

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

H04B 10/18

H04B 10/02



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03138571.0

[43] 公开日 2004年1月14日

[11] 公开号 CN1467935A

[22] 申请日 2003.5.30 [21] 申请号 03138571.0

[30] 优先权

[32] 2002.5.31 [33] JP [31] 159062/2002

[71] 申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川县川崎市

[72] 发明人 高原智夫 大井宽己 石川丈二

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

司

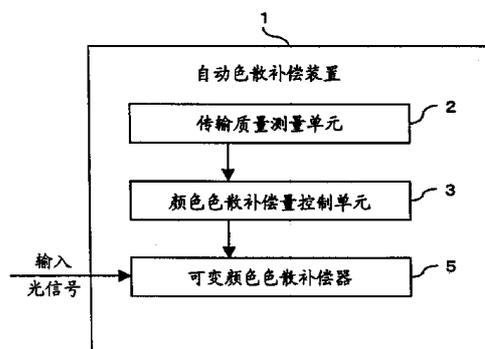
代理人 李辉

权利要求书3页 说明书25页 附图54页

[54] 发明名称 自动色散补偿装置和补偿方法

[57] 摘要

自动色散补偿装置和补偿方法。本发明的自动色散补偿装置包括：测量单元，用于对从传输线路输入的一个或多个信道的入局光信号的传输质量进行测量；以及分离和检测单元，用于根据测量单元的测量结果，对颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由其他因素引起的劣化分离，并对可变颜色色散补偿器(VDC)进行控制，以补偿该劣化。



ISSN 1008-4274

1. 一种具有可变颜色色散补偿器的自动色散补偿装置，用于通过传输线路从用于发送多个信道的光信号的光发射机输入的入局光信号，
- 5 该自动色散补偿装置包括：
- 传输质量测量单元，用于对多个信道中的各信道的入局光信号的传输质量进行测量；以及
- 颜色色散补偿量控制单元，用于根据传输质量测量单元的测量结果，对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由其他因素引起的劣化分离，并对可变颜色色散补偿器进行
- 10 控制，以补偿该劣化。
2. 根据权利要求 1 所述的自动色散补偿装置，该装置还包括：
- 残留颜色色散量增加/减少单元，用于针对作为可变颜色色散补偿器进行补偿的结果而获得的任何残留颜色色散量，根据光信号波长，增加/
- 15 减少信道间的色散补偿量的差；以及
- 颜色色散量增加/减少判定单元，用于在信道间，把由可变颜色色散补偿器和残留颜色色散量增加/减少单元进行补偿后的传输质量的测量结果进行比较，并判定传输线路中的颜色色散量是否增加或减少。
3. 根据权利要求 2 所述的自动色散补偿装置，其中，
- 20 上述残留颜色色散量增加/减少单元根据依赖于波长的信道编号的增加，在整个信道范围内，采用斜度形式来改变信道间的色散量的差。
4. 根据权利要求 2 所述的自动色散补偿装置，其中，
- 上述残留颜色色散量增加/减少单元根据依赖于波长的信道编号的增加，在整个信道范围内，采用阶梯形式来改变信道间的色散量的差。
- 25 5. 根据权利要求 2 所述的自动色散补偿装置，其中，
- 上述残留颜色色散量增加/减少单元根据依赖于波长的信道编号的增加，在信道范围的特定部分内，采用斜度形式来改变信道间的色散量的差。
6. 根据权利要求 2 所述的自动色散补偿装置，其中，

上述残留颜色色散量增加/减少单元根据依赖于波长的信道编号的增加，在信道范围的特定部分内，采用阶梯形式来改变信道间的色散量的差。

7. 根据权利要求1所述的自动色散补偿装置，该装置还包括：

5 接收机状态检测单元，用于对接收通过传输线路发送的光信号的接收机的各单元的状态进行检测，其中，

上述颜色色散补偿量控制单元根据接收机状态检测单元的检测结果和上述传输质量测量单元的测量结果，停止对可变颜色色散补偿器进行控制。

10 8. 根据权利要求1所述的自动色散补偿装置，除了可变颜色色散补偿器以外，该装置还包括：

偏振模式色散补偿器，其与从传输线路输入的一个或多个信道中的各信道的信号对应；以及

15 偏振模式色散监视器，其对由偏振模式色散补偿器进行补偿后的偏振模式色散量进行检测，其中，

上述颜色色散补偿量控制单元根据偏振模式色散监视器的检测结果和上述传输质量测量单元的随时间的变化趋势，对可变颜色色散补偿器和偏振模式色散补偿器进行控制。

20 9. 一种自动色散补偿方法，用于对通过传输线路从用于发送多个信道的光信号的光发射机输入的入局光信号的可变颜色色散进行补偿，该方法包括：

对多个信道中的各信道的入局光信号的传输质量进行测量；

25 根据传输质量测量单元的测量结果，对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由其他因素引起的劣化分离；以及

对可变颜色色散补偿进行控制，以补偿该劣化。

10. 一种计算机可读存储介质，在其上记录有一种程序，该程序可使计算机能够对通过传输线路从用于发送多个信道的光信号的光发射机输入的入局光信号的可变颜色色散进行补偿；该程序包括：

- 从多个信道中的各信道的入局光信号接收传输质量测量结果；
- 根据传输质量的测量结果，对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由其他因素引起的劣化分离；
- 对可变颜色色散补偿进行控制，以补偿该劣化。
- 5        11. 一种具有可变颜色色散补偿器的自动色散补偿装置，用于通过传输线路从用于发送多个信道的光信号的光发射机输入的入局光信号，该自动色散补偿装置包括：
- 传输质量测量装置，用于对多个信道中的各信道的入局光信号的传输质量进行测量；以及
- 10        颜色色散补偿量控制装置，用于根据传输质量测量装置的测量结果，对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由其他因素引起的劣化分离，并对可变颜色色散补偿器进行控制，以补偿该劣化。

## 自动色散补偿装置和补偿方法

### 5 技术领域

本发明涉及一种光通信系统，具体涉及一种颜色色散补偿技术，作为一种用于实现不断进展的大容量、高速度和长距离的光通信系统的必不可少10 的技术。具体地说，本发明涉及一种用于对传输线路中的颜色色散(chromatic dispersion)和偏振模式色散(polarization-mode dispersion)进行最佳补偿的自动色散补偿装置和补偿方法。

### 背景技术

最近，尽管网络容量迅速增加，然而对进一步扩大网络容量的需求也随之增长。尽管目前，基于每信道 10Gb/s 传输速率的波分复用(WDM)15 光通信方法已投入实际使用，然而今后需要的容量要大得多。在此情况下，从设备成本和大小的观点来看，期待提高频率使用效率，并实现一种每信道传输速率等于或大于 40Gb/s 的超高速光通信系统。

然而，由于在这种超高速光通信系统中，对传输质量的影响，即：由颜色色散和偏振模式色散引起的传输波形劣化增大，从而限制光信号的传输距离，这成为问题。为此，针对颜色色散和偏振模式色散需要一20 种高精度补偿方法，以实现这种超高速光通信系统。以下对颜色色散和偏振模式色散进行说明。

#### (1) 颜色色散

在传输速率大于 10Gb/s 的光通信系统中，颜色色散容限(tolerance)25 非常小。例如，40Gb/s 不归零(NRZ)系统的颜色色散容限等于或小于 100ps/nm(皮秒/nm)。

一般，光通信系统的中继器间隔不是恒定的。为此，例如，当中继器相隔仅数公里时，如果使用颜色色散值为 17ps/nm/km 的 1.3 $\mu$ m 零色散单模光纤(SMF)，则颜色色散与其容限阈值有偏差。

另一方面，由于中继器间的距离以及通信公司拥有的光纤传输线路的颜色色散值都未能准确掌握，因而经常难以使用一种采用色散补偿光纤(DCF)等的固定颜色色散补偿方法来实现高精度颜色色散补偿。

并且，由于颜色色散值根据光纤温度、应力等随时间而变化，因而  
5 不仅在系统操作开始时，而且在系统操作期间都必须通过严格测量颜色色散来最佳调整每跨距的颜色色散量。例如，如果光纤类型、传输线路长度和温度波动分别为 DSF、500km 和 100°C，则以下等式成立。

$$\begin{aligned} & [\text{波长色散量}] = [\text{零色散波长的温度依赖性}] \times [\text{传输线路的温度变化量}] \times [\text{传输线路的色散斜度(色散斜度是颜色色散的颜色依赖性)}] \times \\ 10 & [\text{传输距离}] \\ & = 0.03\text{nm}/^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C} \times 0.07\text{ps}/\text{nm}^2/\text{k} \times 500\text{km} \\ & = 105\text{ps}/\text{nm} \end{aligned}$$

该值几乎等于 40Gb/s NRZ 信号的颜色色散容限阈值。因此，一种总是对传输线路中的颜色色散值进行监视并对波长补偿量进行最佳控制的  
15 自动波长补偿系统不仅在 SMF 传输线路中，而且在传输线路使用 1.55 $\mu\text{m}$  零色散偏移光纤(DSF)或 NZ(非零)-DSF 的系统中都是必不可少的。

## (2) 偏振模式色散

以下对偏振模式色散(PMD)进行说明。

PMD 是由光信号的偏振成分(两种模式光，例如，TE 模式光和 TM 模  
20 式光)的各自不同传播延迟时间引起的色散，并且它可在所有类型的光纤中发生。

一般，光信号量越大或者光信号的传输距离越长，偏振模式色散的影响就越大，这不可忽视。一般认为，构成主要在日本以外的国家铺设的老式光传输线路的光纤具有每单位长度超过 1ps/km<sup>1/2</sup>(皮秒/km<sup>1/2</sup>：1皮  
25 是 10<sup>-12</sup>)的大 PMD 值。即使当使用这种光纤进行短距离传输(例如，50km 传输)时，40Gb/s NRZ 信号的 25ps 的一个时隙的光延迟差( $\Delta\tau$ )等于或大于 7ps。因此，与上述颜色色散的情况一样，偏振模式色散的影响也不可忽视。实际上，由于诸如光放大器、颜色色散补偿器等那样的产生偏振模式色散的部件必须安装在光通信系统的传输线路中，因而存在一种可

能性是光信号的传输距离将进一步受到限制。并且，由于偏振模式色散根据施加在光纤上的应力或温度变化随时间而改变，因而不仅在系统构成时，而且在操作期间都必须对偏振模式色散的状态进行监视和动态补偿。

5 如上所述，颜色色散和偏振模式色散是限制光通信系统性能的主要因素。为了提高光通信系统的性能，必须提供一种对颜色色散和偏振模式色散进行单独动态补偿的自动色散补偿系统。

以下是实现这种自动色散补偿器所需的三种要素技术：

- (a) 可变颜色色散补偿器的实现
- 10 (b) 传输线路中的颜色色散监视的实现
- (c) 可变颜色色散补偿器的反馈最佳控制方法的实现  
(然而，以下对(c)不作说明。)

对于(a)的颜色色散补偿器，例如，提出了以下各项：

- (1) VIPA(虚成像相控阵)
- 15 “40Gbit/s WDM 传输系统用的使用虚成像相控阵(VIPA)的可变色散补偿器(Variable Dispersion Compensator Using the Virtually Imaged Phased Array (VIPA) for a 40Gbit/s WDM Transmission System)”，ECOC 2000，截止期限之后的论文 2，2.3。

(2) 可调环形谐振器

- 20 “在高折射率对比度技术中实现的可调环形谐振器色散补偿器(Tunable Ring Resonator Dispersion Compensators realized in High Refractive-index Contrast Technology)”，ECOC 2000，截止期限之后的论文 2，2.2。

(3) FBG(光纤布拉格光栅)

- 25 “用于40Gbit/s的双光纤光栅可调色散补偿器(Twin Fiber Grating Adjustable Dispersion Compensator for 40Gbit/s)”，ECOC 2000，截止期限之后的论文 2，2.4。

对于偏振模式色散补偿器，例如，提出了以下各项：

- (1) 一种方法，用于通过为光信号发送终端设置偏振控制器(PC)并

从接收终端反馈传输特性来控制 PC，使得两个偏振模式的光强度分歧比 (divergence ratio)  $\gamma$  为 0 或 1。

“偏振色散的光均衡 (Optical Equalization of Polarization Dispersion)”，SPIE Vol. 1, 1787, 多吉比特光纤通信(1992), pp. 346-357。

5 (2) 一种方法，用于通过为光信号接收终端设置偏振控制器和偏振保持光纤 (PMF) 并控制偏振控制器，使用与光传输线路的符号相反的符号产生两个偏振模式间的延迟差。

“线内放大器系统中随时间的波动偏振模式色散的自动补偿技术 (Automatic Compensation Technique for Timewise Fluctuating Polarization Mode Dispersion in In-line Amplifier systems)”，  
10 Electro, Lett., Vol. 30, No. 4, 994, pp. 348-349。

(3) 一种方法，用于通过设置偏振控制器和偏振光束分裂器 (PBS) 对偏振控制器和可变延迟元件进行控制，其中，两个光接收机各自接收由该偏振光束分裂器分裂的两个光信号成分中的一个，并且可变延迟元  
15 件使从这些光接收机获得两个电信号之间产生延迟差。

“用于对光传输系统中的偏振模式色散影响进行抑制的偏振控制方法 (Polarization Control Method for Suppressing Polarization Mode Dispersion Influence in Optical Transmission Systems)”，J. of Lightwave Technol., Vol. 12, No. 5 (1994), pp. 891-898。

20 以下还提出了几种用于在传输线路 (b) 中进行对反馈控制必不可少的颜色色散监视的方法。

首先，作为一种测量颜色色散值的方法，常规上已提出了一种用于把分别具有不同波长的多个光线输入到光纤的脉冲方法，以及一种用于对输出光线间的群延迟或者相位差进行测量的方法。然而，为了总是能在系统操作期间测量颜色色散而又不会发生通信质量劣化，(1) 需要一组  
25 颜色色散测量仪器用于各中继段，以及 (2) 必须将波长与数据信号波长不同的测量光进行波长复用，这两点成为问题。从经济效率和装置大小的观点来看，实现这些措施是不切实际的。

作为这种用于解决这些问题的颜色色散监视器的例子，提出了几种

方法。以下对这种颜色色散监视器的例子进行说明。

(1) 对特定频率成分强度因波形失真而变化的性质加以利用，使用入局基带信号中的特定频率成分强度的方法。(“通过多个信号波长之间无缝隙切换的 40Gbit/s 传输的自动色散均衡(Automatic Dispersion Equalization in 40 Gbit/s Transmission by Seamless-switching between Multiple Signal Wavelengths)”，ECOC’ 99, pp. I-150-151)

(2) 一种使用差错率的方法

一种方法，用于使用接收机对差错率进行监视，并对颜色色散补偿器进行反馈控制，使得差错率得到优化(“设有用于对由温度引起的色散波动进行补偿的自动色散补偿模块的光纤通信系统”，第 2001-77756 号日本公开专利公报(P2001-77756A)，以及“自动均衡系统”，第 9-326755 号日本公开专利公报)

作为一种用于对偏振模式色散进行测量的方法，提出了以下各项：

(1) 已调制相移法

(2) 琼斯矩阵本征分析(Jones Matrix Eigen Analysis)法

(3) 波英卡里球分析(Poincare’ Sphere Analysis)法

(4) 干涉量度法

作为用于显示(表示)偏振状态的方法，提出了以下各项(“偏振状态显示和测量方法(Method for Displaying and Measuring Polarization State)”，Optronics(1997)，No. 5, pp. 109-117)：

(1) 波英卡里球

(2) 琼斯矢量

(3) 斯托克斯(Stokes)矢量

作为一例，在第 9-72827 号日本公开专利公报中揭示了一种用于使用琼斯矢量来测量偏振模式色散的方法和装置。而且还提出了一种偏振色散监视器，用于对入局信号中的特定频率成分进行监视，尽管把该偏振色散监视器应用于存在颜色色散的环境中是困难的。

任何实用的颜色色散监视器都直接或间接地使用由色散引起的波形失真。在此情况下，如果同时存在颜色色散和偏振模式色散，则不能对

由这两种形式的色散引起的波形失真进行区别。因此，难以实现同时对颜色色散和偏振模式色散进行补偿的自动色散补偿器。

并且，如果使用已经提出的表示诸如差错率等那样的传输质量的参数而不使用颜色色散监视器，则难以把由颜色色散引起的传输质量劣化与由除此以外的因素引起的传输质量劣化分离。因此，在此情况下，不把引起传输质量劣化的因素分离，并如同颜色色散补偿器能补偿由所有因素引起的传输质量劣化一样进行控制。然而，由于存在传输质量劣化的各种因素，因而仅具有一个颜色色散补偿器意味着它不能总是对所有传输质量劣化进行补偿。因此，不能保证总是能进行最佳控制，并且有时将没有控制。

如果这样在不把传输质量劣化的因素分离的情况下操作颜色色散补偿器，则不能保证最佳控制，并且有时没有控制。以下将参照图 1 至图 3，对该情况进行说明。

图 1 示出了用于对这些问题进行说明的常规光通信系统的总体构成。在图 1 中，复用器 101 针对从信道 1 (196THz) 到信道 40 (192.1THz) 的各信道 (信道间隔为 100GHz)，将发射机 TX100 的输出复用，并将其通过例如 90km 的传输线路发送到接收机。假定传输线路中的色散针对信道 1 为 5.0ps/nm/km，并且色散斜度为 0.06ps/nm<sup>2</sup>/km。

在接收机侧，解复用器 103 将各信道的信号解复用，并且可变颜色色散补偿器 (VDC) 104 对各信道中的信号的颜色色散进行补偿。然后，VDC104 把这些信号发送到接收机 RX105。然后，监视器/控制器 106 对接收结果的传输质量进行监视，并对 VDC104 进行控制。在以下说明中，为了方便起见，忽略光纤的非线性效果，并使用发生差错数作为监视器/控制器 106 的监视量。

图 2 示出了当对接收机的判定阈值和判定相位进行优化时获得的每秒平均差错数和残留颜色色散量之间的关系。如果由颜色色散引起的差错惩罚 (penalties) 允许数为 1，则色散容限约为 98ps/nm。

以下对接收机判定阈值偏差是除颜色色散以外引起传输质量劣化的一个因素的情况加以考虑。图 3 示出了在存在差错允许数等于 1 的差错

的判定阈值中的差错数和残留颜色色散量之间的关系。

与图 2 相比,在图 3 中,没有控制,并且难以检测最佳颜色色散值。也就是说,在此情况下,仅对色散补偿器进行控制不能实现与差错允许数匹配的传输。

- 5 如果存在由除颜色色散以外的因素引起的传输质量劣化,则实际上无需操作颜色色散补偿器。因此,为了使用传输质量监视器来控制颜色色散补偿器,必须使引起传输质量劣化的因素分离,这成为问题。

### 发明内容

- 10 本发明的目的是提供一种自动色散补偿装置和补偿方法,以便解决与传输相关的问题,该自动色散补偿装置通过使用传输质量监视器而不是颜色色散监视器把引起传输质量劣化的因素分离来补偿传输质量劣化。

- 15 本发明是一种适用于通过传输线路从用于从多个信道发送光信号的光发射机输入的光信号的具有可变颜色色散补偿器的自动色散补偿装置。该自动色散补偿装置包括:传输质量测量单元,用于对多个信道中的各信道的光入局信号的传输质量进行测量;以及颜色色散补偿量控制单元,用于根据传输质量测量单元的测量结果,对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测,并把该传输质量劣化与由其他因素  
20 引起的劣化分离,并对可变颜色色散补偿器进行控制,以补偿该劣化。

根据本发明,可对传输线路中的颜色色散进行最佳控制,以便使用通用传输质量监视器而不是专用色散监视器来影响通信质量,因而可改善系统性能。

- 25 附图说明

图 1 示出了常规光通信系统的总体构成;

图 2 示出了当对判定阈值等进行优化时获得的图 1 所示的系统的传输特性;

图 3 示出了在没有控制的情况下的图 1 所示的系统的状态;

- 图 4 示出了根据本发明的自动色散补偿装置的基本构成；
- 图 5 示出了根据本发明的颜色色散补偿方法；
- 图 6 示出了 SONET/SDH 系统中的传输质量监视方法；
- 图 7 示出了使用纠错码的传输质量监视方法；
- 5 图 8 示出了第一优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 1)；
- 图 9 示出了第一优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 2)；
- 图 10 示出了第一优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 3)；
- 图 11 示出了第一优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 4)；
- 图 12 是示出图 10 所示构成中的色散补偿控制处理的流程图；
- 10 图 13 示出了传输线路色散随温度的变化；
- 图 14 示出了当传输线路的颜色色散增加时引起的差错数的变化；
- 图 15 示出了当颜色色散减少时引起的差错数的变化；
- 图 16 示出了第二优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 1)；
- 图 17 示出了针对信道编号的带有斜度的残留色散量；
- 15 图 18 示出了第二优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 2)；
- 图 19 示出了色散斜度补偿方法；
- 图 20 示出了第二优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 3)；
- 图 21 示出了第一色散斜度优化方法；
- 图 22 示出了第二色散斜度优化方法；
- 20 图 23 示出了在颜色色散值具有斜度的仿真中使用的光通信系统的构成例；
- 图 24 示出了图 23 所示的颜色色散值的斜度；
- 图 25 示出了当传输线路色散增加时获得的仿真结果；
- 图 26 示出了当传输线路色散减少时获得的仿真结果；
- 25 图 27 示出了色散量的斜度的设定例 (No. 1)；
- 图 28 示出了色散量的斜度的设定例 (No. 2)；
- 图 29 示出了色散量的斜度的设定例 (No. 3)；
- 图 30 示出了色散量的阶梯状变化例 (No. 1)；
- 图 31 示出了色散量的阶梯状变化例 (No. 2)；

- 图 32 示出了色散量的阶梯状变化例 (No. 3);
- 图 33 示出了色散量的阶梯状变化例 (No. 4);
- 图 34 示出了针对一部分信道的色散量的斜度的设定例 (No. 1);
- 图 35 示出了针对一部分信道的色散量的斜度的设定例 (No. 2);
- 5 图 36 示出了针对一部分信道的色散量的阶梯状变化的设定例 (No. 1);
- 图 37 示出了针对一部分信道的色散量的阶梯状变化的设定例 (No. 2);
- 图 38 是示出传输线路中的颜色色散增加/减少的判定处理的流程图;
- 10 图 39 示出了第三优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 1);
- 图 40 示出了第三优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 2);
- 图 41 是示出第三优选实施例中的色散补偿控制处理的流程图;
- 图 42 示出了第三优选实施例中的接收机的状态监视器;
- 图 43 示出了接收机中的监视项目例;
- 15 图 44 示出了第四优选实施例中的补偿系统的基本构成例 (No. 1);
- 图 45 示出了图 44 所示的系统的控制输入顺序;
- 图 46 示出了第四优选实施例中的补偿系统的基本构成例 (No. 2);
- 图 47 示出了第四优选实施例中的补偿系统的基本构成例 (No. 3);
- 图 48 示出了第四优选实施例中的补偿系统的基本构成例 (No. 4);
- 20 图 49 示出了颜色色散和偏振模式色散对传输质量的各自影响;
- 图 50 示出了第四优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 1);
- 图 51 示出了第四优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 2);
- 图 52 示出了第四优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 3);
- 图 53 示出了根据本发明用于对可变颜色色散补偿处理进行控制的计
- 25 算机的构成; 以及
- 图 54 示出了把根据本发明的程序装入计算机的情况。

## 具体实施方式

以下参照附图，对本发明的优选实施例进行说明。

图 4 示出了本发明的自动色散补偿装置的基本构成。图 4 示出了适用于通过传输线路从用于从一个或多个信道发送光信号的光发射机输入的光信号的具有可变颜色色散补偿器的自动色散补偿装置。

在图 4 中，自动色散补偿装置 1 包括传输质量测量单元 2 和颜色色散补偿量控制单元 3。传输质量测量单元 2 对来自一个或多个信道的光信号的传输质量进行测量。传输质量测量单元 2 是传输质量监视器，用于对例如 0 值，即入局信号的差错率等进行测量。

颜色色散补偿量控制单元 3 根据传输质量测量单元 2 的测量结果，对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由除颜色色散以外的其他因素引起的传输质量劣化分离，并对可变颜色色散补偿器 5 进行控制，以补偿该劣化。

在本发明的另一优选实施例中，自动色散补偿装置 1 还包括：残留颜色色散量增加/减少单元，用于针对由可变颜色色散补偿器 5 进行补偿的结果而获得的任何残留颜色色散量，根据光信号的波长，增加/减少信道间的色散补偿量的差；以及颜色色散量增加/减少判定单元，用于在信道间，把由可变颜色色散补偿器和残留颜色色散量增加/减少单元进行补偿后的传输质量的测量结果进行比较，并判定传输线路中的颜色色散量是否增加或减少。

在此情况下，例如，残留颜色色散量增加/减少单元可随着颜色色散增加，增加/减少整个信道范围内的信道间的差的颜色色散补偿量，以便采用斜度或阶梯形式来改变它。或者，残留颜色色散量增加/减少单元可增加/减少特定信道范围内的颜色色散补偿量，以便采用斜度或阶梯形式来改变它。

在本发明的另一优选实施例中，自动色散补偿装置 1 还包括接收机状态检测单元，用于对通过传输线路接收光信号的各接收机单元的状态（诸如电压和温度）进行检测。在此情况下，颜色色散补偿控制单元 3 还可根据接收机状态检测单元的检测结果和传输质量测量单元 2 的测量

结果，停止/防止可变颜色色散补偿器进行控制。

并且，在另一优选实施例中，除了可变颜色色散补偿器以外，自动色散补偿装置 1 还包括：多个偏振模式色散补偿器，用于从传输线路输入的各信道的信号；以及多个监视器，用于对由偏振模式色散补偿器进行补偿后的偏振模式色散进行检测。在此情况下，颜色色散补偿控制单元 3 还可根据传输质量测量单元的测量结果的随时间的变化趋势和监视器的检测结果，对可变颜色色散补偿器和偏振模式色散补偿器进行控制。

根据本发明的自动色散补偿方法，对一个或多个信道的入局光信号的传输质量进行测量，根据该测量结果，对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由除颜色色散以外的因素引起的传输质量劣化分离，并对可变颜色色散补偿器进行控制，以补偿该劣化。

根据本发明的优选实施例，对于由用于控制可变颜色色散的计算机使用的程序，可使用一种程序，该程序可使计算机能执行以下步骤，即：接收多个信道中的各信道的光信号的传输质量测量结果；根据传输质量测量结果，对由传输线路中的颜色色散引起的传输质量劣化进行检测，并把该传输质量劣化与由其他因素引起的传输质量劣化分离；以及对可变颜色色散补偿进行控制，以补偿该劣化。

根据本发明，可使用具有现有功能的通用传输质量监视器而不是专用色散监视器来补偿传输线路中的颜色色散变化。

图 5 示出了本发明的基本颜色色散补偿方法。在图 5 中，光信号通过传输线路 11 从发射机 10 被发送到接收机 12。在接收机中，颜色色散补偿器安装在接收机 12 的前面，并且在该处进行颜色色散补偿。例如，如果信号波长和 100km 单模光纤(SMF)的颜色色散量分别为 1,550nm 和 17ps/nm/km，则可使用色散补偿器 13 通过提供 -1,700ps/nm 的色散量来补偿传输线路中的颜色色散。

在优选实施例中，使用通用传输质量监视器而不是专用色散监视器来补偿颜色色散。在优选实施例中，对于传输质量，使用差错率或 Q 值。以下参照图 6 和图 7，对这种传输质量监视器进行说明。

图 6 示出了在 SONET/SDH(同步光网络/同步数字系列)系统中, 使用被称为 B1 字节的一个 8 位值来存储关于操作/维护开销的信息的情况。

在图 6 中, 来自发射机 15 的信号由电/光变换器(E/O) 16 变换为光信号, 并通过传输线路 17 被发送到接收机。在接收机侧, 光信号由光/电变换器(O/E) 18 变换为电信号, 并被提供给接收机 19。B1 字节用于对采用被称为 BIP-8(位交织奇偶校验 8)的监视方法的再生器之间, 或者中间再生器和复用再生器之间的代码差错进行监视。这可由传输质量监视器来使用, 以表示相关段中的传输信号的质量。

在采用被称为 BIP-24xN 的监视方法的终端站复用再生器之间, 还可使用用于监视代码差错的 B2 字节, 作为表示传输质量的字节, 并且可把所有信息划分成多个 24 位进行监视。因此, 在此情况下, 与 BIP-8 相比, 可抽取更详细的差错信息。

图 7 示出了使用纠错码, 即: 使用前向纠错(FEC)来监视传输质量的情况。在图 7 中, 发射机 15 包括信号源 20 和 FEC 编码器 21, 并且接收机包括: FEC 解码器 23, 作为接收机内的纠错单元 19; 以及性能监视器 24, 用于计算纠错数等。在此情况下, 差错信息被提供给控制固件 25, 并且用于接收机中的可变色散补偿器 22 的控制信号被输出。这样, 在优选实施例中, 可不加修改地使用在接收机中用于代码差错监视和纠正的一般构成, 而不使用专用颜色色散监视器。

图 8 示出了本发明第一优选实施例中的光通信系统的构成例(No. 1)。在本第一优选实施例中, 使用传输质量监视器的监视结果来控制色散补偿器。

在图 8 中, 对于各信道的发射机(TX1~TXN) 30 的输出由复用器 31 复用, 并通过传输线路 32 被发送到接收机。

在接收机中, 各信道的入局信号 RX1、RX2、...、RXN 由解复用器 33 解复用。各信道的信号的传输线路 32 中的色散等由色散补偿器 34 来补偿, 各信道的信号被光/电变换单元 35 变换为电信号, 并由放大器 36 放大, 然后由时钟抽取电路 37 和判定电路 38 输出, 作为入局信号。在图 8 中, 根据该结果, 传输质量监视器 39 对各信道的入局信号的传输质量进行监视,

并且各信道的色散补偿器 34 由控制电路 40 控制。

图 9 示出了第一优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 2)。在图 9 中, 在接收机中, 传输质量监视器 39 对任何信道的传输质量, 例如, 作为一个信道的识别电路的输出的入局信号进行监视, 并且控制电路 40 对通常为所有信道而设置在传输线路 32 和解复用器 33 之间的色散补偿器 34 进行控制, 这与图 8 所示不同。

在图 9 中, 仅一个色散补偿器 34 直接设置在传输线路 32 的后面, 并且对颜色色散进行集体补偿。如下所述, 由于由传输线路中的颜色色散变化引起的传输质量劣化基本上不依赖于波长, 即信道, 并且在任何信道中都发生几乎相同的劣化量, 因而可进行这种集体补偿。与图 8 所示的各信道的单独补偿方法相比, 尽管这种集体补偿方法在成本和装置大小方面有很大优势, 然而有时难以进行这种集体补偿。

难以进行这种集体补偿的第一个原因是一个补偿器不能使用可变颜色色散补偿器 (VDC) 来覆盖这种宽带。尽管诸如 VIPA 等那样的某些装置可周期性覆盖这种宽带, 然而一般难以使一个补偿器生来就覆盖整个宽带。

第二个原因是如果传输距离较长, 则难以进行集体补偿。颜色色散的波长依赖性被称为颜色色散斜度。由于光纤生来就具有这种色散斜度, 因而如果传输距离较长, 则也必须补偿该斜度。因此, 难以进行集体补偿。

图 10 示出了第一优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 3)。在图 10 中, 一个控制电路 40 使用在接收机中为各信道设置的传输质量监视器的所有输出, 对为各信道设置的所有色散补偿器进行控制, 这与其他构成不同。

图 11 示出了第一优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 4)。在图 11 中, 一个控制电路 40 使用在接收机中为各信道设置的传输质量监视器的所有监视结果, 对为各信道共同设置的一个色散补偿器进行控制, 这与其他构成不同。

图 12 是示出图 10 所示构成中的色散补偿控制处理的流程图。在图

12 中, 首先, 在步骤 S1, 把信道编号设定为 1, 在步骤 S2, 对该信道进行最佳色散补偿设定处理。该处理已参照图 5 作了说明。

一般, 传输线路中的颜色色散量根据光纤的特性和长度、所用波长等而改变。并且, 陆地光通信系统不具有均匀跨度构成。特别是, 在波长容限小的超高速光通信系统中, 必须针对各颜色色散补偿器来优化颜色色散补偿量。步骤 S2 表示各颜色色散补偿器的这种处理。

如上所述, 对于最佳颜色色散补偿量, 可使用在手册中规定的光纤的颜色色散量。或者, 测试和改变补偿量也可确定最佳值。

然后, 在步骤 S3, 判定信道编号是否是 N, 即, 它是否是最后信道。如果它不是最后信道, 则在步骤 S4 使信道编号递增, 并重复步骤 2 及其后的处理。然后, 当它达到 N 时, 流程转到步骤 S5 的处理。步骤 S1 至 S4 的这些处理例如是在系统初始设定时进行的。

步骤 S5 及其后的处理是在正常监视时进行的。首先, 在步骤 S5, 把信道编号设定为 1, 并在步骤 S6, 对信道的传输质量进行测量。然后, 在步骤 S7, 判定信道编号是否是最后的 N。如果判定为不是 N, 则在步骤 S8, 使信道编号递增, 并重复步骤 S6 和 S7 的处理。

如果在步骤 S7 判定为所有信道的传输质量测量都完成, 则在步骤 S9 判定在任何信道中是否有传输质量劣化。如果没有劣化, 则重复步骤 S5 及其后的处理。如果即使在一个信道中也有劣化, 则在步骤 S10 进一步判定是否有信道间的依赖性。

该信道间的依赖性是指传输质量劣化量, 并且例如意味着各信道的差错数几乎相同。如下所述, 传输线路中的颜色色散量例如随温度变化而变化。然而, 由温度引起的变化量与其波长无关, 并且一般, 色散变化的分布在所有信道中是相同的。因此, 传输质量劣化对信道间的色散变化分布量有依赖性(在所有信道中, 劣化几乎相同)。

如果在步骤 S10 判定为没有这种信道间的依赖性, 则判定为该传输质量劣化不是由传输线路中的颜色色散引起的, 并重复步骤 S5 及其后的处理, 而不补偿该劣化, 这是本发明的主题。

如果在步骤 S10 判定为有这种信道间的依赖性, 则对劣化进行补偿。

首先，在步骤 S11，把信道编号设定为 1，并在步骤 S12，对色散量进行优化，即：对劣化进行补偿。然后，在步骤 S13，判定信道编号是否是最后的 N。如果判定为不是 N，则在步骤 S14，使信道编号递增，并重复步骤 S12 和 S13 的处理。如果在步骤 S13 判定为是 N，则一个循环的处理终止。

正如参照图 12 的步骤 S10 所述，如果在本发明中有导致劣化倾向的信道间的依赖性，也就是说，如果传输质量在所有信道中以相同倾向改变，则对颜色色散进行补偿。以下参照图 13 至图 15，对这些原因作进一步说明。

自动颜色色散补偿器在光通信系统的操作中应起的主要作用是对由作为传输线路的光纤的温度变化引起的颜色色散变化进行补偿。图 13 示出了由这种温度变化引起的传输线路色散变化。如图 13 所示，颜色色散量在整个波长范围内随温度变化而几乎均匀变化。为此，由传输线路中的波长色散量的变化引起的传输质量劣化不会在各信道中单独发生，而是以相同倾向在所有信道中发生。

图 14 和图 15 示出了有关由传输线路色散的变化引起的每秒平均差错数变化的仿真结果。首先，在系统操作的初始设定时，把各信道的残留色散量设定成使传输质量为最佳。该设定量是最佳色散量。

图 14 示出了当残留色散量由诸如温度变化等的因素增加 $\alpha$ 时所引起的平均差错数的变化，并且得知所有信道的传输质量同时劣化。在此情况下，如果把残留色散量提高 1，具体地说，使该残留色散量接近最佳值，则所有信道的各自传输质量都同时提高。

图 15 示出了残留色散量增加 $\alpha$ ，以及在残留色散量提高 1 的状态下的差错数的情况。在此情况下，得知存在与图 14 中相同的倾向。

然而，在此情况下，由除颜色色散量变化以外的因素，例如接收机的识别阈值和识别相位的变化、发射光源的波长变化、或者部件和材料的劣化和故障引起的传输质量劣化在颜色色散补偿器的各信道中按控制时间间隔，例如以分钟为单位单独发生。因此，可把传输质量劣化的因素分离。

这样，不管存在/不存在传输质量变化特性的信道间的依赖性，可对多个信道的各自传输质量进行监视，并可为各信道设置颜色色散补偿器。而且在此情况下，通过使颜色色散补偿器共同操作，还可对由除颜色色散以外的因素引起的传输质量劣化进行处理，并还可防止诸如没有控制的问题发生。

然而，如果使用通用传输质量监视器而不是专用颜色色散监视器来监视传输质量，则不能判别传输质量劣化是否是由传输线路中的颜色色散的增加或减少引起的。为此，在此情况下，存在由过渡补偿引起进一步劣化的可能。在本发明的第二优选实施例中，可避免这种可能性。

图 16 示出了第二优选实施例中的光通信系统的构成例 (No. 1)。图 16 所示的构成与图 10 所示的第一优选实施例的构成 (No. 3) 类似。然而，在图 16 中，例如，在各信道的颜色色散补偿器 34 中，与信道 1 对应的颜色色散补偿器通过使来自控制电路 40 的在图 9 的步骤 S12 获得的最佳量加上  $\alpha_1$  来补偿色散。与信道 2 对应的颜色色散补偿器通过使  $\alpha_2$  与最佳量相加来补偿色散。同样，对应各信道的各色散补偿器一般通过使不同量与最佳值相加来补偿色散。

当补偿色散时，使用该色散量  $\alpha_n$ ，并且例如通过根据信道编号把不同斜度提供给色散量或者以阶梯形式改变该色散量，可对与最佳值相加的该量进行确定。

图 17 示出了通过根据信道编号的递增把正或负斜度提供给色散量来确定追加量的情况。如果这样提供正或负斜度，例如，最大残留色散量必须对传输质量有最小影响，并且必须被抑制到由颜色色散补偿器允许的差错数，也就是说，必须被抑制在允许惩罚的范围内。

在此情况下，为了确定对传输质量的影响，必须把残留色散量与颜色色散容限量进行比较。例如，如果使用 40Gbit/s NRZ 信号，则颜色色散容限为 60~100ps/nm。在此情况下，与该量相比，必须减少图 17 所示的  $dD$  量。由于颜色色散容限量根据接收机/发射机的特性和颜色色散补偿器允许的惩罚量而改变，因而必须为各系统检查该容限量。

最小追加颜色色散量受颜色色散监视器或传输质量监视器的灵敏度

的影响。例如，当传输质量监视器灵敏到足以检测  $1\text{ps/nm}$  颜色色散变化的影响时，如果  $dD$  量等于或大于  $1\text{ps/nm}$ ，则就足够了。然而，如果传输质量监视器的检测灵敏度为  $100\text{ps/nm}$ ，则与颜色色散容限相比，该灵敏度不可忽视，并且系统中断。当使用作为传输质量监视器的监视结果的  
5 差错率进行仿真时，结果是实际上可使传输质量监视器具有约  $1\text{ps/nm}$  的灵敏度。

图 18 示出了第二优选实施例中的光通信系统的构成例(No. 2)。在图 16 中，各信道的色散补偿器通过针对各信道使不同追加量与最佳量相加来补偿色散。然而，在图 18 中，一个色散补偿器 34 同时补偿所有信道。  
10 此处，为针对一信道，即波长把斜度提供给残留色散量而设计的色散斜度提供器 50 把相当于各信道的追加量的斜度提供给补偿结果（如图 17 所示），并把该结果输入到解复用器 33。在此情况下，色散补偿器 34 和色散斜度提供器 50 的顺序也可颠倒。

以下参照图 19，对该色散斜度补偿进行说明。在图 19 中，白点表示  
15 颜色色散特性。色散补偿器通过提供由黑点表示的颜色色散补偿量来补偿颜色色散，以获得不依赖于由菱形表示的信道的色散量。在此情况下，一种用于确定与各信道的白点对应的黑点值并把该值提供给色散补偿器的方法与参照图 16 所述的单独追加量的指定对应。在色散斜度补偿中，通过把各白点的值及其斜度值提供给特定信道，对所有信道进行补偿。  
20 由于该斜度值不依赖于温度等，因而如果事先知道传输线路的色散斜度信息，则可根据传输线路的值来设定斜度值。

图 20 示出了第二优选实施例中的光通信系统的构成例(No. 3)。尽管在图 18 中，色散斜度提供器 50 把具有特定斜度的色散提供给色散补偿器 34 进行补偿的结果，然而在图 20 中，使用可变色散斜度补偿器 51 进  
25 一步改变色散斜度可补偿颜色色散。

图 21 和图 22 示出了当色散斜度这样改变时如何优化这种色散斜度。图 21 示出了第一优化方法。在此情况下，首先，在系统初始设定时，使用与一个信道对应的传输质量监视器来优化颜色色散补偿量，然后，使用与一个或多个信道对应的传输质量监视器来优化色散斜度。在该例中，

针对信道 1 优化颜色色散补偿量，然后优化斜度。

图 22 示出了第二优化方法。在图 22 中，在系统初始设定时，对多个信道的颜色色散补偿量进行优化。在此情况下，使用图 22 所示的  $W$  和  $\Delta D$  来优化信道 1 和信道 11 的色散斜度。此处，为各信道提供相当于  $\alpha_n$  的色散量。

以下参照图 23 至图 25，对有关第二优选实施例中的传输线路中的颜色色散增加或减少判定的仿真结果进行说明。图 23 示出了在仿真中使用的光通信系统的构成例。尽管这与参照图 1 所述的光通信系统基本相同，然而它与图 1 所示系统的不同点在于，具有图 24 所示斜度的追加色散量用于各信道的颜色色散补偿。

图 25 和图 26 示出了仿真结果。如果每秒平均差错数 1 用作传输质量劣化的允许数，即：惩罚，则在图 25 中，在传输线路中的颜色色散增加量达到  $\alpha ps/nm$  之前，任何信道中的差错数不会超过该允许数。然而，当它达到  $\alpha + 1 ps/nm$  时，差错数由于颜色色散追加量的斜度，从追加  $+2 ps/nm$  的量的信道 40 侧超过允许值。

图 26 示出了传输线路中的颜色色散量减少的情况。尽管色散减少量在  $-\alpha ps/nm$  以下的任何信道中的差错数不超过允许值，然而当色散减少量达到  $-\alpha - 1 ps/nm$  时，差错数根据其斜度，从追加  $-2 ps/nm$  的量的信道 1 侧超过允许值。在这样通过使随信道而不同的量与各信道的残留颜色色散量相加，可判定传输线路中的颜色色散量是否增加或减少。

以下参照图 27 至图 37，对以下情况，即：通过对各信道的最佳颜色色散量区别对待，具体地说，通过使不同量与各信道的最佳颜色色散量相加来补偿颜色色散，并针对一部分信道，采用斜度或阶梯形式来设定该不同量的情况进行说明。

图 27 至图 29 示出了针对所有信道，采用斜度形式来设定追加颜色色散量的情况。在此情况下，如果传输线路中的颜色色散量增加，则在图 27 中，传输质量从信道 1 侧劣化，在图 28 中，相反，传输质量从信道 40 侧劣化。在图 29 中，位于中央的信道 20 的传输质量首先劣化。

图 30 至图 33 示出了针对所有信道，采用阶梯形式来设定追加颜色

色散量的情况。在图 30 至图 33 中，针对多个信道来设定相同的追加颜色色散量。

图 34 和图 35 示出了在光通信系统中使用的一部分信道中，采用斜度形式来设定追加颜色色散量的情况。在图 34 和图 35 中，如果传输线路中的颜色色散量增加，则首先，传输质量在位于中央的信道 20 的附近劣化。如果传输线路中的颜色色散减少，则首先，传输质量分别在图 34 和图 35 中的信道 30 和信道 10 的附近劣化。

图 36 和图 37 示出了在光通信系统中使用的一部分信道中，采用阶梯形式来设定追加颜色色散量的情况。在图 36 和图 37 中的各图中，根据首先劣化的那个信道的传输质量，可判定传输线路中的颜色色散是否增加或减少。

图 38 是示出第二优选实施例中的传输线路中的颜色色散量增加/减少的判定处理的流程图。在图 38 中，首先，在步骤 S21，把信道编号  $n$  设定为 1，并在步骤 S22，获得信道的传输质量信息。然后，在步骤 S23，判定  $n$  是否小于信道最大数  $N$ 。如果判定为  $n$  小于  $N$ ，则在步骤 S24，使  $n$  递增，并重复步骤 S21 及其后的处理。

在步骤 S32，如果判定为  $n$  不小于  $N$ ，则在步骤 S25，判定信道传输质量是否变化。如果没有变化，则重复步骤 21 及其后的处理。

如果传输质量有变化，则在步骤 S26 判定在信道 1 侧是否发生变化。如果在信道 1 侧发生变化，则在步骤 S27 判定为传输线路中的颜色色散量已减少。如果在信道 1 侧未发生变化，则在步骤 S28，判定在信道  $N$  侧是否发生传输质量变化。如果在信道  $N$  侧发生传输质量变化，则在步骤 S29 判定为传输线路中的颜色色散量已增加。如果在信道  $N$  侧也没有发生传输质量变化，则重复步骤 S21 及其后的处理。这些判定结果与在图 17 中对残留色散量采用正斜度时进行的判定结果对应。

以下对本发明的第三优选实施例进行说明。在第三优选实施例中，对光通信系统的各部件的状态进行监视。如果存在诸如电源电压变化等那样的各部件的特性变化因素，则不管传输质量监视器对传输质量劣化进行判定的结果如何，判定为在传输质量变化中不存在信道间的依赖性。

在此情况下，进行控制，以使色散补偿器不补偿颜色色散。

图 39 示出了第三优选实施例中的光通信系统的构成例(No. 1)。该光通信系统包括：状态监视器 55，用于监视各发射机 30 的状态；状态监视器 56，用于监视复用器 31；状态监视器 57 和 59，用于监视传输线路 32；  
5 状态监视器 58，用于监视中继器 54；状态监视器 60，用于监视解复用器 33；状态监视器 61，用于监视光/电变换单元 35、放大器 36、时钟抽取电路 37；状态监视器 62，用于监视判定电路 38 等。各状态监视器的输出被提供给控制电路 40，并且对各色散补偿器 34 进行控制。

图 40 示出了第三优选实施例中的光通信系统的构成例(No. 2)。由于  
10 在图 40 中，温度和电源电压对光通信系统的各部件的特性有大幅影响，因而该光通信系统还包括用于对温度和电源电压进行监视的监视器，以及用于仅对温度进行监视的监视器。具体地说，该光通信系统还包括：  
温度/电源电压变化监视器 64，用于对发射机 30 和光/电变换单元(O/E) 35 进行监视；以及温度监视器 65，用于对复用器 31 和解复用器 33 进行监  
15 视。各监视器的结果被提供给控制电路 40。

图 41 是示出第三优选实施例中的颜色色散控制处理的流程图。在图 41 中，首先，在步骤 S31，把表示信道编号的  $n$  设定为 1，并在步骤 S32，判定在 TX1，即第一发射机中是否有任何特性变化。如果在 TX1 中没有特性变化，则在步骤 S33，判定在 O/E，即光/电变换单元 35 中是否有任何  
20 特性变化。如果在 O/E 中没有特性变化，则在步骤 S34 判定在复用器 31 中是否没有特性变化。如果在复用器 31 中没有特性变化，则在步骤 S35 判定在解复用器 33 中是否没有特性变化。如果在解复用器 33 中没有特性变化，则在步骤 S36 对传输质量进行测量，并且流程转到步骤 S37 的处理。如果在步骤 S32、S33、S34 和 S35 中的各步骤判定为有特性变化，  
25 则流程直接转到步骤 S37 的处理。然后，在步骤 S37 判定  $n$  是否是最后的信道编号，具体地说，处理是否到达最后信道。如果处理还未到达最后信道，则在步骤 S38 使信道编号递增，并重复步骤 S32 及其后的处理。

如果判定为处理到达最后信道，则在步骤 S39 判定在传输质量变化中是否存在任何信道间的依赖性。如果不存在信道间的依赖性，则无需

控制色散补偿器，并重复步骤 S31 及其后的处理。如果判定为存在信道间的依赖性，则在步骤 S40 控制色散补偿器 34，然后重复步骤 S31 及其后的处理。

图 42 示出了第三优选实施例中的光通信系统的接收机的构成例。例如，必须把监视器 55 对各发射机 30 进行监视的结果提供给接收机的控制电路 40。注意，如果传输线路的距离较长，则限制把状态监视器仅提供给接收机是更切合实际的。

在图 42 中，光接收机 65 包括：光电二极管 (PD) 66，用于把入局光信号变换为电信号；均衡放大器 69，其还包括前置放大器 67 和，放大器 68 用于放大在传输线路中衰减的信号，并对波形进行重新整形；时钟抽取电路 37，用于从入局数据信号中抽取时钟信号；以及判定电路 38，用于识别入局信号的状态。然后，状态监视器 70 对 PD66、均衡放大器 69 和判定电路 38 的各自状态进行监视。

图 43 示出了图 42 所示的状态监视器 70 要监视的特性项目。在图 43 中，PD66 的特性项目包括偏置电流、输入光功率等。均衡放大器 69 的特性项目包括电源电压、温度、输出振幅等。除了电源电压、温度、识别阈值(基准电位)以外，判定电路 38 的特性项目还包括识别相位，尽管实际上监视识别相位是困难的。

最后，以下将对本发明的第四优选实施例进行说明。第四优选实施例的特征在于，除了第一至第三优选实施例中的传输线路中的自动颜色色散补偿以外，还补偿偏振模式色散。然而，在此情况下，存在的问题是如何把偏振模式色散 (PMD) 补偿与颜色色散补偿分离，并如何对这两种类型的补偿进行控制。

如上所述，提出了几种 PMD 补偿方法。此处，对使用 DOP (偏振度) 监视器用于 PMD 监视器以便把颜色色散补偿与 PMD 补偿分离的情况加以考虑。对于使用该 DOP 的 PMD 检测，参见以下参考文献：

“PMD 补偿用的偏振度方法的偏振模式色散 (PMD) 检测灵敏度 (Polarization-Mode Dispersion (PMD) Detection Sensitivity of Degree by Polarization Method for PMD Compensation)”，ECOC' 99，

pp. 26-30。

在此情况下，即使当传输线路中的颜色色散量变化时，通过对 DOP 进行测量的实验，对 PMD 量的稳定测量进行验证。

在实验中，使用色散补偿光纤 (DCF) 作为传输线路并还使用偏振模式色散仿真器 (PMDE)，对用于接收从 40Gb/s NRZ 发射机发送的信号的接收机中的 DOP 进行测量，这些测量是在以下情况下进行的，即：仅使用 DCF 的情况，仅使用 PMDE 的情况，以及将 PMDE 和 DCF 并用的情况。

现已确认，当颜色色散变化量为 -407、-700 和 -870ps/nm 时分别获得的仅使用 DCF 的 DOP 测量结果、仅使用 PMDE 的 PMDE 测量结果、以及将 PMDE 和 DCF 并用的测量结果都不受 DCF 中的颜色色散量的影响。因此，显然，即使当传输线路中的颜色色散量变化时，使用用于检测 DOP 的 PMD 监视器可稳定补偿 PMD。

图 44 示出了将 PMD 补偿器和色散补偿器并用的补偿系统的构成例。在图 44 中，根据用于检测 DOP 的 PMD 监视器 76 的结果对 PMD 补偿器 75 进行控制，可对输入到色散补偿器 77 的入局光信号的 PMD 进行补偿，并且用于对光/电变换器 (O/E) 78 进行监视的色散监视器 79 可对色散补偿器 77 进行正确控制。然而，在本发明的优选实施例中，由于使用传输质量监视器而不是专用色散监视器 79，因而传输质量监视器受 PMD 的影响。因此，无法仅对由颜色色散引起的传输质量变化进行正确检测，这成为问题。

图 45 是示出用于解决图 44 所示的这种问题的控制输入的顺序图。在图 45 中，首先，在步骤 S43，直接开始 PMD 补偿器 75 中的 PMD 控制器 (PMDC) 的控制，并在步骤 S44，完成初始设定。然而，在步骤 S45，PMDC 进入跟踪模式。

然而，在步骤 S46，在色散补偿器 (VDC) 77 中设定时间 T，即：由 PMD 补偿器 75 进行实质补偿的等待时间，然后在步骤 S47，开始 VDC 的控制。然后，在步骤 S48，完成 VDC 的初始设定，并在步骤 S49，VDC 进入跟踪模式。在步骤 S45 和 S49 之后，PMDC 和 VDC 都进入跟踪模式。

图 46 和图 47 示出了用于对偏振模式色散和颜色色散进行补偿的光

通信系统的接收机的构成例(No. 2 和 No. 3)。如果这样进行这两种类型的补偿,则如上所述,基本上则仅把颜色色散监视器 79 设置在 PMD 补偿器的后面,这是因为颜色色散监视必须在 PMD 补偿完成后进行。这与色散补偿器和 PMD 补偿器的顺序无关。这样,图 46 和图 47 所示的构成是可用的。

图 48 示出了将 PMD 补偿和颜色色散补偿并用的接收机的系统构成例(No. 4)。在图 48 中,色散补偿器 77 把颜色色散补偿集体施加给多个信道,并且 PMD 补偿器 75 把偏振模式色散补偿施加给各信道。在此情况下,色散补偿器 77 使用色散监视器 79,即:传输质量监视器来进行颜色色散补偿,该色散监视器 79 在 PMD 补偿后使用一个或多个信道的各自信道差错率。

尽管在以上说明中,使用 DOP 来检测偏振模式色散,然而使用对采用除 DOP 检测方法以外的方法操作的 PMD 监视器的传输质量的影响,可把 PMD 补偿与颜色色散补偿分离。

图 49 示出了为实现这种分离而使用的对传输质量的影响。在图 49 中,尽管如上所述,颜色色散具有信道间的依赖性,然而 PMD 不具有信道间的依赖性。对传输质量的影响速度随时间的变化如果是由温度变化引起的,则在颜色色散和 PMD 两种情况下都较慢。然而,如果该随时间的变化是由诸如光纤接触等的压力变化引起的,则受 PMD 影响的速度变化较快。因此,利用这种温度差可把这两种类型的补偿分离。

图 50 至图 52 示出了用于对偏振模式色散和颜色色散进行补偿的光通信系统的构成例。图 50 示出了第一构成例。在此情况下,如图 48 所示,针对所有信道来集体补偿颜色色散,而针对各信道来单独补偿偏振模式色散。在此情况下,使用传输质量监视器,而不是颜色色散监视器。

图 51 和图 52 分别示出了第二和第三构成例。在这些情况的各情况下,在各信道中对颜色色散和偏振模式色散进行补偿。然而,在第三构成例中,控制器 80 把色散补偿器 34 的控制与 PMD 补偿器 75 的控制分离。

如图 53 所示,本发明的可变颜色色散补偿器的控制可使用诸如计算机那样的信息处理器来实现。图 53 所示的计算机包括:CPU201,存储器

202, 输入装置 203, 输出装置 204, 外部存储装置 205, 介质驱动装置 206, 以及网络连接装置 207。总线 209 使这些装置相互连接。

存储器 202 包括 ROM(只读存储器)、RAM(随机存取存储器)等。存储器 202 存储将用于处理的程序和数据。CPU201 通过使用存储器 202 并执行程序来进行必要处理。

输入装置 203 包括键盘、指向装置等。输出装置 204 包括显示器等。

外部存储装置 205 包括磁盘装置、光盘装置、磁光盘装置等。外部存储装置 205 存储程序和数据, 并还可根据要求, 把程序和数据装载到存储器 202 内并加以使用。

介质驱动装置 206 驱动便携式存储介质 208 并存取记录内容。对于便携式存储介质 208, 可使用任何计算机可读存储介质, 例如, 存储器插件, 存储栈, 软盘, CD-ROM(小型磁盘只读存储器), 光盘, 磁光盘, DVD(数字多功能盘)等。该便携式存储介质 208 存储程序和数据, 并还可根据要求, 把该程序和数据装载到存储器 202 内并加以使用。

网络连接装置 207 用于使计算机与网络连接。网络连接装置 207 还可从外部装置接收程序和数据, 并还可根据要求, 把该程序和数据装载到存储器 202 内并加以使用。

图 54 示出了如何提供与本发明有关的程序和数据。该程序和数据由以下三种方法(a)~(c)中的任何一种来提供。

(a) 把程序和数据存储在诸如计算机 210 的 RAM/ROM 硬盘等那样的外部存储装置内。在此情况下, 程序 211 等例如在装运前被存储。

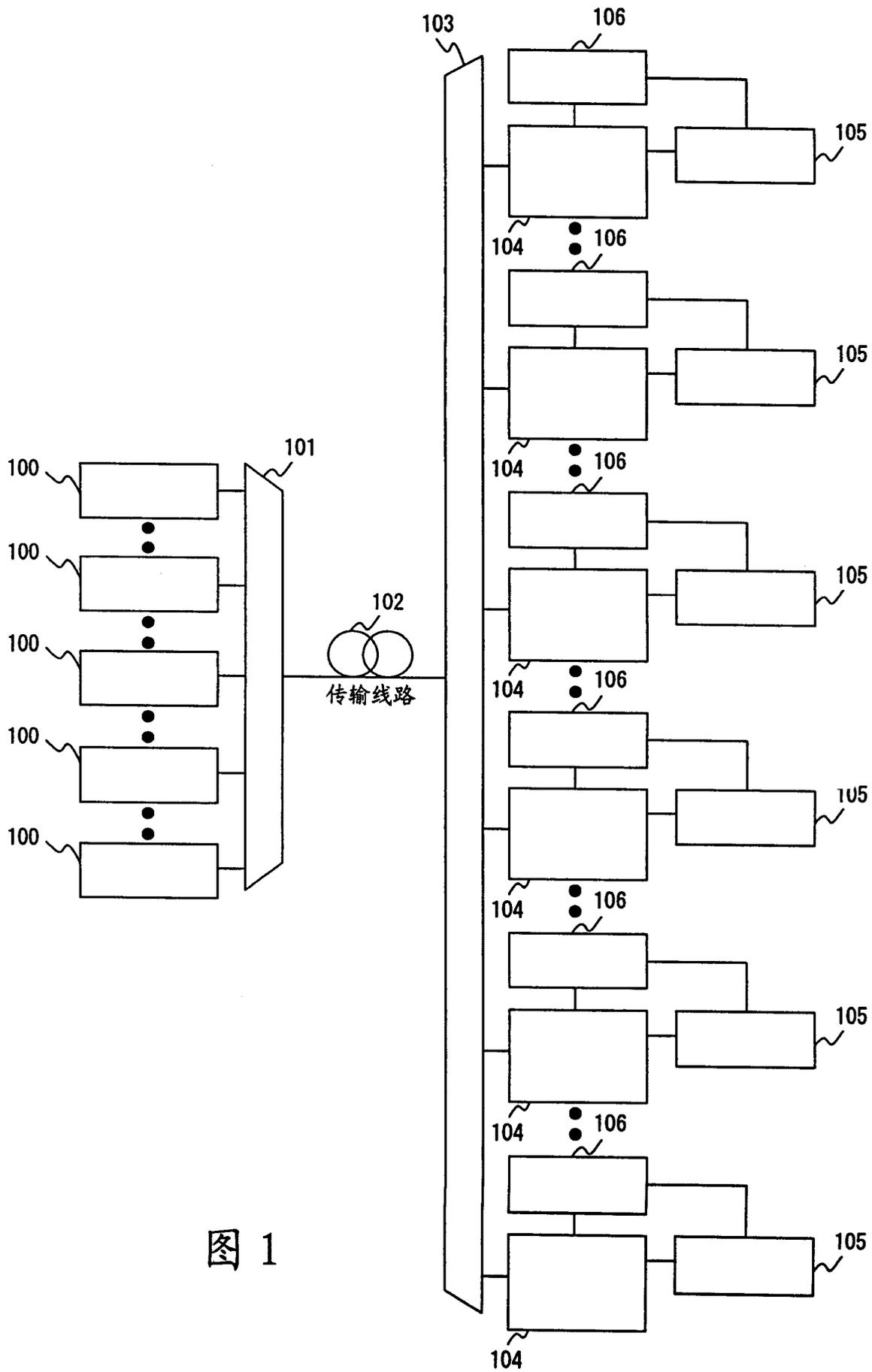
(b) 把程序和数据存储在诸如 CD-ROM、软盘等那样的便携式存储介质 212 内。在此情况下, 把在便携式存储介质 212 内存储的程序和数据存储在计算机 210 的外部存储装置 205 和存储器 202 内。

(c) 程序和数据由通过网络(线路)与计算机连接的提供器 213 提供。在此情况下, 基本上, 计算机 210 通过从提供器 213 的存储位置下载程序和数据来获得它们。

本发明不限于上述优选实施例, 并且只要不背离本发明的主题, 就可使用各种构成。

根据本发明，例如通过把由传输线路中的颜色色散引起的对传输质量的影响与由偏振模式色散引起的影响分离，可使用通用传输质量监视器而不是专用色散监视器来最佳控制颜色色散，因此可改善系统性能。在此情况下，通过把传输质量监视器设置在偏振模式色散补偿器的后面，

5 可对颜色色散和偏振模式色散进行补偿，因此，本发明可大大有助于实现超高速光通信系统。



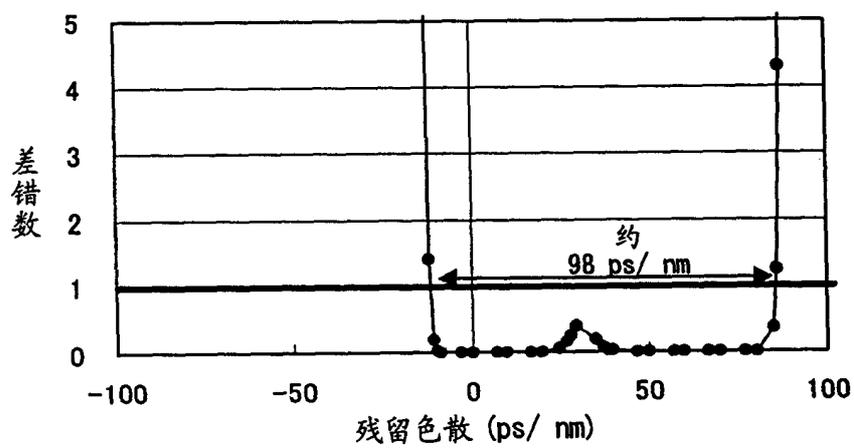


图 2

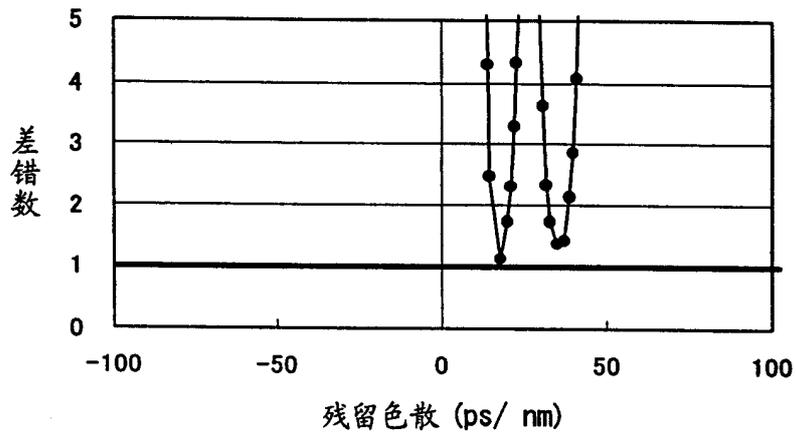


图 3

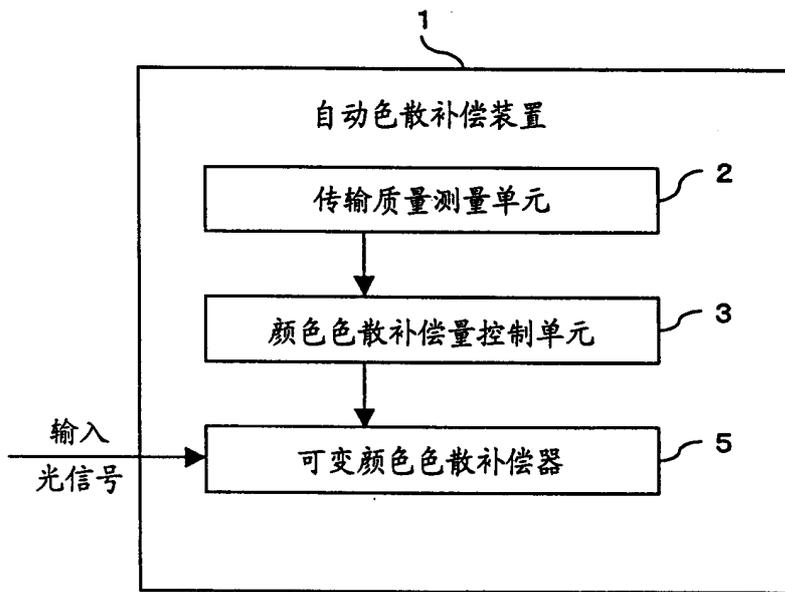


图 4

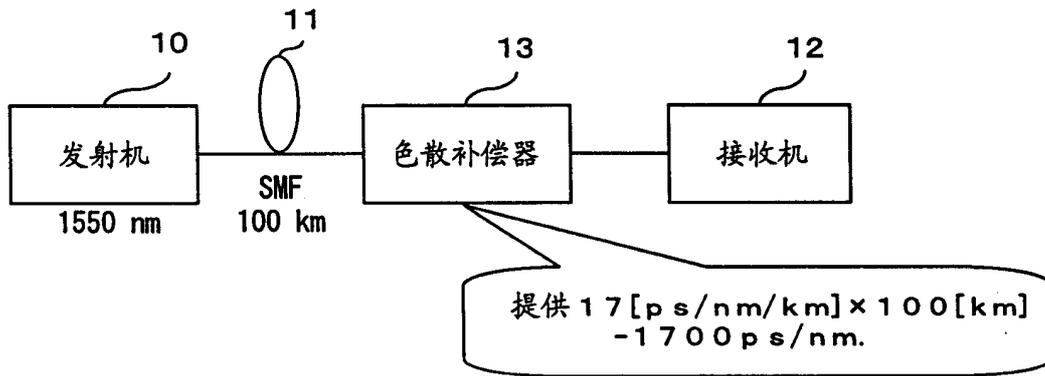


图 5

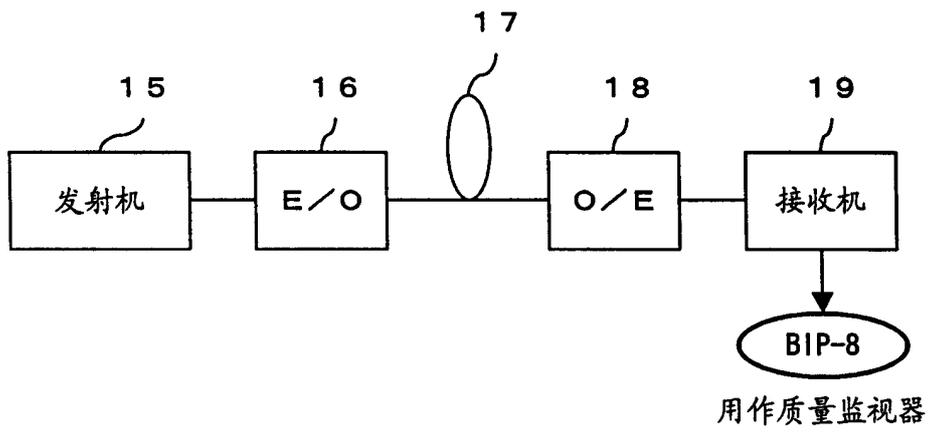


图 6

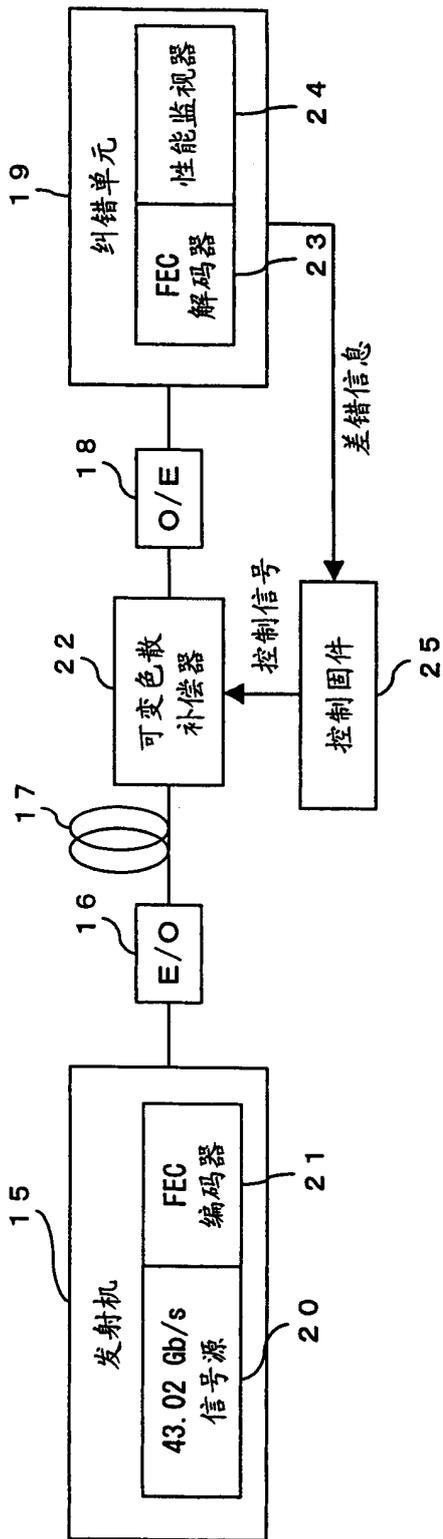


图7

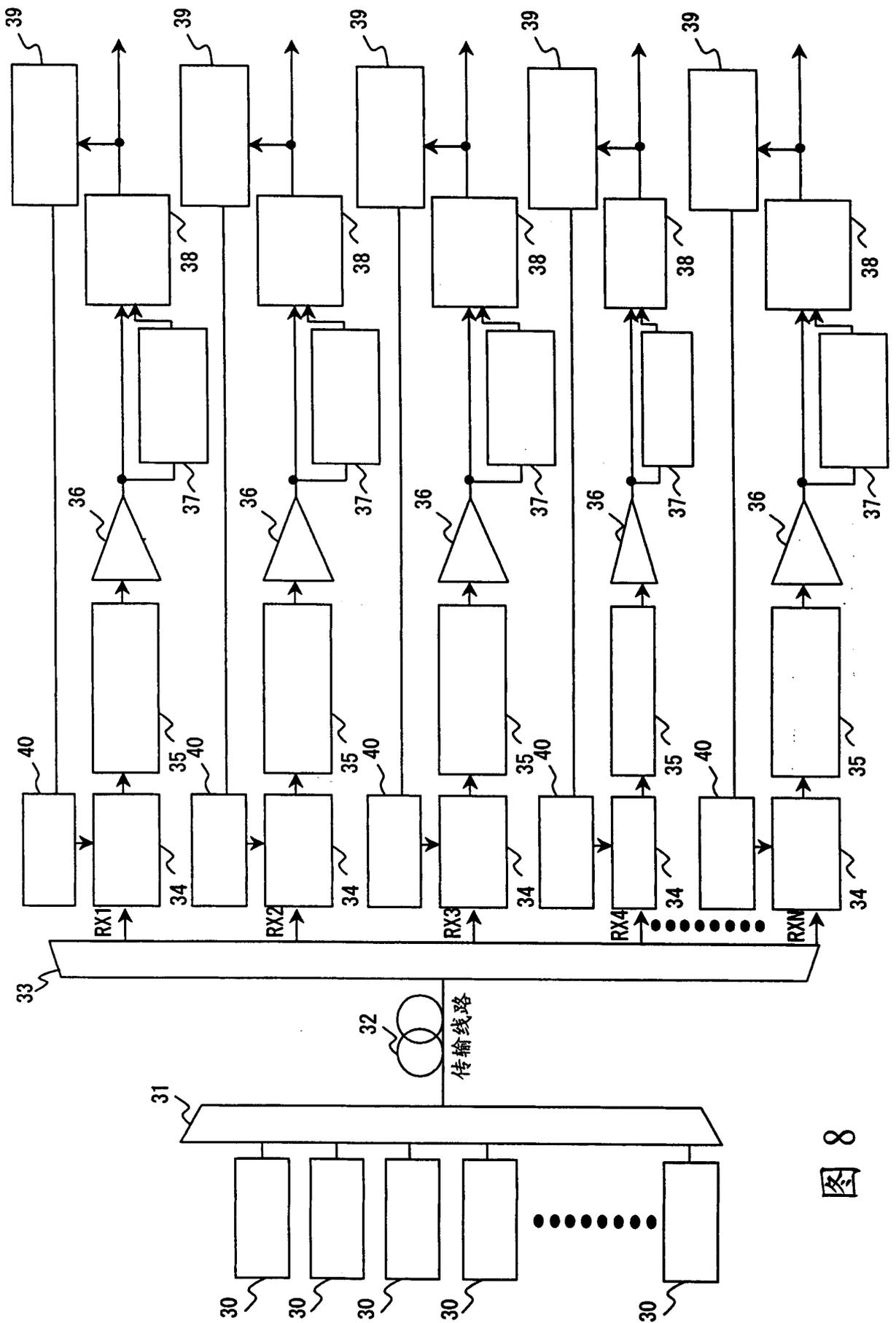


图 8

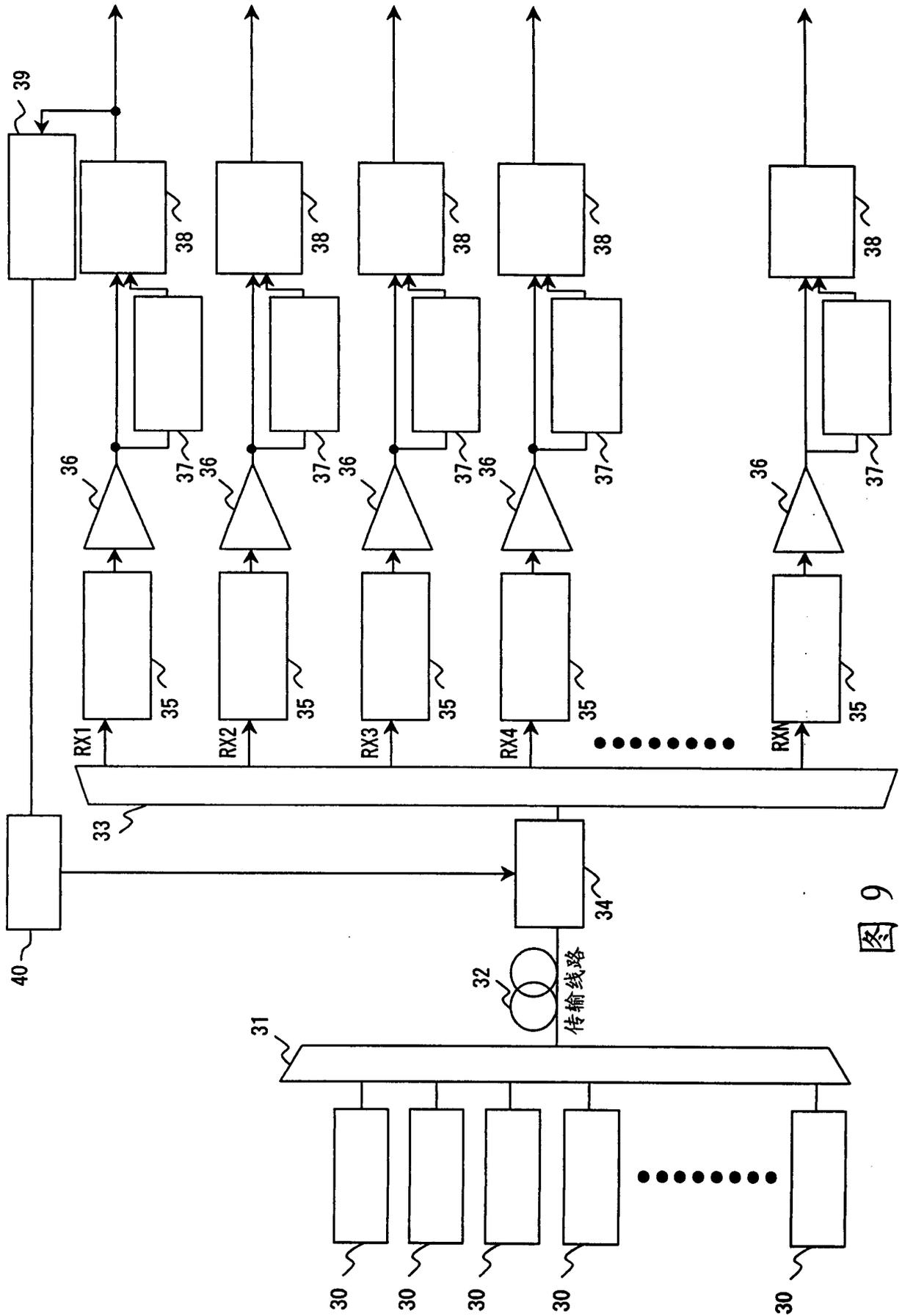


图 9

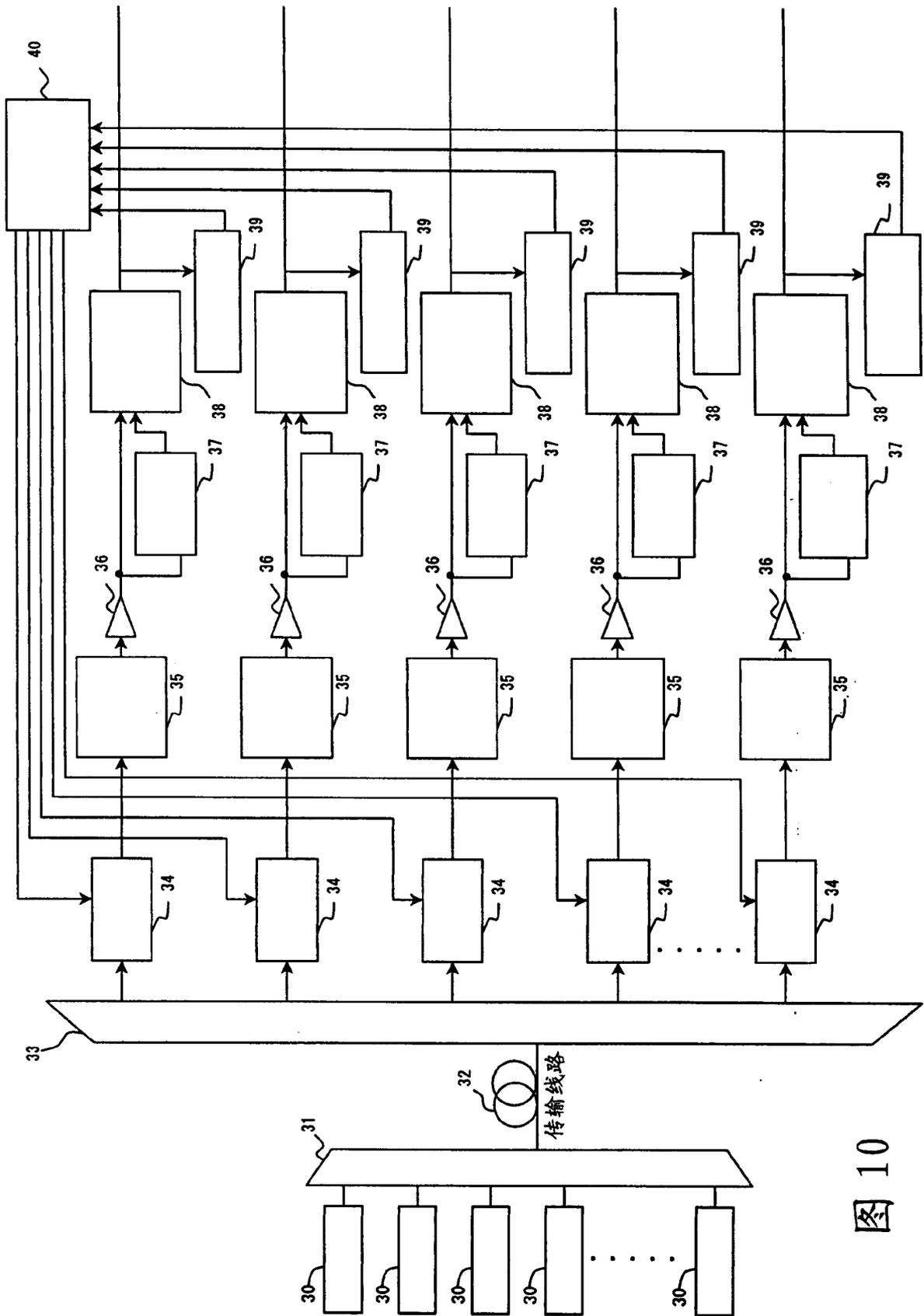


图 10

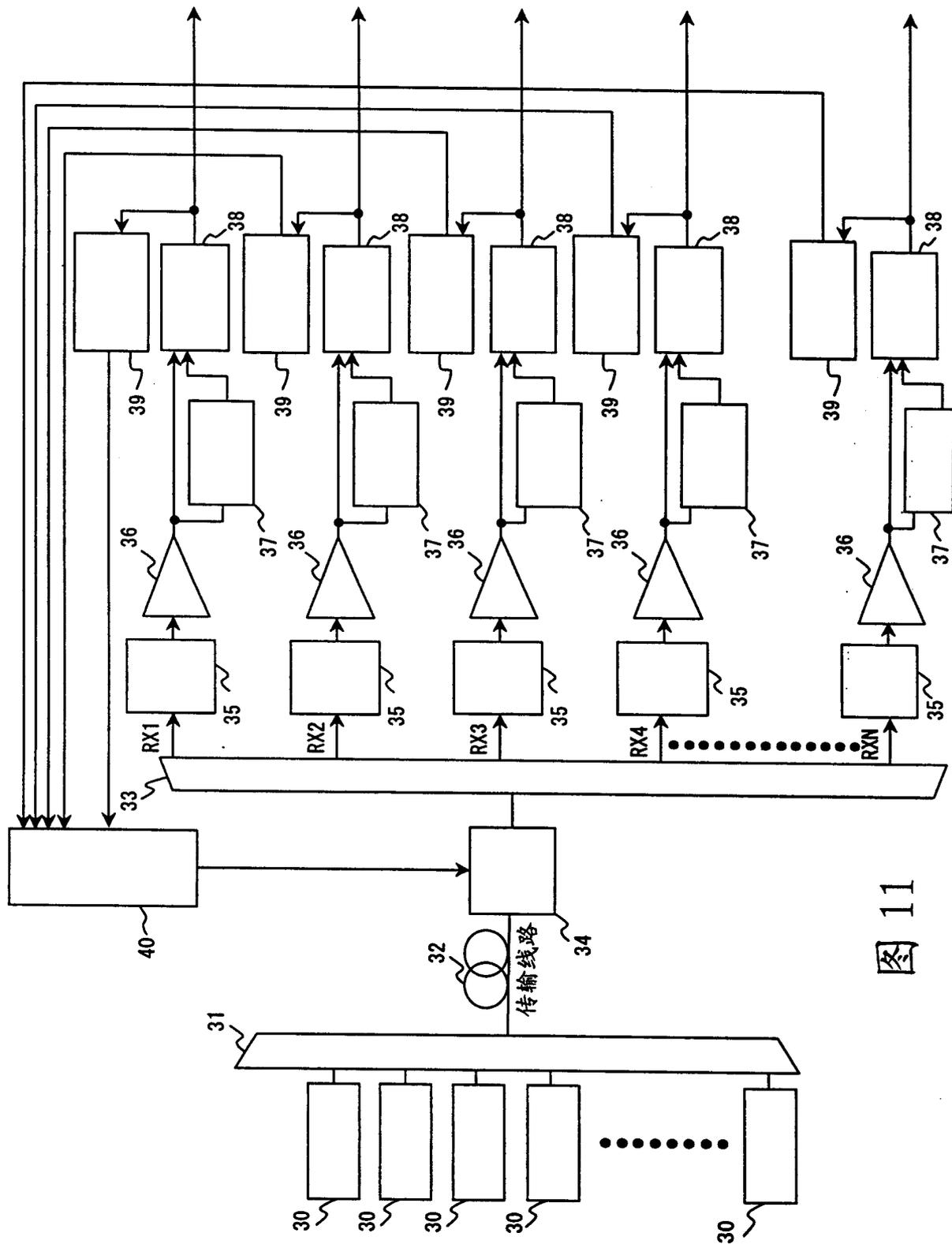


图 11

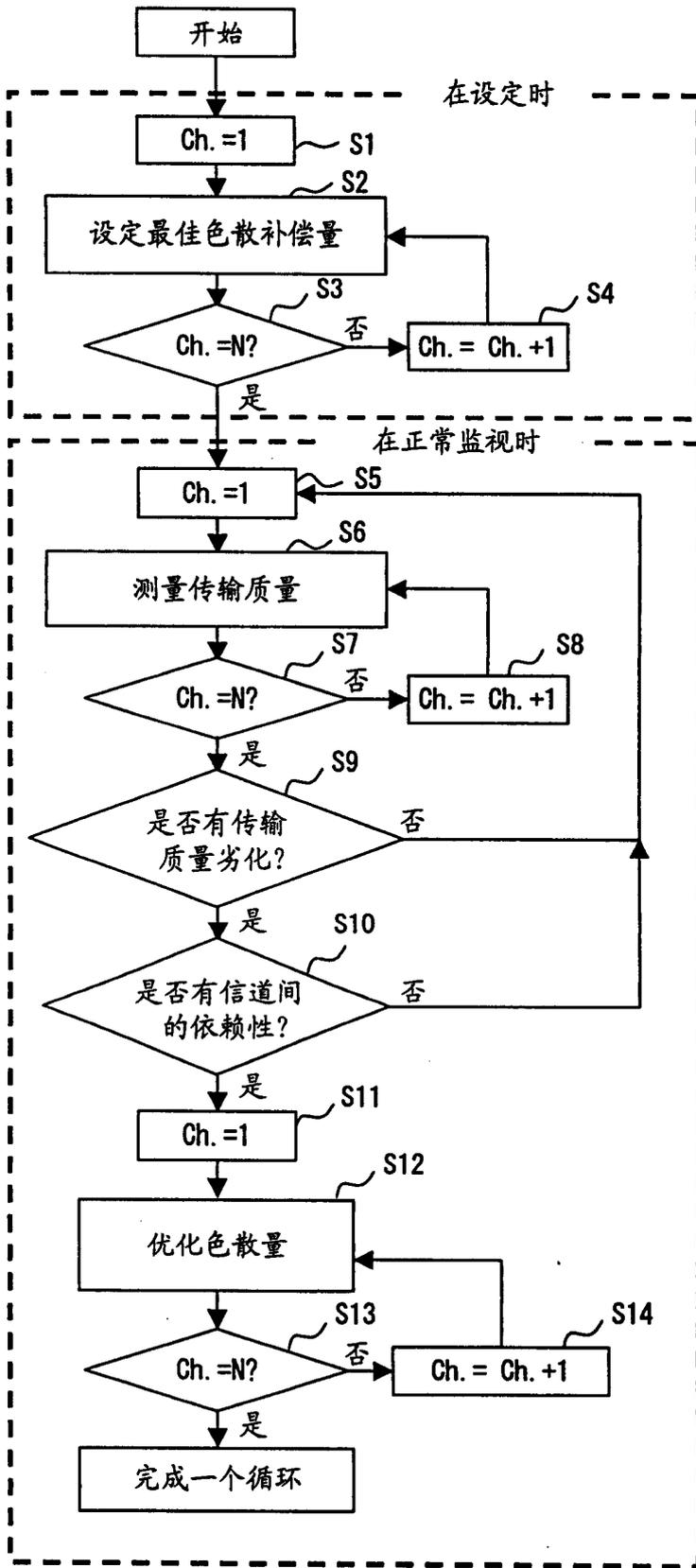


图 12

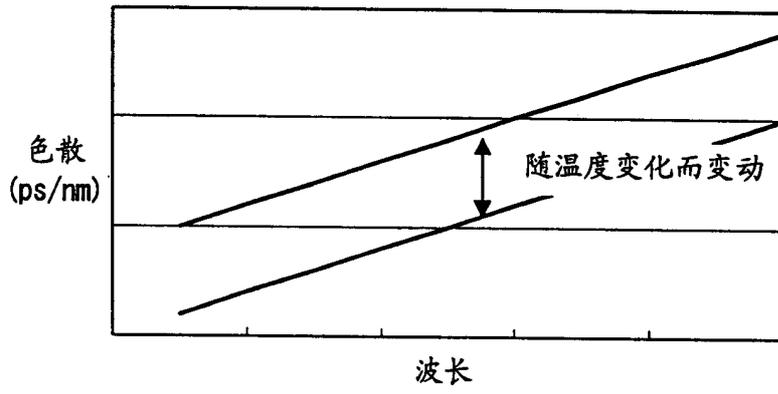


图 13

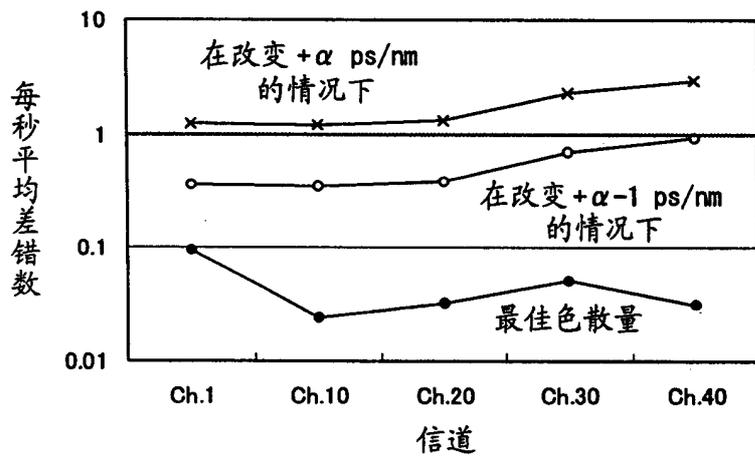


图 14

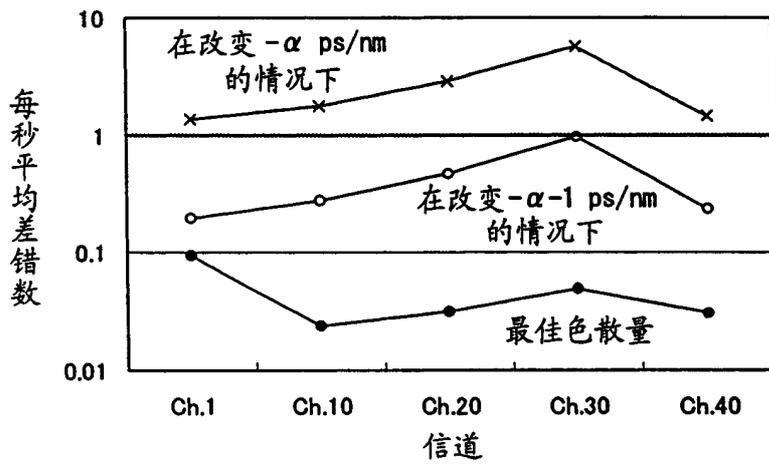


图 15

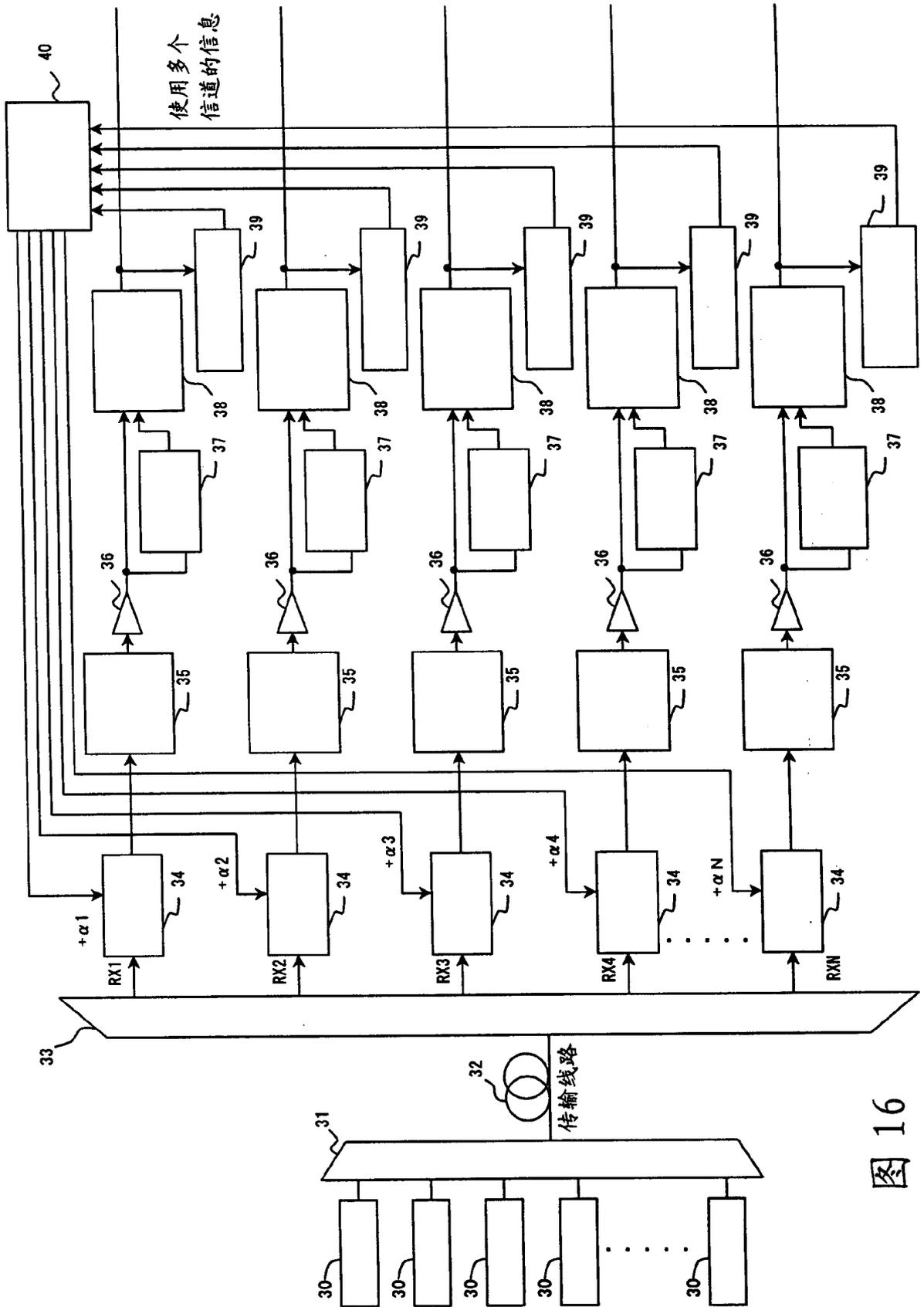


图 16

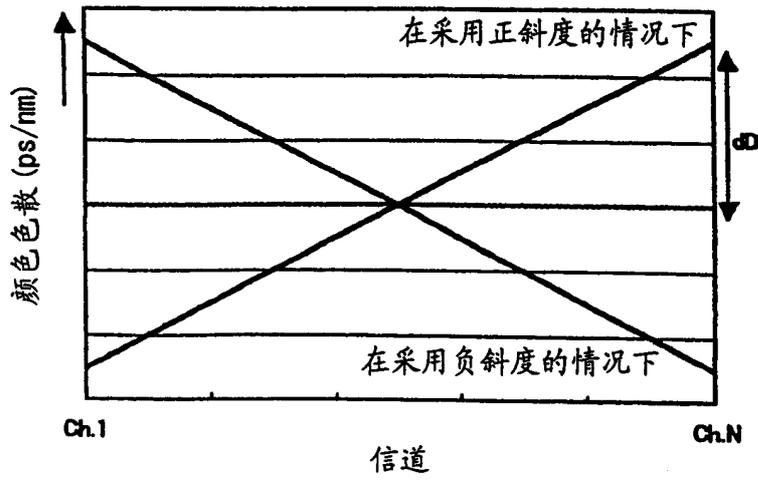


图 17

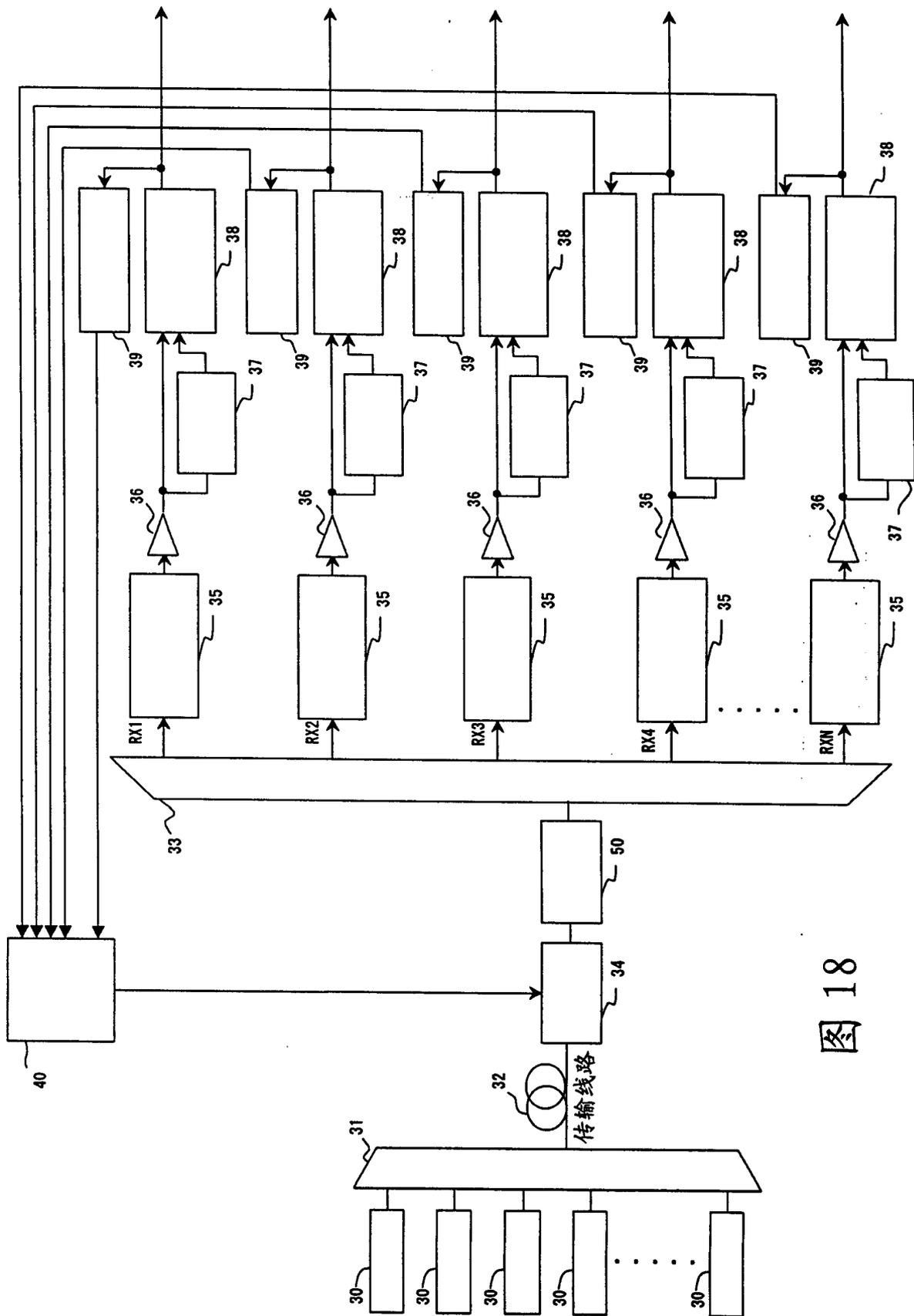


图 18



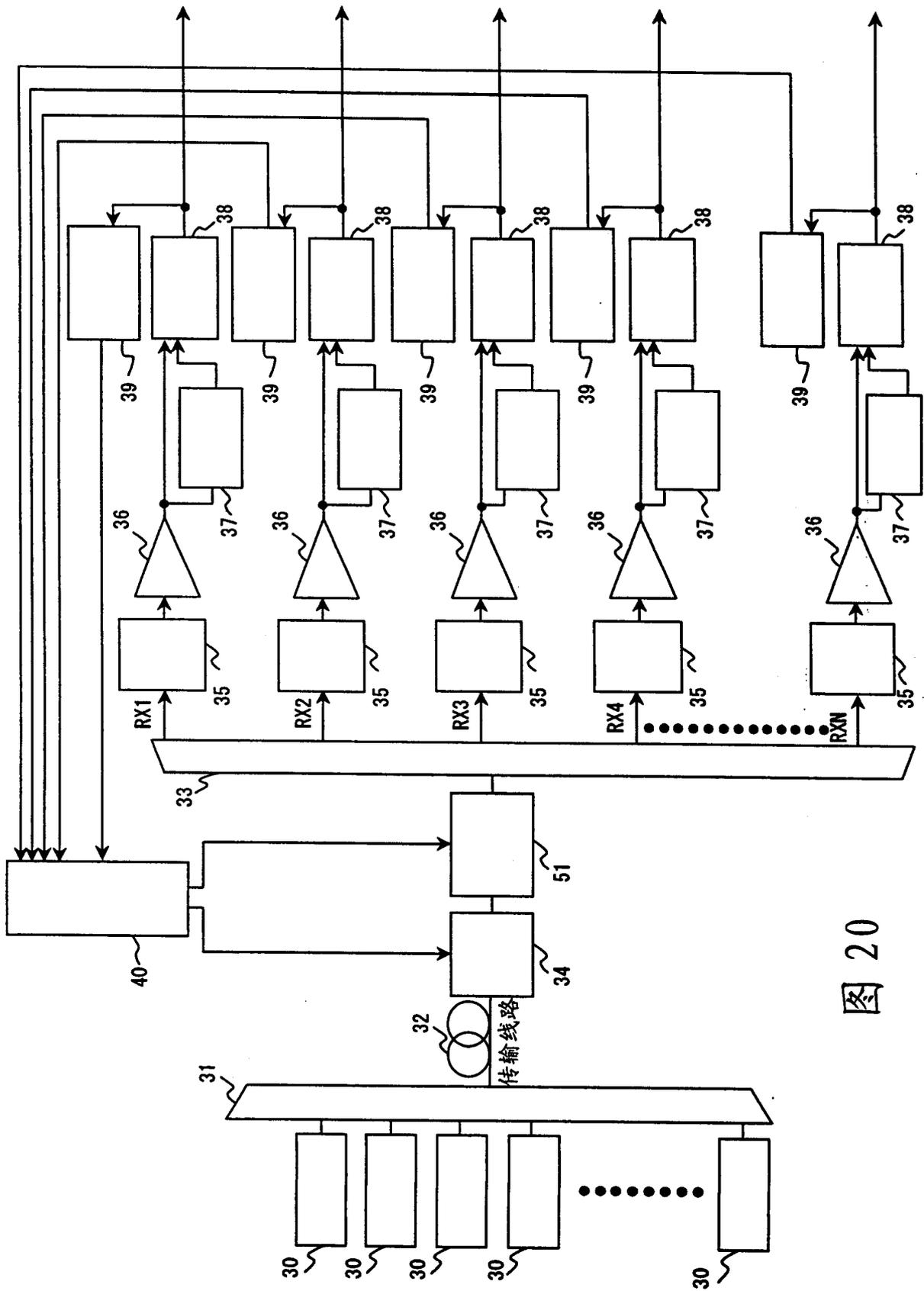


图 20

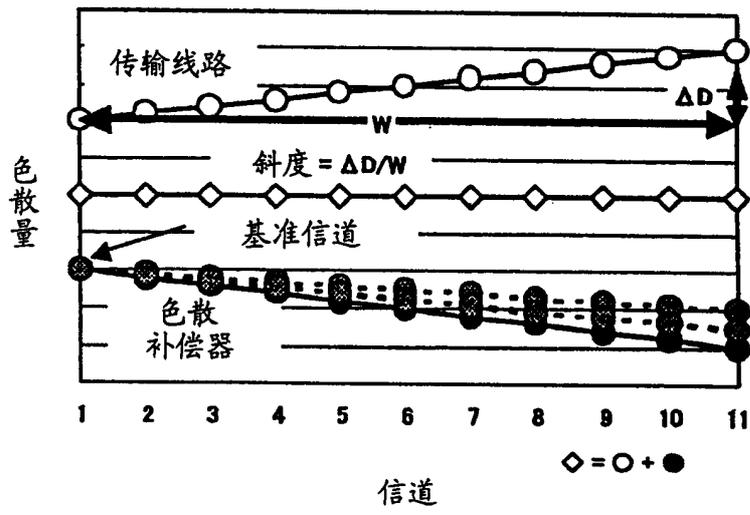


图 21

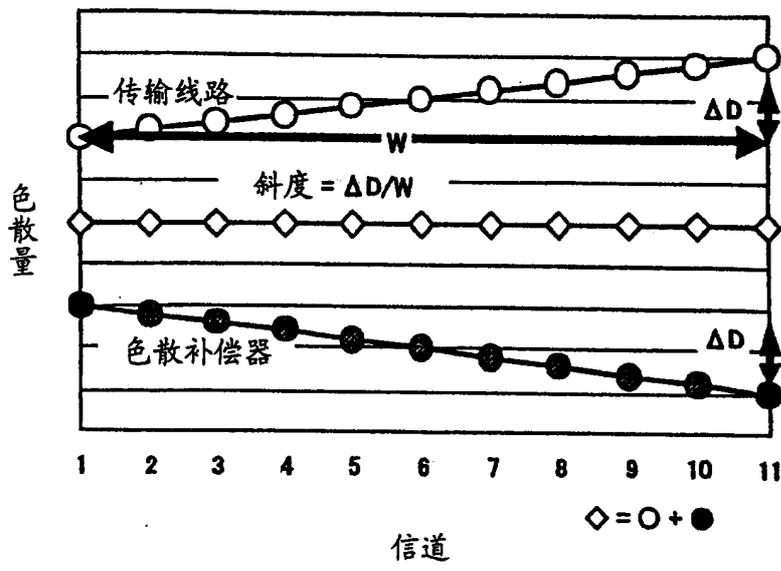


图 22

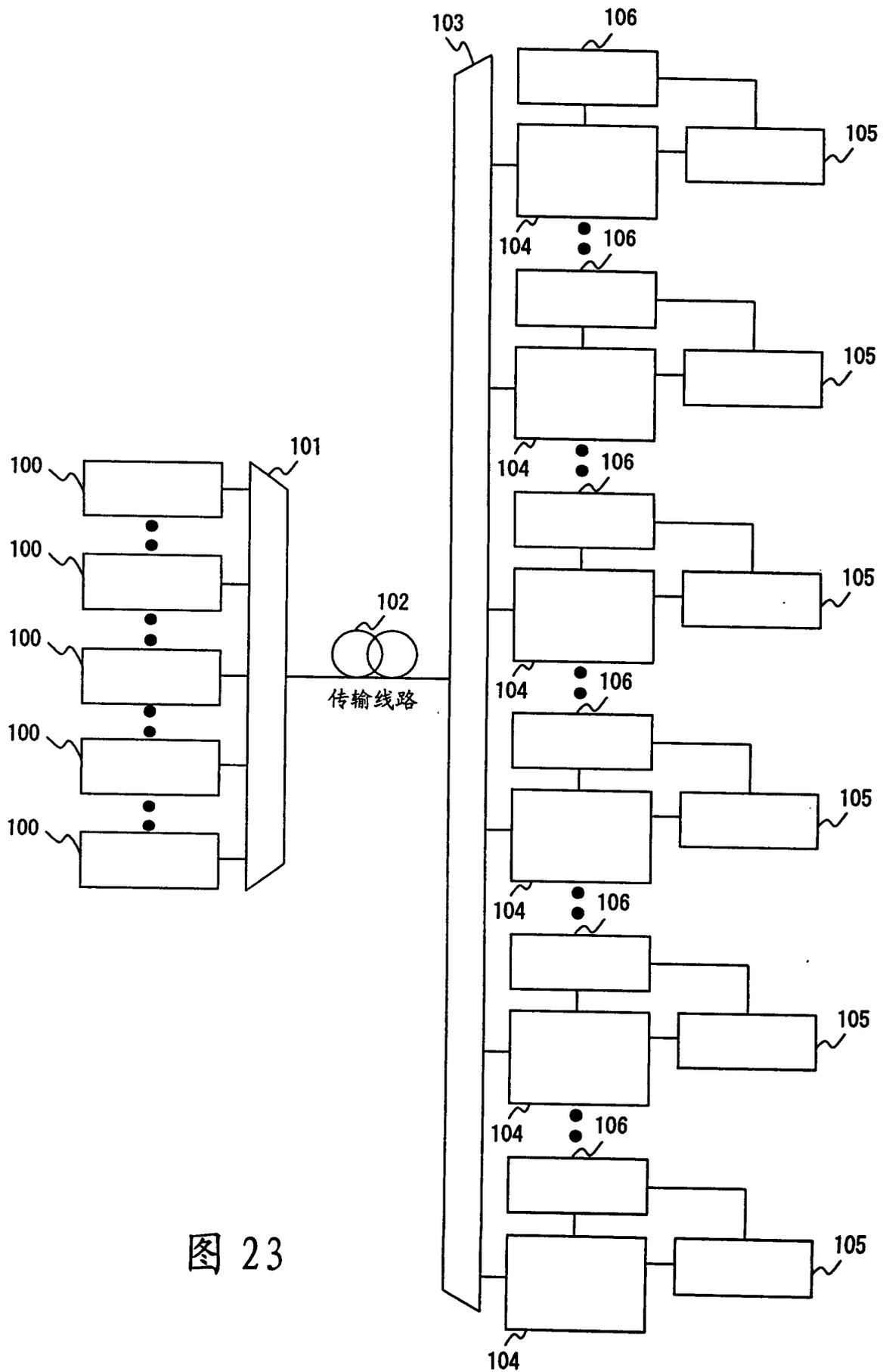


图 23

| Ch.              | 1  | 10 | 20 | 30 | 40 |
|------------------|----|----|----|----|----|
| 颜色色散量<br>(ps/nm) | -2 | -1 | 0  | +1 | +2 |

图 24

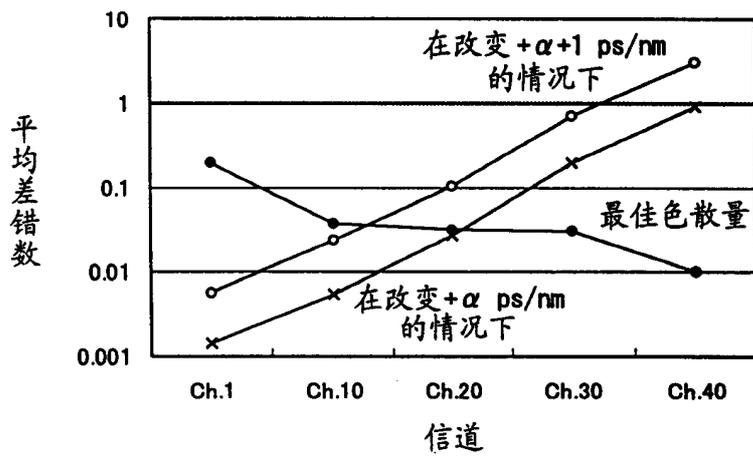


图 25

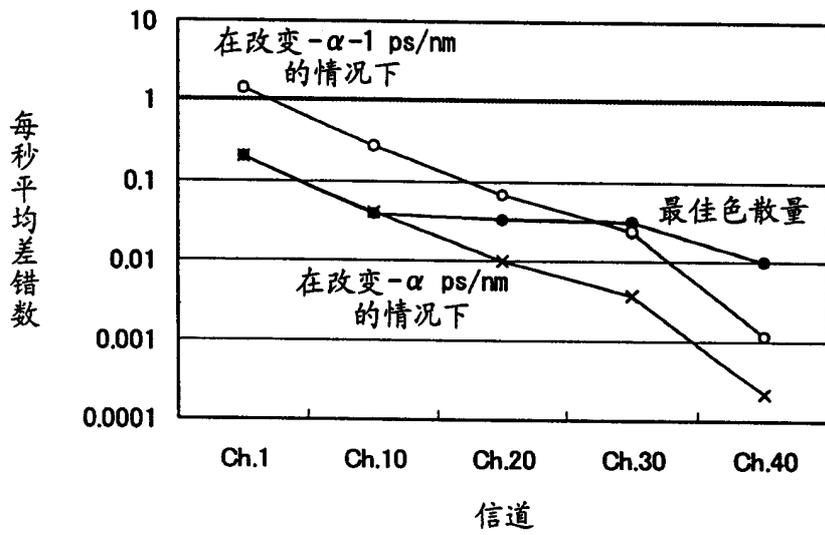


图 26

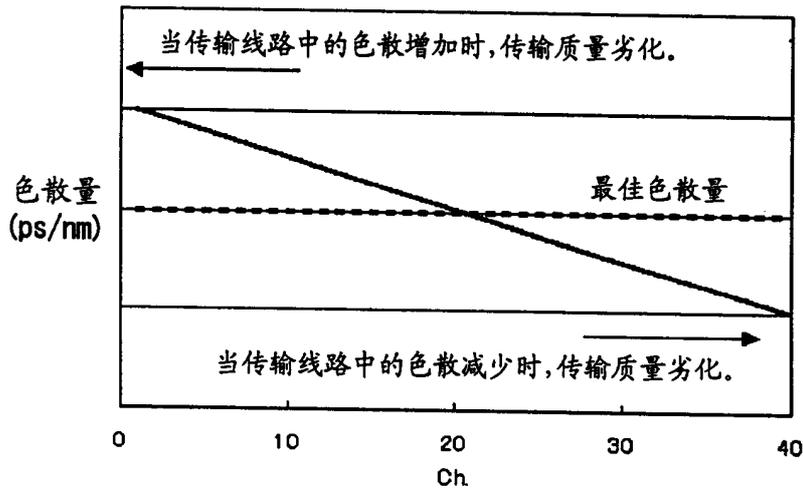


图 27

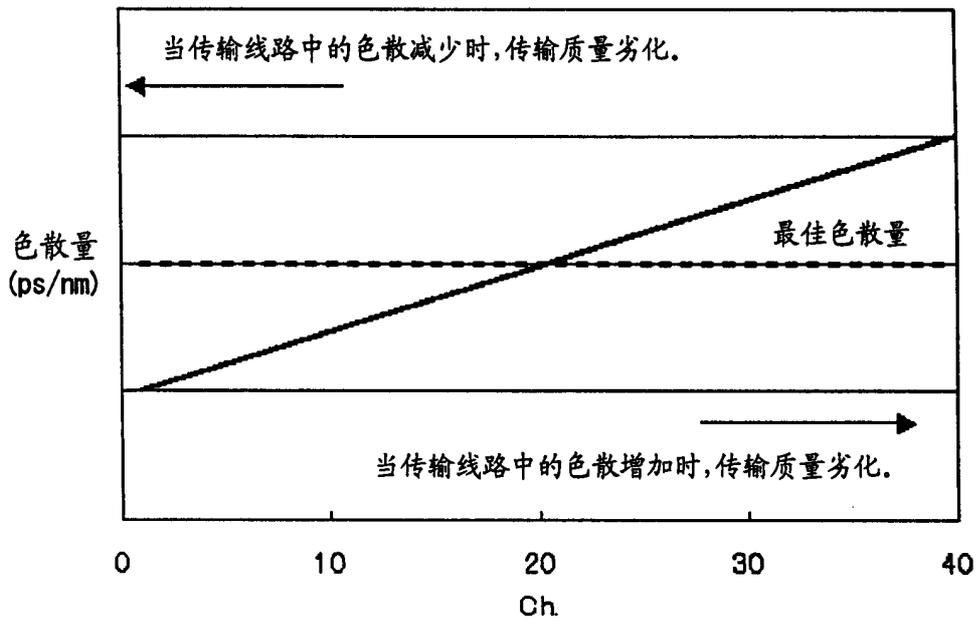


图 28

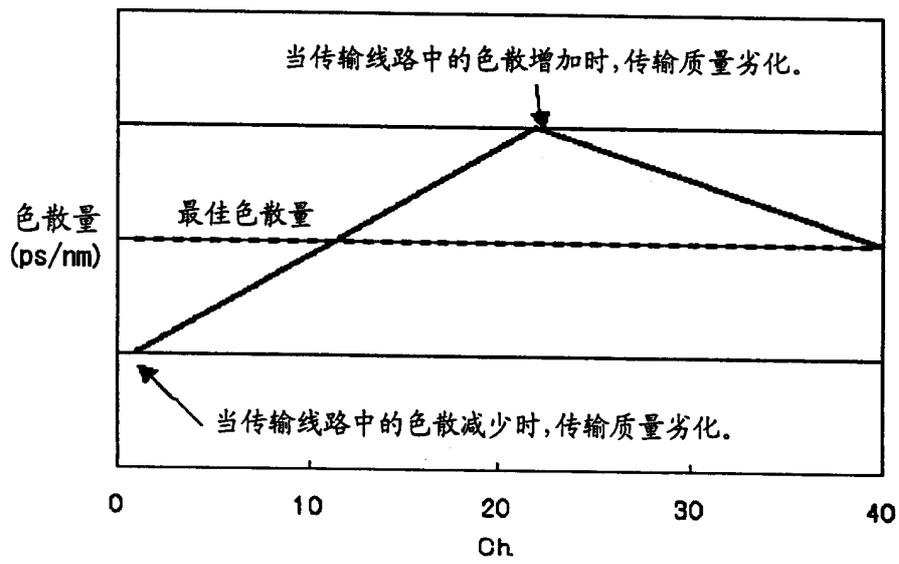


图 29

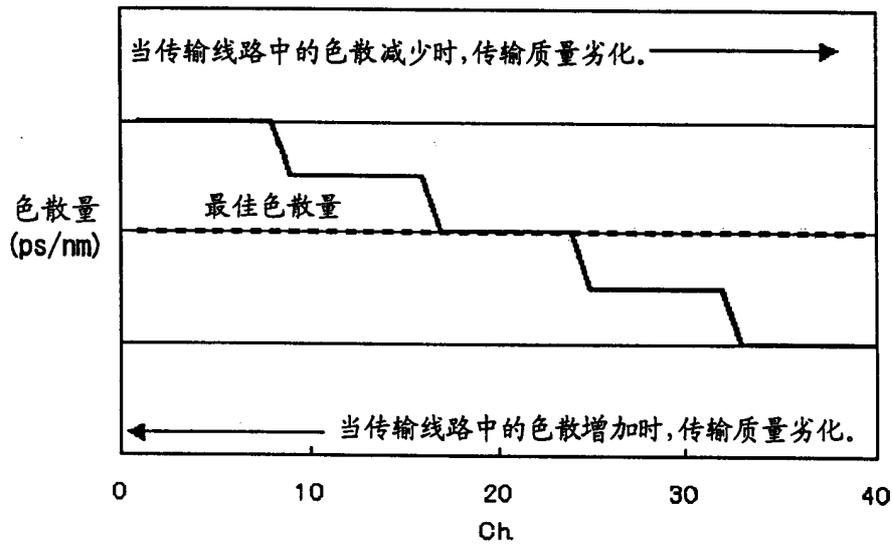


图 30

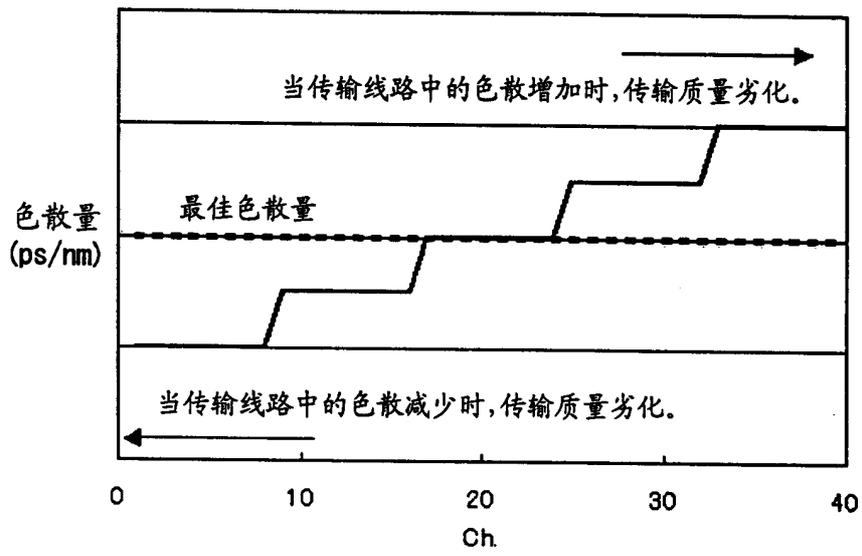


图 31

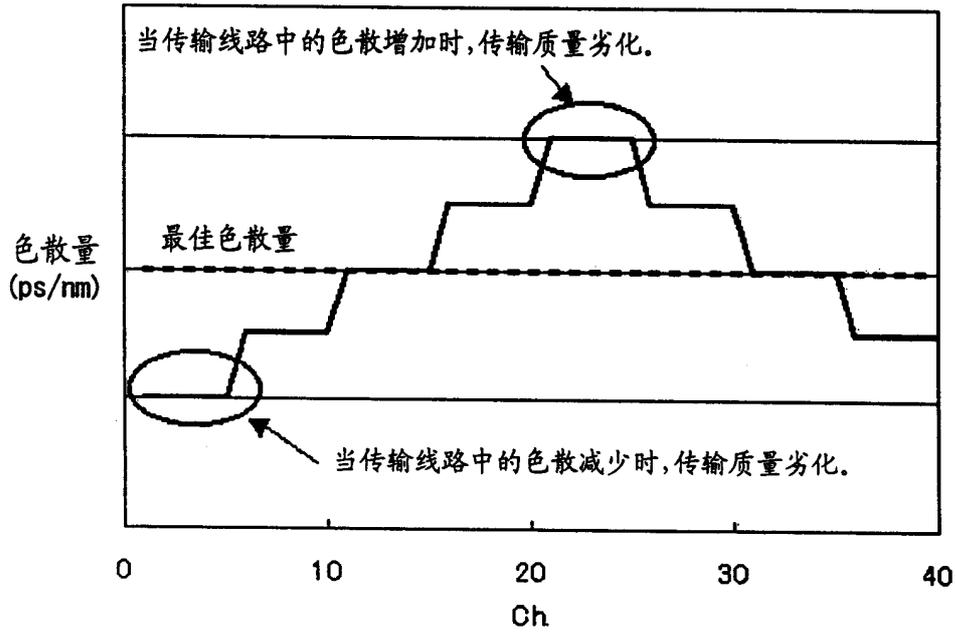


图 32

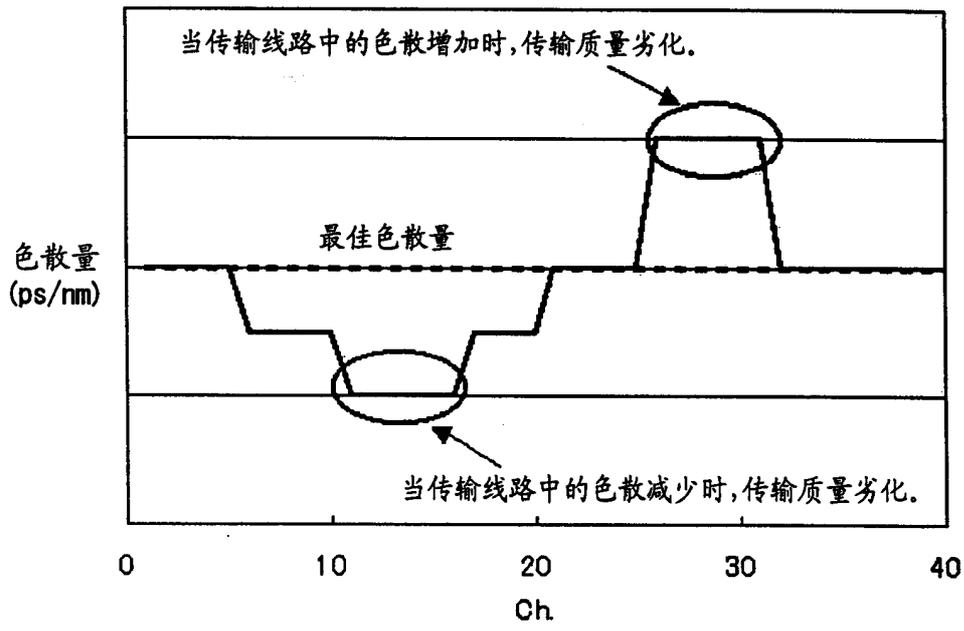


图 33

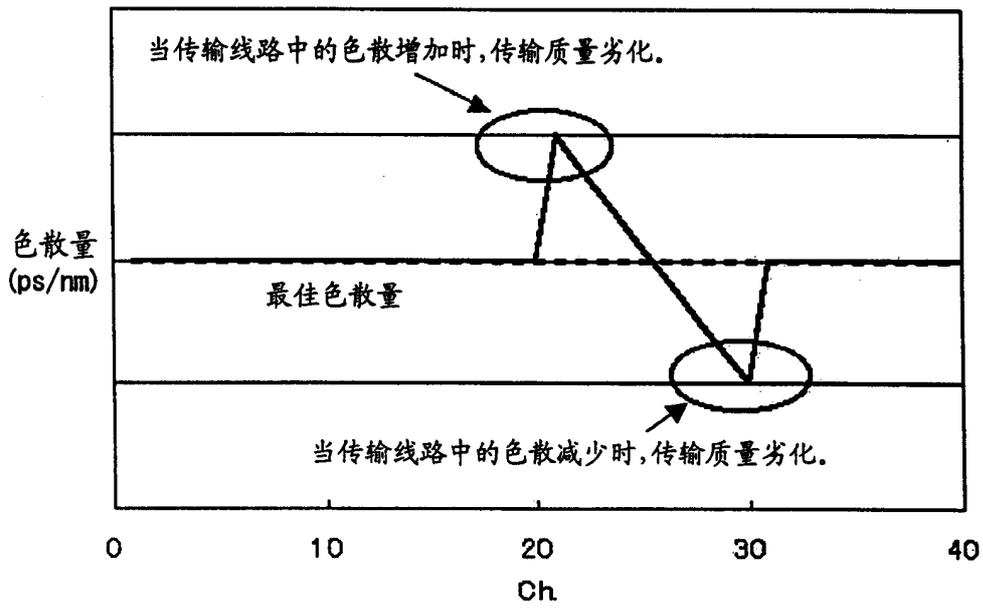


图 34

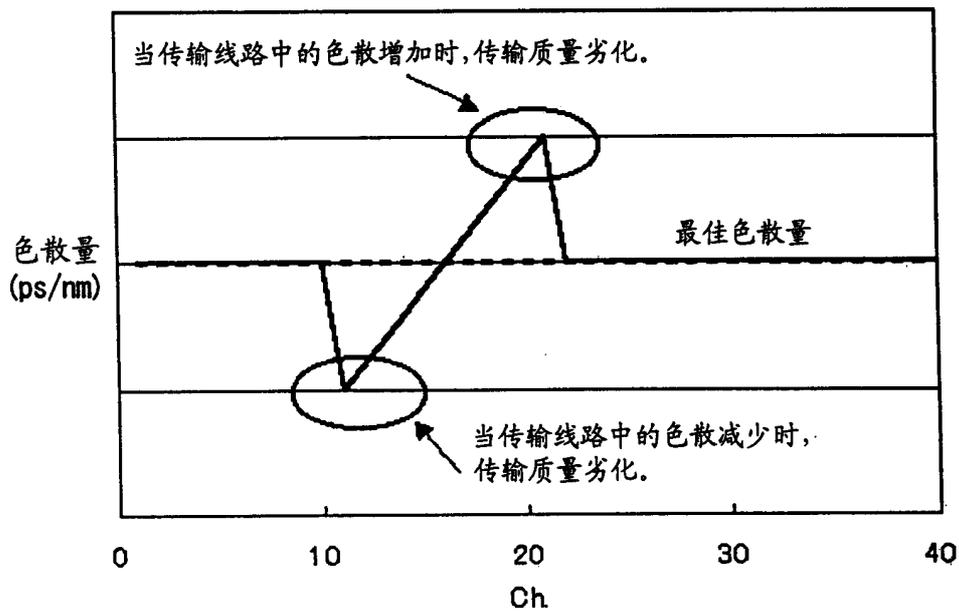


图 35

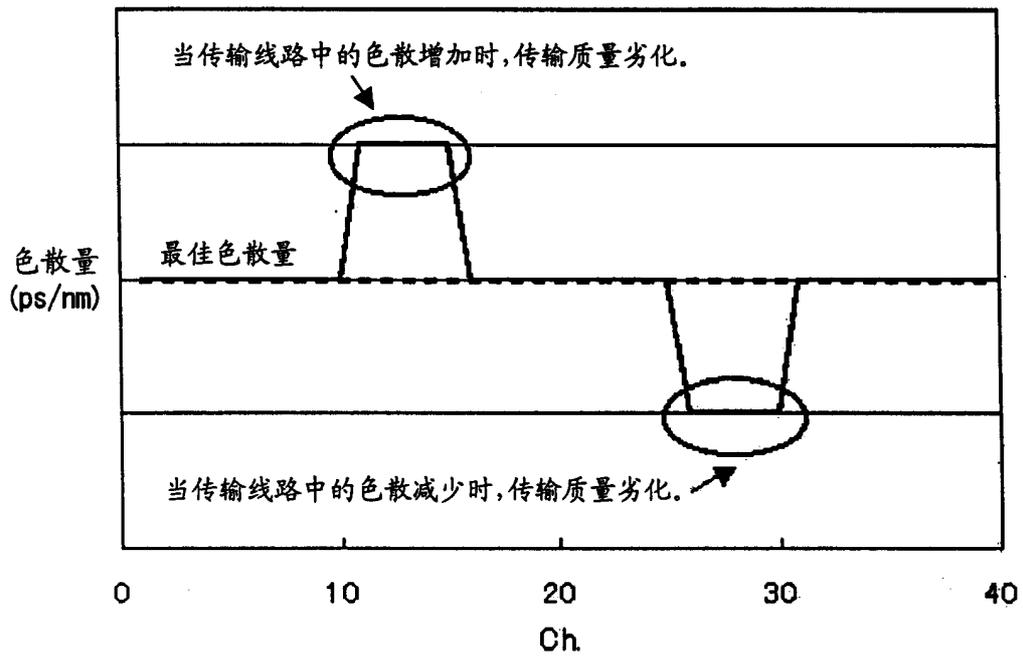


图 36

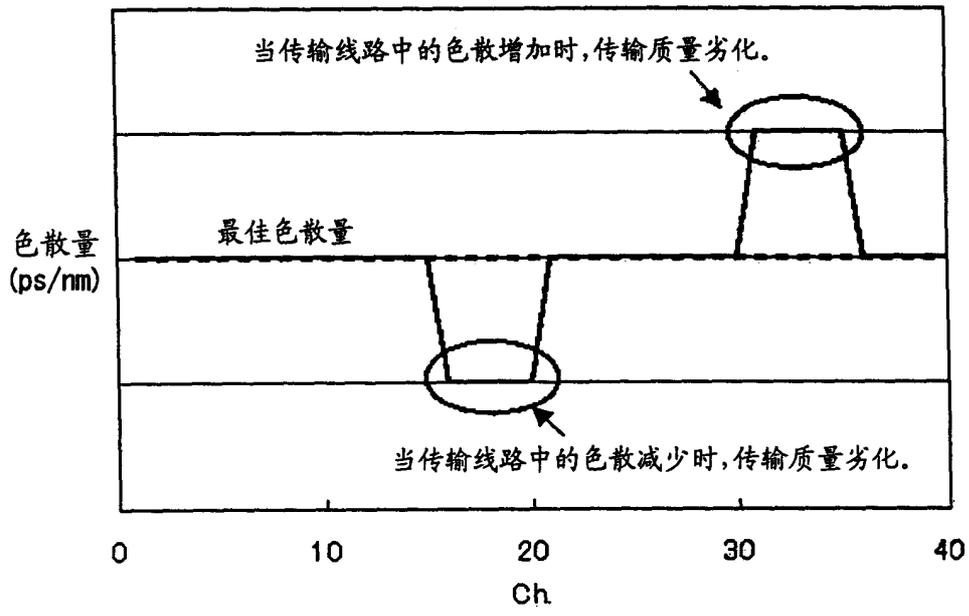


图 37

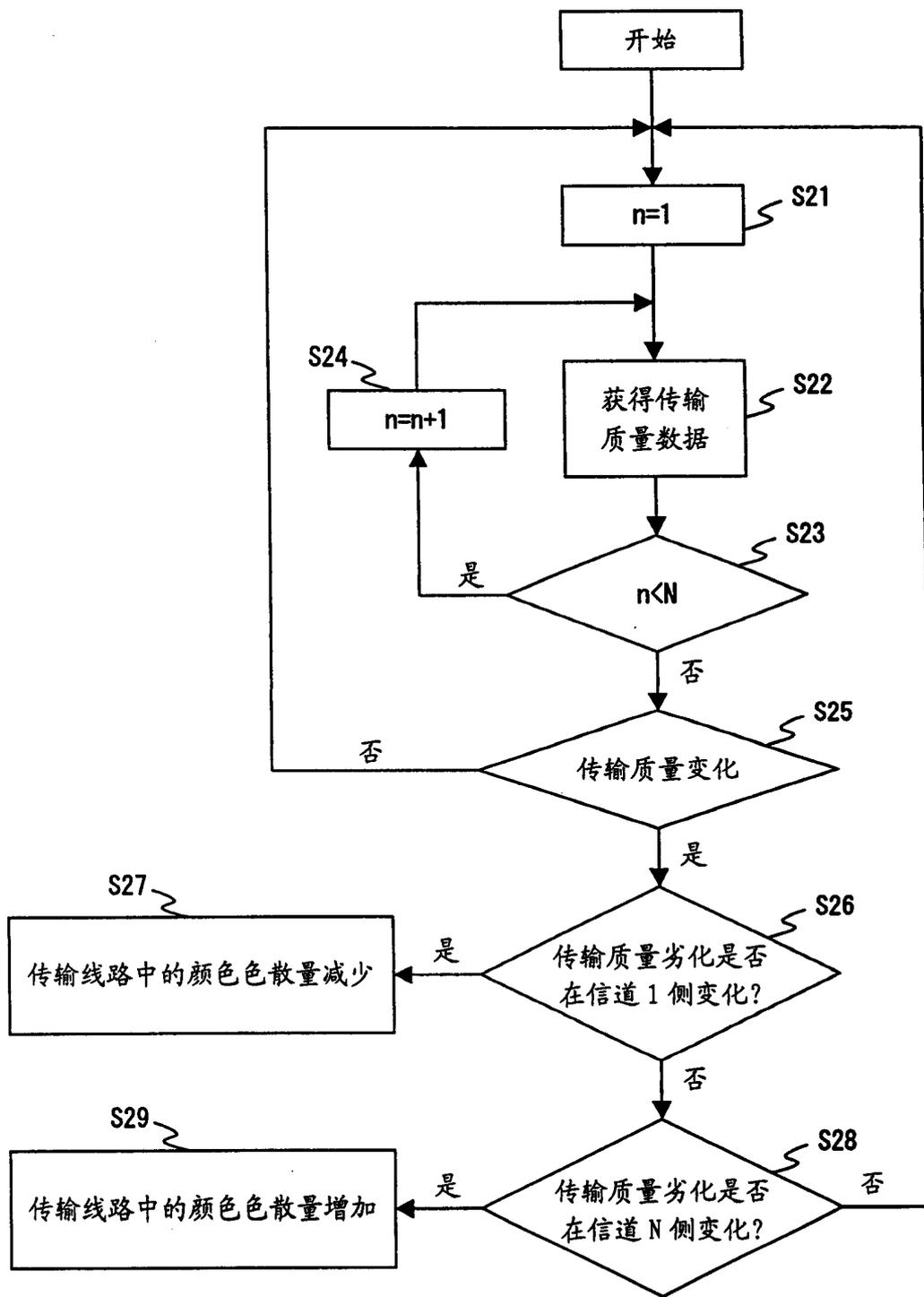


图 38

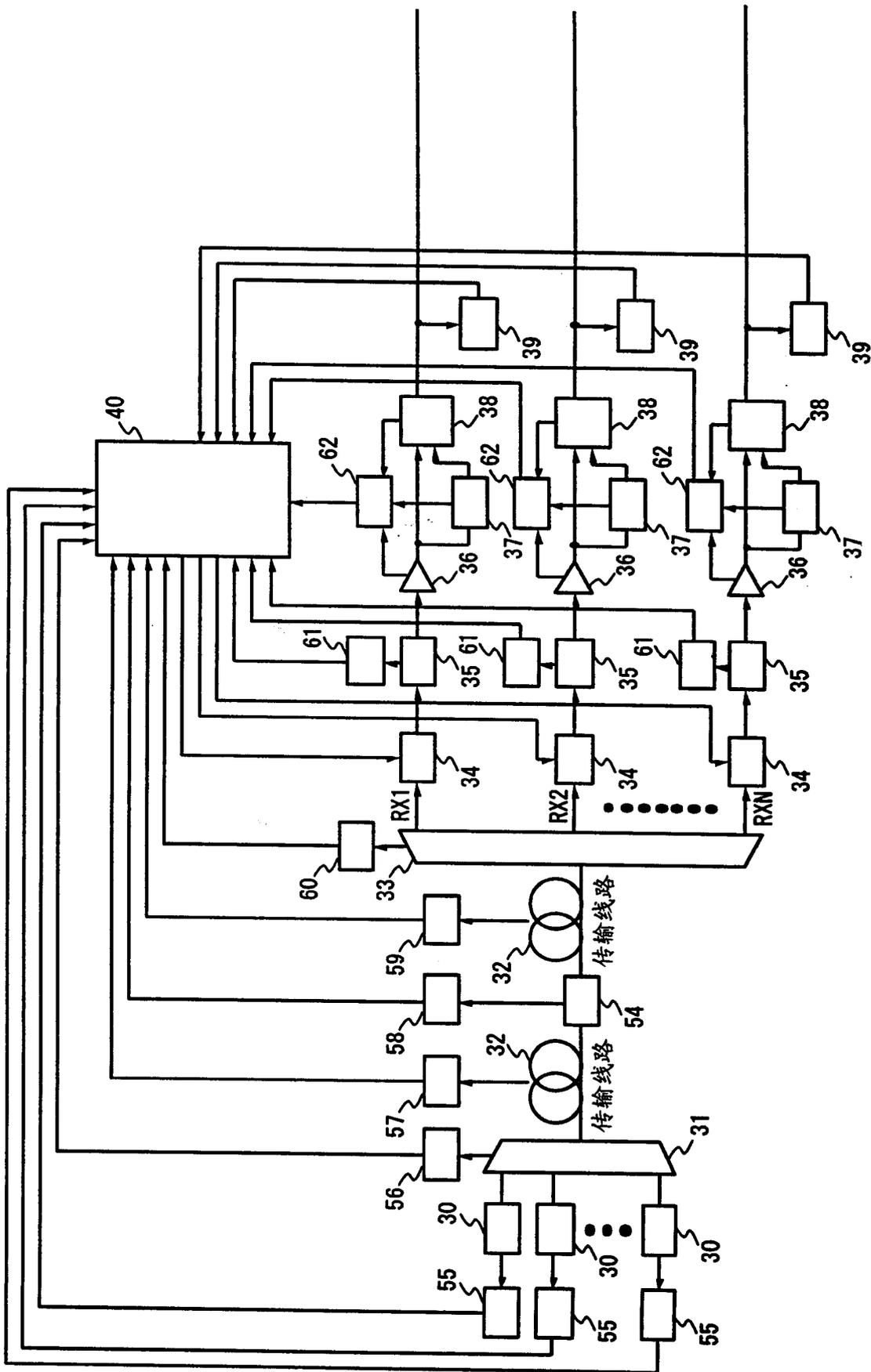


图 39

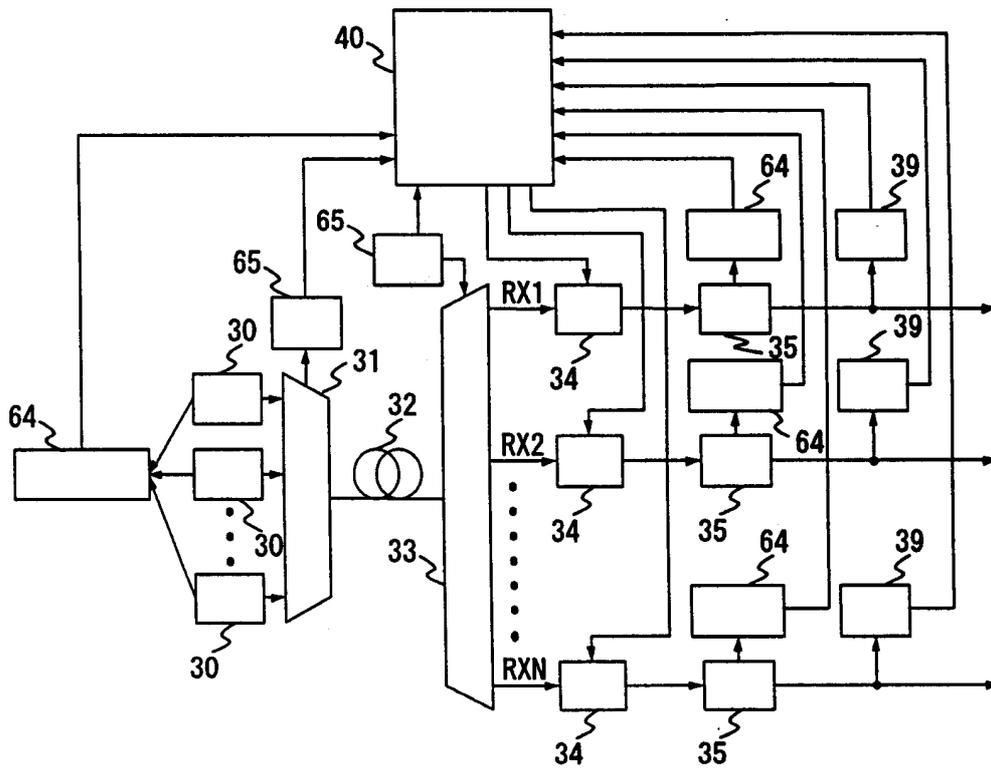


图 40

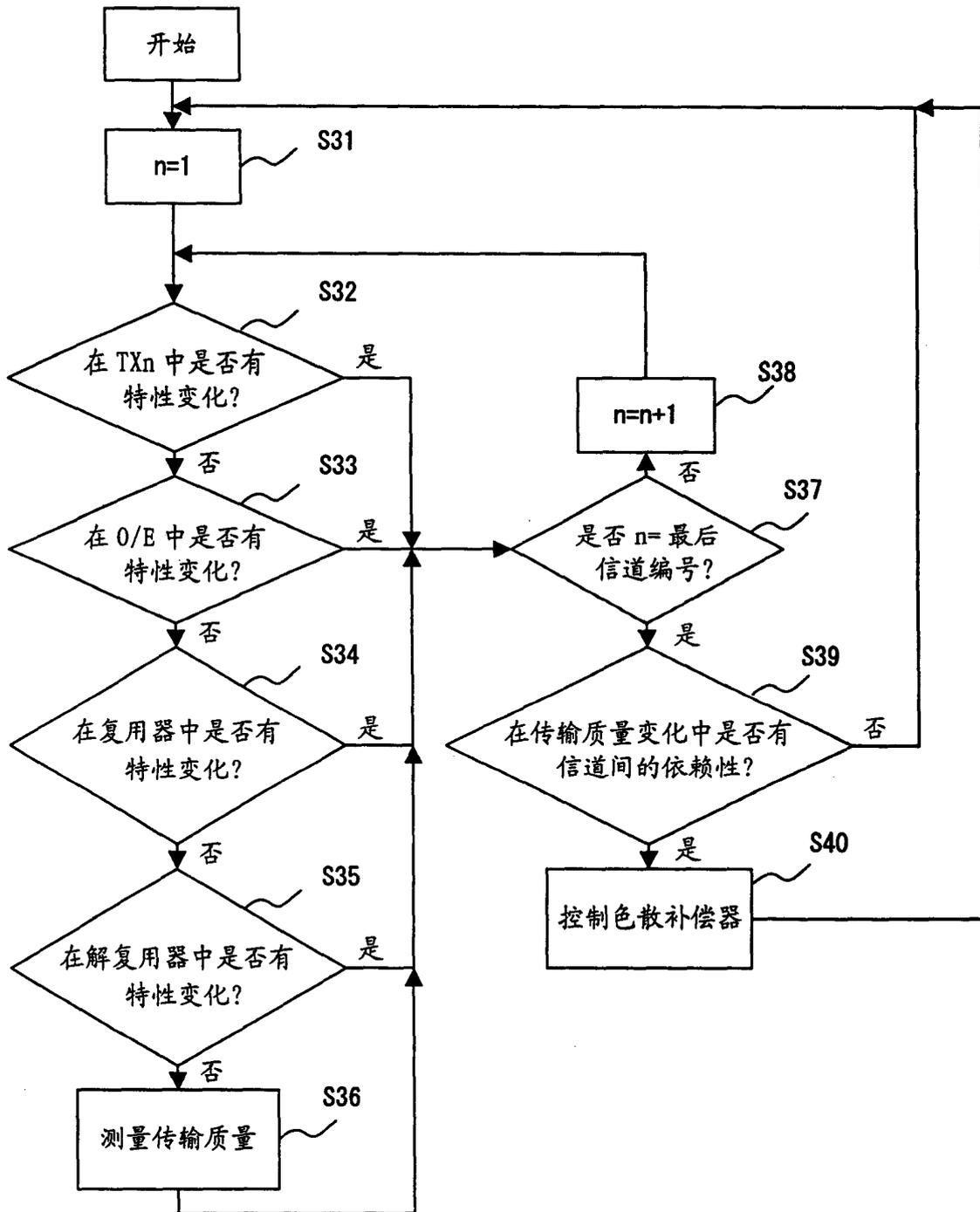


图 41

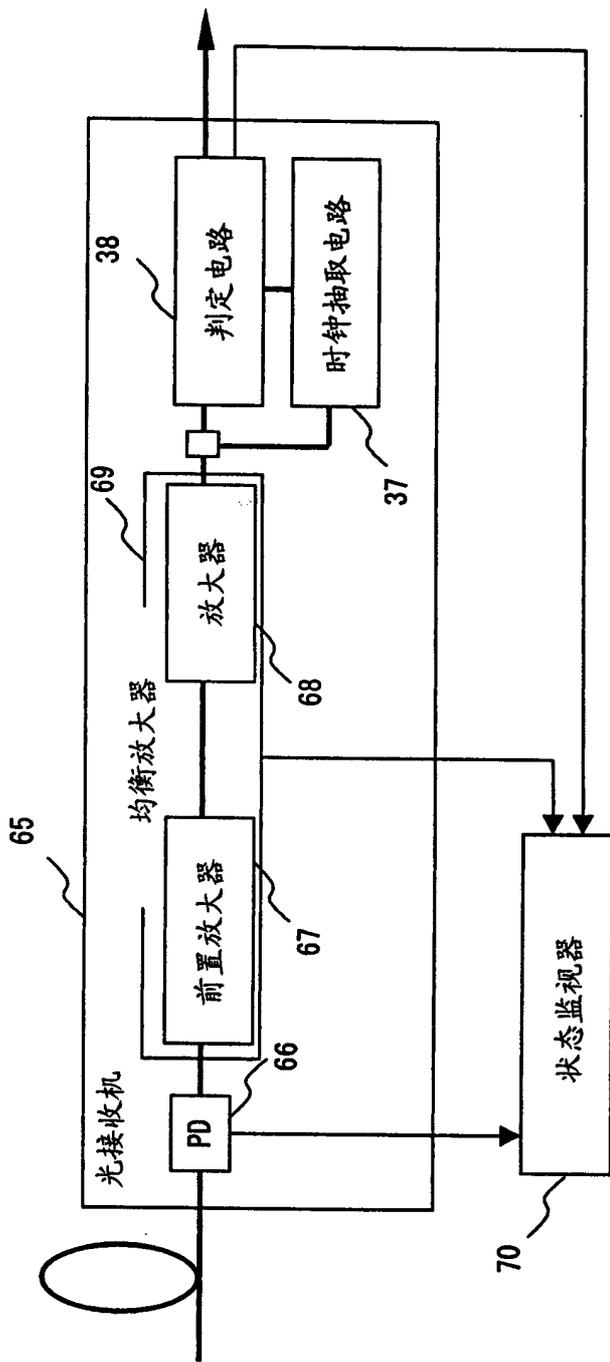


图 42

| 部件    | 特性项目例                            |
|-------|----------------------------------|
| PD    | 偏置电流<br>输入光功率                    |
| 均衡放大器 | 电源电压<br>温度<br>输出振幅               |
| 判定电路  | 电源电压<br>温度<br>判定阈值(基准电位)<br>判定相位 |

图 43

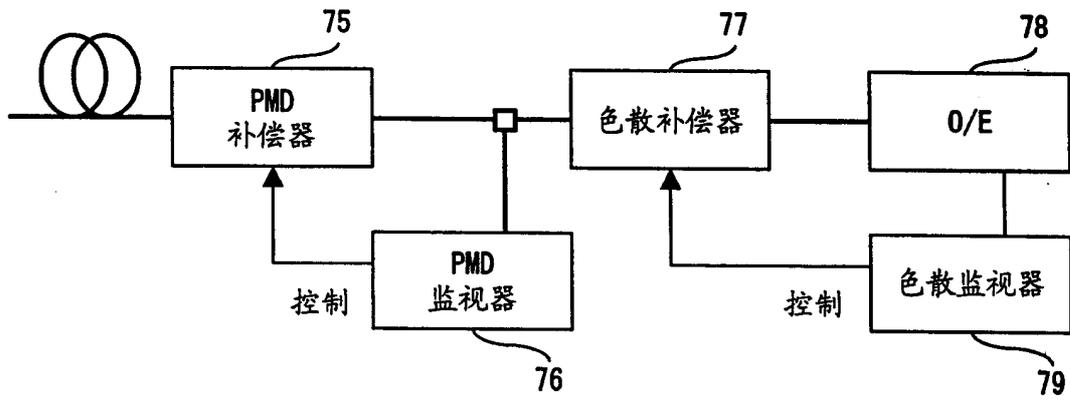


图 44

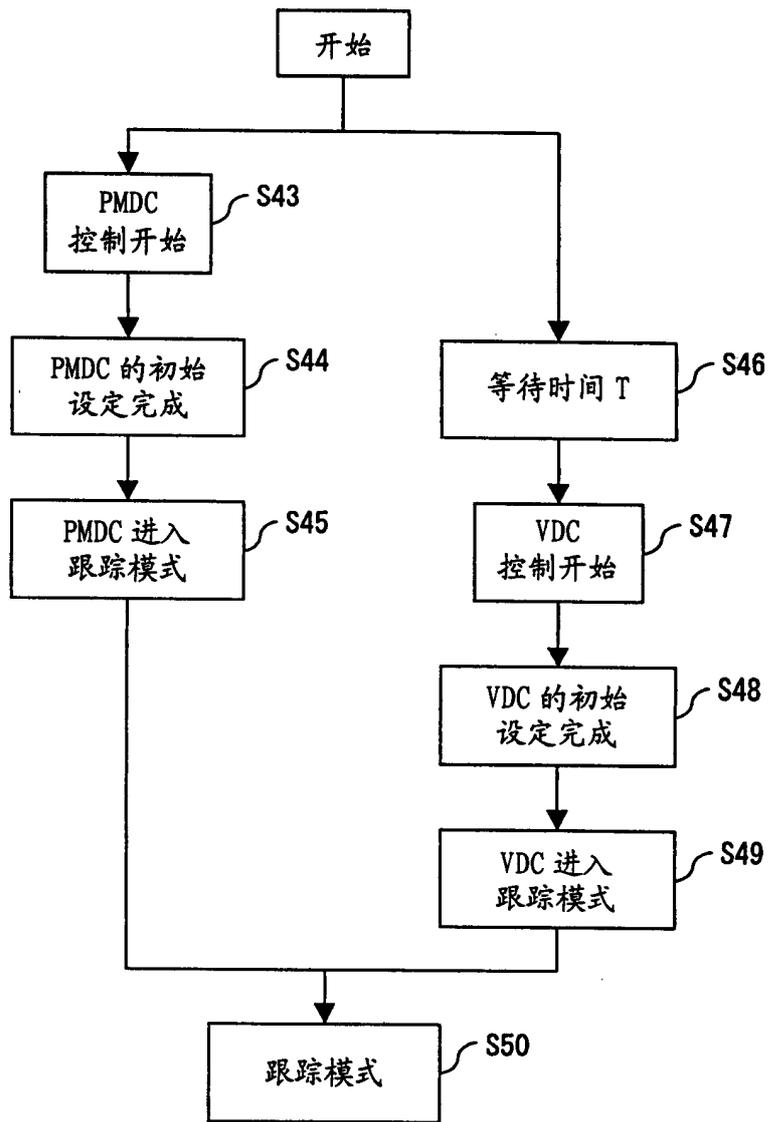


图 45

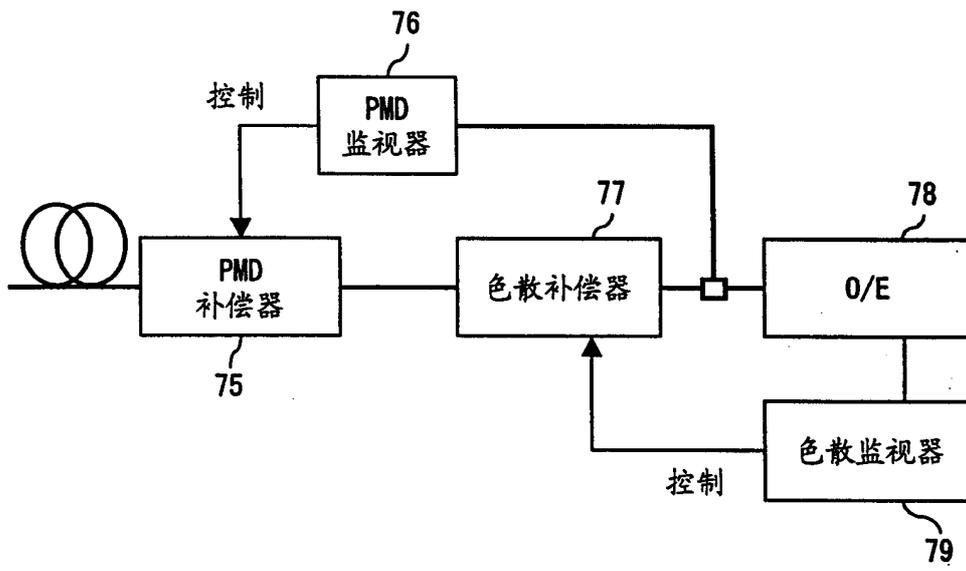


图 46

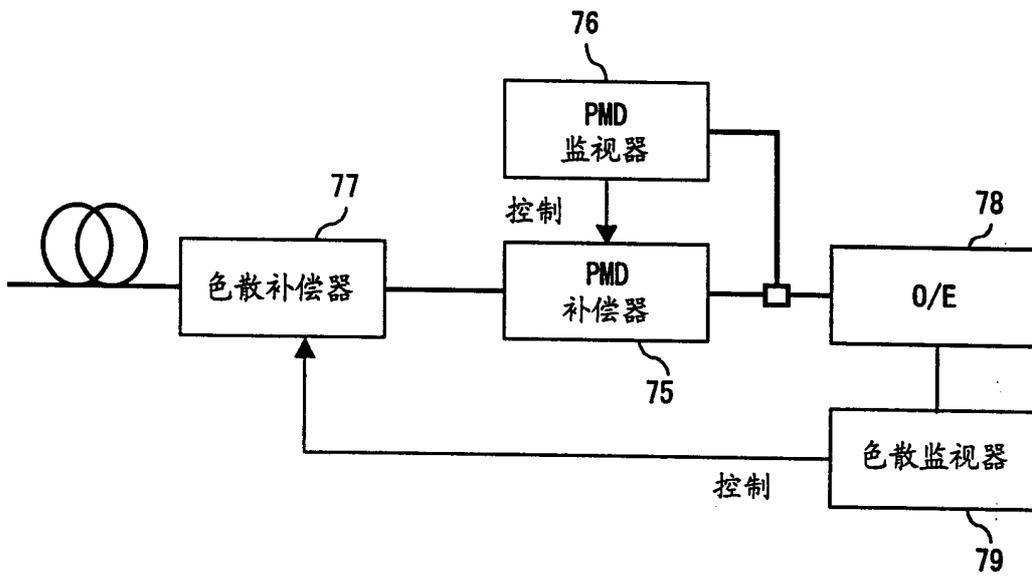


图 47

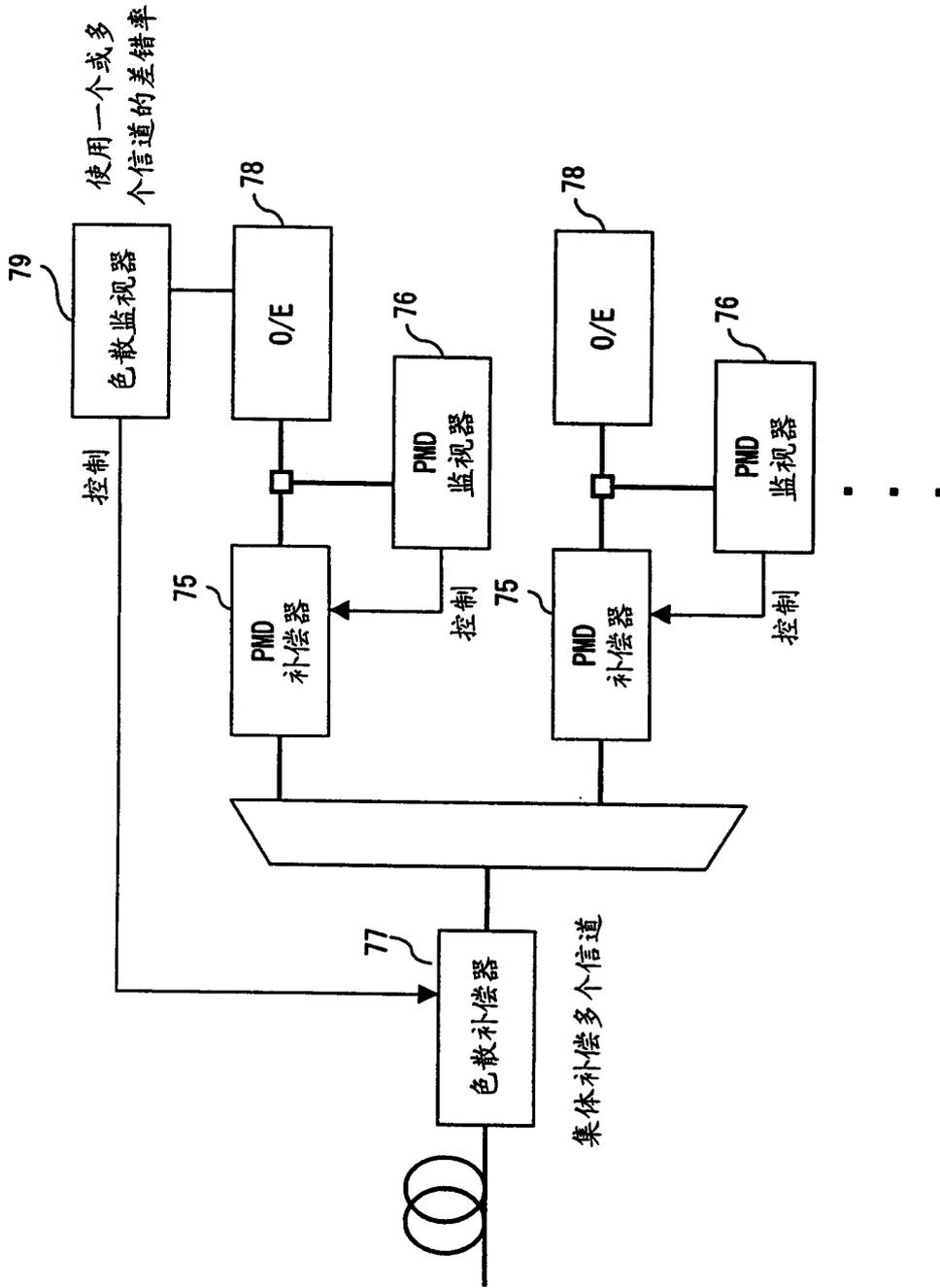


图 48

|         | PMD                   | 颜色色散       |
|---------|-----------------------|------------|
| 信道间的依赖性 | 无                     | 有          |
| 变化速度    | 快(光纤接触)<br>慢(由温度变化引起) | 慢(由温度变化引起) |

图 49

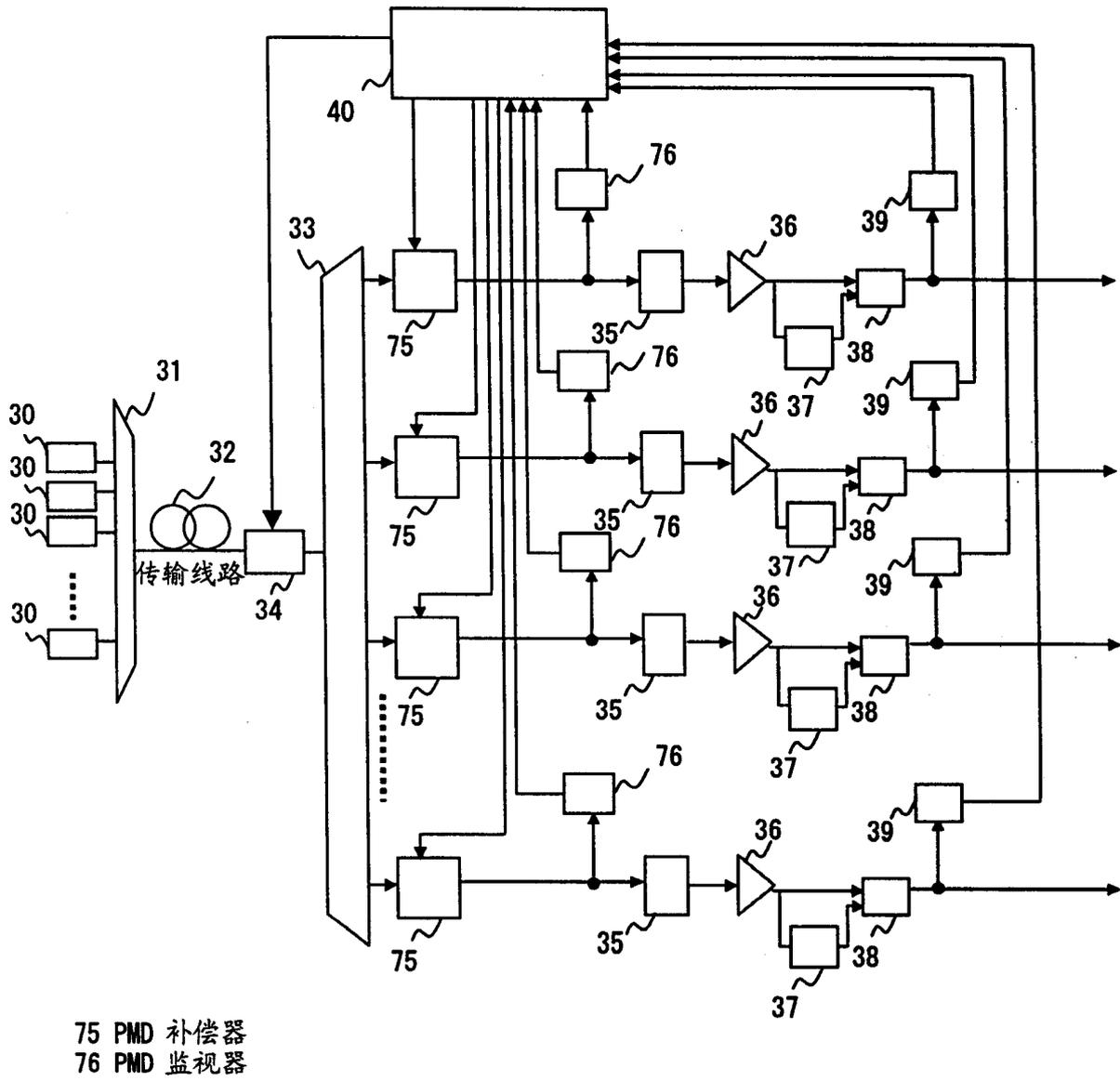


图 50

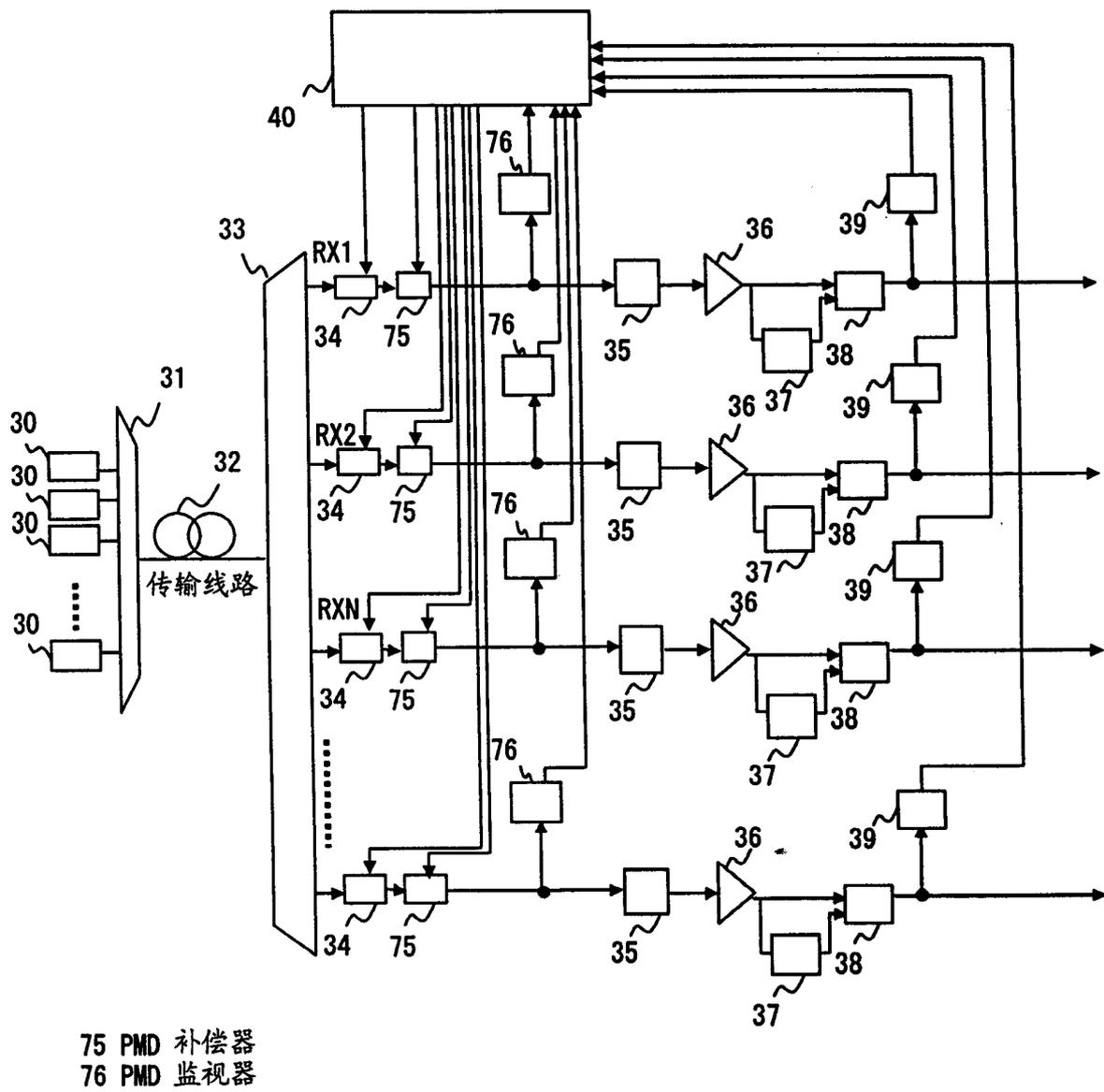


图 51

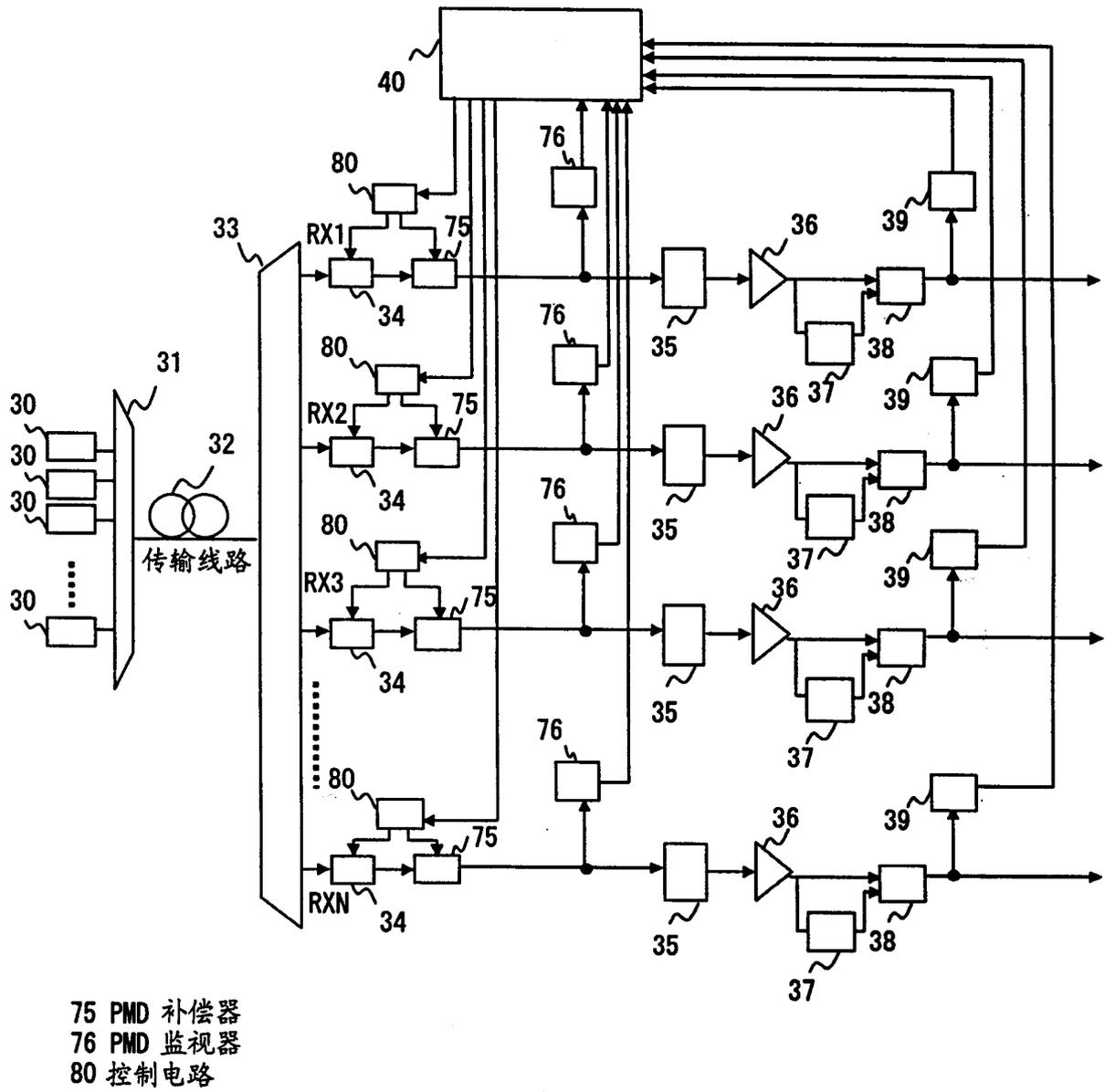


图 52

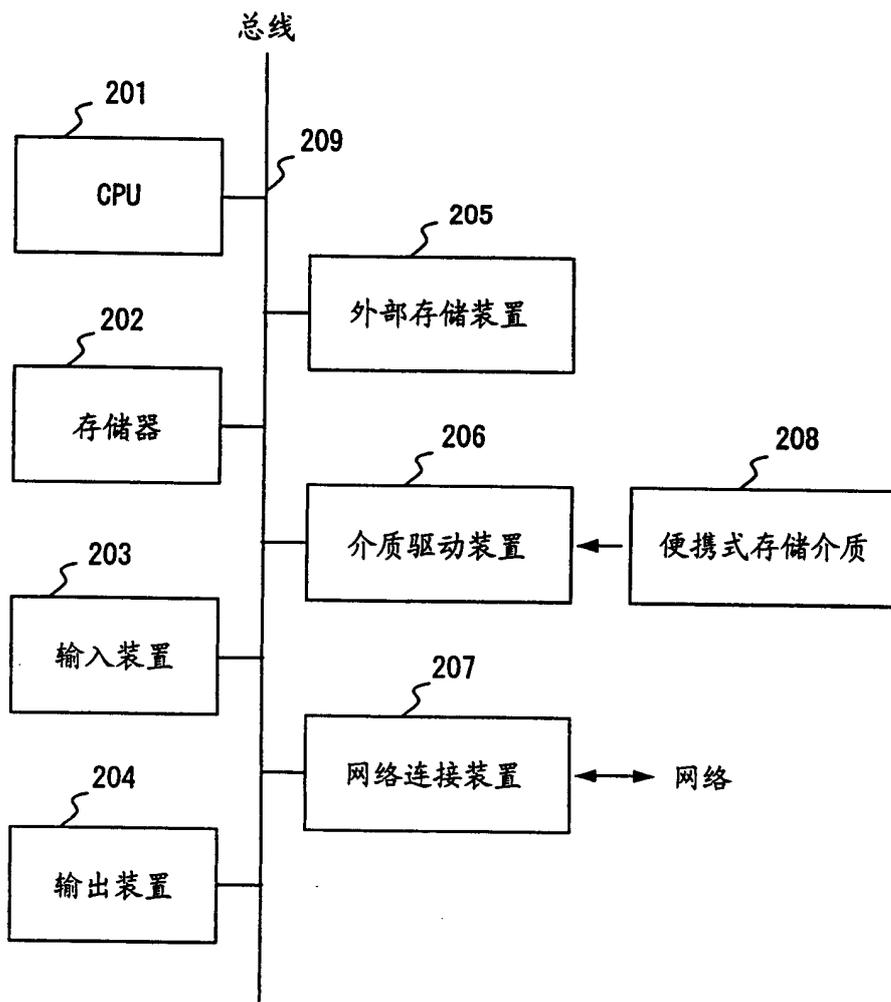


图 53

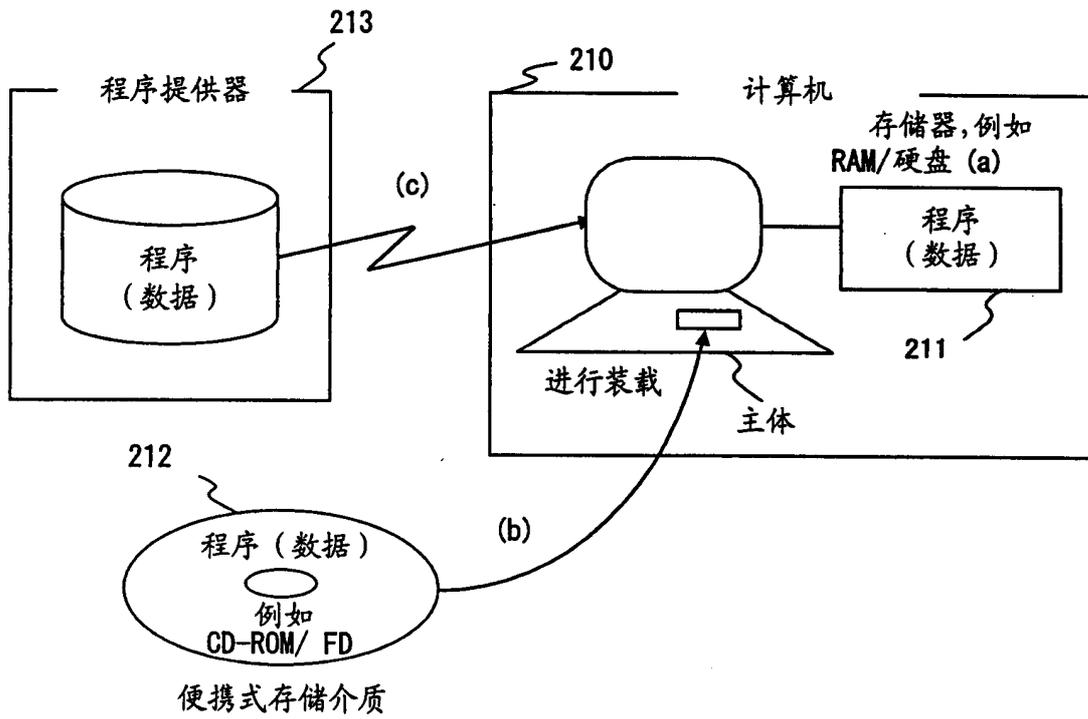


图 54