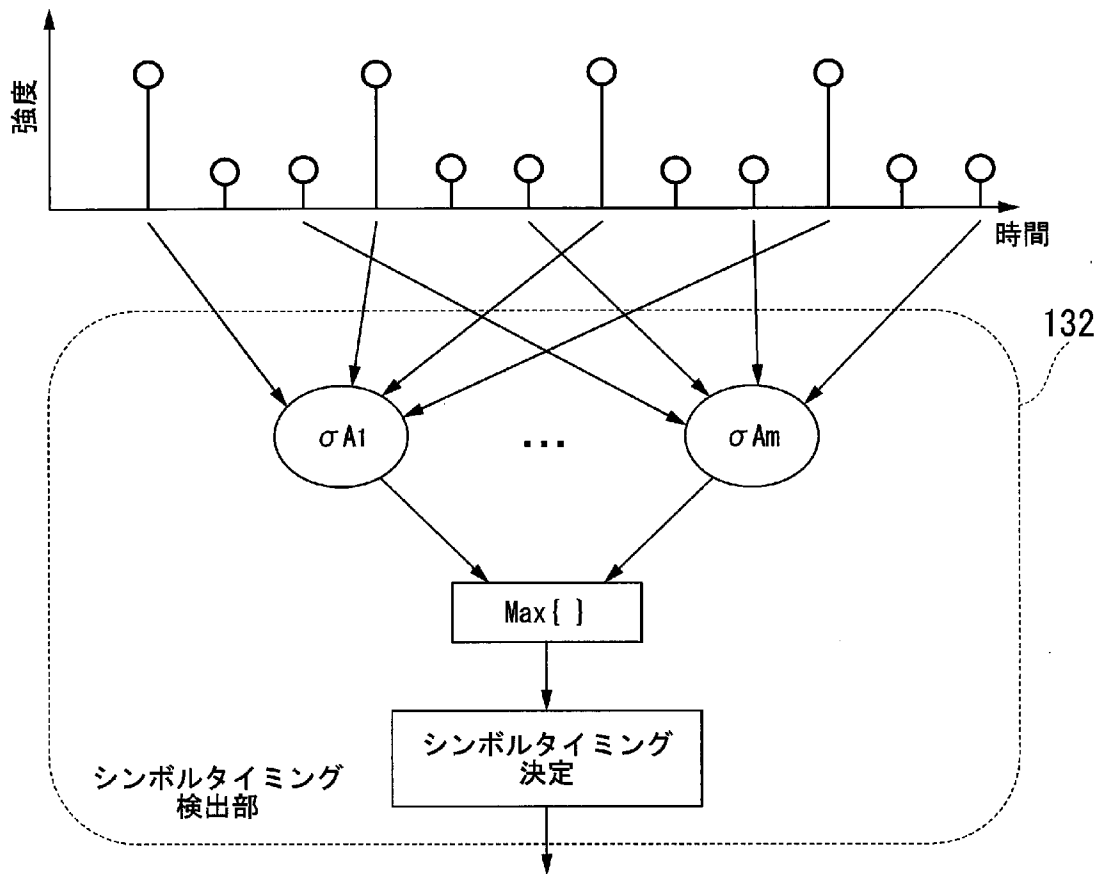
[図4]



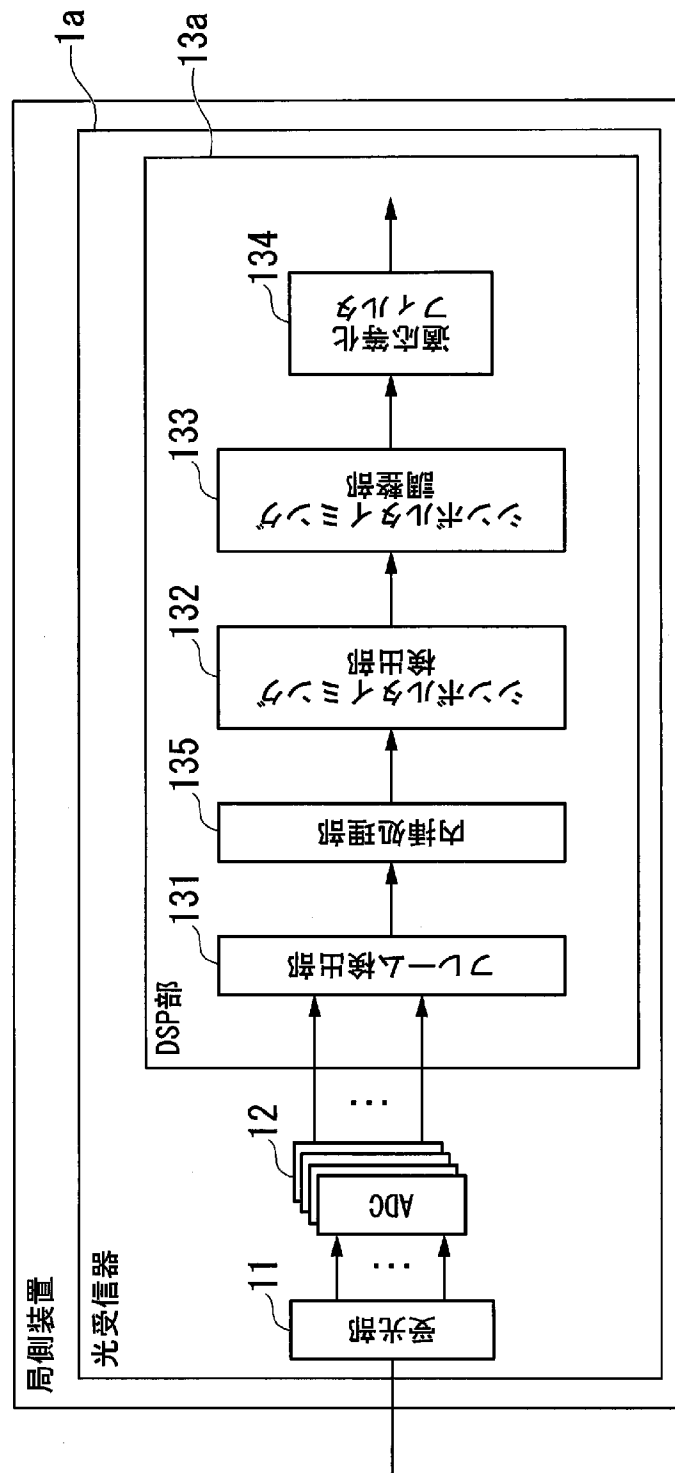
[図5]



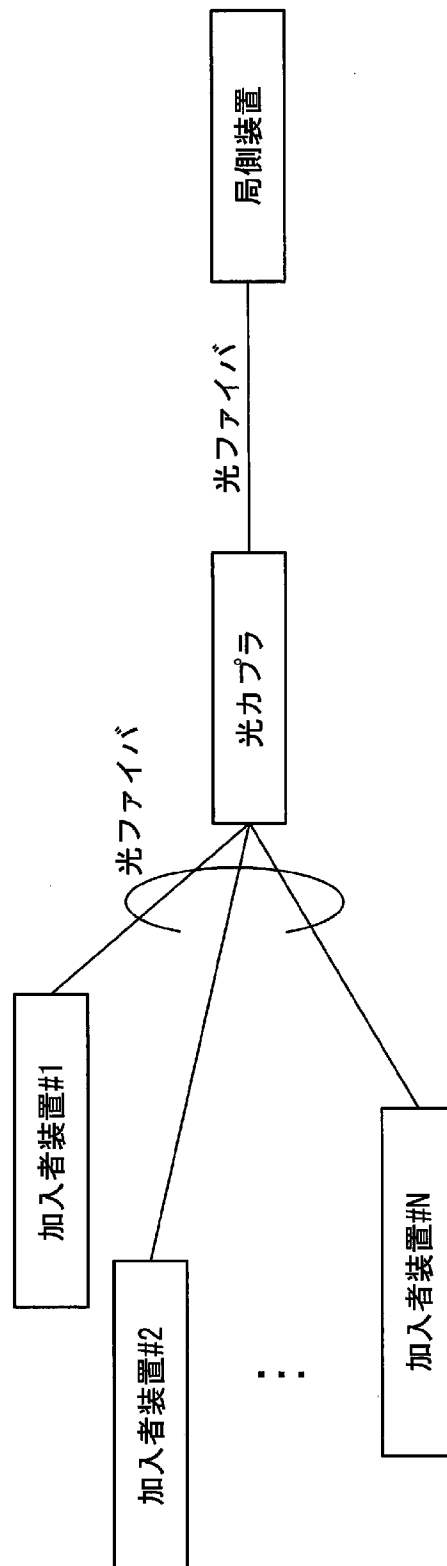
[図6]



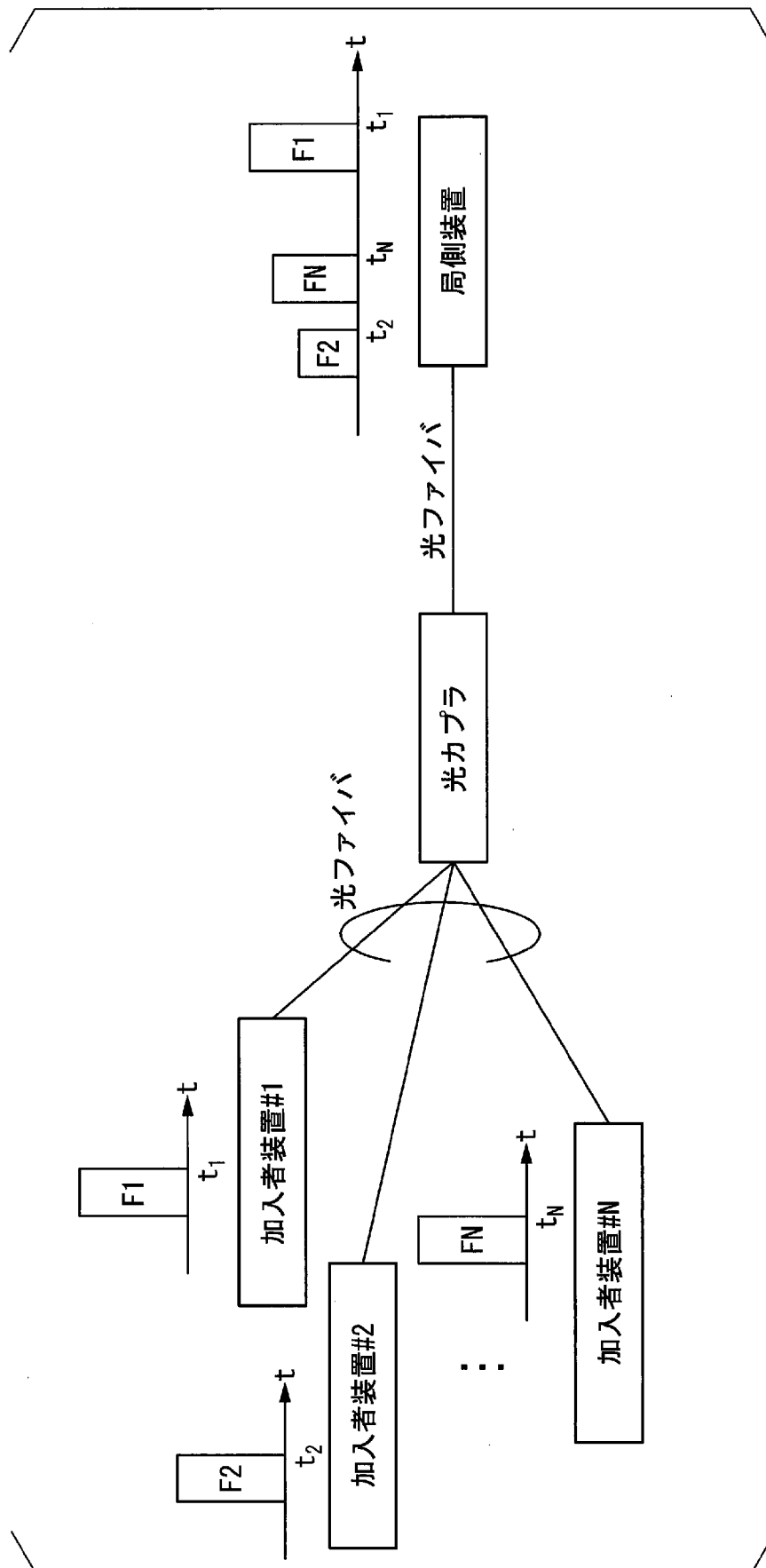
[図7]



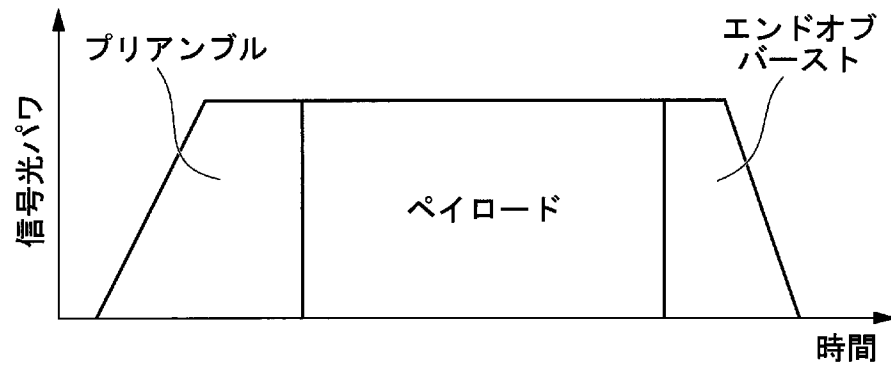
[図8]



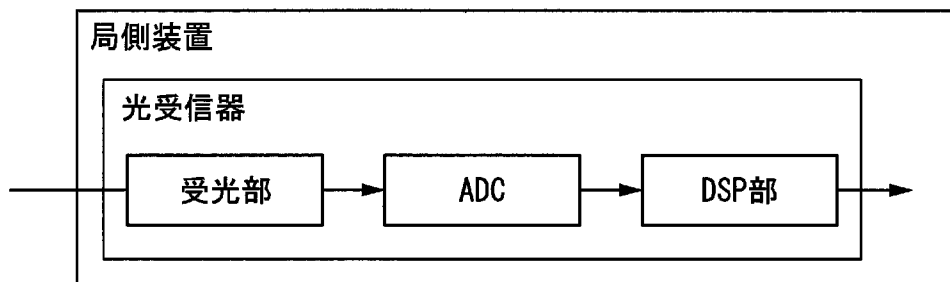
[図9]



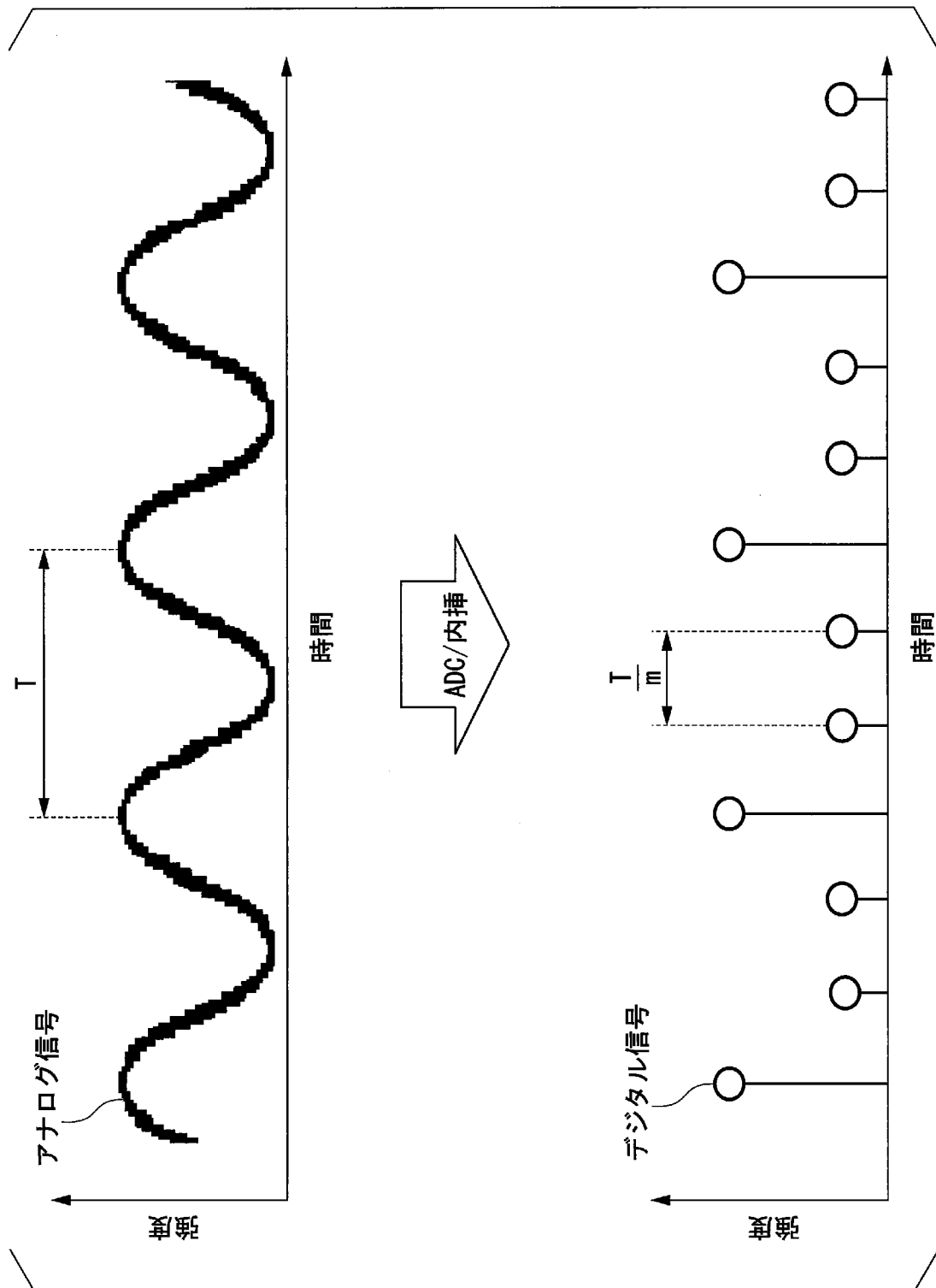
[図10]



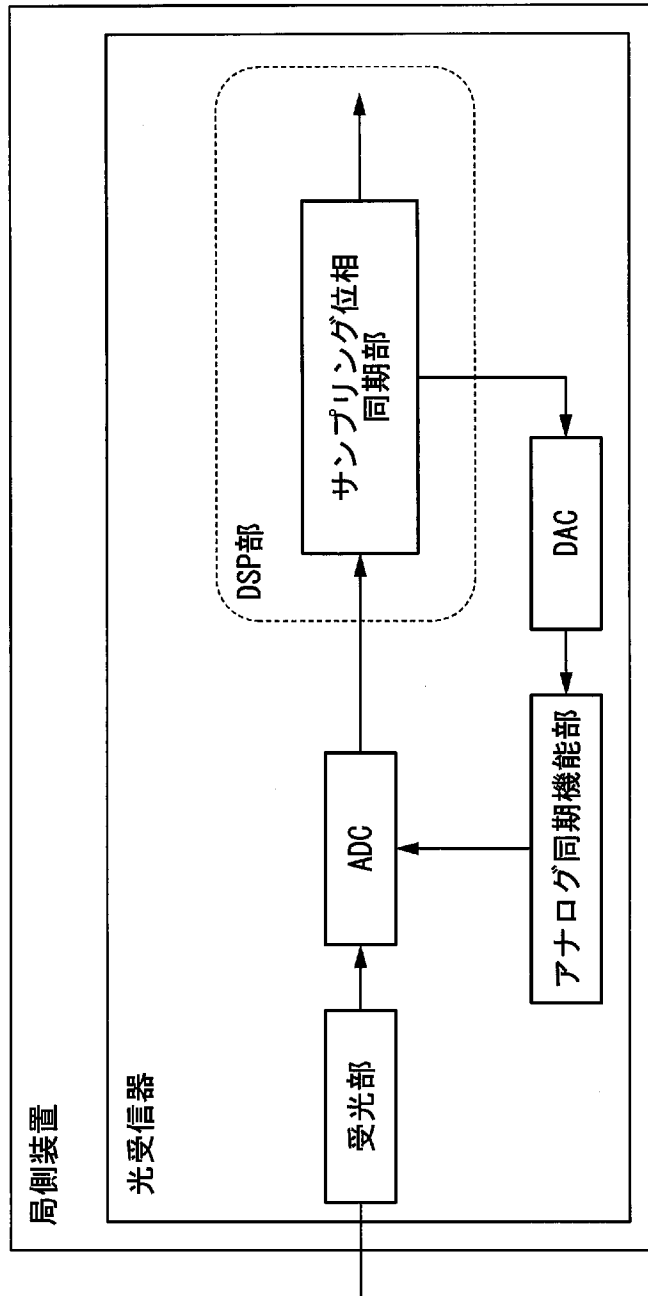
[図11]



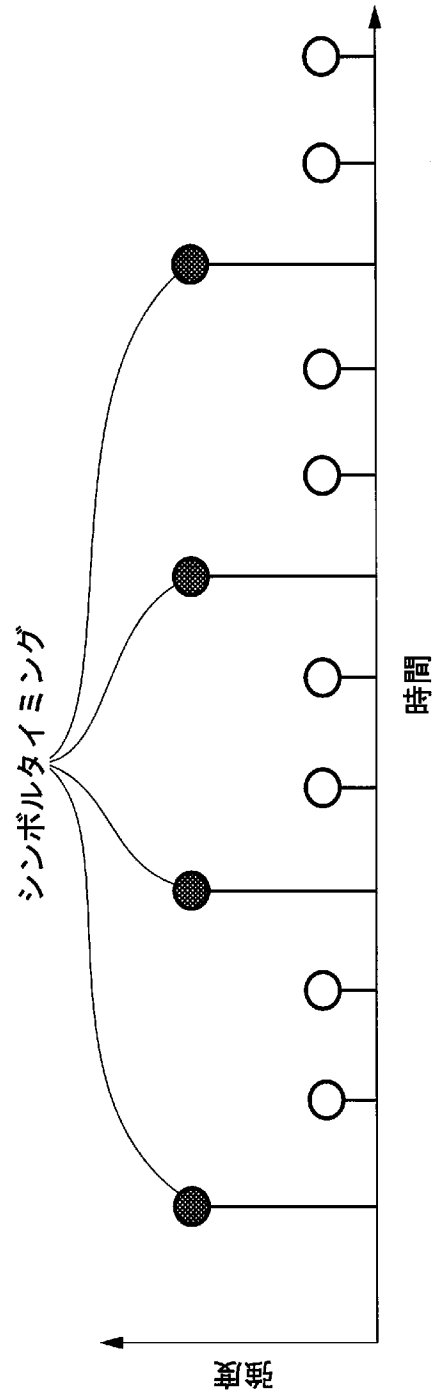
[図12]



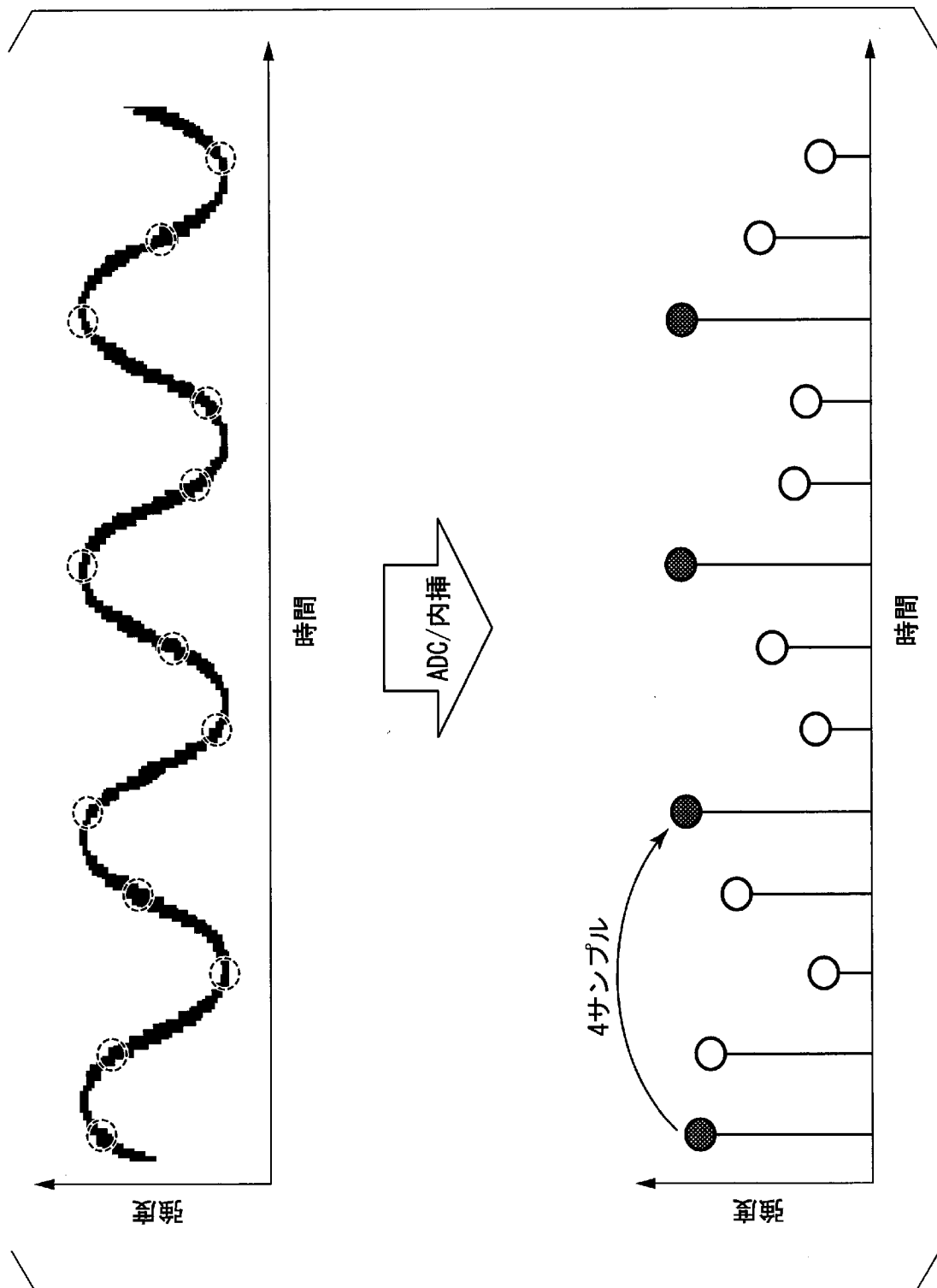
[図13]



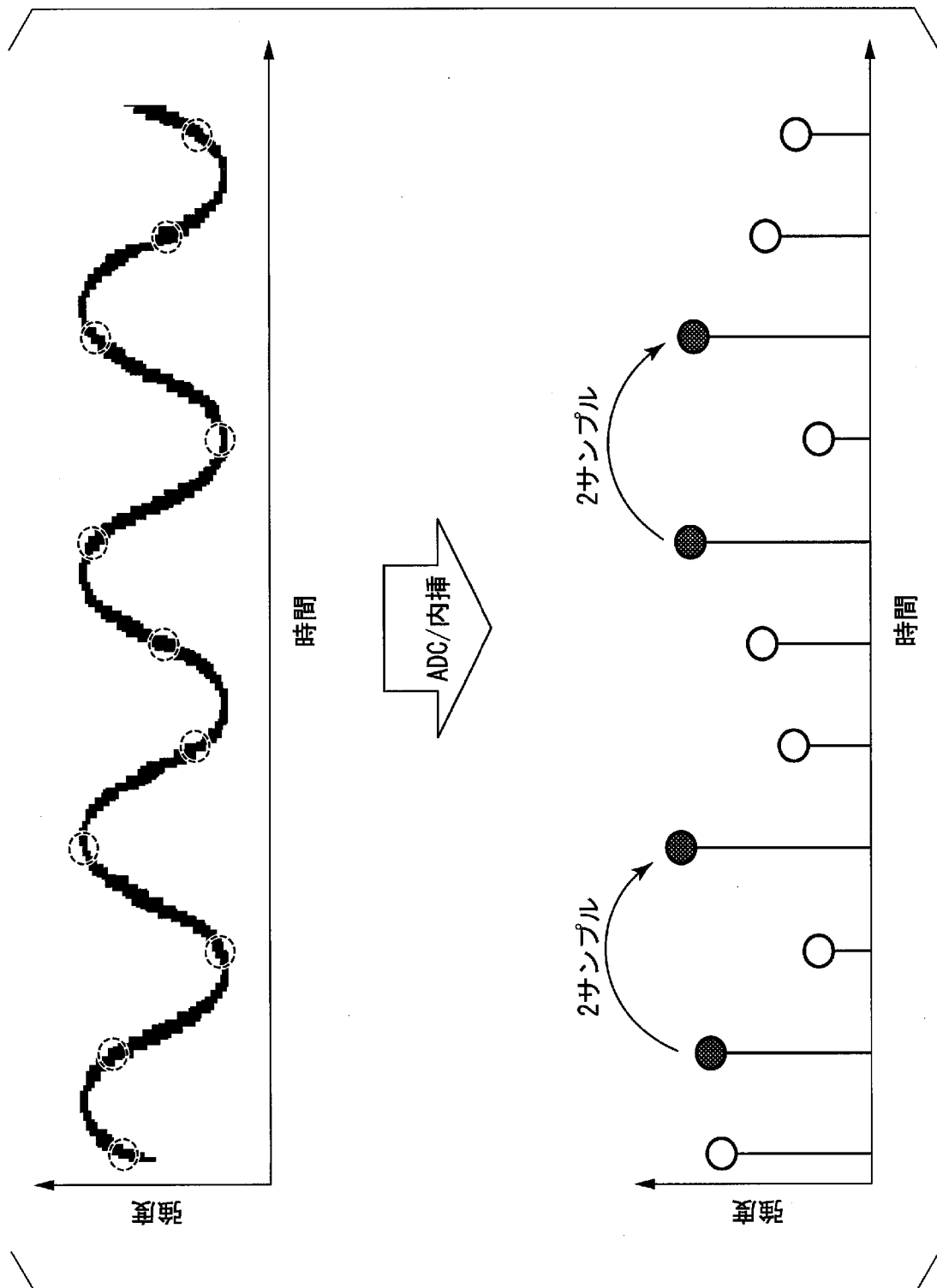
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/033532

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H04L7/00(2006.01) i, H04B10/60(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)

Int.Cl. H04L7/00, H04B10/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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.
A	JP 2015-146570 A (STICHTING IMEC NEDERLAND) 13 August 2015 & US 2015/0222419 A1 & EP 2903199 A1	1-5
A	US 2011/0008059 A1 (CHANG et al.) 13 January 2011 & KR 10-2011-0005575 A	1-5
A	US 2010/0091922 A1 (MAGRATH et al.) 15 April 2010 (Family: none)	1-5



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

"I" 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

21 October 2019 (21.10.2019)

Date of mailing of the international search report

05 November 2019 (05.11.2019)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/033532

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 2001-203768 A (HITACHI KOKUSAI ELECTRIC INC.) 27 July 2001 (Family: none)	1-5
A	WO 2011/125964 A1 (NEC CORP.) 13 October 2011 & US 2013/0022351 A1	1-5
A	JP 9-36849 A (HITACHI, LTD.) 07 February 1997 (Family: none)	1-5
A	US 2018/0167143 A1 (YAO et al.) 14 June 2018 & WO 2018/108008 A1 & KR 10-2019-0087580 A	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04L7/00(2006.01)i, H04B10/60(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（IPC））

Int.Cl. H04L7/00, H04B10/60

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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
A	JP 2015-146570 A（スティヒティング・イメック・ネーデルラント） 2015.08.13, & US 2015/0222419 A1 & EP 2903199 A1	1-5
A	US 2011/0008059 A1（CHANG et al.）2011.01.13, & KR 10-2011-0005575 A	1-5
A	US 2010/0091922 A1（MAGRATH et al.）2010.04.15,（ファミリーな し）	1-5

☒ 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

21.10.2019

国際調査報告の発送日

05.11.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

谷岡 佳彦

5 K

3463

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

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 2001-203768 A (株式会社日立国際電気) 2001.07.27, (ファミリーなし)	1-5
A	WO 2011/125964 A1 (日本電気株式会社) 2011.10.13, & US 2013/0022351 A1	1-5
A	JP 9-36849 A (株式会社日立製作所) 1997.02.07, (ファミリーなし)	1-5
A	US 2018/0167143 A1 (YAO et al.) 2018.06.14, & WO 2018/108008 A1 & KR 10-2019-0087580 A	1-5