

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4712991号
(P4712991)

(45) 発行日 平成23年6月29日(2011.6.29)

(24) 登録日 平成23年4月1日(2011.4.1)

(51) Int.Cl.	F I				
HO4B 10/02 (2006.01)	HO4B	9/00	M		
HO4B 10/18 (2006.01)	HO4B	9/00	E		
HO4J 14/00 (2006.01)	GO2F	1/01	C		
HO4J 14/02 (2006.01)	GO2F	1/365			
GO2F 1/01 (2006.01)					

請求項の数 18 (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2001-78974 (P2001-78974)	(73) 特許権者	391030332
(22) 出願日	平成13年3月19日(2001.3.19)		アルカテルルーセント
(65) 公開番号	特開2001-320330 (P2001-320330A)		フランス国、75007・パリ、アブニ
(43) 公開日	平成13年11月16日(2001.11.16)		ユ・オクターブ・グレアール、3
審査請求日	平成20年3月13日(2008.3.13)	(74) 代理人	100062007
(31) 優先権主張番号	0003518		弁理士 川口 義雄
(32) 優先日	平成12年3月20日(2000.3.20)	(74) 代理人	100105393
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		弁理士 伏見 直哉
		(74) 代理人	100114188
			弁理士 小野 誠
		(72) 発明者	オリビエ・ルクレール
			フランス国、91240・サン・ミシエル
			・シユール・オルジュ、リュ・ドウ・リエ
			・37

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 強度変調とクロストーカー効果による位相変調とによる同期光再生器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

連続光を送信信号と結合するマルチプレクサ(2)と、送信信号および連続光を変調するように構成された強度変調器(6)と、一緒に伝播された送信信号および強度変調した連続光をクロスト位相変調により位相変調するように構成された、強度変調器の出力に設けられたカーファイバ(10)とを含む、光伝送システムのための再生器。

【請求項2】

カーファイバの後段にあって、連続光をフィルタリングするフィルタ(12)を特徴とする請求項1に記載の再生器。

【請求項3】

強度変調器が、マッハ・ツェンダー変調器であることを特徴とする請求項1または2に記載の再生器。

【請求項4】

カーファイバの非線形屈折率が、 $2.7 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / \text{W}$ より大きいことを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の再生器。

【請求項5】

カーファイバーの波長分散が、送信信号の波長と連続光の波長との中央の波長に対してゼロになることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の再生器。

【請求項6】

強度変調度が1 dBよりも大きいことを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記

載の再生器。

【請求項 7】

デマルチプレクスされたチャンネルを出力で供給するデマルチプレクサ(14)と、各デマルチプレクスされたチャンネルに対して、連続光を該チャンネルの信号と結合するマルチプレクサ(16_i)、前記チャンネルの信号および連続光を変調するように構成された強度変調器(18_i)、および一緒に伝播された伝送信号および強度変調された連続光をクロス位相変調により位相変調するように構成された、強度変調器の出力に設けられたカーファイバ(20_i)と、

各チャンネルの位相変調信号を受信して多重化信号を供給するマルチプレクサ(22)とを含む、波長分割多重光伝送システムのための再生器。

10

【請求項 8】

連続光が、単一の光源(24)により供給されることを特徴とする請求項 7 に記載の再生器。

【請求項 9】

光源からの信号を増幅する増幅器(26)を特徴とする請求項 8 に記載の再生器。

【請求項 10】

強度変調器が、マッハ・ツェンダー変調器であることを特徴とする請求項 7 から 9 のいずれか一項に記載の再生器。

【請求項 11】

カーファイバの非線形屈折率が、 $2.7 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / \text{W}$ より大きいことを特徴とする請求項 7 から 10 のいずれか一項に記載の再生器。

20

【請求項 12】

チャンネルのカーファイバの波長分散が、前記チャンネルの伝送信号の波長と連続光の波長との中央の波長に対してゼロになることを特徴とする請求項 7 から 11 のいずれか一項に記載の再生器。

【請求項 13】

強度変調器における強度変調度が 1 dB よりも大きいことを特徴とする請求項 7 から 12 のいずれか一項に記載の再生器。

【請求項 14】

請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の再生器を含む光ファイバ伝送システム。

30

【請求項 15】

連続光を伝送信号と結合し、伝送信号および連続光を共に強度変調し、一緒に伝播された伝送信号および強度変調した連続光をクロス位相変調により位相変調することを含む、光再生方法。

【請求項 16】

強度変調が、1 dB より大きい変調度で行われることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

位相変調が 3° の変調度で行われることを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

40

【請求項 18】

位相変調ステップの後で、強度変調された連続光をフィルタリングするフィルタリングステップを特徴とする請求項 15 から 17 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバによる伝送システム、特に波長分割多重伝送システムに関し、より詳しくは、これらの伝送システムにおける再生に関する。

【0002】

【従来の技術】

50

光ファイバーによる波長分割多重伝送システムでは、信号の同期変調を定期的に行うことが提案されている。このような変調は、特に高ビットレートのシステムに対して、好適には光学的に行われる。再生時に様々なチャンネルを同期するために、リンクにおいて一定の間隔で同期を行う波長割り当て、遅延の付与、信号周波数の多重周波数変調など、様々な方法が提案されている。

【0003】

変調は、強度変調、位相変調、あるいは強度および位相変調とすることができる。

【0004】

F. Devaux 他による「20 Gbit/s operation of high efficiency InGaAs/InGaAsP MQW electroabsorption modulators with 1.2 V driven voltage」(IEEE Photonics Techn. Lett., 第5巻、1288 - 1290頁(1993年))は、電気吸収変調器を用いた、狭いフィルタリングによる強度変調を記載している。

10

【0005】

別の強度変調は、M. Nakazawa 他による「Experimental demonstration of soliton data transmission over unlimited distance with soliton control in time and frequency domains」(Electronics Letters) 第29巻、第9号、729 - 730頁に記載されている。この文献では、マッハ・ツェンダー型のLiNbO₃強度変調器を使用することが提案された。O. Leclerc 他による「Polarisation independant InP push-pull Mach-Zender modulator for 20 Gbit/s solitons regeneration」(Electronics Letters 第34巻、第10号、1011 - 1013頁(1998年))は、マッハ・ツェンダータイプのInP強度変調器を記載している。

20

【0006】

さらに、カーファイバで伝播される伝送信号とクロックの間では、クロストーク効果(crossed Kerr effect)による位相変調が知られている。S. Bigo および O. Leclerc による「Fundamental limits of all-optical synchronous phase regeneration through Kerr Fiber」(Proceedings d'ECOC '97、311頁、Edimburg、9月22 - 25日)は、このような技術を実施した例である。この文献によれば、カー効果による位相変調は、伝送信号と変調クロックとの間にノイズまたはスリップが存在しても有効である。O. Leclerc 他による「2 x 20 Gbit/s、3500 km regenerated WDM soliton transmission with all-optical Kerr fibre modulation」(第34巻、第2号、199 - 201頁(1998年))は、波長分割多重伝送システムにおいて、カー効果による位相変調の実行可能性を示している。

30

40

【0007】

再生器で位相変調および強度変調を行うこともまた知られている。P. Brindel 他による「“Black-box” optical regenerator for RZ transmission systems」(Electronics Letters 第35巻、第6号(1999年)、480 - 481頁)は、強度変調し、次いで位相変調する分離した変調を提案している。B. Dany 他による「Transoceanic 4 x 40 Gbit/s system combining dispersion-managed soliton transmission and new “black-box” in-line optical regeneration」(Electronics Letters、第35巻、第5号(1999年)、418 -

50

420頁)は、分散制御されたソリトン伝播を用いた4チャンネル伝送システムに同じ再生技術を適用しており、チャンネルを分離して、各チャンネルにつき1個の再生器を用いている。

【0008】

フランス特許A2759830およびフランス特許出願第9914117号(1999年11月10日出願)「波長分割多重伝送システムにおける分散ファイバによるチャンネル同期」は、強度変調し、次いで異なる変調器で位相変調することによる同期再生を提案している。

【0009】

欧州特許EP-A-0843917は、光信号の位相変調のために2個の制御入力を持つループ状の非線形光ミラーの使用を提案している。これは、2個の制御入力を備えたNOLM(非線形光ミラー)に関する。従って、2個の電極を有するマッハ・ツェンダー変調器と同等のファイバであり、強度および位相変調(変調度)とは関係しない制御を可能にする。

10

【0010】

上記の解決方法には幾つかの欠点がある。位相変調と強度変調との分離は、複雑な解決方法であるのでコストがかかる。ループ状の非線形光ミラー技術は、ノイズまたは分散波の蓄積を制御できない。すなわち、こうした共同の変調方法は、伝送システムの長さ全体を制限する。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上記の様々な欠点を解消する解決方法を提案する。本発明は、最小限度のハードウェア構成要素で動作が単純な強度変調および位相変調を実施する再生器を提案する。

20

【0012】

【課題を解決するための手段】

より詳しくは、本発明は、連続光を伝送信号と結合するマルチプレクサと、伝送信号および連続光を変調する強度変調器と、クロスト位相変調(crossed phase modulation)により伝送信号を強度変調した連続光と位相変調するカーファイバとを含む、光伝送システムのための再生器を提案する。

【0013】

実施形態では、再生器が、カーファイバの後段にあって、連続光をフィルタリングするフィルタを有する。

30

【0014】

強度変調器は、有利には、マッハ・ツェンダー変調器である。

【0015】

実施形態では、カーファイバの非線形屈折率が、 $2.7 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ より大きい。また、カーファイバの波長分散が、伝送信号の波長と連続光の波長との中央の波長に対してゼロになることが有利である。

【0016】

好適には、強度変調度が1dBよりも大きく、より好適には3dBより大きい。

40

【0017】

本発明はまた、デマルチプレクスされたチャンネルを出力で供給するデマルチプレクサと、各デマルチプレクスされたチャンネルに対して、連続光を該チャンネルの信号と結合するマルチプレクサ、前記チャンネルの信号および連続光を変調する強度変調器、およびクロスト位相変調により伝送信号を強度変調された連続光と位相変調するカーファイバと、各チャンネルの位相変調信号を受信して多重化信号を供給するマルチプレクサとを含む、波長分割多重光伝送システムのための再生器を提案する。

【0018】

実施形態では、連続光が単一の光源により供給される。この場合、光源からの信号を増幅

50

する増幅器を設けることができる。

【0019】

別の実施形態では、強度変調器がマッハ・ツェンダー変調器である。また、カーファイバの非線形屈折率が、 $2.7 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / \text{W}$ より大きいことが好ましい。

【0020】

実施形態では、チャンネルのカーファイバの波長分散が、このチャンネルの伝送信号の波長と連続光の波長との中央の波長に対してゼロになる。

【0021】

好適には、強度変調度が1 dBよりも大きく、より好適には3 dBより大きい。

【0022】

本発明はさらに、上述した再生器を含む光ファイバ伝送システムを提供する。

【0023】

本発明はまた、

連続光を伝送信号と結合し、

伝送信号および連続光を共に強度変調し、

クロスト位相変調により伝送信号を強度変調した連続光と位相変調することを含む、光再生方法を提案する。

【0024】

好適には、強度変調が、1 dBより大きい変調度で行われる。

【0025】

この方法の別の実施形態では、位相変調が3°の変調度で行われる。

【0026】

有利には、変調ステップの後に、強度変調された連続光をフィルタリングするステップを設ける。

【0027】

本発明の他の特徴および長所は、添付図面に関して例として挙げた本発明の実施形態の以下の説明を読めば、明らかになるであろう。

【0028】

【発明の実施の形態】

本発明は、信号とクロックとの間のクロストカー効果により、強度変調および位相変調を結合することを提案する。伝送信号と同期される光クロックを生成するために、本発明は、強度変調器で連続信号を強度変調することを提案する。この解決方法により、光クロックを簡単かつ正確に生成することができ、光クロックは伝送信号と共に伝播されて、カーファイバでの位相変調のために使用することができる。

【0029】

図1は、単チャンネルの実施形態における本発明による再生器の概略図である。図1の再生器は、波長 λ_s の信号の伝送方向にマルチプレクサ2を含み、マルチプレクサは、伝送信号と同じファイバに、伝送信号の波長 λ_s とは異なる波長 λ_c の連続光源4からの光を結合する。光源は、予め増幅した光源であってもよく、場合によってはパワーを強くして（「ブーストし」）、位相変調器でクロック信号の強さを増す。再生器は、その後強度変調器6を備える。強度変調器は、再生器の入力で受信した信号と、マルチプレクサにより結合された連続光とを入力で受信する。さらに、その変調入力8で変調クロックを受信し、変調クロックは、例では無線周波数クロックである。図1には、クロック回復装置を示していないが、これは、それ自体知られているタイプである。図の例において、強度変調器6は、マッハ・ツェンダーInP変調器等の、チップ上に製造される変調器である。別のタイプの変調器を使用することもできる。強度変調器の出力では、強度変調を受けた波長 λ_s の伝送信号と、強度変調器において連続光の変調により得られた波長 λ_c の光クロックとが得られる。このようにして得られたクロックは、伝送信号と完全に同期することが明らかに分かる。実際、クロックは、伝送信号と同時に強度変調される。この観点から、強度変調器は、本発明によれば、信号を変調する役割をするだけでなく、完全な同

10

20

30

40

50

期クロックを生成する役割もする。これらの二つの機能を果たすには、連続信号の波長 λ_c を変調器の通過帯域で選ぶだけでよい。一般に帯域 15 nm での変調を可能にする、特に InP タイプの強度変調器では、この制約に容易に対応することができる。強度変調器における変調度は、通常、1 ~ 20 dB である。すなわち、変調度は特に、結合されるフィルタの幅と、再生される信号の「品質」とに依存する。カー効果によってもたらされる位相変調の品質に、変調度が著しい影響を及ぼすことはない。しかしながら、変調度は、約 1 dB、さらには 3 dB の値を超えることが好ましい。

【0030】

強度変調器の出力において、再生器はカーファイバ 10 を有する。波長 λ_s の信号および波長 λ_c のクロックが、このファイバと一緒に伝播されると、クロストーク効果による信号の位相変調が行われる。カーファイバ 10 は、カー効果を促進するように、大きな非線形性を有するように選ばれる。カーファイバ 10 には特に、非線形屈折率 n_2 が、 $2.7 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ より大きいファイバを選択可能である。これは一般に DSF / SMF ファイバ、あるいはまたカルコゲニドファイバである。位相変調器では、伝送信号とクロックとの間のスリップ作用を制限することが好ましい。この観点から、ファイバの波長分散は、有利には、伝送信号の波長と、強度変調によって得られたクロックの波長との中央の波長 $(\lambda_s + \lambda_c) / 2$ に対してゼロになるように選択する。カーファイバをこのように選択すると、変調ファイバ 10 に沿って変調されるクロックおよび信号のスリップを制限することができる。

【0031】

位相変調ファイバの出力では、強度変調、次いで位相変調を受けた波長 λ_s の信号が得られる。再生器はさらに、波長 λ_c のクロック信号をフィルタリング可能なフィルタ 12 を有する。信号の波長に対する連続波長のスペクトル位置に応じて、フィルタは、バンドパスフィルタ、ハイパスフィルタまたはローパスフィルタとすることができる。強度変調を受け、続いて位相変調を受けた伝送信号だけが、フィルタの出力で得られる。

【0032】

本発明は、従来技術の装置に比べて、次のような長所がある。従来技術の強度変調に対して、本発明は、再生器の複雑性を著しく増すことなく位相変調を行うことができる。必要な追加コンポーネントは、連続光源、マルチプレクサ、カーファイバ、および連続光をフィルタリング可能なフィルタだけである。強度変調と位相変調とを分離することにより、前述のように、強度変調の際に位相変調のためのクロックを生成可能である。強度変調に位相変調を付加することにより、図 3 に関して説明するように、再生器の性能を改善できる。

【0033】

図 2 は、波長分割多重伝送の実施形態における、本発明による再生器の概略図である。図の例では、伝送システムには 4 つのチャンネルがあるものとみなす。再生器は、デマルチプレクサ 14 を含み、デマルチプレクサは、多重化信号を入力で受信して、様々なチャンネルの波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{s4}$ の信号を 4 つの出力で供給する。各チャンネルに対して、図 2 の再生器は、図 1 の再生器と同様に、連続光源投入のためのマルチプレクサ 16_i、強度変調器 18_i、およびカーファイバ 20_i を含む。カーファイバを出る信号は、マルチプレクサ 22 の入力に付与される。

【0034】

図 1 の装置の単純な多重化とは異なり、図 2 の例では、連続波長 λ_c の信号に対して単一の光源 24 を用いる。この光源の出力は増幅器 26 で増幅され、様々なマルチプレクサ 16_i に付与される。さらに、マルチプレクサ 22 が位相変調クロックをフィルタリングするので、再生器の各分枝に図 1 のフィルタ 12 のタイプのフィルタを設けることは不要である。

【0035】

強度変調器および位相変調器は、図 1 に関して説明したものと同様に実施される。特に、各チャンネルのカーファイバを選択して、このカーファイバの波長分散が、当該チャンネル

10

20

30

40

50

ルの信号の波長と、強度変調によって得られるクロックの波長との中央の波長 ($s_i + c$) / 2 に対してゼロになるようにすることができる。

【0036】

図1の場合と同様に、図2には、強度変調のためのクロック生成装置を示していない。チャンネルが同期している場合は、単一のクロックを用いてもよく、あるいは図示したように異なるクロックを用いてもよい。

【0037】

二つの実施形態では、連続光源のパワーが、位相変調で使用されるクロックに対して望まれるパワーに依存する。クロックと、カーファイバを介して伝送される信号との間では約 3° の位相差が適切である。これは、約 / 50 の変調度に対応する。シリカファイバでは、このような位相差は、ピークパワーが約 2 mW または + 3 dBm のクロックで得られる。この値により、強度変調器における損失を考慮して、連続光源のパワーを計算することができる。約 13 dB の InP マツハ - ツェンダー変調器に対する一般値では、ファイバに結合される光源のパワーは約 16 dBm である。このパワーは、場合によっては、予め増幅するか、および / またはブーストすることにより、光源を用いて有効に得られる。特に、変調器の入力および出力に円錐状ファイバ区間を設けることにより、変調器を介する損失を低減し、それによって挿入損失を低減することも可能である。このようにして、連続ポンプのパワーを 3 ~ 6 dB 減らすことができる。

【0038】

4チャンネルの構成では、同じ仮定を用いることにより、約 + 21 dBm の光源パワーが得られる。このパワーは、場合によっては増幅器に結合される半導体光源によって得ることもできる。

【0039】

非線形性が大きいカルコゲニドファイバを位相変調に対して使用すると、位相変調クロックのパワーを下げることも可能であり、従って、強度変調器に投入される連続光源のパワーを下げることもできる。それにより約 3 ~ 6 dB 少なくなる。

【0040】

図3は、本発明による再生器と、従来技術による再生器とを用いた伝送システムに対して、距離 (km) の関数として Q 値を示すグラフである。この図では、カー効果による位相変調のみで行われる再生に対して得られた Q 値を太線で示した。強度変調のみで行われる再生に対して得られた Q 値は破線で示した。また、本発明による再生器を用いて得られる Q 値は、四角の付いた連続線で示した。図3の結果を得るために、単チャンネルのソリトン信号を考慮した。伝送システムの増幅器間の距離は 45 km、再生器間の距離は 90 km であって、これは、S. Bigo および O. Leclerc による前述した文献に記載された実験と同じである。強度変調は、3 dB の変調度の変調であり、フィルタは、通過帯域 0.7 nm のフィルタである。クロックのパワーは 3 dBm に固定したので、位相変調は 5° になる。位相変調のみ、強度変調のみ、または位相および強度変調といった、考えられる各構成に対して、増幅器の出力パワーの観点から伝送システムを最適化した。

【0041】

図は、7500 km を超える距離に対して、距離と共に減少するクロストカー効果による位相変調のみの場合の Q 値を示す。強度変調の場合、Q 値は、約 15000 km の距離に対して漸近値約 2.2 に向かっている。本発明による変調は、それよりもずっと大きい約 3.5 という漸近値に到達することができる。

【0042】

ソリトン信号波長分割多重伝送システムでは、位相変調がさらに、信号のジッタを制限し、従って、隣接チャンネルのソリトン間の衝突の影響を制限するという長所をもっている。

【0043】

もちろん、本発明は、記載および図示された例および実施形態に制限されるものではなく、当業者は、多数の変形実施形態を検討することができる。また、特にチャンネル数が増

10

20

30

40

50

加する場合、様々な多重化チャンネルに対して異なる連続光源を使用してもよいことは明らかである。図3の例は、ソリトン信号に対して挙げられている。本発明はまた、他のタイプのRZ信号あるいはその他の信号にも適用される。波長分割多重伝送システムでは、同期チャンネルが、位相変調および強度変調を一緒に行うことができる。全てのチャンネルが同期されている場合には、図1の再生器を使用可能である。あるいは、複数の同期チャンネルが、図2の再生器の一つの分枝を通ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】単チャンネルの実施形態における本発明による再生器の概略図である。

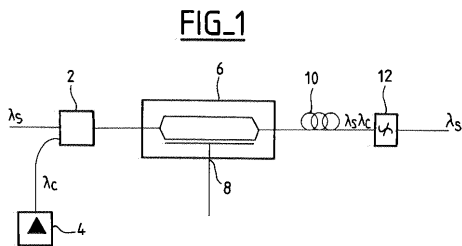
【図2】波長分割多重伝送の実施形態における、本発明による再生器の概略図である。

【図3】本発明による再生器と、従来技術による再生器とを用いた伝送システムに対して、距離の関数としてQ値を示すグラフである。

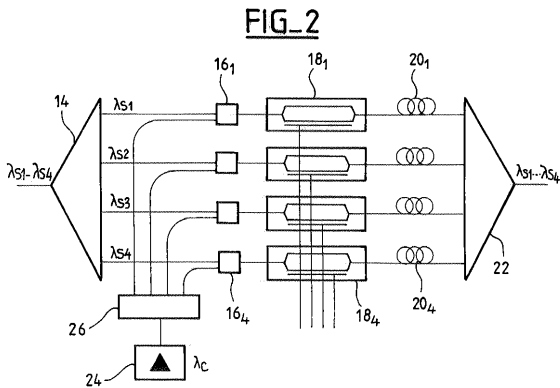
【符号の説明】

- 2、16_i、22 マルチプレクサ
- 4、24 連続光源
- 6、18_i 強度変調器
- 10、20_i カーファイバ
- 12 フィルタ
- 14 デマルチプレクサ
- 26 増幅器

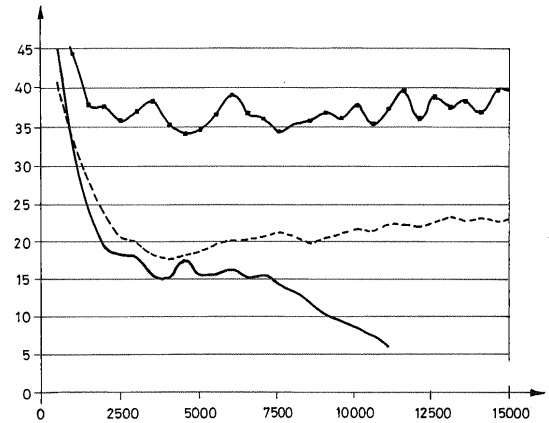
【図1】



【図2】



【図3】



FIG_3

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

G 0 2 F 1/365 (2006.01)

(72)発明者 エマニユエル・ドウシユルビール
フランス国、9 1 6 8 0・ブリユイエール・ル・シヤテル、リュ・ドウ・ラ・ピユット・オ・プリ
ウール、3 2

審査官 角田 慎治

(56)参考文献 特開平 1 1 - 0 7 2 7 5 7 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 7 6 1 3 0 (J P , A)
特開平 0 8 - 2 4 2 2 0 6 (J P , A)
特開平 0 8 - 3 0 7 3 9 1 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 1 5 1 0 3 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 0 4 9 7 0 3 (J P , A)
特開平 0 4 - 0 2 2 9 3 0 (J P , A)
特表平 1 0 - 5 0 8 1 1 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H04B 10/00-10/28

H04J 14/00-14/08

G02F 1/01

G02F 1/365