



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113726418 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 03

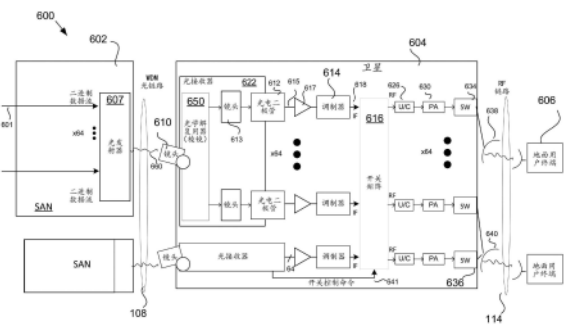
(21) 申请号 202111118521.3  
(22) 申请日 2016.12.30  
(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113726418 A  
(43) 申请公布日 2021.11.30  
(30) 优先权数据  
62/273,730 2015.12.31 US  
(62) 分案原申请数据  
201680076870.4 2016.12.30  
(73) 专利权人 维尔塞特公司  
地址 美国加利福尼亚州  
(72) 发明人 亚伦·门德尔松

(74) 专利代理机构 深圳鹰翅知识产权代理有限公司 44658  
专利代理师 王怡瑾 周婧  
(51) Int.Cl.  
H04B 7/185 (2006.01)  
H04B 10/25 (2013.01)  
(56) 对比文件  
EP 2723001 A1,2014.04.23  
US 2005100339 A1,2005.05.12  
US 6404398 B1,2002.06.11  
CN 104662820 A,2015.05.27  
US 2008291083 A1,2008.11.27  
US 5956620 A,1999.09.21  
审查员 周璐

权利要求书6页 说明书22页 附图26页

(54) 发明名称  
使用光学馈电链路的宽带卫星通信系统

(57) 摘要  
本发明公开了使用光学馈电链路的宽带卫星通信系统。公开了各种光学调制方案,其能够为固定点波束、星上波束成形和陆基波束成形宽带卫星系统提供改进的容量。



1. 一种卫星,包括:

两个或以上的光接收器,每个光接收器被配置为接收携带前向流量的光学馈电链路信号以供卫星传输,并且每个光接收器具有多个数字输出,用于输出对应的多个数字信号,所述数字信号传送由接收到的光学馈电链路信号传送的前向流量;

对应于每个光接收器的多个调制器,每个调制器具有数字输入和模拟输出,所述数字输入耦接到对应光接收器的多个数字输出中的一个,使得每个调制器输出对应于施加到调制器数字输入的数字信号的模拟信号;

开关矩阵,所述开关矩阵具有多个开关矩阵输出和用于每个光接收器的对应的多个开关矩阵输入,每个开关矩阵输入耦接到对应多个调制器中的对应的调制器的模拟输出,并且其中所述开关矩阵通过选择哪个多个开关矩阵输入耦接到开关矩阵输出,可控地选择在任何给定时间使用哪个光接收器接收卫星传输的前向流量;和

多个天线,每个天线具有耦接到所述开关矩阵输出中对应的一个的天线输入。

2. 根据权利要求1所述的卫星,还包括用于每个光接收器的对应多个低噪声放大器LNA,每个对应多个低噪声放大器LNA将光接收器的多个数字输出耦接到对应多个调制器的数字输入。

3. 根据权利要求1所述的卫星,其中每个天线被配置为在射频用户下行链路上产生对应的用户点波束。

4. 根据权利要求1所述的卫星,其中所述每个光接收器包括提供从光接收器输出的多个数字信号的多个光电二极管,每个光电二极管具有耦接到光接收器的对应数字输出的数字输出。

5. 根据权利要求4所述的卫星,其中由两个或以上光接收器中的任何给定的光接收器接收的光学馈电链路信号包括复用的多个光信道信号,其中给定的光接收器被配置为解复用接收到的光学馈电链路信号以获得多个光信道信号,传送数字流的每个光信道信号在任何给定时间包括对应于多个天线提供的多个用户点波束中的一个的对应用户波束覆盖区域的前向流量,并且其中根据所述光电二极管输出的数字信号具有响应于高于第一强度水平的对应光信道信号的第一逻辑状态,或者具有响应于低于第二强度水平的对应光信道信号的第二逻辑状态,每个光电二极管接收光信道信号和数字信号输出中的对应一个。

6. 根据权利要求1所述的卫星,其中每个调制器是双相调制器。

7. 根据权利要求1所述的卫星,其中每个调制器是正交幅度调制器。

8. 根据权利要求1所述的卫星,其中,每个开关矩阵输出通过包括频率转换器的对应信号路径耦接到多个天线输入中的对应一个。

9. 根据权利要求8所述的卫星,其中,每个对应的信号路径还包括设置在频率转换器之后的功率放大器。

10. 根据权利要求9所述的卫星,其中,每个功率放大器的输出经由开关耦接到多个天线输入中的两个或以上天线输入中的可选择的一个。

11. 根据权利要求1所述的卫星,其中每个光接收器包括光学解复用器,配置为从光接收器接收的光学馈电链路信号中解复用多个光信道信号,每个光信道信号传送对应的数字流,并且光接收器还包括多个光电二极管,每个光电二极管被配置为响应于多个光信道信号中的对应信号而生成多个数字信号中的对应信号。

12. 根据权利要求11所述的卫星,其中每个光接收器包括可转向的镜头,用于选择两个或以上地理上分离的卫星接入节点SAN中的哪个SAN提供由光接收器接收的光学馈电链路信号。

13. 根据权利要求12所述的卫星,其中所述可转向的镜头通过围绕至少两个轴线旋转来转向。

14. 根据权利要求12所述的卫星,其中所述可转向的镜头可转向以响应卫星接收到的地面命令。

15. 根据权利要求12所述的卫星,其中所述可转向的镜头通过卫星的星上处理响应生成的命令。

16. 根据权利要求1所述的卫星,其中所述开关矩阵还包括控制输入,并且其中卫星被配置为基于经由两个或以上光接收器中的一个或多个接收开关控制命令并将开关控制命令应用到控制输入,控制在任何给定时间使用哪个光接收器来接收由卫星传输的前向流量。

17. 一种卫星,包括:

具有两个或以上的光接收器,每个光接收器被配置为接收携带前向流量的光学馈电链路信号以供卫星传输,并且每个光接收器具有多个射频RF输出,用于输出对应的多个模拟信号来传送前向流量;

开关矩阵,具有用于每个光接收器的对应多个开关矩阵输入和多个开关矩阵输出,每个开关矩阵输入耦接到对应光接收器的多个射频RF输出中的对应射频RF输出,并且其中所述开关矩阵通过选择哪个多个开关矩阵输入耦接到开关矩阵输出,可控地选择在任何给定时间使用哪个光接收器接收卫星传输的前向流量;以及

多个天线,每个天线具有天线输入,每个天线输入耦接到所述开关矩阵输出中对应的一个。

18. 根据权利要求17所述的卫星,还包括用于每个光接收器的对应多个低噪声放大器LNA,每个对应多个LNA将光接收器输出的多个射频RF输出耦接到对应多个开关矩阵输入。

19. 根据权利要求18所述的卫星,其中每个天线被配置为在射频用户下行链路上产生对应的用户点波束。

20. 根据权利要求19所述的卫星,其中所述用户点波束被引导至分布在基本上比用户波束覆盖区域大的卫星服务覆盖区域的个别的用户波束覆盖区域。

21. 根据权利要求17所述的卫星,其中每一个光接收器包括光学解复用器,其被配置为从光接收器接收的光学馈电链路信号中解复用对应光学波长的多个光信道信号,光学解复用器具有提供多个光信道信号的多个输出。

22. 根据权利要求21所述的卫星,其中与所述光学解复用器的所述输出相关联的所述光学波长被分组在光学波段中。

23. 根据权利要求22所述的卫星,其中同一光学波段中的光学波长限定独特的光信道。

24. 根据权利要求21所述的卫星,其中所述每个光接收器包括多个光电二极管,每个光电二极管生成从光接收器输出的多个模拟信号中的对应信号,以响应多个光信道信号中的对应信号。

25. 根据权利要求24所述的卫星,其中从所述每个光电二极管输出的模拟信号具有一

个幅度,该幅度跟踪施加到所述光电二极管的对应光信道信号的强度。

26. 根据权利要求17所述的卫星,其中每个所述光接收器还包括可转向的镜头,用于选择两个或以上卫星接入节点SAN中的哪个卫星接入节点SAN提供由光接收器接收的光学馈电链路信号。

27. 根据权利要求17所述的卫星,其中每个开关矩阵输出通过包括频率转换器的对应信号路径耦接到多个天线输入中的对应一个。

28. 根据权利要求27所述的卫星,每个对应的信号路径还包括设置在频率转换器之后的功率放大器。

29. 根据权利要求28所述的卫星,所述每个功率放大器的输出经由开关耦接到多个天线输入中的两个或以上天线输入中的可选择的一个。

30. 一种卫星通信系统,包括:

两个或以上的卫星接入节点SAN,至少一个所述SAN包括:

光发射器,所述光发射器包括至少一个光调制器,每个光调制器具有电输入和光输出;

光合路器,所述光合路器具有一个输出和至少一个输入,每个输入耦接到所述至少一个光调制器中对应的一个的所述光输出;以及

镜头,所述镜头耦接到所述光合路器以将光合路器的输出作为光学馈电上行链路信号传输,该光学馈电上行链路信号携带前向流量以供卫星传输;和

所述卫星包括:

两个或以上的光接收器,每个所述光接收器具有可转动镜头,以接收两个或以上所述SAN中的选定一个传输的光学馈电上行链路信号,以及还具有多个数字输出,用于输出对应多个数字信号,所述数字信号传送由接收到的光学馈电链路信号传送的前向流量;

用于每个光接收器的对应多个调制器,每个调制器具有数字输入和模拟输出,所述数字输入耦接到对应光接收器的多个数字输出中的一个,使得每个调制器输出对应于施加到调制器数字输入的数字信号的模拟信号;

开关矩阵,所述开关矩阵具有多个开关矩阵输出和用于每个光接收器的对应的多个开关矩阵输入,每个开关矩阵输入耦接到对应多个调制器中的对应的调制器的模拟输出,并且其中所述开关矩阵通过选择哪个多个开关矩阵输入耦接到开关矩阵输出,可控地选择在任何给定时间使用哪个光接收器接收卫星传输的前向流量;以及

多个天线,每个天线具有耦接到开关矩阵输出中对应的一个的天线输入。

31. 根据权利要求30所述的系统,还包括用于每个光接收器的对应多个低噪声放大器LNA,每个对应多个LNA将光接收器的多个数字输出耦接到对应多个调制器的数字输入。

32. 根据权利要求30所述的系统,其中每个天线被配置为在射频用户下行链路上产生对应的用户点波束。

33. 根据权利要求30所述的系统,其中每个光接收器包括提供从光接收器输出的多个数字信号的多个光电二极管,每个光电二极管具有耦接到所述光接收器的对应数字输出的数字输出。

34. 根据权利要求33所述的系统,其中由两个或以上光接收器中的任何给定的光接收器接收的光学馈电链路信号包括复用的多个光信道信号,其中给定的光接收器被配置为解复用接收到的光学馈电链路信号以获得多个光信道信号,每个光信道信号传送数字流,数

字流在任何给定时间包括对应于由多个天线提供的多个用户点波束中的一个的对应用户波束覆盖区域的前向流量,并且根据光电二极管具有响应于高于第一强度水平的对应光信道信号的第一逻辑状态,或者具有响应于低于第二强度水平的对应光信道信号的第二逻辑状态,每个光电二极管接收光信道信号和数字信号中的对应一个。

35. 根据权利要求30所述的系统,其中每个调制器是双相调制器。

36. 根据权利要求30所述的系统,其中每个调制器是正交幅度调制器。

37. 根据权利要求30所述的系统,其中每个开关矩阵输出通过包括频率转换器的对应信号路径耦接到多个天线输入中的对应一个。

38. 根据权利要求37所述的系统,其中每个对应的信号路径还包括设置在频率转换器之后的功率放大器。

39. 根据权利要求38所述的系统,其中每个功率放大器的输出经由开关耦接到多个天线输入中的两个或以上天线输入中的可选择的一个。

40. 根据权利要求30所述的系统,其中每个光接收器包括光学解复用器,配置为从光接收器接收的光学馈电链路信号中解复用多个光信道信号,每个光信道信号传送对应的数字流,并且光接收器还包括多个光电二极管,每个光电二极管被配置为响应于多个光信道信号中的对应信号而生成多个数字信号中的对应信号。

41. 根据权利要求30所述的系统,其中每个所述光接收器还包括可转向的镜头,用于选择两个或以上卫星接入节点SAN中的哪个卫星接入节点SAN提供由光接收器接收的光学馈电链路信号。

42. 根据权利要求41所述的系统,其中所述可转向的镜头可通过响应于卫星接收到的地面命令围绕至少两个轴线旋转来转向。

43. 根据权利要求41所述的系统,其中所述可转向的镜头可通过响应于经由卫星的星上处理生成的命令围绕至少两个轴线旋转来转向。

44. 根据权利要求41所述的系统,其中所述可转向的镜头可相对于至少两个轴转向,以控制可转向的镜头的指向方向。

45. 根据权利要求30所述的系统,其中所述开关矩阵还包括控制输入,所述卫星被配置为基于经由两个或以上光接收器中的一个或多个接收开关控制命令并将开关控制命令应用到控制输入,控制在任何给定时间使用哪个光接收器来接收由卫星传输的前向流量。

46. 一种卫星通信系统,包括:

两个或以上的卫星接入节点SAN,每个所述SAN包括:

光发射器,所述光发射器包括至少一个光调制器,每个光调制器具有电输入和光输出;

光合路器,所述光合路器具有一个射频RF调制光输出和至少一个输入,每个输入耦接到所述至少一个光调制器中对应的一个的所述光输出;以及

镜头,所述镜头用于发送所述光合路器的所述射频RF调制输出作为光学馈电上行链路信号,承载前向流量以供卫星传输;以及

所述卫星包括:

两个或以上的光接收器,每个光接收器被配置为接收携带前向流量的光学馈电链路信号以供卫星传输,并且每个光接收器具有多个射频RF输出以用于输出对应的多个模拟信号来传送前向流量;

开关矩阵,具有多个开关矩阵输出和用于每个光接收器的对应的多个开关矩阵输入,每个开关矩阵输入耦合到对应光接收器的多个射频RF输出中的对应射频RF输出,并且其中所述开关矩阵通过选择哪个多个开关矩阵输入耦合到开关矩阵输出,可控地选择在任何给定时间使用哪个光接收器接收卫星传输的前向流量;以及

多个天线,每个天线具有天线输入,每个天线输入耦合到所述开关矩阵输出中对应的一个。

47.根据权利要求46所述的系统,还包括用于每个光接收器的对应的多个低噪声放大器LNA,每个低噪声放大器将光接收器输出的多个射频RF输出耦合在对应的多个开关矩阵输入。

48.根据权利要求47所述的系统,其中每个天线被配置为在射频用户下行链路上产生对应的用户点波束。

49.根据权利要求48所述的系统,其中用户点波束被引导至分布在基本上比单个的用户波束覆盖区域大的卫星服务覆盖区域的用户波束覆盖区域。

50.根据权利要求46所述的系统,其中每个光接收器包括光学解复用器,该光学解复用器被配置为从光接收器接收的光学馈电链路信号中解复用对应光学波长的多个光信道信号,该光学解复用器具有提供多个光信道信号的多个输出。

51.根据权利要求50所述的系统,其中与所述光学解复用器的所述输出相关联的所述光学波长被分组在光学波段中。

52.根据权利要求51所述的系统,其中同一光学波段中的光学波长限定独特的光信道。

53.根据权利要求46所述的系统,其中每个光接收器包括多个光电二极管,每个光电二极管生成从光接收器输出的多个模拟信号中的对应一个,以响应多个光信道信号中的对应信号。

54.根据权利要求53所述的系统,其中从每个光电二极管输出的模拟信号具有跟踪施加到光电二极管的对应光信道信号的强度的幅度。

55.根据权利要求46所述的系统,其中每个光接收器还包括可转向的镜头,用于选择两个或以上SAN中的哪个SAN提供由光接收器接收的光学馈电链路信号。

56.根据权利要求55所述的系统,其中所述镜头可通过响应于卫星接收到的地面命令围绕至少两个轴线旋转来转向。

57.根据权利要求55所述的系统,其中所述镜头可通过响应卫星通过星上处理生成的命令围绕至少两个轴线旋转来转向。

58.根据权利要求46所述的系统,其中每个开关矩阵输出经由包括频率转换器的对应信号路径耦合到对应天线输入。

59.根据权利要求58所述的系统,其中每个对应的信号路径还包括设置在频率转换器之后的功率放大器。

60.根据权利要求46所述的系统,其中每个功率放大器的输出经由开关耦合到多个天线输入中的两个或以上天线输入中的可选择的一个。

61.一种卫星,包括:

多个天线,用于从卫星覆盖区域中的用户终端接收返回业务,每个天线被配置为接收返回的上行链路信号,所述返回的上行链路信号传送来自细分卫星覆盖区域的多个用户覆

盖区域中的对应一个中的用户终端的返回业务,以及每个天线都有一个天线输出;

两个或以上的的光发射器,每个光发射器被配置用于传输光学馈电下行链路信号,该光学馈电下行链路信号包括复用的多个光信道信号,每个光信道信号根据施加到光发射器的数字输入的多个数字信号中的对应一个调制;

用于每个光发射器的对应多个射频RF解调器,多个射频RF解调器被配置为通过解调多个模拟信号来生成用于对应光发射器的数字信号,每个模拟信号对应于经由多个天线中的一个对应天线接收的返回的上行链路信号;和

开关矩阵,包括多个开关矩阵输入,所述多个开关矩阵输入耦接经由将多个天线耦接到开关矩阵输入的信号路径以接收多个模拟信号;开关矩阵还包括两个或以上的多个开关矩阵输出,每个多个开关矩阵输出与对应的多个射频RF解调器之一耦接,并且其中开关矩阵通过选择哪个多个开关矩阵输出与开关矩阵输入的耦接,来可控的选择两个或以上光发射器中的哪个光发射器将返回流量传输到地面。

62. 根据权利要求61所述的卫星,其中每个射频RF解调器中的至少一个是二进制解调器。

63. 根据权利要求61所述的卫星,其中每个射频RF解调器中的至少一个是QAM解调器。

64. 一种卫星,包括:

多个天线,用于从卫星覆盖区域中的用户终端接收返回业务,每个天线被配置为接收返回的上行链路信号,所述返回的上行链路信号传送来自细分卫星覆盖区域的多个用户覆盖区域中的对应一个中的用户终端的返回业务,以及每个天线都有一个天线输出;

两个或以上的的光发射器,每个光发射器被配置用于传输光学馈电下行链路信号,该光学馈电下行链路信号包括复用的多个光信道信号,每个光信道信号根据应用于射频RF的多个模拟信号中的一个对应信号调制光发射器的输入,每个模拟信号对应于经由多个天线中的对应天线接收的返回的上行链路信号;和

开关矩阵,包括多个开关矩阵输入,以经由将多个天线耦接到开关矩阵输入的信号路径以接收多个模拟信号,开关矩阵还包括两个或以上的多个开关矩阵输出,每个多个开关矩阵输出与两个或以上的多个光发射器中的对应一个的多个射频RF输入耦接,并且其中开关矩阵可控的选择两个或以上光发射器中的哪个光发射器,用于通过选择多个开关矩阵输出与开关矩阵输入耦接将返回流量传输到地面。

## 使用光学馈电链路的宽带卫星通信系统

### 技术领域

[0001] 文本所公开的技术涉及宽带卫星通信链路,并且更具体地涉及使用光链路来进行卫星接入节点和卫星之间的宽带通信的卫星。

### 背景技术

[0002] 卫星通信系统提供了一种用来将数据(包括音频,视频和各种其他类型的数据)从一个位置传送到另一个位置的手段。随着对宽带通信的需求的增长,这种卫星通信系统的使用越来越受到欢迎。因此,对每个卫星具有更大容量的需求也在增加。

[0003] 在卫星系统中,信息起源于在这里称为卫星接入节点(SAN)的站点(在某些情况下是陆基站点,但也可能是空中站点、海上站点等),并被发送到卫星。在一些实施方案中,该卫星是地球同步卫星。地球同步卫星具有与地球的旋转同步的轨道,使卫星相对于地球基本保持静止。或者,卫星处于围绕地球的某个轨道上,随着卫星遍历其轨道路径,卫星的足迹在地球表面上移动。

[0004] 由卫星接收的信息被重新发送到地球上的用户波束覆盖区域,该信息在那里由第二站点(诸如用户终端)接收。通信既可以是单向的(例如,从SAN到用户终端),也可以是双向的(即始发于SAN和用户终端两者,并经过从卫星到另一者的路径)。通过提供相对较大数量的SAN和点波束,并建立允许卫星以相同频率与多个不同SAN进行通信的频率重用计划,可能会增加系统的容量。用户点波束是将信号引导至特定用户覆盖区域(例如,其中多个馈源照射公共反射器的多波束天线,其中每个馈源产生一个不同的点波束)的天线方向图。但是,每个SAN的构建和维护都很昂贵。因此,希望找到能够利用这些少数SAN来提供高容量的技术。

[0005] 此外,随着卫星通信系统的容量增加,会遇到各种问题。例如,虽然点波束可以允许增加频率重用(并且因此增加容量),但是点波束可能不能提供与实际容量需求的良好匹配,一些点波束供不应求并且其他点波束供大于求。容量增加也往往导致对馈电链路带宽的需求增加。但是,分配给馈电链路的带宽可能会减少可用于用户链路的带宽。因此,希望用于提供高容量宽带卫星系统的改进技术。

### 附图说明

[0006] 参考以下附图描述了根据一个或多个各种实施方案的所公开的技术。提供附图仅用于例示性目的,并且仅描绘所公开技术的一些实施方案的示例。提供这些附图是为了便于读者理解所公开的技术。不应认为它们限制了要求保护的发明的广度、范围或适用性。应当注意,为了清楚和易于说明,这些附图不一定按比例绘制。

[0007] 图1是使用射频信号与卫星通信并且具有相对大量的卫星接入节点(“SAN”,也被称为“网关”)以创建高容量系统的卫星通信系统示例的图示。

[0008] 图2是使用RF信号与SAN通信的简化卫星的图示。

[0009] 图3是在前向链路上使用的中继器的示例的简化图示。



- [0010] 图4是三系统架构中的第一个的示例的简化示意图,其中使用光链路在馈电链路上通信。
- [0011] 图5示出了在一些实施方案中由该系统使用的IF信号、光信道和光学波段的关系的示例。
- [0012] 图6示出了用于执行将二进制数据流光学调制到光信号上的光发射器的示例。
- [0013] 图7是图4的系统的返回路径的示例的图示。
- [0014] 图8是第三系统架构的示例的简化示意图,其中使用光链路在馈电链路上通信。
- [0015] 图9是图8的系统内的子信道、载波和光信号之间的关系示例的图示。
- [0016] 图10是SAN的示例的简化图示。
- [0017] 图11是图8的系统的返回链路的示例的图示。
- [0018] 图12是一种系统架构的示例的简化示意图,其中卫星具有星上波束成形。
- [0019] 图13是权重/合路器模块的示例的简化框图。
- [0020] 图14是一种系统架构的示例的简化示意图,其中光信号在SAN处被RF调制并被发送到具有星上波束成形能力的卫星。
- [0021] 图15是一种卫星通信系统的前向链路的示例的图示,该系统使用陆基波束成形并且包括光前向上行链路和射频前向下行链路。
- [0022] 图16是在执行陆基波束成形的系统中使用的前向波束形成器的示例。
- [0023] 图17是该示例中的返回链路部件的示例的更详细图示。图18是用于使用陆基波束成形来接收和发送示例性系统的前向链路的卫星的部件的简化图示。
- [0024] 图18更详细地示出了卫星的部件的示例。
- [0025] 图19是在美国大陆上形成的用户波束覆盖区域的示例的图示。
- [0026] 图20是一种光发射器的示例的图示,其具有用于调整波束元件信号和定时导频信号的定时的定时模块。
- [0027] 图21是其中K个前向波束输入信号中的每一个包含S个500MHz宽的子信道的系统。
- [0028] 图22是波束形成器的示例的简化框图。
- [0029] 图23是SAN的示例的图示。
- [0030] 图24是具有陆基波束成形的系统的返回链路示例的图示。
- [0031] 图25是返回链路中的一个SAN的示例的图示。
- [0032] 图26是示例性返回波束形成器的示例的图示。
- [0033] 这些附图并非旨在穷举或将要求保护的发明限制于所公开的确切形式。应当理解,所公开的技术可以在经过修改和变更的情况下实施,并且本发明应仅由权利要求及其等同物限制。

## 具体实施方式

[0034] 首先论述了使用卫星接入节点(SAN)和卫星之间的射频(RF)通信链路的系统。在该介绍之后论述了用于宽带容量卫星的几种光传输技术。在对具有光学馈电链路的系统进行介绍性论述之后,论述了三种用于调制光学馈电链路上的信号的技术。此外,还提供了用于实现这些技术的三种架构。

[0035] 图1是卫星通信系统100的图示,其中相对大量的站点(本文称之为“SAN”,也称为

“网关”) 102与卫星104通信,该卫星在馈电链路和用户链路两者上使用RF信号来创建相对较大容量的系统100。信息通过卫星104从SAN 102发送到多个用户终端106可驻留在其中的用户波束覆盖区域。在一些实施方案中,系统100包括数千个用户终端106。在一些这样的实施方案中,每个SAN 102能够建立到卫星104的馈电上行链路108并从卫星104接收馈电下行链路110。在一些实施方案中,从SAN 102到卫星104的馈电上行链路108具有3.5GHz的带宽。在一些实施方案中,可以使用16正交幅度调制(QAM)来调制馈电上行链路信号。使用16QAM调制产生每赫兹约3比特每秒。通过每个点波束使用3.5GHz的带宽,每个点波束可以提供约10至12Gbps的容量。通过使用88个SAN,每个SAN能够发送3.5GHz带宽信号,该系统具有大约308GHz的带宽或约1000Gbps(即1Tbps)的容量。

[0036] 图2是可以在图1的系统中使用的简化卫星的图示,其中该卫星使用RF信号来与SAN通信。图3是在图2的卫星中的前向链路上使用的中继器201(即,接收RF馈电上行链路并发送RF用户下行链路)的简化图示。卫星104的馈电链路天线(未示出)内的馈源202从SAN 102接收RF信号。虽然未详细示出,但用户链路天线可以是以下中的任何一种:一个或多个多波束阵列天线(例如,多个馈源照亮一个共享反射器)、直接辐射馈源或其他合适的配置。此外,用户链路天线和馈电链路天线可以共享馈源(例如,使用双波段组合发送、接收)、反射器或两者。在一个实施方案中,馈源202可以在两种正交极化(即,右旋圆极化(RHCP)和左旋圆极化(LHCP)或者可选地,水平极化和垂直极化)上接收信号。在一个这样的实施方案中,来自一种极化(例如,RHCP)的输出203被提供给第一中继器201。该输出耦接到低噪声放大器(LNA) 304的输入(参见图3)。LNA 304的输出耦接到双工器306的输入。双工器将信号分成第一输出信号308和第二输出信号310。第一输出信号308处于第一RF频率。第二输出信号310处于第二RF频率。输出信号308、310中的每一个耦接到频率转换器312、314。本地振荡器(LO) 315也耦接到频率转换器312、314中的每一个。频率转换器将输出信号的频率转换为用户下行链路发送频率。在一些实施方案中,相同的LO频率被应用于两个频率转换器312、314。频率转换器312、314的输出通过信道滤波器316、318耦接到混合器320。混合器320组合两个信道滤波器316、318的输出并且将组合信号耦接到线性化信道放大器322。

[0037] 在混合器320内组合信号允许信号被一个行波管放大器(TWTA) 324放大。线性化信道放大器322的输出耦接到TWTA 324。TWTA 324放大信号并将经放大的输出耦接到高通滤波器和双工器326的输入。高通滤波器和双工器326基于信号的频率将信号分回成两个输出,其中信号的较高频率部分耦接到第一天线馈源328并且信号的较低频率部分耦接到第二天线馈源330。第一天线馈源328将用户下行链路波束发送到第一用户波束覆盖区域U1。第二天线馈源330将用户下行链路波束发送到第二用户波束覆盖区域U3。

[0038] 馈源202的来自第二极化(例如,LHCP)的输出331耦接到中继器的第二臂332。第二臂332以与第一臂类似的方式工作,然而,发送到用户波束覆盖区域U2和U4的输出频率将不同于发送到用户波束覆盖区域U1和U3的频率。

[0039] 在一些实施方案中,可以使用光链路来增加从每个SAN 102到卫星104的馈电上行链路108以及从卫星到每个SAN 102的馈电下行链路110的带宽。这可以提供许多好处,包括为用户链路提供更多频谱。此外,通过增加馈电链路108、110的带宽,可以减少SAN 102的数量。通过增加去往/来自每个SAN 102的每个馈电链路的带宽来减少SAN 102的数量,降低了系统的总体成本而不会降低系统容量。然而,与使用光传输信号相关的挑战之一是光信号

在通过大气时会发生衰减。具体地讲,如果从卫星到SAN的路径上的天空不晴朗,则由于信号的衰减,光信号将经历显著的传播损耗。

[0040] 除了由于能见度降低导致的衰减之外,在不利的大气条件下会发生闪烁。因此,可以使用技术来减轻由于大气条件导致的光信号衰落的影响。具体地讲,如下面将更详细讨论的,卫星上用于接收光信号的镜头和卫星上用于发送光信号的激光器可以被引导到若干SAN中的一个。SAN分散在地球上,以便它们倾向于在不同的时间经历不良的大气条件(即,当卫星和特定SAN之间的路径上可能发生衰落时,在卫星和每个其他SAN之间的路径上相对不太可能发生衰落)。

[0041] 考虑到在一国的不同地区之间的大气条件差异,可以在卫星和特定SAN之间的大气不利于光信号传输的情况下做出决定,来使用大气条件对其更有利的不同SAN。例如,美国大陆西南部的天空相对晴朗。因此,SAN可以位于该国的这些晴朗位置,以提供用于原本在这些SAN与卫星之间的天空被遮住时将通过该国其他地区的SAN发送的数据的门户。

[0042] 除了指示卫星与具有来往于该卫星的有利大气路径的那些SAN通信之外,由卫星通过若干光接收器/发射器中的一个接收/发送的信号可以被引导到若干天线中的一个以便传输到选定的用户波束覆盖区域。灵活确定可以在光学上行链路上从其接收光信号的源与选择通过其从源接收的信号的特定制天线的能力的组合允许系统减轻SAN和卫星之间可变大气条件的负面影响。

[0043] 如本文所公开的,可以使用至少三种不同的技术来将信息从SAN通过卫星传送到用户终端可能驻留的用户波束覆盖区域。现在将描述三种这样的技术。提供了每种技术的简要概述,然后更详细地公开了每种架构。

[0044] 简而言之,第一种技术在上行链路上使用二进制调制光信号。多个SAN各自接收要发送给驻留在用户波束覆盖区域内的用户终端的信息。用数字信息调制该光信号。在一些实施方案中,每个SAN将这样的二进制调制光信号发送到卫星。数字信息可以是预期要被发送到用户终端可以驻留在其中的用户波束覆盖区域的信息的表示。在卫星中使用光探测器诸如光电二极管来检测该信号。在一些实施方案中,所得的数字信号随后被用于提供二进制编码,诸如二进制相移键控(BPSK)调制中频(IF)信号。IF信号随后被上变频到卫星RF下行链路载波频率。用BPSK调制RF信号可以在卫星的尺寸、功率和温度调节较小的情况下相对简单地完成。然而,使用BPSK作为用户下行链路114上的RF信号的基带调制可能不会提供系统的最大容量。也就是说,如果在RF用户下行链路114上使用更密集的调制方案诸如16QAM来代替BPSK,则从可能的角度来看,会使RF用户下行链路114的全部潜能有所降低。

[0045] 第二种技术也使用二进制调制方案调制上行链路上的光信号。经调制的光信号由光电二极管检测。所得的数字信号耦接到调制解调器。调制解调器使用相对带宽有效的调制方案诸如正交幅度调制(QAM)将数字信息编码到IF信号上。QAM在本文中用于指代编码多于每符号2比特的调制格式,包括例如正交相移键控(QPSK)、偏移QPSK、8进制相移键控、16进制QAM、32进制QAM、幅度相移键控(PSK)以及相关的调制格式。尽管使用更密集的QAM方案提供了对RF用户链路的更高效使用,但是在RF用户下行链路114上使用这种编码需要相对复杂的数字/中频(IF)转换块(例如,调制解调器)。这种复杂性增加了尺寸、质量、成本、功耗和散热量。

[0046] 第三种技术使用RF调制光信号(与前两种技术的二进制调制光信号不同)。在该实

施方案中,不是用要被发送到用户波束覆盖区域的数字信息来调制光信号,而是将RF信号直接调制(即,强度调制)到光载波上。随后卫星只需要检测来自光信号的RF调制信号(即,检测光信号的强度包络)并且将该信号上变频到用户下行链路频率,从而减轻了卫星对复杂调制解调器的需求。通过允许对用户链路RF信号进行更密集的调制,同时降低卫星的复杂度,使用RF调制光信号增加了通信系统的总体容量。由于光信号中的可用带宽,许多RF载波可以被复用到光载波上。然而,由于包括光信号的衰落在内的多种因素,用RF信号强度调制的光信号容易出错。

[0047] 这三种技术中的每一种技术都存在这样的事实,即存在从SAN到卫星的不可靠光信道。因此,论述了用来减轻不可靠光学馈电链路信道的问题的三种系统架构。在每种配置中,使用额外的SAN来抵消到卫星的光链路的固有不可靠性。信号可以从任何SAN路由到任何用户波束覆盖区域。使用额外的SAN确保可以提供所需数量的具有到卫星的高质量光链路的SAN。此外,灵活地通过卫星进行路由(即,在本文中称为“馈电链路分集”)允许以灵活的方式在馈电链路上从具有期望质量的到卫星的光信道的那些SAN发送数据并且在用户链路上将数据发送到用户点波束。

[0048] 现在将详细论述这三种技术中的每一种。在具有特定数量的部件(即SAN、每个SAN的激光器、卫星内的转发器等)的实施方案的背景下讨论这些技术中的每一种。然而,提供这些特定实施方案仅仅是为了清楚和易于讨论。此外,宽范围的IF和/或RF频率、光波长、SAN的数量、卫星上的转发器的数量等都在所公开的实施方案的范围内。因此,不应将具体频率、波长、阵列天线元件以及相似并行信道、部件、设备、用户波束覆盖区域的数量等视为对所公开的系统的实施方式的限制,而是使其明确受到所附权利要求的限制。

[0049] 图4是上述三种技术中的第一种简化示意图。用于实现第一种技术的系统600包括多个SAN 602、具有至少一个每波束单馈源天线638、640的卫星604,以及用户波束覆盖区域1801(参见图19)内的多个用户终端606。或者,可以使用任何天线,其中该天线具有多个输入,每个输入可以接收可以在用户点波束中发送到用户波束覆盖区域的信号,诸如直接辐射天线等。天线638、640可以是直接辐射阵列或反射器/天线系统的一部分。在一些实施方案中,系统600具有M个SAN 602。在示例性系统600中以及贯穿本公开讨论的每个示例性系统中,M=8。但是,这里公开的系统中的任何一个都不应被限制在这个数字。M=8仅仅是一个方便的示例,并且在其他实施方案中,M可以等于2、4、10、12、16、20、32、40或任何其他合适的值。在一些实施方案中,SAN 602接收要通过该系统从源(诸如核心节点,未示出)传送的“前向流量”,该源可以从信息网络(例如,互联网)接收信息。从核心节点传送到SAN 602的数据能够以允许将数据有效传送到SAN 602的任何形式提供,包括作为二进制数据流。在一些实施方案中,数据被提供为在光信号上调制并在光纤上发送到SAN的二进制数据流。在通过特定用户波束覆盖区域1801识别的流中接收前向流量。在一些实施方案中,数据也可以与数据将被发送到的特定用户终端或用户终端组相关联。在一些实施方案中,基于携带数据的信号的频率和/或时序来将数据与终端相关联。或者,可以将数据报头或其他标识符与数据一起提供或包括在数据中。

[0050] 被接收时,前向流量是二进制数据流601。也就是说,在一些实施方案中,前向流量是二进制表示,诸如经强度调制或相位调制的光信号。在替代实施方案中,前向流量可以被解码为任何其他二进制表示。

[0051] 图5示出了在一些实施方案中由该系统使用的IF信号903、光信道915和光学波段907、909、911、913的关系。对带宽、频率、信道数量和波长的特定选择仅仅是为了使概念的公开更容易而提供的示例。可以使用另选的调制方案以及其他光波长、信道数量和其他RF和/或IF带宽和频率。所示的方案仅用于说明可能使用的一个特定方案。如图所示,多个3.5GHz宽的二进制调制IF信号(例如64个)903携带要发送的二进制数据。可以使用的其他带宽的示例包括500MHz、900MHz、1.4GHz、1.5GHz、1.9GHz、2.4GHz或任何其他合适的带宽。

[0052] 被调制到每个3.5GHz宽的二进制调制IF信号903上的二进制(即数字)内容被用于对4个光学波段905中的一个内的16个光信道中的一个进行二进制强度调制。在一些实施方案中,光谱的四个波段907、909、911、913是1100nm、1300nm、1550nm和2100nm。然而,可以选择位于有用光谱中的任何地方的频带(即,光谱的至少最低限度地可用而没有通过大气的过度衰减的那部分)。一般而言,选择衰减不超过未被选择的波段的光学波段。也就是说,若干光学波段可能具有比其余波段小的衰减。在这样的实施方案中,选择这些光学波段的子集。这些选定的波段中的若干个可能表现出非常相似的衰减。

[0053] 在一个示例中,每个光信道由信道中心处的波长限定,并且每个光信道分隔大约0.8nm(即,100GHz宽)。虽然调制到光信道上的RF信号903仅为3.5GHz宽,但是间隔允许光信号被有效地解复用。在一些实施方案中,每个SAN 602将多个(例如64个)这样的3.5GHz光信号903(即,4×16)一起波分复用(WDM)到光输出信号上。相应地,可以从一个SAN 602发送64个光信道的数字内容。

[0054] 图6示出了用于执行将二进制数据流601光调制到光信号上的光发射器607。根据实施图5所示的方案的实施方案,光发射器607包括四个光学波段模块608a至608d(为了简单起见示出两个)和光合路器609。4个光学波段模块608中的每一个包括16个光学调制器611(为了简单起见示出两个),总共有64个光学调制器611。64个光学调制器611中的每一个输出驻留在64个光信道915中的一个中的光信号(参见图5)。信道被分成4个光学波段907、909、911、913。

[0055] 光学调制器611基于产生光信号的光源654的波长 $\lambda_1$ 来确定光信道915。MZM 652利用与二进制数据流601的幅度成比例的强度来对第一光源654的输出进行强度调制。二进制数据流601在求和器656中与DC偏压相加。由于二进制数据流是数字信号(即,只具有两个幅度),因此所得的光信号是二进制调制光信号。来自MZM调制器652的调制光输出耦接到光合路器609。对于使用诸如图5所示的调制方案的系统,驻留在同一光学波段模块608内的16个光源654中的每一个输出处于16个不同波长 $\lambda_1$ 中的一个下的光信号。这16个波长对应于第一光学波段907内的16个光信道915。类似地,每个其他光学波段模块608中的光学调制器611中的光源654输出具有波长 $\lambda_1$ 的光信号,该波长等于对应光学波段909、911、913中的信道的波长。因此,来自四个光学波段模块608a至608d的64个光学输出915各自具有不同的波长,并且落入由64个光源654生成的信号的波长 $\lambda_1$ 限定的四个波段的16个光信道内。光合路器609输出作为每个信号915的复合物的波分复用(WDM)光信号660。

[0056] SAN 602通过光学馈电上行链路108(参见图4)将光信号660发送到卫星604。由光发射器607发射的光信号由卫星604中的镜头610接收。在一些实施方案中,镜头610是光接收器622内的望远镜的一部分。在一些实施方案中,镜头610是可转向的(即,可以被引导以

指向系统内的若干SAN 602中的任何一个或其子集内的任何一个)。通过允许镜头610指向多于一个的SAN 602,可以将镜头610指向具有到当前未经历信号衰落的卫星的光路的SAN 602。镜头610可以使用机械2轴定位机构来指向。镜头的指向可以通过测量在光信道上发送的信号的接收信号强度并且使用该信号强度来识别镜头何时指向具有足够质量的光链路的SAN (即,高于所需质量阈值) 来实现。地面命令或星上处理可以向镜头定位机构提供指示,以使镜头610正确地指向期望的SAN 602。

[0057] 光接收器622还包括光学解复用器650,诸如滤波器或棱镜。光接收器622具有多个输出,每个输出对应于一个光波长。如图4所示,光接收器622具有64个输出。然而,如上所述,特定频率、光学波段的数量和波长选择以及因此来自光接收器622的输出的数量在本文中仅作为示例提供,而不旨在将系统诸如系统600限制在特定的数字。

[0058] 在一些实施方案中,每个波长驻留在四个光学波段907、909、911、913中的一个内。每个光波长处于光信道的中心。一个波段内的光信道间隔大约0.8nm(即100GHz)。使光信道间隔较宽使得更容易提供光学解复用器650,该光学解复用器可解复用光信号以在单独的输出上提供64个光信道中的每一个。在一些实施方案中,提供附加镜头613以将光学解复用器650的输出聚焦到光探测器诸如光电二极管612的输入中。光电二极管612通过检测在光电二极管的光输入处呈现的光信号660的强度包络来生成电信号。在其中光学信号660被强度调制到两个强度水平中的一个的一些实施方案中,表示逻辑“1”的第一强度水平导致具有也表示逻辑“1”的第一幅度的电信号。表示逻辑“0”的第二强度水平导致具有表示逻辑“0”的幅度的电信号。因此,当光信号660的强度处于表示逻辑“1”的状态时,电信号处于第一状态,并且当光信号660的强度处于表示逻辑“0”的状态时,电信号处于第二状态。相应地,光接收器具有多个数字输出615。从光电二极管612的数字输出615输出的电信号耦接到调制器614,诸如双相调制器。在一些实施方案中,诸如图4的实施方案,在光电二极管612和双相调制器614之间提供LNA 617。双相调制器614的输出是具有两个相位的BPSK调制IF信号(即,模拟信号)。BPSK调制器614响应于处于第一幅度(即处于第一状态)的电输入信号而输出具有表示逻辑“1”的第一相位的信号。当到调制器614的输入具有表示逻辑“0”(即,第二状态)的幅度时,BPSK调制器614的输出的相位被移位到与第一相位不同的第二相位。调制器614的输出耦接到矩阵开关616的输入。

[0059] 在图4的简化示意图中,第二SAN 602、镜头610、光接收器622和多个双相调制器614(即,64个)耦接到矩阵开关616。尽管在图4中仅示出了两个SAN 602,但应当理解,卫星可以从若干SAN 602(例如8个)接收光信号。

[0060] 在一些实施方案中,图4所示的矩阵开关616对于每个镜头610具有多个(例如64个)输入。也就是说,如果卫星604具有8个镜头610,则矩阵开关616具有512个输入,每个输入耦接到调制器614中的一个。矩阵开关616允许矩阵开关616的输出处的信号被选择性地耦接到矩阵开关616的输入。在一些实施方案中,任何输入可以耦接到任何输出。然而,在一些实施方案中,只有一个输入可以耦接到任何一个输出。另选地,输入和输出被一起分组,使得输入只能耦接到同一组内的输出。限制输入可以耦接的输出的数量降低了矩阵开关616的复杂度,但以系统灵活性降低为代价。

[0061] 矩阵开关616的输出各自耦接到上变频器626。上变频器626将信号上变频到用户下行链路载波的频率。例如,在一些实施方案中,从矩阵开关616输出的信号是3.5GHz宽的

IF信号。3.5GHz宽的IF信号被上变频到具有20GHz中心频率的RF载波。每个上变频器626的输出耦接到对应的功率放大器630。每个放大器630的输出耦接到多个天线输入中的一个，诸如天线638、640中的一个的输入（例如，天线馈源未示出）。因此，矩阵开关616的每个输出有效地耦接到天线输入中对应的一个。在一些实施方案中，每个天线638、640的每个输入将用户点波束发送到一个用户波束覆盖区域1801（参见图19）。矩阵开关616能够选择哪个输入（即，双相调制器614）耦接到哪个输出（即，上变频器626）。因此，在来自SAN 602中的一个的信号衰落并且错误变得不可容忍时（或之前），矩阵开关616可以将上变频器626的输入（即，相关联的天线馈源）耦接到发送没有经历明显衰落的光信号的SAN 602。在一些实施方案中，矩阵开关616允许提供给天线输入的内容被时分复用，使得来自特定SAN的内容可以被分配到多于一个用户点波束（即，天线馈源）。

[0062] 也就是说，当每个镜头610正从其所指向的SAN 602接收信号时，来自与该镜头610相关联的光接收器622的64个输出中的每一个将具有信号。在其中到天线638、640的每个天线输入将用户点波束发送到特定用户覆盖区域1801的实施方案中，所有用户覆盖区域1801将接收信号（假设矩阵开关616被映射以将每个输入耦接到一个输出）。矩阵开关616选择来自双相调制器614的哪个模拟输出要耦接到每个天线输入（例如，被发送到每波束单馈源天线638、640的每个馈源）（即，在每个用户点波束中）。然而，当来自特定SAN 602的光信号衰落时，仍然向所有天线输入提供信号以确保没有用户覆盖区域1801失去覆盖。将来自一个SAN的信号时间复用到多于64个天线输入将允许一个SAN 602向超过64个用户覆盖区域1801提供信号。在系统总容量减少的同时，系统为每个用户覆盖区域提供内容的可用性得到增强。这在具有光学馈电链路的系统中是有益的。在一些实施方案中，这种时间复用在短时间内完成，而被引导至具有弱光链路的SAN 602的镜头610被重定向到存在更强光链路的另一SAN。更一般地，矩阵开关616可以用于将来自光接收器622的模拟信号输出时间复用到多于一个用户点波束，使得在第一时间段期间，该模拟信号耦接到发送被引导至第一用户波束覆盖区域的用户点波束的第一天线输入（例如，馈源）。在第二时间段期间，该模拟信号耦接到发送被引导至第二用户波束覆盖区域的用户点波束的第二天线输入（例如，馈源）。

[0063] 在每个镜头610接收足够强的光信号时，矩阵开关616可以再次以输入到输出的一一对应关系将每个输出映射到唯一输出。在一些这样的实施方案中，矩阵开关616的控制由来自控制站点的遥测信号提供。在大多数实施方案中，因为来自同一SAN 602的所有64个IF信号将一起劣化，所以矩阵开关616只需要能够在K/64个输出之间进行选择，其中K是用户点波束的数量，并且64是在一个光接收器622中的光电二极管612的数量。如上所述，控制通过卫星的路由以将SAN 602映射到用户点波束的过程在本文中被称作馈电链路分集。如下面将要讨论的，可以采用三种不同的方式提供馈电链路分集。

[0064] 在一些实施方案中，卫星604具有比转发器更多的天线输入（即，从光接收器到开关634、636的路径）。也就是说，可以使用包括功率放大器（PA）630、上变频器626等的有限数量的转发器来将信号发送到相对较大数量的用户波束覆盖区域。通过在天线输入之间共享转发器，来自每个光电二极管612的输出可以被时间复用以服务大于卫星604上提供的转发器的数量的多个用户波束覆盖区域。在该实施方案中，RF开关634用于在不同的时间将PA 630的输出引导至天线638、640中的一个或两个的不同输入。时间是协调的，使得信号上的信息预期被发送到输入被引导至的用户波束覆盖区域（即，指向馈源）。因此，可以使用一个



转发器以时间复用方式向若干用户波束覆盖区域提供信息。通过将开关634、636设置为将信号引导至特定的天线638、640,由每个镜头610接收的信号可以被引导至特定的点波束。这为动态分配系统容量提供了灵活性。

[0065] 开关634、636将信号引导至安装在卫星上的任何天线638、640的输入。在一些实施方案中,来自开关634、636的输出可以被引导至天线的子集。每个天线638、640是被引导至特定用户波束覆盖区域的每波束单馈源天线,由此产生点波束。在替代实施方案中,PA 630可以直接连接到天线输入,矩阵开关616确定由每个特定光电二极管612检测到的信号中的哪个将被发送到用户波束覆盖区域中的哪个。另外,即使在具有相同数量的卫星转发器和天线输入的实施方案中,具有开关634、636也可以降低矩阵开关616的复杂性。也就是说,使用矩阵开关616和开关634、636的组合,矩阵开关616不需要能够将每个输入耦接到每个输出。相反,矩阵输入、输出和天线输入可以分组,使得一组中的任何输入只能耦接到同一组中的任何输出。开关634、636可以在天线输入(例如,馈源)之间切换,以允许一组中的输出耦接到另一组中的天线输入。

[0066] 矩阵开关616可以静态地或者以动态时分多路访问模式操作。在静态操作模式中,通过矩阵开关616的路径的配置基本上保持用于相对较长时间段的设置。矩阵开关616的配置仅被改变以适应正在发送的流量的相对长期变化、特定链路的质量的长期变化等。相反,在动态时分多路访问模式中,矩阵开关616用于在不同的前向下行链路天线输入之间对数据进行时间复用。因此,矩阵开关616选择哪些输入要耦接到矩阵开关616的输出。这种选择基于输入信号是否强到足以确保在用户终端842、844处对信号进行解调期间遇到的错误数量是可容许的。在一些这样的实施方案中,将光接收器622的模拟输出时间复用到不同的天线输入将允许一个SAN 602服务多于一个用户波束覆盖区域。在第一时间段期间,从光接收器622输出的一个或多个信号可以各自耦接到第一组天线输入中的唯一一个(即,被引导至第一组用户波束覆盖区域中的唯一一个)。在第二时间段期间,可以将这些相同信号中的一个或多个耦接到不同的天线输入(即,不同的用户波束覆盖区域)。来自光接收器622的模拟输出615的这种时间复用可以响应于指向“弱”SAN 602的光接收器622的镜头610中的一个(即,具有低于质量阈值的光链路的SAN 602)来执行。在这样的一个实施方案中,初始设置到弱SAN 602的第一数据流可被核心节点重定向到“强”SAN 602(即,具有高于质量阈值的光链路的SAN 602)。强SAN602将该信息进行时间复用,使得强SAN 602在一段时间内发送被引导至第一数据流预期要被发送到的第一组用户波束覆盖区域的信息。在第二时间段期间,强SAN 602发送被引导至第二组用户波束覆盖区域的第二数据流。因此,在一个时间段期间,可能已经被弱SAN 602和卫星604之间的不良光链路阻止到达卫星604的信息可以通过强SAN 602发送到卫星604。在此期间,指向弱SAN 602的镜头610可被重定向为指向尚未发送到卫星604的强SAN 602。如上所述,这一将信息从弱SAN重定向到强SAN的过程是馈电链路分集的一个方面。

[0067] 通过确定馈电上行链路信号何时在经历不可接受的衰落,可将数据从正在使用衰退馈电上行链路的SAN 602路由离开并且到具有信号电平可接受的馈电上行链路信号的SAN 602。根据馈电链路分集过程,发送通过所选的SAN 602的信号随后可以通过矩阵开关616路由到预期要向其发送数据的点波束。

[0068] 系统600具有能够被相对简单地在卫星604内实现的优点。使用光电二极管612和



双相调制器614将二进制调制光数据转换为BPSK调制IF信号是相对简单的。这种双相调制器相对容易制造并且成本低廉,需要相对较少的功率并且可以制造得相对小而且轻。然而,在RF用户下行链路114上使用BPSK调制不是对有限的RF频谱的最有效的使用。也就是说,通过在RF用户下行链路114上使用更密集的调制方案诸如16QAM来代替BPSK,可以获得更高的RF用户下行链路114容量(参见图1)。

[0069] 例如,在实现上述三种技术中的第二种技术的系统600的替代实施方案中,利用更密集的调制方案对要在用户下行链路上发送的模拟信号618进行调制。在模拟信号618上生成复杂调制要求调制器是非常复杂的调制器,其接收数字数据流并将数据流转换成一个或多个复杂调制信号。例如,复杂调制信号618可以是高阶调制,诸如64-QAM、8psk、QPSK。另选地,可以使用能够将符号调制到IF载波上的任何其他调制方案,其中符号表示多于两个逻辑状态。也就是说,光信号的二进制强度调制导致光接收器622的输出615提供具有表示底层内容的二进制调制的电信号。为了用更复杂的调制方案诸如16QAM来调制模拟信号618,调制器614是QAM调制器,并且因此基于从光电二极管612输出的数字内容来执行IF信号的QAM调制。

[0070] 因此,在一些实施方案中,系统600的双相调制器614由QAM调制器614(即,其中每个符号表示多于2个比特的调制器)代替。因此,调制器614不是将IF信号618的调制限制在二进制调制方案(即,两个逻辑状态),诸如BPSK,而是允许以更密集的调制方案对IF信号618进行调制(即,其中符号能够表示多于两个值的方案,诸如QAM)。尽管更复杂的QAM调制器提供对IF信号618更有效的调制(QAM对比BPSK),但它比双相调制器更复杂,需要更多的功率,更重而且更昂贵。

[0071] 图7是系统600的返回路径的图示。用户终端606向卫星604发送二进制调制信号。耦接到天线(例如,每波束单馈源天线404、406)的每个元件的开关402在包括低噪声放大器(LNA)408、频率转换器409和数字解码器410的卫星转发器之间进行选择。频率转换器409将接收到的信号从用户上行链路频率下变频到IF。解码器410对接收到的IF信号上的二进制调制进行解码。相应地,每个解码器410的输出是数字信号。数字解码器410耦接到矩阵开关416的输入。矩阵开关416允许通过每个用户点波束接收的信号在不同的光链路上被调制(即,被发送到不同的SAN 602),取决于在到每个SAN 602的光学下行链路上是否存在明显的衰落。矩阵开关416的输出耦接到光发射器607的输入。每个光发射器607基本上与图6所示并在上面讨论的光发射器607相同。在其中以与前向馈电链路上使用的基本相同的方式使用光谱(参见图5)的一些实施方案中,四个光学波段模块608中的每一个从矩阵开关416接收16个输出,对于光发射器607总共有64个输入。在其中卫星可以从8个SAN 602接收光信号的一些实施方案中,存在8个这样的光发射器607,其可以从矩阵开关416接收总共512个输出。每个光发射器607输出光信号660。光信号660由SAN 602中的光接收器414内的镜头412接收。如上面参考图4所述,光接收器414和镜头412基本上与卫星604内的光接收器622和镜头610相同。因此,光接收器414的输出是二进制数据流。光接收器的输出被发送到信息网络,诸如向SAN 602提供前向流量的网络。

[0072] 在替代实施方案中,用于系统600的返回链路,在从用户终端606到卫星604的返回上行链路上使用的调制是比二进制调制更有效的调制方案。相应地,二进制调制器是更复杂的调制器。从解调器输出的二进制数据是对由用户终端606调制到IF信号上的调制符号

进行解码的结果。例如,如果在用户上行链路上使用16QAM,则从解调器输出的信号是由16QAM符号表示的值的数字流。从转换器502输出的二进制信号耦接到矩阵开关416的输入。二进制解调器和复杂解调器都输出数字数据流,该数据流将用于执行由光发射器607在馈电下行链路上发射的光信号的二进制调制。

[0073] 图8是用于实现第三种技术的系统800的简化示意图。在系统800的一些实施方案中,SAN 802将前向流量接收为耦接到基带到IF转换器1605的输入的“基带”信号。在一些实施方案中,七个500MHz宽的基带子信道809被组合在3.5GHz宽的IF信号811中。每个3.5GHz宽的IF信号811被发送到一个用户覆盖区域1801。图9示出了系统800内的基带子信道809、IF信号811和光信号之间的关系。

[0074] 可以使用的其他带宽的示例包括500MHz(例如,单个500MHz子信道)、900MHz、1.4GHz、1.5GHz、1.9GHz、2.4GHz或任何其他合适的带宽。

[0075] 图10是SAN 802的简化图示,诸如图8所示的SAN 802。在一些实施方案中,存在64个基带到IF转换器1605,它们被示出为在四个IF合路器1602中组合,每个IF合路器包括16个转换器1605。为了简化附图,IF合路器1602内的基带到IF转换器1605的分组未在图8中示出。64个基带到IF转换器1605中的每一个具有S个输入,其中S是子信道809的数量。在其中子信道809具有500MHz的带宽并且IF信号811具有3.5GHz的带宽的一些实施方案中,S等于7。每个输入将子信道809中的一个耦接到对应的频率转换器1606。频率转换器1606提供频率偏移以允许子信道809的子集(例如,图10中 $S=7$ ) 在求和器1608中求和。因此,在一些实施方案中,诸如图10中所示的一个实施方案,SAN 802处理64个信道,每个信道3.5GHz宽。在一些实施方案中,3.5GHz宽的信号能够以DC为中心(即,使用零IF调制)。另选地,IF信号811能够以特定RF频率为中心。在一个特定实施方案中,RF载波以RF下行链路频率为中心(在这种情况下,卫星将不需要上变频器626,如下进一步所述)。来自每个求和电路的输出是耦接到64个光学调制器611中的一个的IF信号811。64个光学调制器611被分组为4个光学波段模块608。每个光学调制器611的操作基本上与图6所示并在上面讨论的光学调制器611相同。然而,由于对每个光调制器的输入是模拟信号,所以从每个光学调制器611输出的光信号是具有跟随IF信号811的幅度的幅度包络的强度调制光信号。

[0076] 光合路器609组合来自64个光学调制器611中的每一个的输出以生成波分复用(WDM)复合光信号1624。基带到IF转换器1605的数量和光学波段模块608中的光学调制器611的数量可以变化。如图9所示,四个光学调制器611可以被设计成输出具有以1100纳米、1300纳米、1550纳米和2100纳米为中心的波长的光信号。

[0077] 在系统800中,光发射器607(类似于图4的光发射器607)发射RF调制复合光信号1624。RF调制复合光信号1624由镜头610在卫星804内接收(参见图8)。镜头610可被引导至能够将光信号发送到卫星804的多个SAN 802中的任何一个。镜头610的输出耦接到光探测器诸如光电二极管612(例如PIN二极管)的输入。光电二极管612检测光信号的包络(即,强度的轮廓)并将光信号的包络转换为电信号。由于光信号通过IF信号811被强度调制,所以从光电二极管612输出的所得电信号基本上与由SAN 802调制到复合光信号1624上的IF信号811相同。光电二极管612耦接到放大器808。从放大器808输出的信号随后耦接到矩阵开关616的输入。矩阵开关616以与以上关于图4讨论的矩阵开关616相同的方式执行。因此,矩阵开关616选择哪些输入要耦接到矩阵开关616的输出。矩阵开关616的输出的处理与信号

处于零IF的实施方案中上述系统600中的处理相同。在其中从SAN内的基带到IF模块输出的IF信号811处于要从卫星804直接发送的频率的实施方案中,处理将是相同的,但是上变频器626不是必需的。

[0078] 图11是系统800的返回链路的图示。系统800的返回链路基本上与图7所示的相同。然而,不同于用户终端606发送具有二进制调制的信号,用户终端606发送具有更高效的调制(例如,是16QAM而不是QPSK)的信号。因此,输出数字解码器410不是必需的。下变频器850将在用户上行链路上使用的RF频率下变频到适当的IF频率。在一些实施方案中,IF频率信号是3.5GHz宽的零IF信号。每个下变频器850的输出耦合到矩阵开关416的输入。因此,MZM调制器652(参见图6)的输入从矩阵开关416接收模拟信号。因此,每个光学调制器611的输出是强度调制光学信号,其中强度包络跟踪从下变频器850输出的信号。在一些实施方案中,光学调制器611将RF用户上行链路频率直接调制到光信号上。因此,频率转换器不是必需的。在其中下变频器850将用户上行链路频率降低到零IF信号的实施方案中,以与参考图7所讨论的相同的方式来处理组合光信号660。在其中通过用户上行链路频率调制光信号的实施方案中,下变频器可以被包括在调制解调器418内或者在将来自光接收器414的信号耦合到调制解调器418之前。

[0079] 已经讨论了用于调制馈电链路上的信号的三种不同技术,论述了每种技术,其使用具有卫星的第一系统架构、第二系统架构和第三系统架构,其中卫星使用矩阵开关616来允许将接收的载波灵活分配给用户点波束。第二系统架构包括具有星上波束成形的卫星。第三系统架构使用陆基波束成形。

[0080] 图12是使用图4所示技术的系统1000的简化示意图(即,通过二进制调制来调制光学馈电上行链路并使用该二进制内容来调制RF用户下行链路)。然而,系统1000使用第二系统架构,其中卫星1004能够执行星上波束成形。系统1000与上述系统600类似地操作。然而,来自每个双相调制器614的IF输出耦合到权重/合路器模块1006而不是耦合到矩阵开关616。

[0081] 图13是权重/合路器模块1006的简化框图,其中K个前向波束信号1002由波束形成器输入模块1052在权重/合路器模块1006中接收。K个信号1002由输入模块1052路由到N路分离模块1054。N路分离模块1054将K个信号1002中的每一个分成每个前向波束信号的N个副本,其中N是要用于形成K个用户点波束的阵列天线中的元件的数量。

[0082] 在上面关于图4描述的系统的示例中,有8个主动SAN,每个主动SAN发送包括64个光信道的光信号。这64个光信道中的每一个携带3.5GHz IF信号(即,前向波束信号)。因此,有512个前向波束信号(即8个SAN $\times$ 64个IF信号)。因此K=512。在一些实施方案中,卫星具有阵列天线1008,该阵列天线具有512个阵列元件。因此N=512。

[0083] 来自N路分离模块1054的每个输出耦合到512个加权和求和模块1056中的一个的对应输入。512个加权和求和模块1056中的每一个包括512个加权电路1058。512个加权电路1058中的每一个对从N路分离模块1054输出的512个信号中的对应一个施加权重(即,放大和移相)。来自加权电路1058的加权输出由求和器1060求和以形成512个波束元件信号1062。这512个波束元件信号1062中的每一个通过波束形成器输出模块1064输出。回到图12,从权重/合路器模块1006输出的512个波束元件信号1062各自耦合到512个上变频器626中对应的一个。上变频器626耦合到PA 630。PA 630的输出各自耦合到阵列天线1008的512

个天线元件中对应的一个。阵列天线可以是以下任何一种：直接辐射阵列（其中每个天线元件直接在期望的方向上辐射）、阵列馈源反射器（其中每个天线元件照射由所有天线元件共享的反射器）或者任何其他合适的天线配置。阵列天线1008和权重/合路器模块1006的组合也被称为相控阵天线。

[0084] 被应用于相控阵天线内的每个位置处的元件的信号相对权重将导致多个加权信号彼此叠加，并且因此相干地组合以形成用户波束。

[0085] 因此，通过将期望的加权应用于多个信号1002来生成从权重/合路器模块1006输出的波束元件信号1062，应用于权重/合路器模块1006的每个输入的信号1002可以被引导至多个的用户波束覆盖区域中的一个。由于卫星1004可以使用权重/合路器模块1006和阵列天线1008将任何接收到的信号引导至用户波束覆盖区域中的任何一个，因此原本将在经受不可忍受衰落的特定馈电上行链路上发送的信息可以被路由到其他SAN中的一个。因此，如上面在矩阵开关616的语境中所述，信息可以通过未经历不可忍受的衰落从而提供馈源链路分集的SAN 602被发送给卫星1004。如上所述，可以完成类似的时分复用以发送由若干用户点波束中的镜头610中的一个接收的信号。

[0086] 使用具有星上波束成形的卫星1004提供了灵活性，允许在从多个SAN 602接收的信号方面实现馈电链路分集。星上波束成形的使用消除了对图4中所示的矩阵开关616的需要。可以在返回路径（即，用户上行链路和馈电下行链路）上采用类似的架构。也就是说，用户终端606在用户上行链路上将RF信号发送到卫星1004。阵列天线1008中的接收元件接收此RF信号。权重/合路器模块1006对由阵列天线1008的每个接收元件接收的接收信号进行加权以创建接收波束。来自权重/合路器模块1006的输出从RF下变频到IF。

[0087] 在一些实施方案中，上变频器626被放置在权重/合路器模块1006的输入处，而不是在输出处。因此，RF信号（例如，20GHz信号）被加权并求和。波束元件信号随后通过阵列天线元件中的每一个被发送。

[0088] 在一些实施方案中，卫星具有若干权重/合路器模块（为了简单起见未示出）。每个权重/合路器模块的输入耦接到一个或多个光接收器622。在一些实施方案中，来自一个光接收器622的所有输出耦接到相同的权重/合路器模块。每个权重/合路器模块生成N个输出。来自每个权重/合路器模块的N个输出一对一地耦接到一个N元阵列天线中的各元件（为简单起见仅示出一个）。因此，阵列天线1008与权重/合路器模块1006之间存在一对一关系。

[0089] 在一些实施方案中，图12中所示的第二种架构（即，星上波束成形）与QAM调制器614一起使用，类似于系统600。然而，卫星1104具有星上波束成形。

[0090] 图14是使用关于图8讨论的技术的系统1200的简化示意图，其中光信号在SAN 802处被RF调制。然而，该卫星架构类似于图12和图11的架构，其中卫星1204具有星上波束成形能力。SAN 802、镜头810、光探测器（诸如光电二极管812）、放大器和上变频器626全都类似于关于图8所述的那些。然而，权重/合路器模块1006和阵列天线1008与关于图12所述的类似。类似于图12中描述的架构，权重/合路器模块1006和阵列天线1008允许卫星1004将从一个或多个SAN 802接收到的信号的内容发送到任何用户波束覆盖区域，从而提供馈电链路分集。因此，如果从SAN 802到卫星的一个或多个馈电上行链路具有不可容忍的衰落，则原本将在该馈电上行链路上发送的内容可以转为通过使用没有经历不可容忍的衰落的馈电上行链路的其他SAN 802之一发送。

[0091] 图15是使用第三种系统架构(即,陆基波束成形)的卫星通信系统1400的前向链路的图示,其中包括光前向上行链路1402和射频前向下行链路1404。在一些实施方案中,系统1400包括前向链路陆基波束形成器1406、卫星1408和相对大量的(M个)SAN 1410,以创建用于与位于512个用户波束覆盖区域1801内的用户终端806进行通信的相对大容量、高可靠性系统(参见下面详细论述的图19)。在整个对系统1400的论述中,在该示例中示出了 $M=8$ 个SAN 1410。然而, $M=8$ 仅仅是一个方便的示例,并不旨在将所公开的系统诸如系统1400限制在特定数量的SAN 1410。类似地,在系统1400的示例中示出了64个光信道。同样,阵列天线被示为具有512个元件。如上所述,不应将具体频率、波长、阵列天线元件以及相似并行信道、部件、设备、用户波束覆盖区域的数量等视为对所公开的系统的实施方式的限制,而是使其明确受到所附权利要求的限制。

[0092] 要通过系统1400传送的前向流量(即前向波束输入信号1407)最初通过分配设备诸如核心节点或类似实体(未示出)从源诸如互联网提供给波束形成器1406。分配设备可以管理将用于传输的频率和/或时隙分配到各个用户终端,以及将用于发送到特定波束的数据组合在一起,另外还执行其他功能。到波束形成器1406的前向波束输入信号1407(或由前向波束输入信号1407携带的信息的一部分)可以表示被引导至512个用户波束中的每一个的数据流(或调制数据流)。在一个实施方案中,512个前向波束输入信号1407中的每一个是3.5GHz宽的IF信号。在一些实施方案中,前向波束输入信号1407是耦接到波束形成器1406的输入的复合3.5GHz宽的载波。

[0093] 波束形成器1406将每个前向波束输入信号1407“引导”至用户波束覆盖区域1801。波束形成器1406通过将波束权重应用于512个前向波束输入信号1407来形成一组N个波束元件信号1409(如下文关于图16进一步描述的),来将前向波束输入信号1407引导至特定用户波束覆盖区域1801。通常, $N$ 大于或等于 $K$ 。在一些实施方案中, $N=512$ 并且 $K=512$ 。这512个波束元件信号1409被放大并被频率转换以形成RF波束元件信号1411。每个信号从N元(即,512元)阵列天线1416的一个元件发送。RF波束元件信号1411在用户波束覆盖区域1801内彼此叠加。发送的RF波束元件信号1411的叠加在用户波束覆盖区域1801内形成用户波束。

[0094] 在一些实施方案中,这512个波束元件信号1409在几个SAN 1410之间分开。因此,波束元件信号1409(例如 $512/8$ )的子集耦接到每个SAN 1410,其中8是SAN 1410的数量。因此,这8个SAN 1410的组合将来自波束形成器1406的512个波束元件信号1409发送到卫星1408。在一些实施方案中,波束形成器1406与SAN1410中的一个位于同一位置。另选地,波束形成器1406位于另一个站点。此外,在一些实施方案中,波束形成器1406可以分布在多个站点。在一个这样的实施方案中,波束形成器1406的一部分与每个SAN 1410位于同一位置。波束形成器1406的每个这样的部分接收全部前向流量,但是仅向要被发送到与波束形成器1406的该部分位于同一位置的SAN 1410的那64(即 $512/8$ )个信号1409应用波束权重。在一些实施方案中,提供了若干波束形成器(为了简单起见未示出)。每个波束形成器生成N个输出(即,波束元件信号)。这N个波束元件信号将被一对一地耦接到卫星1408上的一个N元阵列天线的各元件(为简单起见,仅示出一个)。因此,阵列天线1416与波束形成器1406之间存在一对一关系。在其中来自一个波束形成器1406的所有波束元件通过一个SAN 1410被发送到卫星1408的一些实施方案中,不需要协调来自不同SAN 1410的传输的时序。另选地,在其

中从相同波束形成器1406输出的波束元件通过不同SAN被发送到卫星1408的实施方案中,使用定时控件来考虑波束元件信号的时序,如下面进一步讨论。

[0095] 从阵列天线1416的N个元件中的每一个发送的每个RF波束元件信号1411之间的相位关系和各自的相对幅度确定了波束元件信号是否将正确叠加以在期望的用户波束覆盖区域1801内形成波束。在其中存在8个SAN 1410(即, $M=8$ )的一些实施方案中,每个SAN 1410接收64个波束元件信号1409。

[0096] 为了保持512个RF波束元件信号1411中每一个与其他信号的相位和幅度关系,除了N个波束元件信号1409之外,波束形成器1406还输出8个定时导频信号1413到SAN 1410,每个SAN一个定时导频信号。在从波束形成器1406发送到每个SAN 1410时,每个定时导频信号1413与其他定时导频信号对准。另外,使每个定时导频信号1413的幅度相等。

[0097] 图16是前向波束形成器1406的详细图示。前向波束形成器1406接收512个表示要通过系统1400发送的前向流量的前向波束输入信号1407。前向波束输入信号1407由矩阵乘法器1501接收。矩阵乘法器1501包括波束形成器输入模块1502、512路分离模块1504和512个加权和求和模块1506。可以使用矩阵乘法器的其他布置、实现或配置。512个前向波束输入信号1407中的每一个预期在512个用户波束覆盖区域1801中对应的一个内被接收。因此,在512个用户波束覆盖区域1801与512个前向波束输入信号1407之间存在一对一关系。在一些实施方案中,向波束形成器1406提供前向流量的分配设备(例如,核心节点)确保将被发送到特定用户波束覆盖区域1801的信息被包括在对应于该用户波束覆盖区域1801的前向波束输入信号1407内。

[0098] 512路分离模块1504将512个前向波束输入信号1407中的每一个分成512个相同的信号,导致从512路分离模块1504输出 $512 \times 512$ (即, $N \times K$ )个信号。当N等于512并且K等于512时,分离模块1504输出 $512 \times 512 = 524,288$ 个信号。从分离模块1504输出的512个独特信号耦接到512个加权和求和模块1506中的每一个。耦接到加权和求和模块1506中的每一个的信号根据由前向波束权重生成器1508计算的波束权重来加权(即,移相并且调整幅度)。512个加权信号中对应于相同阵列元件N的每一个在512个求和器1512中的一个中求和。

[0099] 由于来自求和器1512的每组64个输出将耦接到8个SAN 1410中不同的一个并由其发送,因此提供了定时模块1514。定时模块1514调整何时从波束形成器发送波束元件信号1409,以确保每个64个IF波束元件信号1409组在适当的时间到达用户波束覆盖区域1801,从而确保信号1409的叠加导致正确形成用户波束。另选地,可以考虑到从每个SAN 1410到卫星1408的路径的长度和特性的差异来生成前向波束权重。相应地,信号2122将耦接到前向波束形成器1406。在一些实施方案中,定时模块1514生成从前向波束形成器1406发送到每个SAN 1410的定时导频信号1413。在一些实施方案中,生成一个定时导频信号1413并将其分成幅度相等的8个副本,向每个SAN 1410发送一个副本。另选地,副本的幅度可以是预定比率。只要定时导频信号1413之间的比率是已知的,就可以均衡RF波束元件信号1411以确保它们将彼此叠加以形成期望的用户点波束。在其中在波束形成器1406内的定时模块1514中进行对准校正的一些实施方案中,每个SAN 1410将从SAN定时校正信号1419导出的信号2122返回到波束形成器的定时控制输入,以允许前向波束形成器1406确定对每个SAN 1410的信号的校准校正。在一些实施方案中,SAN定时校正信号1419随后被定时模块1514用来调整波束元件信号1409的时序。在其他实施方案中,SAN定时校正信号1419被前向波束权

重生成器1508用来调整波束权重以考虑从波束形成器1406经过每个SAN 1410到卫星1408的路径的差异。如上所述,可以在每个SAN 1410中替代地进行对准校正。

[0100] 一旦波束元件信号1409已经被适当地加权并且进行了任何必要的时序调整,则512个信号1409中的每一个都耦接到SAN 1410中的一个。也就是说,8个SAN 1410中的每一个从前向波束形成器1406接收64个波束元件信号1409(即 $512/8$ 个)。每个SAN 1410内的光发射器1401接收、复用和调制它接收到光载波上的那64个波束元件信号1409。

[0101] 图17是在系统1400的一些实施方案中使用的光发射器1401的图示。光发射器1401类似于上面关于图10讨论的光发射器607。然而,输入信号1409不同,因为它们由波束形成器1406进行波束加权。此外,由波束形成器1406提供的定时导频信号1413耦接到光学调制器611,并被调制到与相同光学波段模块1403内的其他光学调制器611的波段相同的波段内的光载波上,如由该光调制器内的光源654的波长确定的。在一些实施方案中,每个光学波段模块1403是相同的。然而,调制定时导频信号1413只需要在一个这样的光学波段模块1403中完成。另选地,如图17所示,只有一个光学波段模块1403被配置为调制定时导频信号1413。其他光学波段模块608可以类似于图6所示并且在上文描述的光学波段模块608。在任一实施方案中,在其中8个SAN 1410各自接收64个波束元件信号1409并将它们调制到4个不同光学波段内的16个光信道上的系统中,如图5所示,每个SAN 1410中的光发射器1401内有四个光学波段模块。

[0102] 定时导频信号1413与IF波束元件信号1409遵循相同的到卫星的路径。因此,通过在卫星1408处比较从每个SAN 1410发送的定时导频信号的到达时间,可以确定IF波束元件信号的到达时间的差异,并且可以生成校正信号并将其发送到每个SAN 1410。类似于光发射器607,由图17中所示的每个光学调制器611输出的光信道915在光合路器609中组合。复合光信号1624从光发射器1401内的光学镜头2002发射。光学镜头2002作为能够将光信号发送到卫星1408的光信号发射器来操作。

[0103] 来自具有64个波束元件信号1409和定时导频信号1413的每个SAN 1410的复合光信号1624在光前向上行链路1402上被发送到卫星1408并被卫星1408内的8个光接收器1412中的一个接收。卫星1408内的这8个光接收器1412中的每一个从复合光信号1624中解复用64个光信道915。

[0104] 图18更详细地示出了卫星1408的部件(参见图15)。如上面参考图15所述,卫星1408根据使用陆基波束成形的系统的一些实施方案来接收和发送前向链路。卫星1408的前向链路的部件包括8个光接收器1412、8个放大器/转换器模块1414和512元阵列天线1416。在系统1400的一些实施方案中,类似于图9、图13和图16中所示的实施方案,其中存在8个SAN(即, $M=8$ ),接收的复合信号1624包括64个光信道,它们分成4个波段,每个波段16个光信道,每个波段携带3.5GHz宽的IF信道。此外,阵列天线中有 $K=512$ 个用户波束覆盖区域1801和 $N=512$ 个元件。如本论述中其他地方所指出的,这些数字仅作为示例提供并且使为了便于论述。

[0105] 每个光接收器1412与对应的放大器/转换器模块1414相关联。光接收器1412各自包括镜头模块1701和多个光探测器,诸如光电二极管1703。镜头模块1701包括镜头1702(在一些实施方案中它可以类似于上面关于图4描述的镜头610)、光学解复用器1704、多个光学解复用器1706和多个输出镜头1708。



[0106] 在操作中,从8个SAN 1410中的每一个接收复合光信号1624。提供镜头1702以接收每个复合光信号1624。在一些实施方案中,镜头1702可以在镜头1702将从其接收复合光信号1624的SAN 1410处聚焦(在一些实施方案中,机械指向该SAN)。随后可以将镜头1702重新聚焦以指向不同的SAN 1410。因为镜头1702可以被聚焦以从若干SAN 1410中的一个接收复合光信号1624,所以卫星1408可以从选自更多数量的8+X个SAN 1410的8个SAN 1410接收信号。在一些实施方案中,X=24。因此,32个不同的SAN 1410能够接收预期要被传送到该系统中的用户波束覆盖区域1801的信息。然而,这32个SAN 1410中只有8个被选择为使发送的信息被卫星1408接收。

[0107] 现在详细描述通过卫星1408的前向链路的复合光信号1624中的一个的信号路径。应当理解,8个接收的复合光信号1624采取的通过卫星1408的前向链路的8个信号路径中的每一个都相同地操作。由镜头1702接收的复合光信号1624被引导至光学解复用器1704。在使用图9所示的调制方案的系统中,光学解复用器1704将复合光信号1624分成四个波段907、909、911、913(参见图9)。也就是说,光学解复用器1704将复合光信号1624分成光束元件信号被发送该复合光信号1624的SAN 1410调制到其上的四个光波长。来自光学解复用器1704的每个光学输出耦接到对应的光学解复用器1706。这四个光学解复用器1706中的每一个输出 $512/(4 \times 8)$ 个光信号,于是总共有 $4 \times 512/(4 \times 8) = 512/8 = 64$ 个光信号。从这四个光学解复用器1706输出的16个光信号中的每一个被引导至输出镜头1708。每个输出镜头1708将对应的光信号聚焦到对应的光电探测器诸如光电二极管1703上。每个光电二极管1703检测其输入处的光信号的幅度包络并输出对应于检测到的幅度包络的RF发射波束元件信号1418。因此,从光接收器1412输出的RF发送波束元件信号1418实质上是由SAN 1410调制到光信号上的波束元件信号1409。

[0108] RF输出信号随后耦接到放大器/转换器模块1414。放大器/转换器模块1414包括512/8个信号路径。在一些实施方案中,每个信号路径包括低噪声放大器(LNA) 1710、频率转换器1712和PA 1714。在其他实施方案中,信号路径仅包括频率转换器1712和PA 1714。在其他实施方案中,信号路径仅包括PA 1714(如果由SAN产生的馈源信号已经处于期望的前向下行链路频率,则可以省略频率转换器1712)。频率转换器1712将RF发射波束元件信号1418频率转换到前向下行链路载波频率。在一些实施方案中,每个上变频器的输出是在20GHz的中心频率处的RF载波。来自8个放大器/转换器模块1414的512个输出中的每一个耦接到512元阵列天线1416的512个元件中对应的一个。因此,阵列天线1416发送512个前向下行链路波束元件信号1718。

[0109] 图19是根据一些实施方案的在美国大陆上形成的用户波束覆盖区域1801的图示。在其他实施方案中,用户波束覆盖区域可以位于不同的位置并且具有不同的间隔和图案。在一些实施方案中,诸如图4、图8和图12所示的实施方案,天线的每个馈源被聚焦以将用户点波束引导至一个用户波束覆盖区域。在其他实施方案中,诸如图10、图11、图12、图14和图15中所示,512个前向下行链路波束元件信号1718彼此叠加以形成被引导至用户波束覆盖区域1801的用户波束。如图19所示,用户波束覆盖区域分布在基本上大于用户波束覆盖区域1801的卫星服务区域上。512元阵列天线1416通过前向下行链路1404将RF波束元件信号1411发送到512个用户波束覆盖区域1801中的每一个。凭借从512元阵列天线1416的512个元件中的每个元件发送的RF波束元件信号1411的叠加,每个用户波束覆盖区域1801内的用



户终端806接收被引导至该特定用户波束覆盖区域1801的用户波束。

[0110] 除了从每个光接收器1412输出的IF波束元件信号1418之外,每个光接收器1412还将复合光信号1624解复用卫星定时信号1415。卫星定时信号1415从每个光接收器1412输出并耦接到对应的放大器/转换器模块1414。放大器/转换器模块1414内的LNA 1710将卫星定时信号1415放大。LNA 1710的输出耦接到卫星定时模块1417。在一些实施方案中,卫星定时模块1417比较由每个光接收器1412接收的卫星定时信号1415以确定它们是否对准。卫星定时模块1417输出8个SAN定时校正信号1419,其中一个信号要被返回到8个SAN 1410中的每一个。在一些实施方案中,每个SAN定时校正信号1419耦接到返回放大器/转换器模块1904的输入(参见图24)。类似于SAN 1410中提供的光发射器1401,每个SAN定时校正信号1419被放大、频率转换到前向下行链路频率并且耦接到卫星1408内的8个光发射器1401中的一个的输入。在一些实施方案中,这八个中的一个其他七个的参考。因此,不会对从发送了参考卫星定时信号的SAN 1410发送的信号时序进行校正。因此,没有为该SAN 1410发送SAN定时校正信号1419。SAN定时校正信号1419被调制到由卫星1408发送到每个SAN 1410的每个复合光信号上。

[0111] 每个SAN定时校正信号1419提供定时对准信息,该信息指示定时导频信号1413相对于其他定时导频信号(例如,参考卫星定时信号1415)有多不对准。在一些实施方案中,定时信息通过SAN 1410发送到波束形成器1406中的定时模块1514(参见图16)。定时模块1514在将波束元件发送到每个SAN 1410之前调整波束元件的对准。另选地,每个SAN 1410使用该定时对准信息来调整来自SAN 1410的传输的时序,以确保来自每个SAN 1410的RF波束元件信号1411对准地到达卫星1408。图20是光发射器1460的图示,其具有用于调整波束元件信号1409和定时导频信号1413的时序的定时模块1462。定时模块1462通过返回下行链路从卫星1408接收定时校正信号1464(在下面进一步讨论)。定时模块向信号1409、1413应用适当的延迟以使由SAN 1410发送的信号与由系统1400的其他SAN 1410发送的信号对准。

[0112] 在替代实施方案中,可以基于由卫星定时模块1417生成的控制信号对卫星内的RF波束元件信号1411进行定时调整。在一些这样的实施方案中,对于每个RF波束元件信号1411,控制信号控制置于光接收器1412和阵列天线1416之间的信号路径中的可编程延迟。

[0113] 在替代实施方案中,卫星定时信号1415中的至少两个从卫星传回每个SAN 1410。第一个信号是传回所有SAN的公共卫星定时信号1415。也就是说,接收的卫星定时信号1415中的一个被选择作为所有其他信号将与之对准的标准。第二个信号是卫星定时信号1415的回送。通过将公共卫星定时信号1415与回送卫星定时信号1415进行比较,每个SAN 1410可以确定使这两个信号对准所需的调整量,并且因此将来自卫星1410内的每个SAN 1410的IF波束元件信号1418对准。

[0114] 图21是其中K个前向波束输入信号1452中的每一个包含S个500MHz宽的子信道的系统1450。在一些实施方案中, $K=512$ 并且 $S=7$ 。例如,在一些实施方案中,七个500MHz宽的子信道被发送到一个用户覆盖区域1801。图22是波束形成器1300的图示,其中前向波束输入信号1452包括七个500MHz宽的子信道,每个子信道耦接到波束形成器1300的一个独特输入。因此,如上所述,子信道可以在被组合成IF载波之后被波束成形,如图14和图15所示。另选地,如图21、图13所示,子信道可以在使用波束形成器1300组合之前被波束成形。因此,波束形成器1300输出 $S \times N$ 个波束元件信号,其中 $(S \times N)/M$ 个这样的波束元件信号被发送到每

个SAN 1410。在示例性系统1450中, $S=7$ , $N=512$ 并且 $M=8$ 。如上所述,这些数字是作为方便的示例提供的,并非旨在将所述系统诸如系统1450限制在这些特定的值。

[0115] 图22是波束形成器1300的简化框图,其中每个载波包括 $S$ 个子信道,其中 $S=7$ 。每个子信道作为独立输入被提供给波束形成器1300内矩阵乘法器1301。因此, $512 \times 7$ 个子信道被输入到矩阵乘法器1301,其中将形成512个用户点波束,并且7是每个载波中的子信道的数量;即 $K=512$ 并且 $S=7$ 。512路分离器1304接收这 $512 \times 7$ 个子信道中的每一个,其中512是阵列天线1416中的元件的数量。另选地, $N$ 可以是任何数量的天线元件。每个子信道被分成512路。因此,从分离器1304以三维矩阵输出 $512 \times 512 \times 7$ 个信号。在加权和求和模块1306中对信号1,1,1到1, $K$ ,1(即,1,512,1,其中 $K=512$ )进行加权和求和。类似地,在加权和求和模块1313中对信号1,1,7到1,512,7进行加权和求和。以类似的方式,其他加权和求和模块中的每一个权重接收来自分离器1304的输出,并对输出进行加权和求和。来自加权和求和模块1306、1313的 $512 \times 7$ 个输出耦接到定时模块1514的输入。定时模块的功能基本上与上面讨论的波束形成器1406的定时模块1514相同。波束形成器1300将 $512 \times 7$ 个波束元件信号1454输出到SAN 1410。8个SAN 1410中的每一个包括IF合路器1602。

[0116] 图23是系统1450的SAN 1456的图示。在一些实施方案中,第一基带到IF转换器805与上文关于图10讨论的基带到IF转换器805类似的方式操作。转换器805输出IF信号811,该信号是七个500MHz波束元件信号1454的组合。另外,在一些实施方案中,基带到IF转换器1605中的至少一个包括附加频率转换器1607。附加频率转换器1607从波束形成器1300接收定时导频信号1413。定时导频信号1413与波束元件子信道组合并且耦接到光发射器607。耦接到光发射器607的每个IF信号811在每个SAN 1410的光合路器609中组合,以形成发射的复合光信号1624。定时导频信号1413耦接到频率转换器1607的输入。频率转换器1607将定时导频信号置于允许其被求和器1608与波束元件信号1454相加的频率。另选地,定时导频信号1413可以直接耦接到专用于调制定时导频信号1413的附加光调制器1610。附加调制器1610的输出耦接到光合路器609,并且在专用于定时导频信号的独特光信道上与其他信号组合。

[0117] 图24是具有陆基波束成形的系统1400的返回链路的图示。位于512个用户波束覆盖区域1801中的多个内的用户终端806将RF信号发射到卫星1408。卫星1408上的512元阵列天线1902(其可以与阵列天线1416相同也可以不同)从用户终端806接收RF信号。来自512元阵列天线1902的512/8个输出耦接到8个放大器/转换器模块1904中的每一个。也就是说,阵列天线1902的每个元件耦接到放大器/转换器模块1904中的一个内的一个LNA 1906。每个LNA 1906的输出耦接到频率转换器1908和前置放大器1910的输入。LNA 1906的放大输出频率从RF用户上行链路频率下变频到IF。在一些实施方案中,IF信号具有3.5GHz的带宽。在一些实施方案中,前置放大器1910在调制到光载波上之前提供附加增益。类似于图4的光发射器607,每个放大器/转换器模块1904的输出耦接到8个光发射器1401中的一个的对应输入。8个光发射器1401中的每一个输出光信号并将光信号发送到对应的SAN 1410。SAN 1410接收光信号。SAN 1410将512/8个返回波束元件信号1914输出到下行链路波束形成器1916。下行链路波束形成器1916处理返回波束元件信号1914并输出512个波束信号1918,每个波束信号与512个用户波束覆盖区域1801中的一个对应。

[0118] 从放大器/转换器模块1904提供给光发射器607的IF信号各自耦接到512/8个光学

调制器611中的一个。例如,如果阵列天线1902中有512个元件(即, $N=512$ )并且系统1900中有8个SAN 1410,则 $512/8=64$ 。在其中IF信号被调制到分成4个波段的波长上的系统中,诸如图9所示,光学调制器611在具有 $512/(4 \times 8)$ 个光学调制器611的光学波段模块608中被一起分组。

[0119] 每个光学调制器611基本上与图10所示的SAN 1410的上行链路光模块相同,如上所述。同一光学波段模块608内的每个光学调制器611具有光源654,该光源产生具有16个波长 $\lambda$ 中的一个的光信号。因此,每个光学调制器611的输出将处于不同的波长。在同一光学波段模块608内生成的那些光信号将具有处于相同光学波段中的波长(即,例如,在图9所示的情况下,光学波段为1100nm、1300nm、1550nm和2100nm)。这些光信号中的每一个将在基于波长 $\lambda_2$ 的波段内的16个光信道中的一个中。来自每个光学调制器611的光输出耦接到光合路器609。光合路器609的输出是通过光学镜头2016发送到SAN 1410中的一个的复合光信号。光学镜头2016可以被引导至若干SAN 1410中的一个。因此,8个光学发射器各自将8个光信号中的一个发送到8个SAN 1410中的一个。根据卫星和每个候选SAN之间光链路的质量,可以从更大的一组候选SAN中选择特定的一组8个SAN。

[0120] 图25是返回链路中的SAN 1410中的一个的图示。光接收器622包括接收光信号的镜头2102,该光信号由镜头2016从卫星引导至SAN 1410。光学波段解复用器2104将光信号分离成光学波段。例如,在其中有四个这样的波段的一些实施方案中,四个光输出2106中的每一个耦接到光信道解复用器2108。光信道解复用器2108分离在卫星1408中组合的 $512/(4 \times 8)$ 个信号。来自四个光信道解复用器2108的每个输出耦接到对应的镜头2110,该镜头将光信道解复用器2108的光输出聚焦到光检测器诸如光电二极管2112上。来自光电二极管2112的输出信号2116各自耦接到 $512/8$ 个LNA 2114中的一个。来自每个LNA 2114的输出耦接到返回链路波束形成器1916(参见图24)。另外,来自光接收器622的一个信道输出输出定时校正信号1464,该定时校正信号本质上是由卫星定时模块提供给返回放大器/转换器模块1414的SAN定时校正信号1419(参见图18)。在一些实施方案中,定时校正信号1464耦接到定时导频调制解调器2120。定时导频调制解调器输出被发送到前向波束形成器1406的信号2122。在其他实施方案中,定时校正信号1464耦接到上面讨论的定时模块1462(参见图20)的定时控制输入。

[0121] 图26更详细地示出根据所公开的技术的一些实施方案的返回波束形成器1916。 $512$ 个输出信号2116中的每一个由返回波束形成器1916从每个SAN 1410接收。返回波束形成器包括波束形成输入模块2203、定时模块2201、矩阵乘法器2200和波束形成器输出模块2205。矩阵乘法器2200包括K路分离模块2202和 $512$ 个加权和求和模块2204。矩阵乘法器2200将光束信号的矢量乘以权重矩阵。可以使用矩阵乘法器2200的其他布置、实现或配置。每个信号2116由波束形成输入模块2203中的波束形成器1916接收并且耦接到定时模块2201。定时模块2201确保考虑到从卫星到SAN 1410和从SAN 1410到返回波束形成器1916的路径的长度和特性的任何差异。在一些实施方案中,这可以通过将一个导频信号从返回波束形成器1916发送到每个SAN 1410再到卫星并且将该导频信号通过SAN 1410送回到返回波束形成器1916来完成。可以测量和考虑返回波束形成器1916与卫星之间的路径的差异。

[0122] 定时模块的输出耦接到K路分离器2202,该分离器将每个信号分成 $512$ 个相同的信号。 $512$ 个独特信号被应用于 $512$ 个加权和求和电路中的每一个。在加权电路2206内对这 $512$

个独特信号中的每一个进行加权(即,调整相位和幅度),使得当其在求和电路2208中与512个其他加权信号中的每一个相加时,在返回波束形成器的输出处形成返回链路用户波束。

[0123] 针对到卫星的光学上行链路示出了上述每个架构。另外,从卫星到地球上的SAN的光学下行链路的操作基本上与所描述的光学上行链路相反。例如,根据图4所示的架构,从卫星602到SAN 604的光学下行链路提供宽带下行链路。激光器被提供用于发送光学下行链路,而不是将镜头610用于接收光学上行链路。此外,双相调制器614并不生成要在RF载波上发送的BPSK调制信号,而是使用光学二进制调制方案来调制光信号。类似地,可以使用类似于图4所示架构的架构来提供光学下行链路。在该实施方案中,调制器614将被QAM解调器替代,其接收经QAM调制的RF或IF信号并解调每个符号的比特,并使用光信号的二进制光调制用于在光学下行链路上进行传输。在图8所示的架构的实施方案中,可以使用类似的架构,其中从卫星到SAN的馈电下行链路是光学的,来自用户终端842、844的接收RF信号被矩阵开关被引导至指向被选择为接收该信号的特定SAN的激光器。RF信号被RF调制到光信号上,其方式类似于由SAN 802中的基带/RF调制解调器对馈电上行链路光信号进行RF调制。

[0124] 在一些实施方案中,用于发送馈电下行链路光信号的激光器指向若干SAN中的一个。基于从卫星到每个可用SAN的光路中的信号衰落量来选择SAN,这类似于图4、图8和图12的SAN被选择的方式。

[0125] 尽管以上就实施方案和具体实施的各种示例描述了所公开的技术,但应当理解,在一个或多个单独实施方案中描述的具体特征、方面和功能并未在其对用来对其进行描述的具体实施方案的适用性上受到限制。因此,要求保护的本发明的广度和范围不应受到通过描述以上公开的实施方案来提供的任何示例的限制。

[0126] 除非另有明确说明,否则本文件中使用的术语和短语及其变体应被解释为开放性的而不是限制性的。作为前述内容的示例:术语“包括”应被理解为意指“包括但不限于”等;术语“示例”用于提供讨论中的项目的实例的示例,而不是其详尽或限制性清单;术语“一”或“一个”应被理解为意指“至少一个”、“一个或多个”等;并且诸如“常规的”、“传统的”、“正常的”、“标准的”、“已知的”的形容词和类似含义的术语不应被解释为将所描述的项目限制在给定的时间段或者限制在作为给定的时间可用的项目,而是应被理解为涵盖现在或将来任何时候可用或已知的常规、传统、正常或标准技术。同样地,在本文件涉及对于本领域普通技术人员显而易见或已知的技术的情况下,这些技术涵盖现在或将来任何时候对于技术人员显而易见或已知的那些技术。

[0127] 与连词“和”相关联的一组项目不应被理解为要求这些项目中的每一个都存在于分组中,而应被理解为“和/或”,除非另有明确说明。类似地,与连词“或”相关联的一组项目不应被理解为要求在该组中具有相互排斥性,而应被理解为“和/或”,除非另有明确说明。此外,虽然所公开的技术的项目、元件或部件能够以单数形式被描述或要求保护,但是除非明确声明限制为单数,否则复数被认为在其范围内。

[0128] 在某些情况下,扩展性字词和短语诸如“一个或多个”、“至少”、“但不限于”或其他类似短语的存在不应被解读为意指在可能不存在这些扩展性短语的情况下更窄的情况是预期或需要的。术语“模块”的使用并不意味着描述或要求保护的作为模块一部分的部件或功能全部被配置在共同的包装中。实际上,模块的任何或所有部件,无论是控制逻辑还是其他部件,都可以组合在单个包装中或单独维护,并且还可以分布在多个分组或包装中或跨

多个位置。

[0129] 此外,借助框图、流程图和其他图示描述了本文阐述的各种实施方案。如同本领域普通技术人员在阅读本文后能够清楚发现的那样,所示的实施方案及其各种替代方案可以在不限制于所示示例的情况下被实现。例如,框图及其随附的描述不应被解释为要求特定的架构或配置。

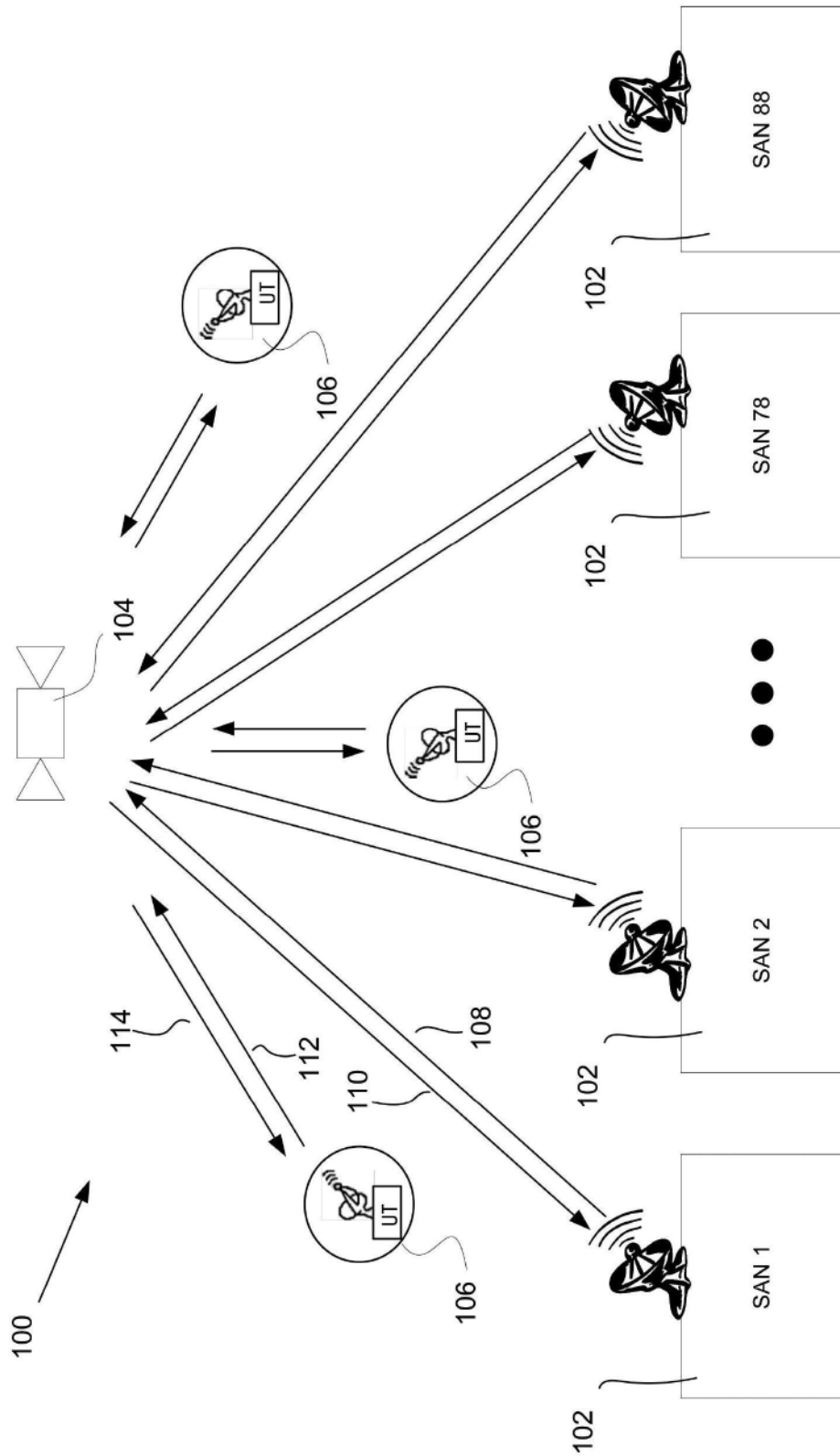


图1

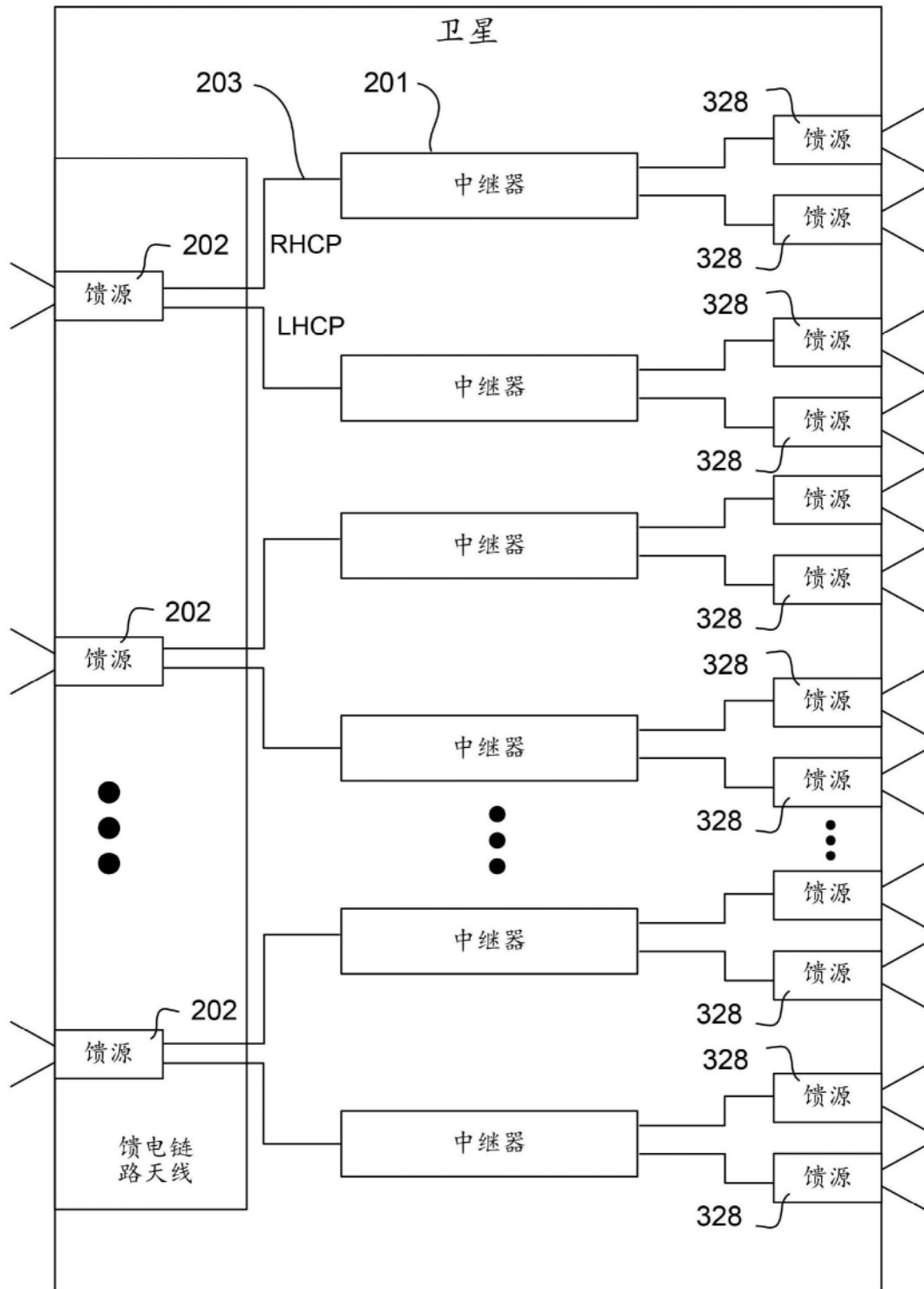


图2

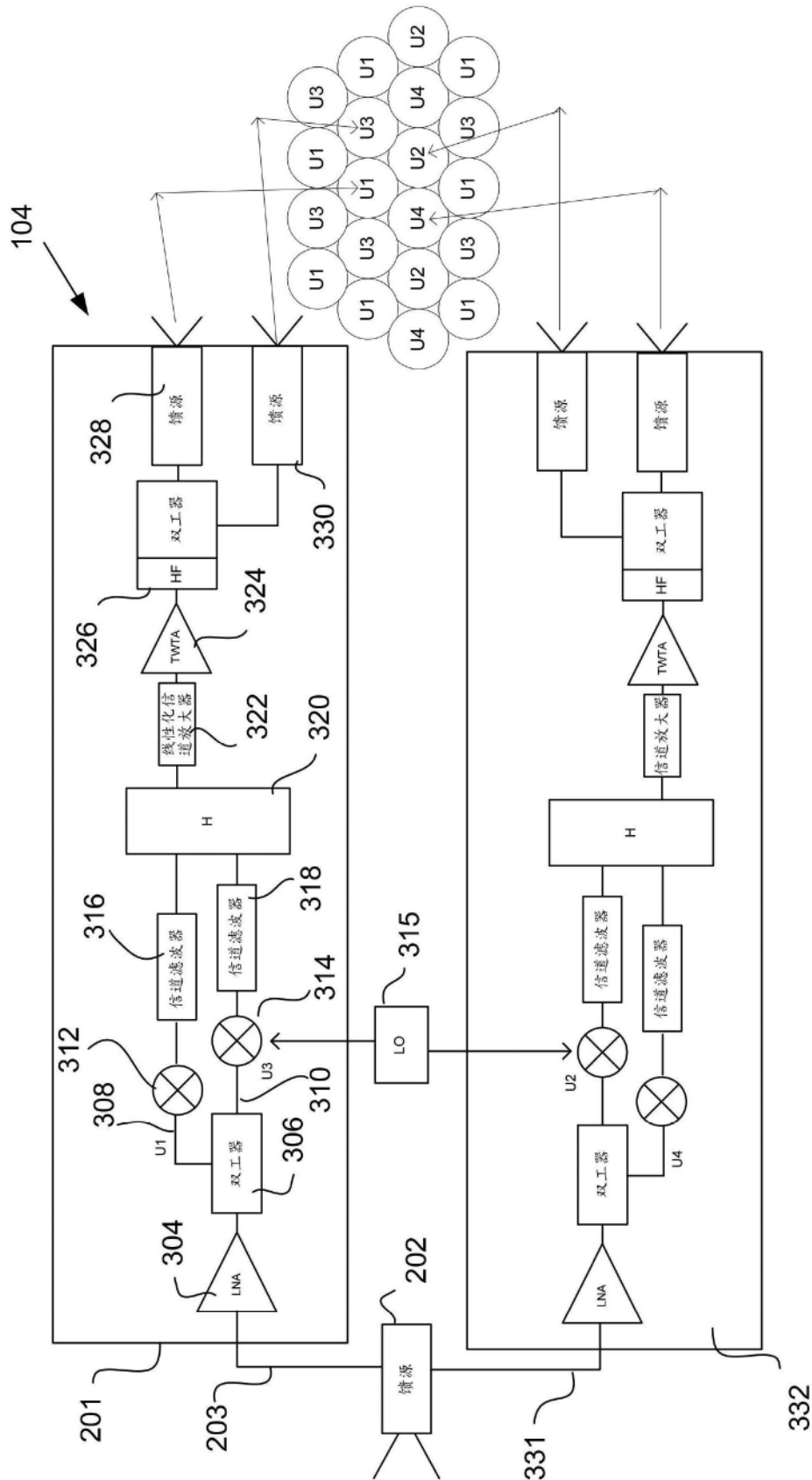


图3



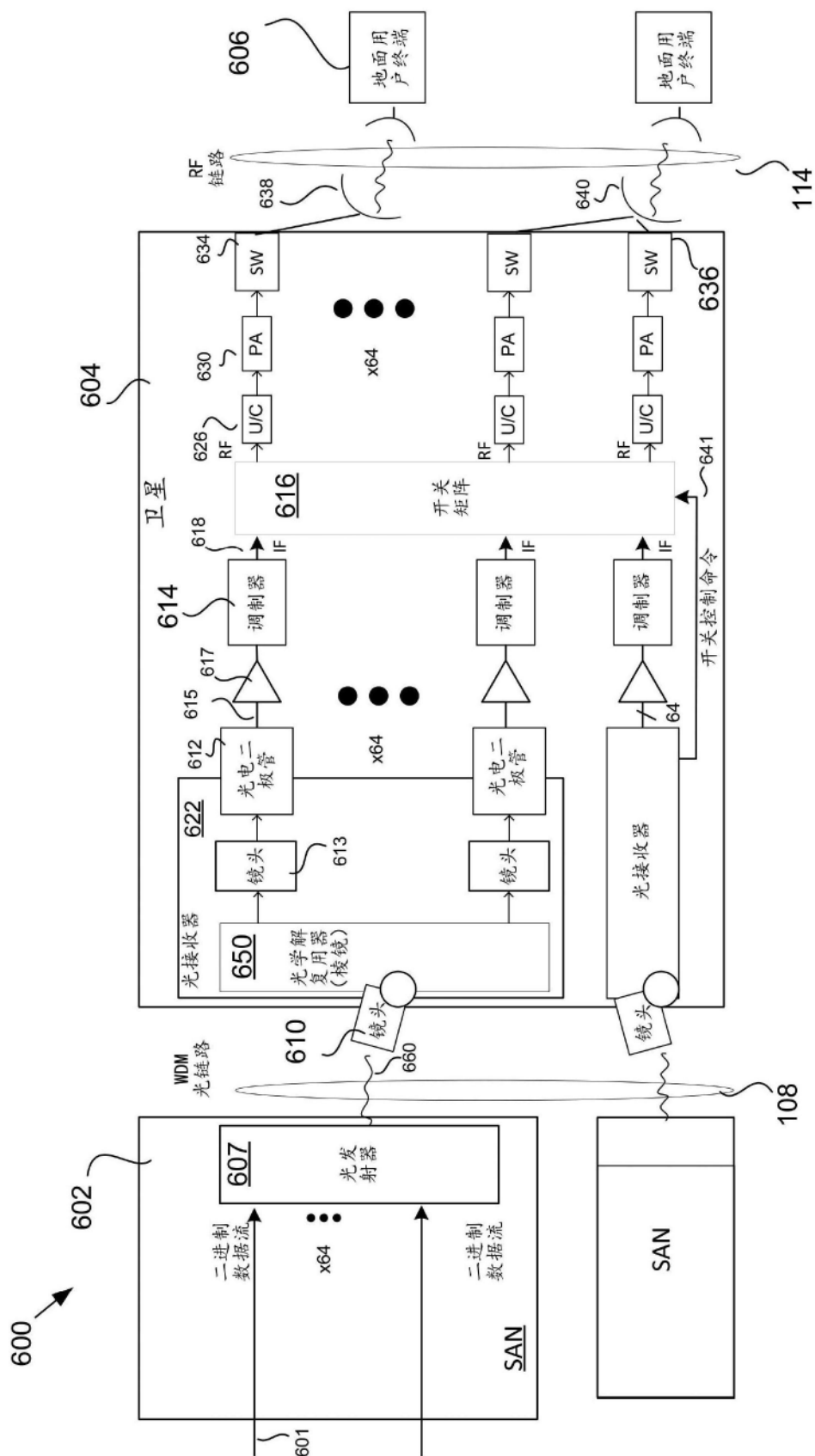


图4

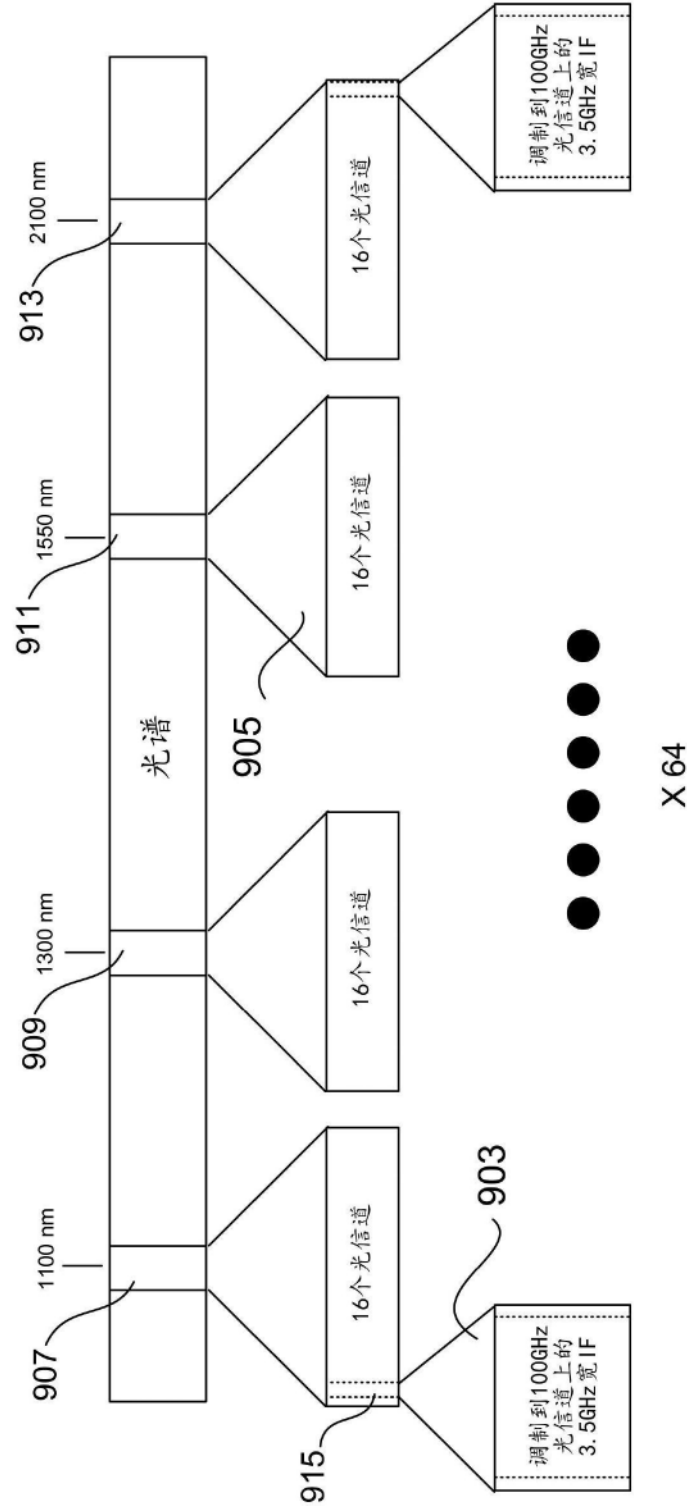


图5

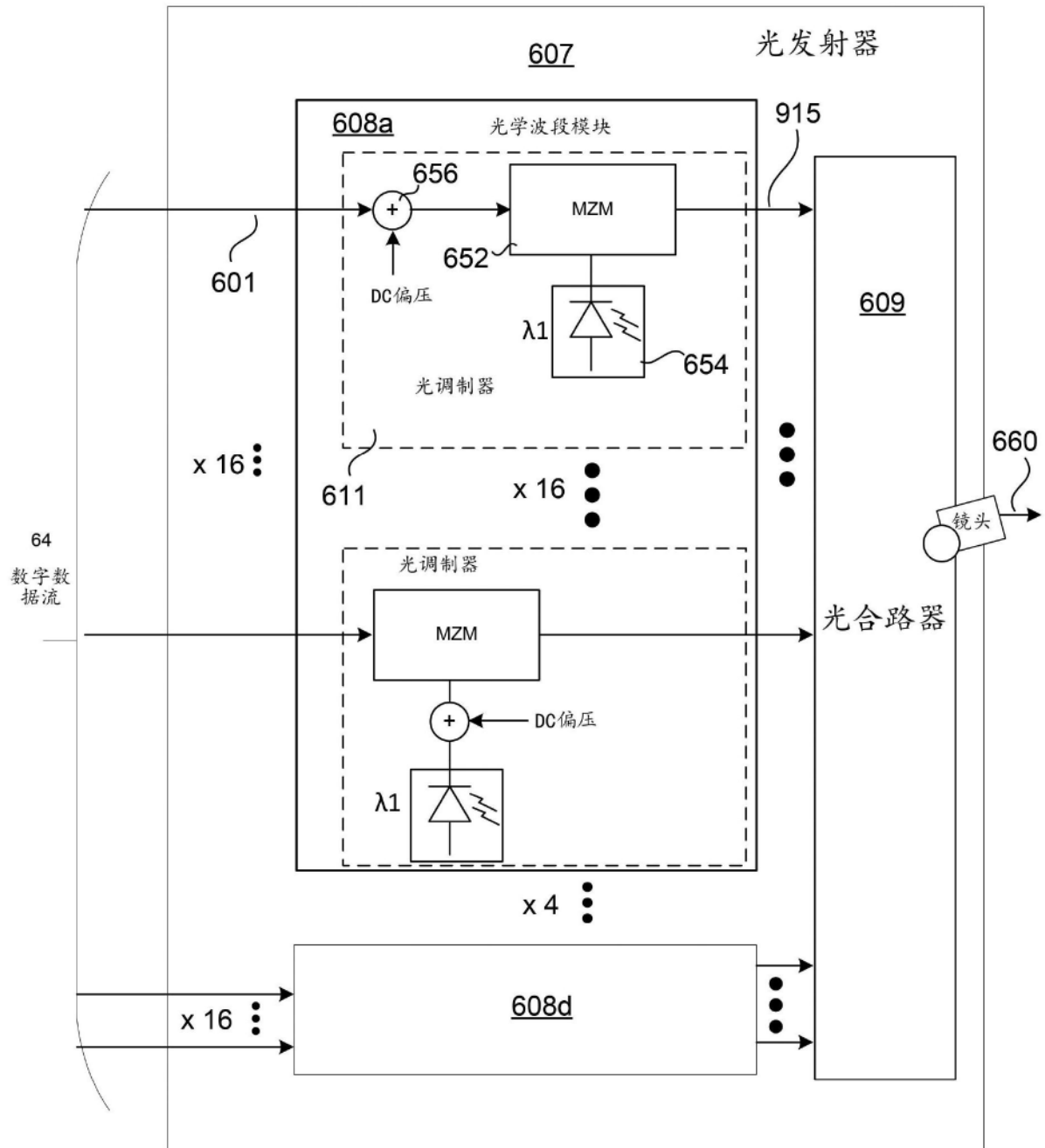


图6

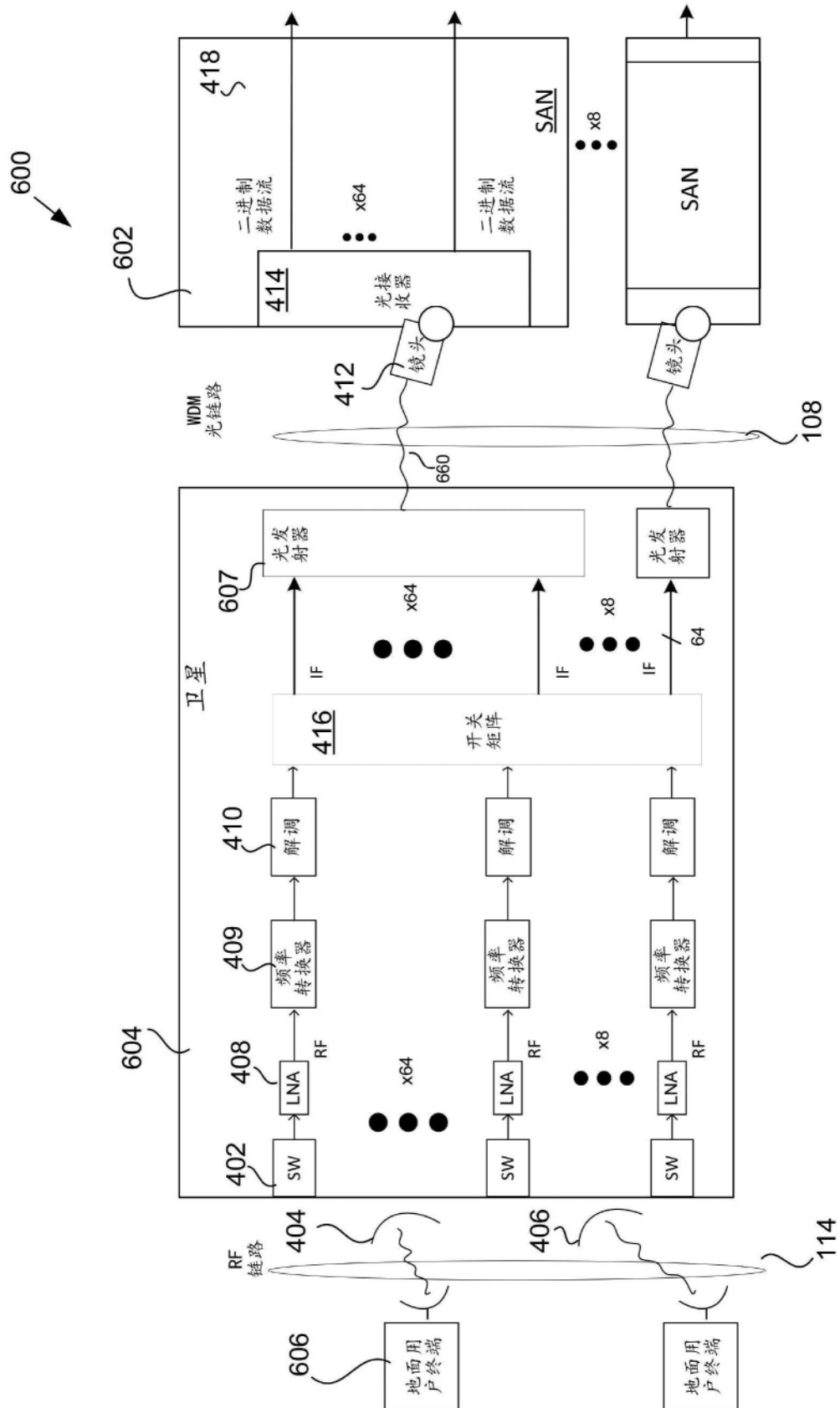


图7

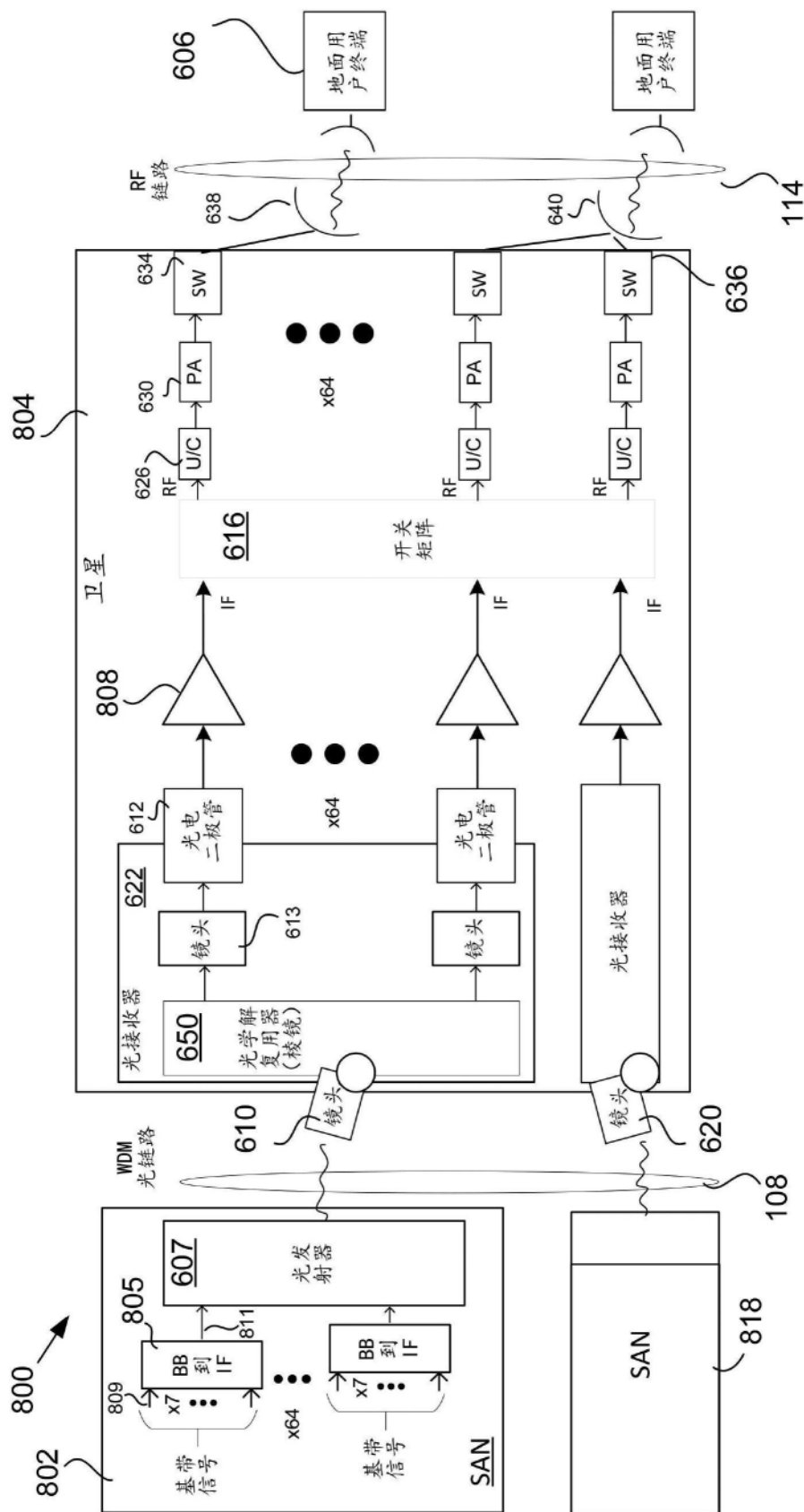


图8

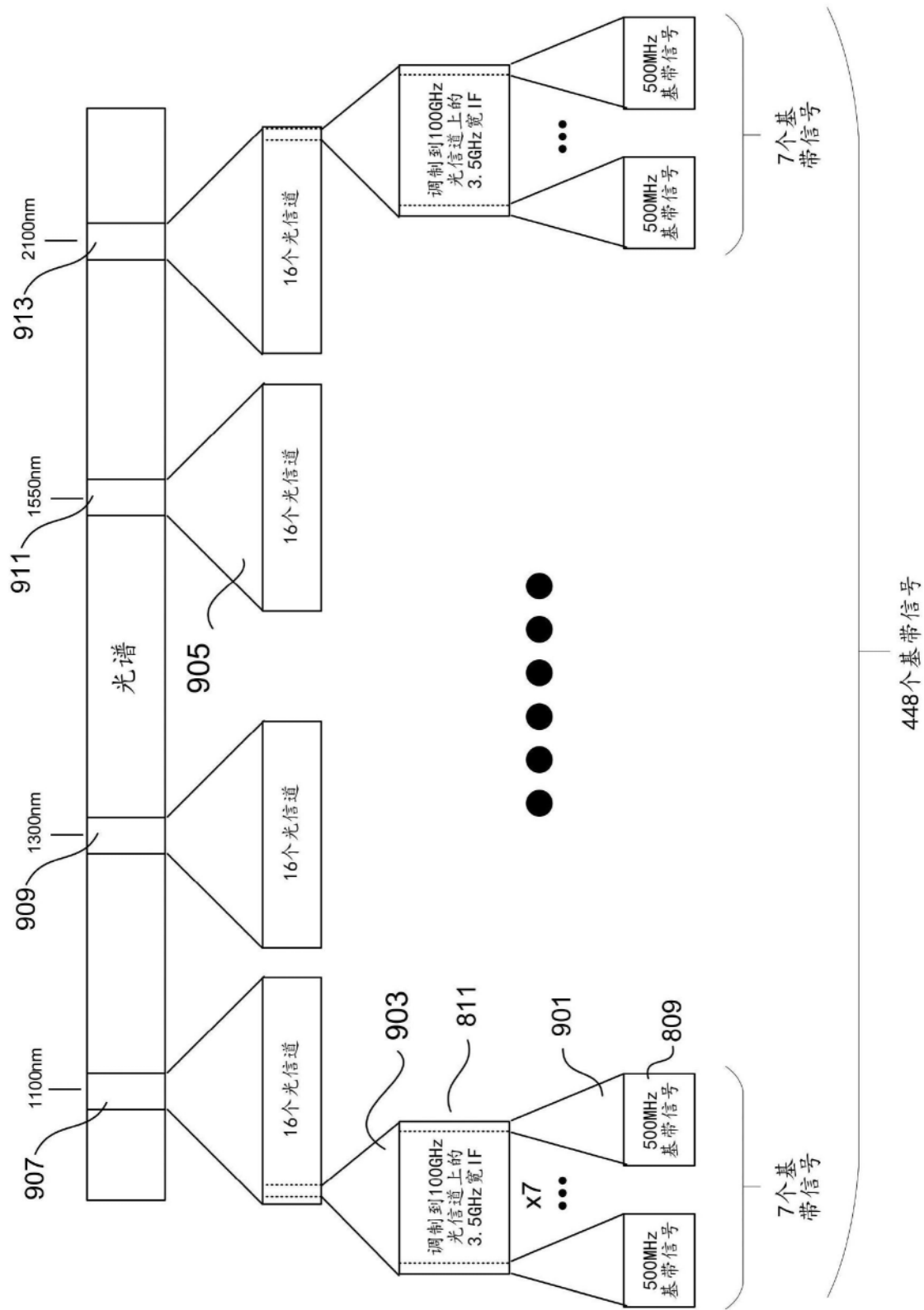


图9

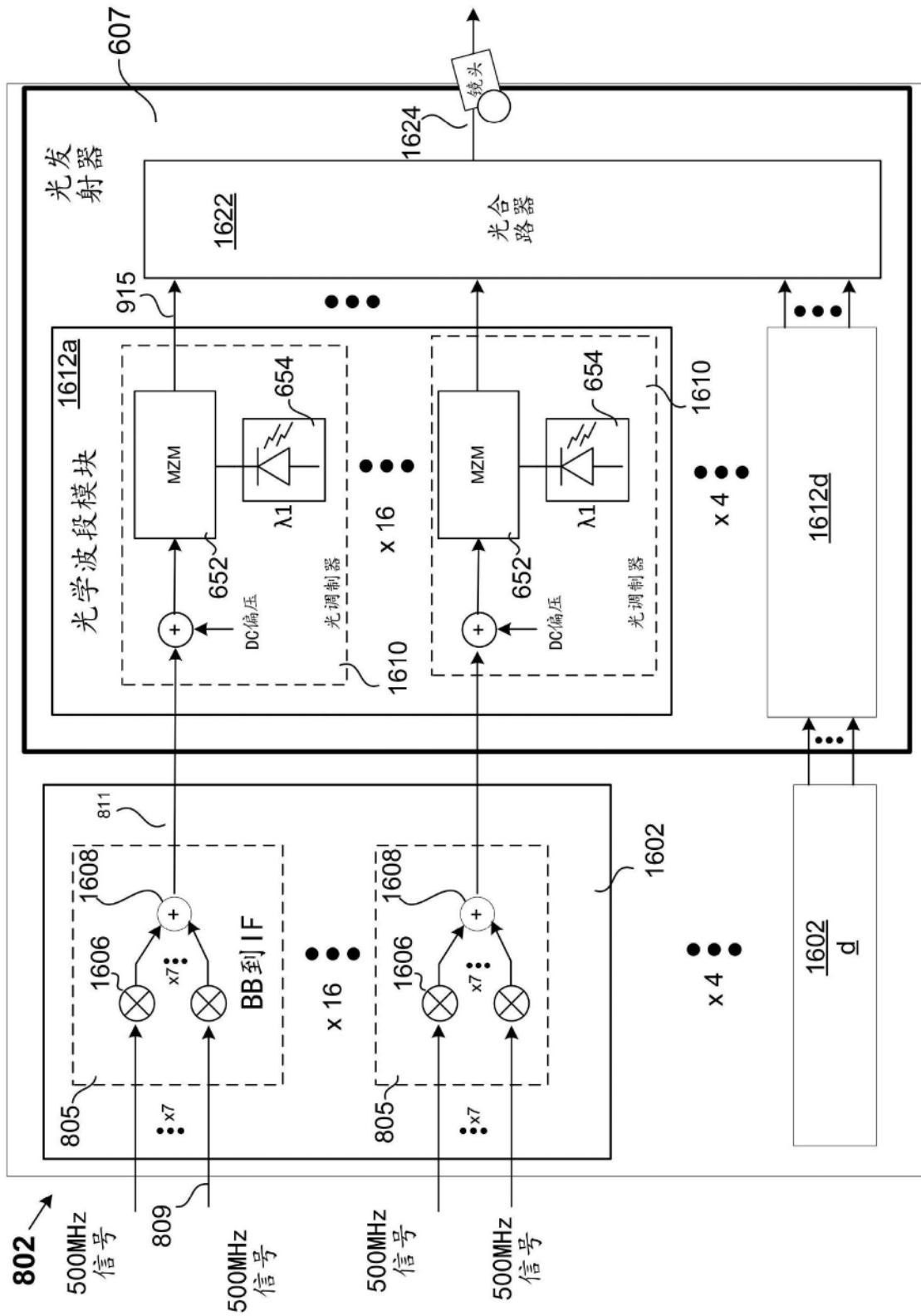


图10

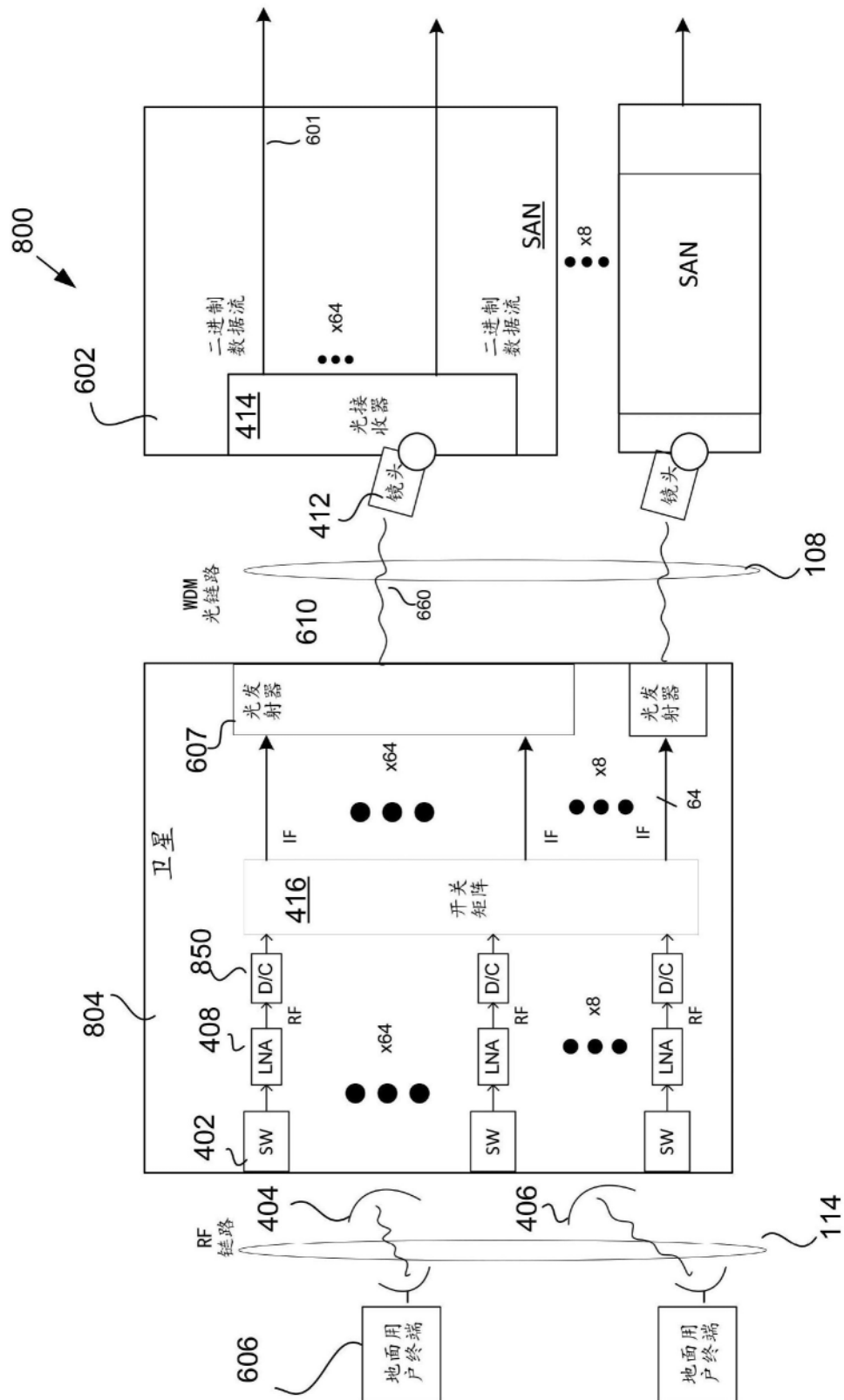


图11



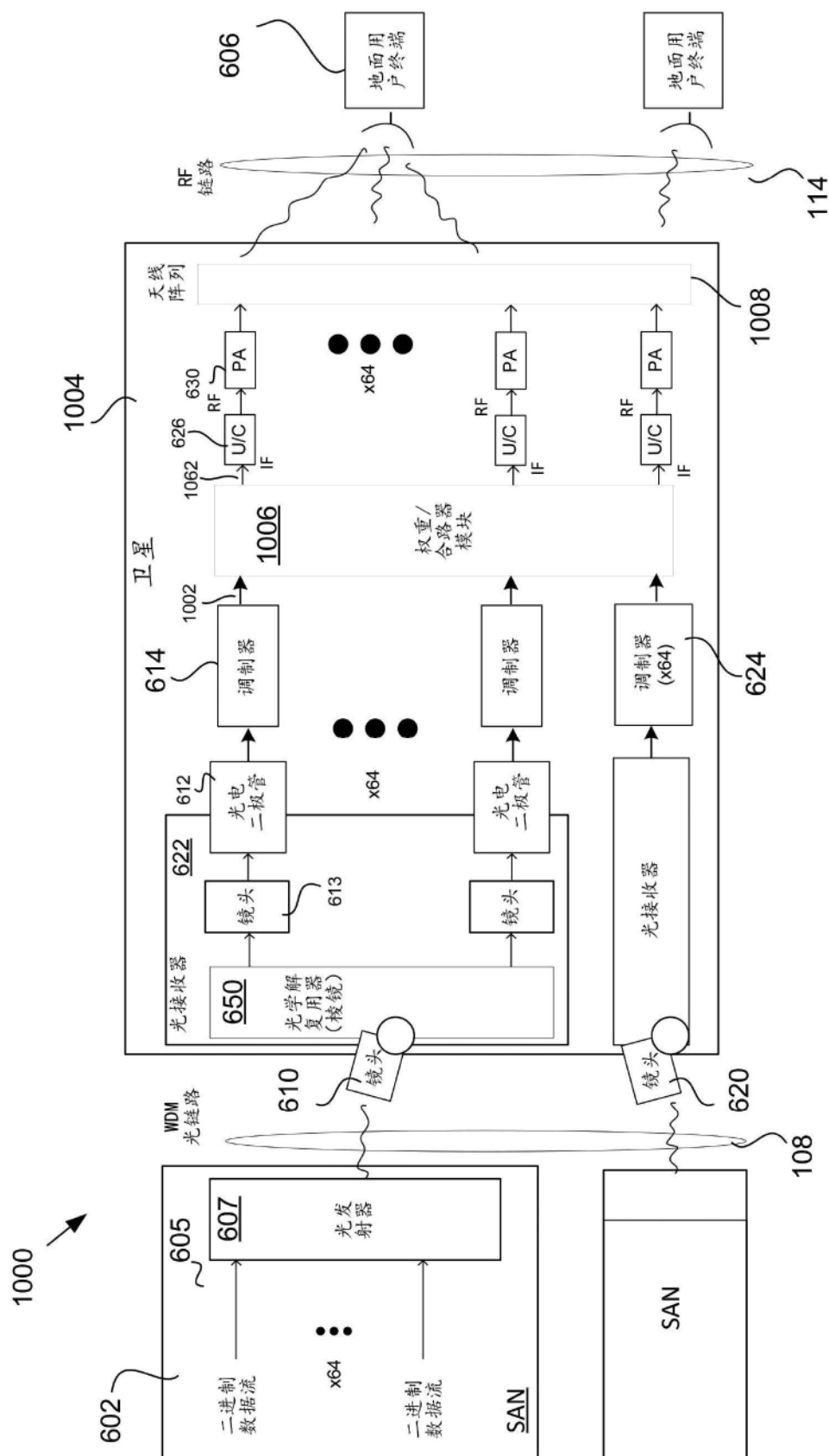


图12

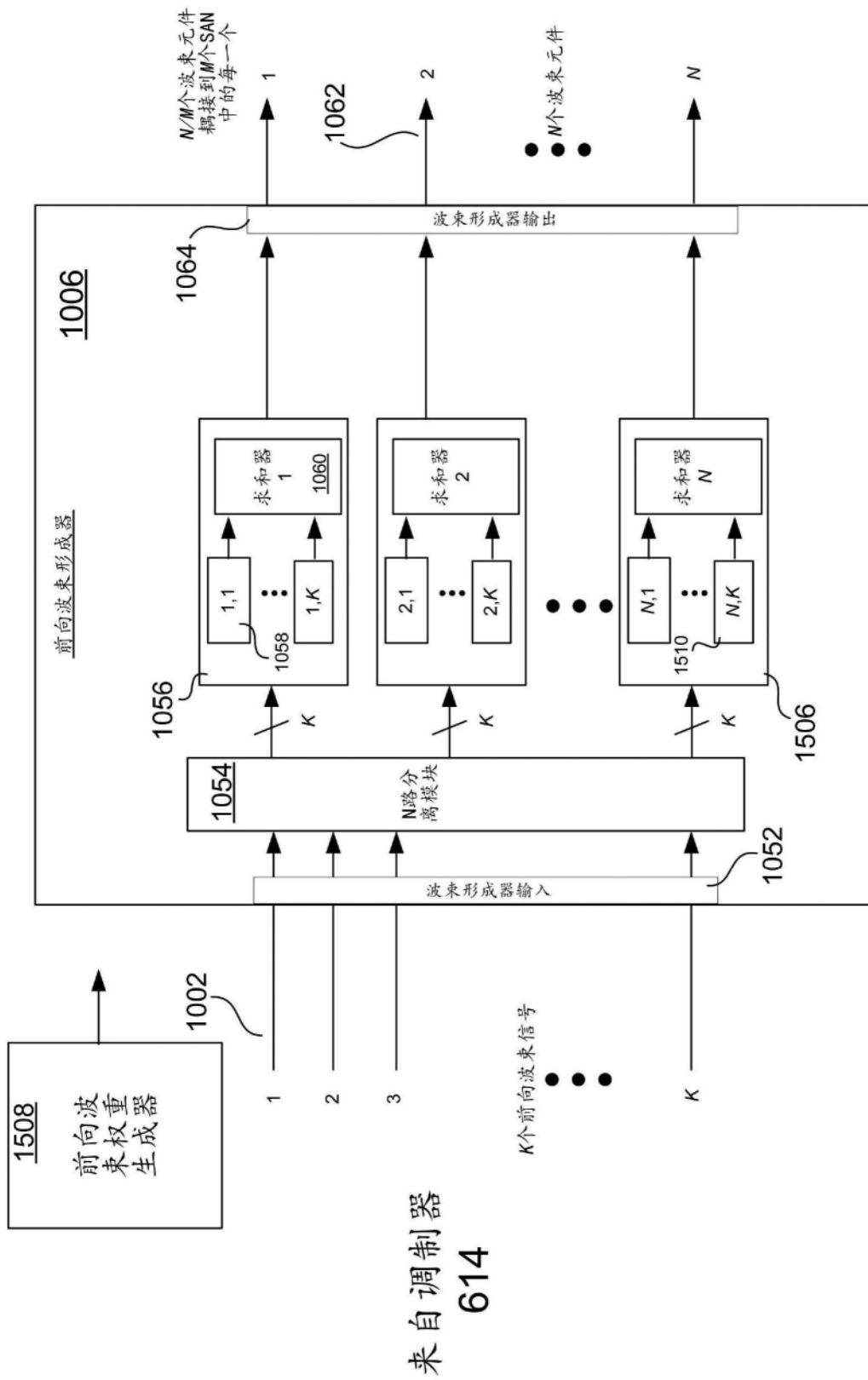


图13

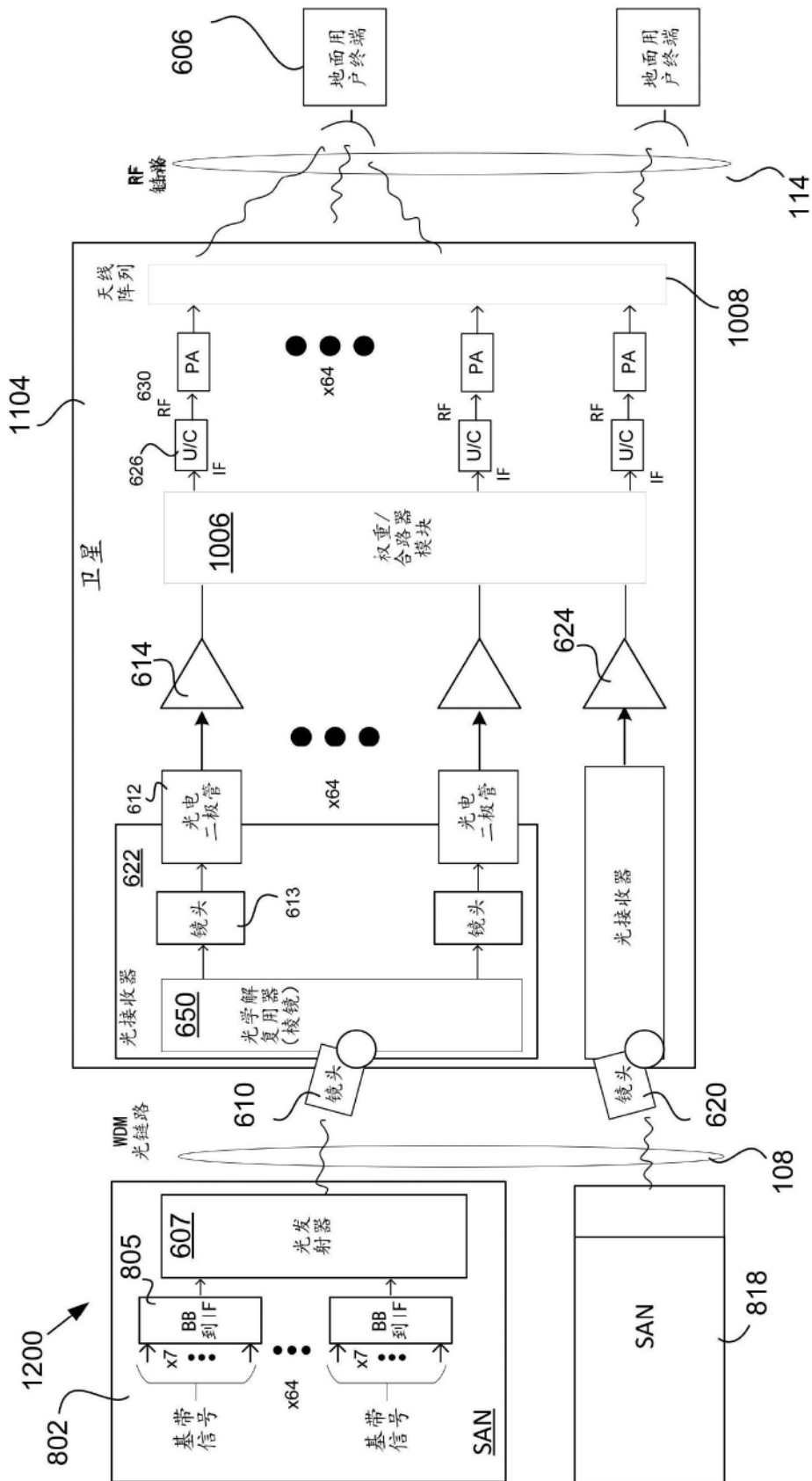


图14

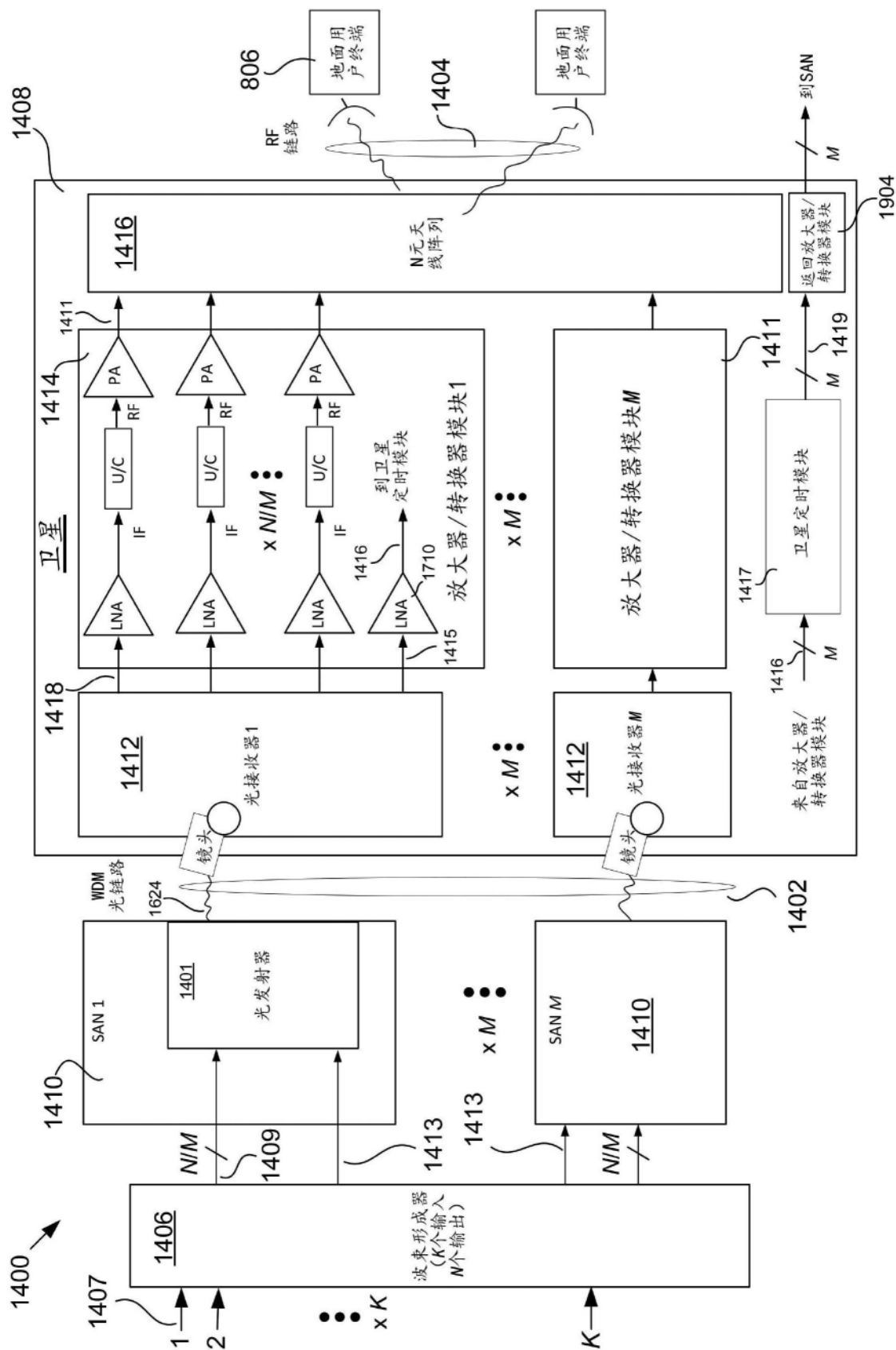


图15

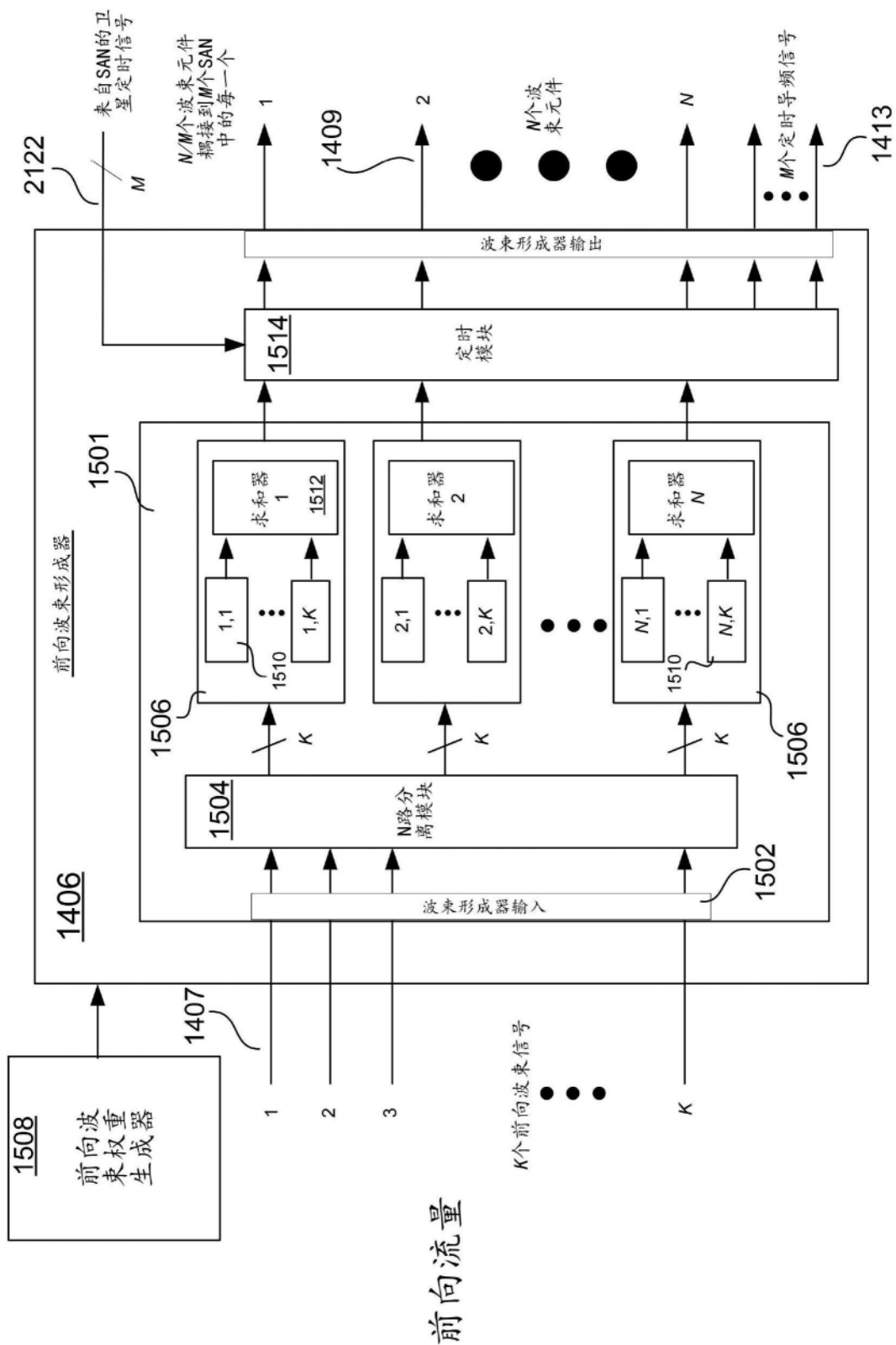


图16

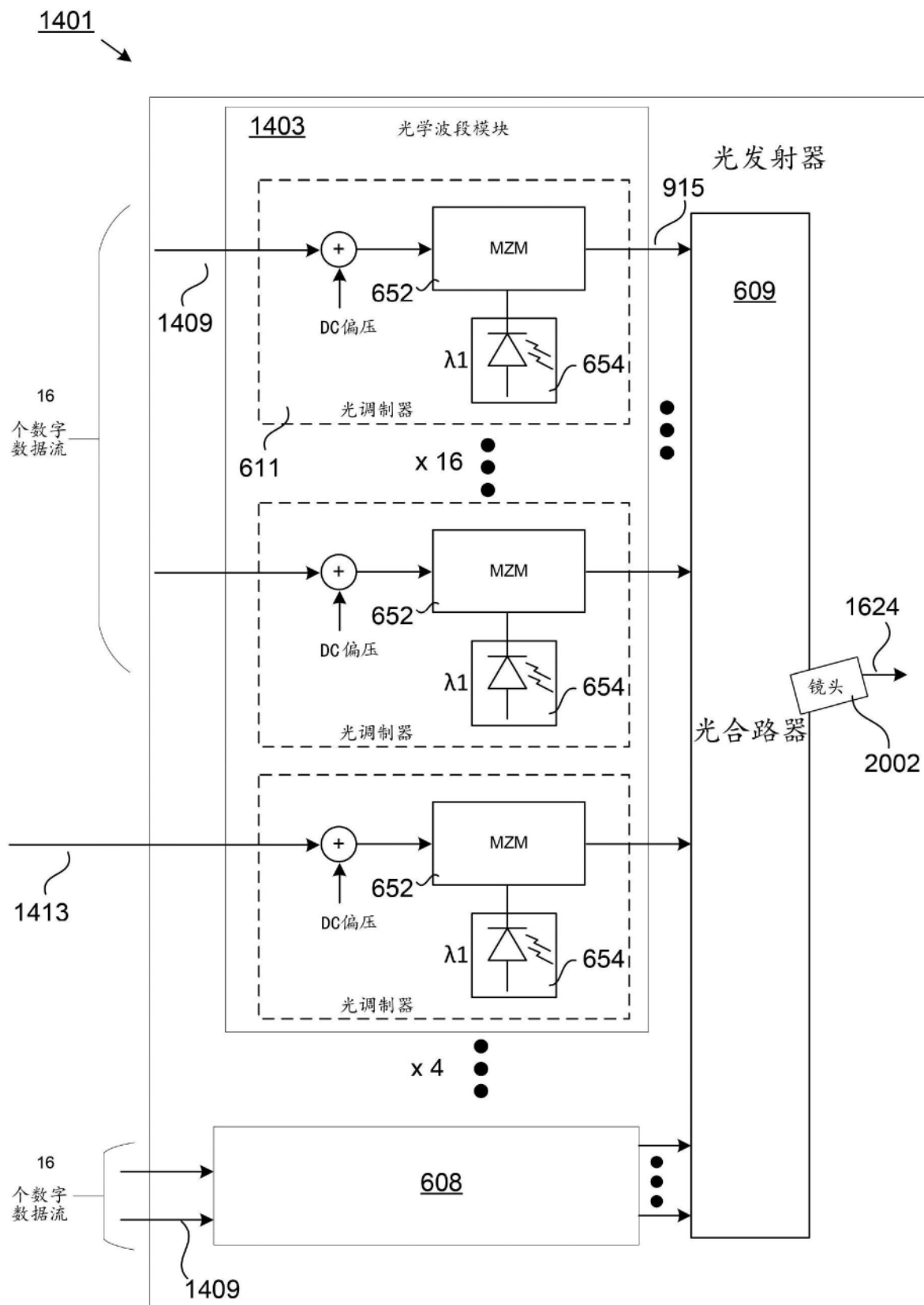


图17

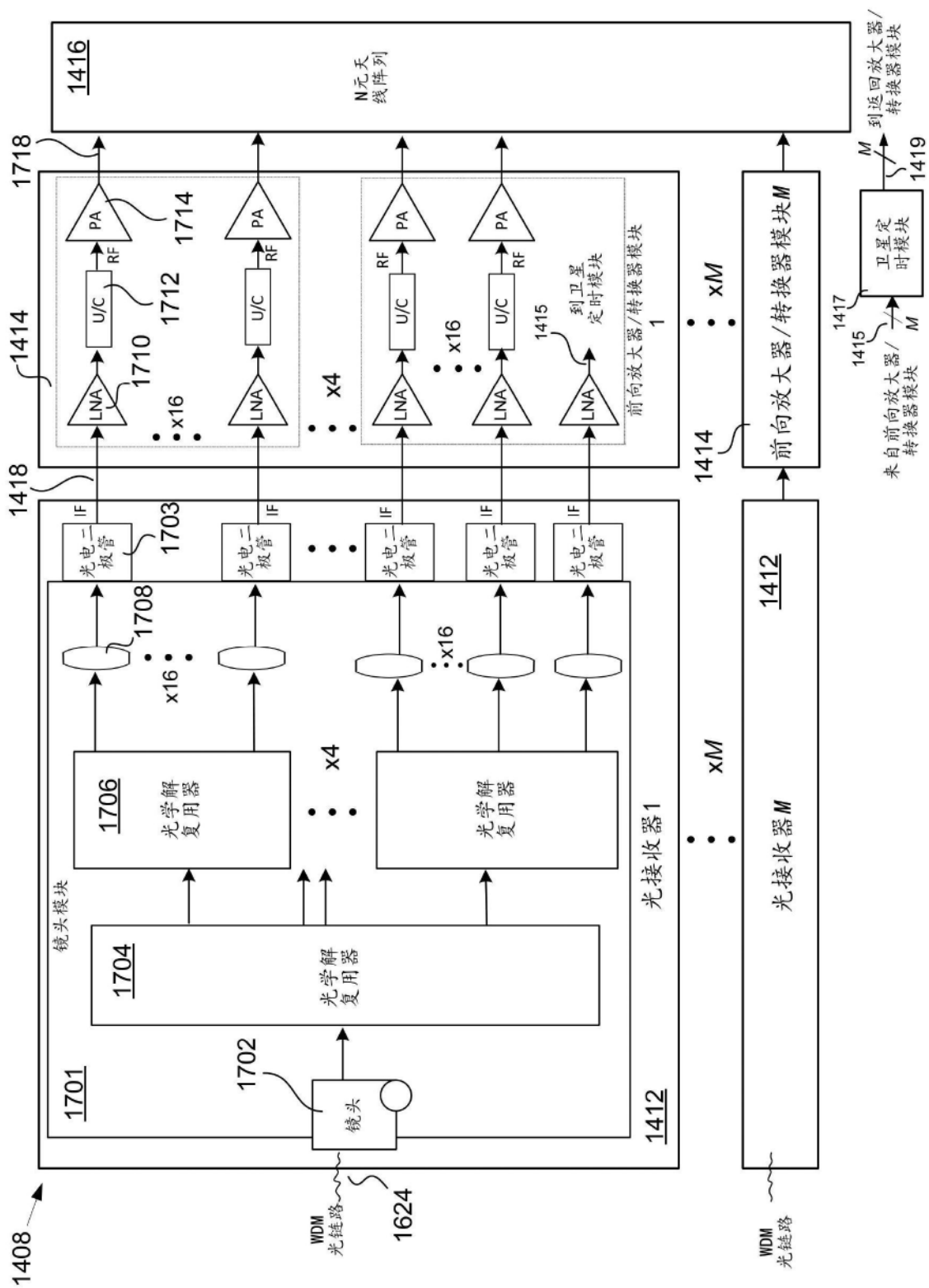


图18

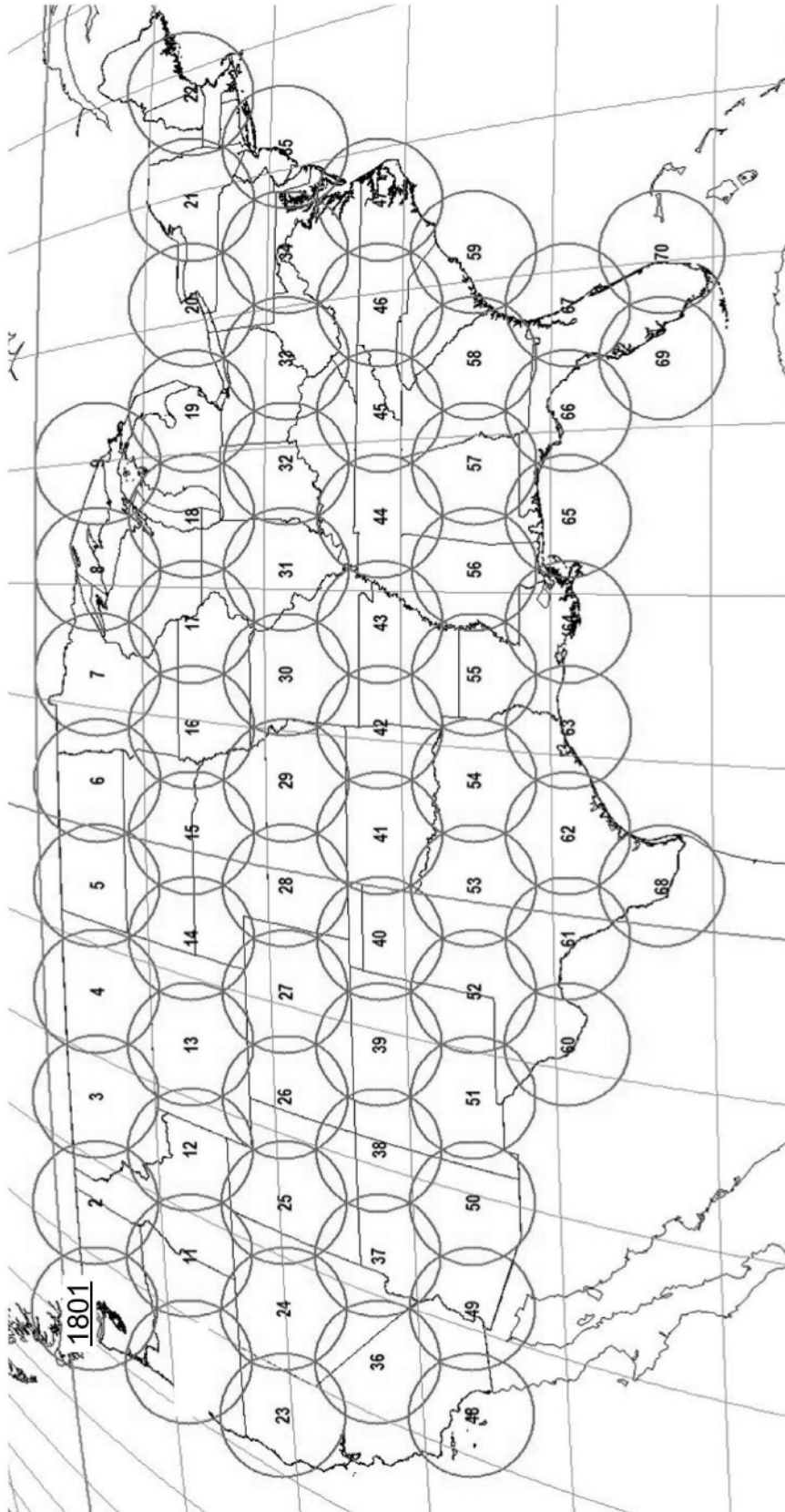


图19



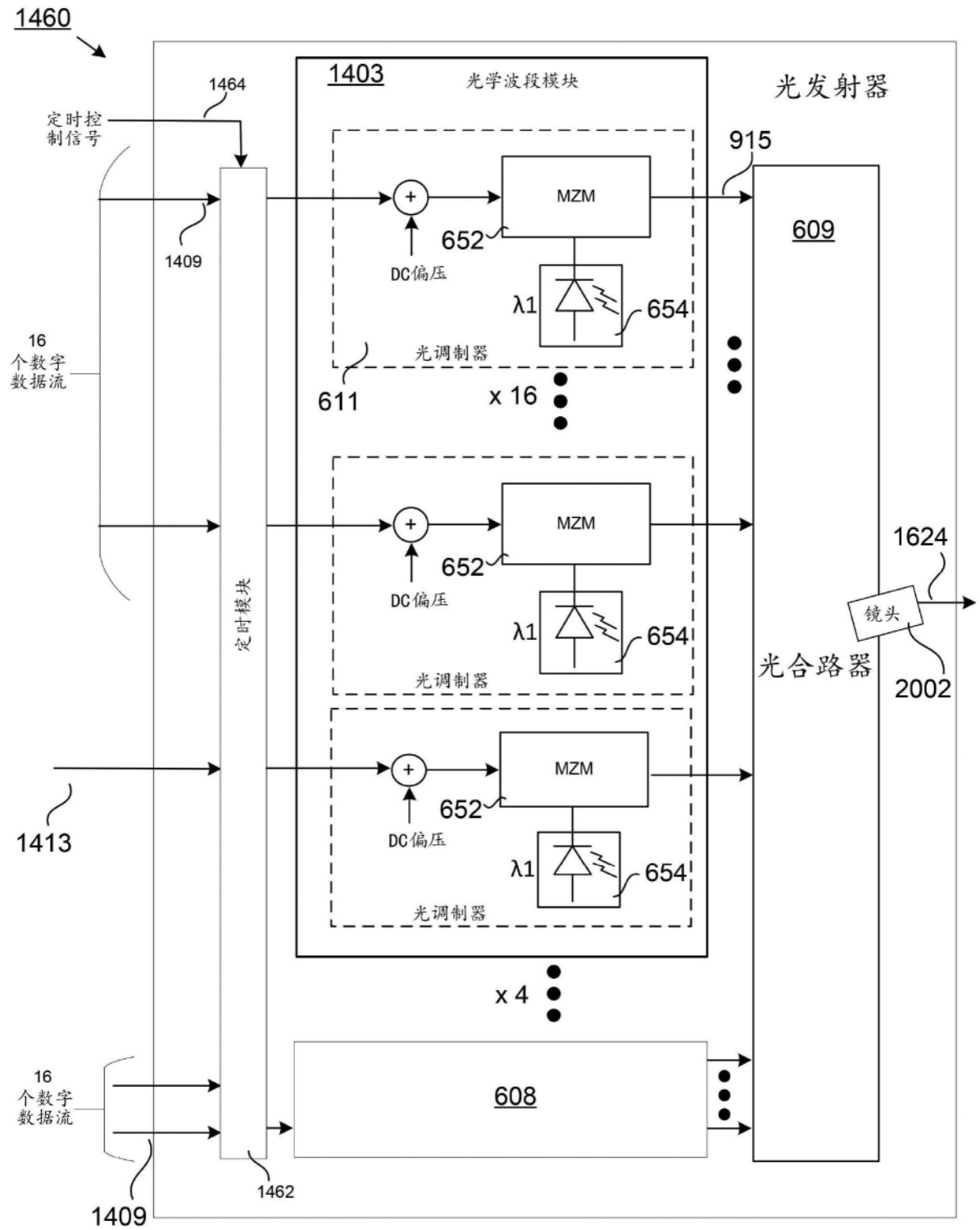


图20

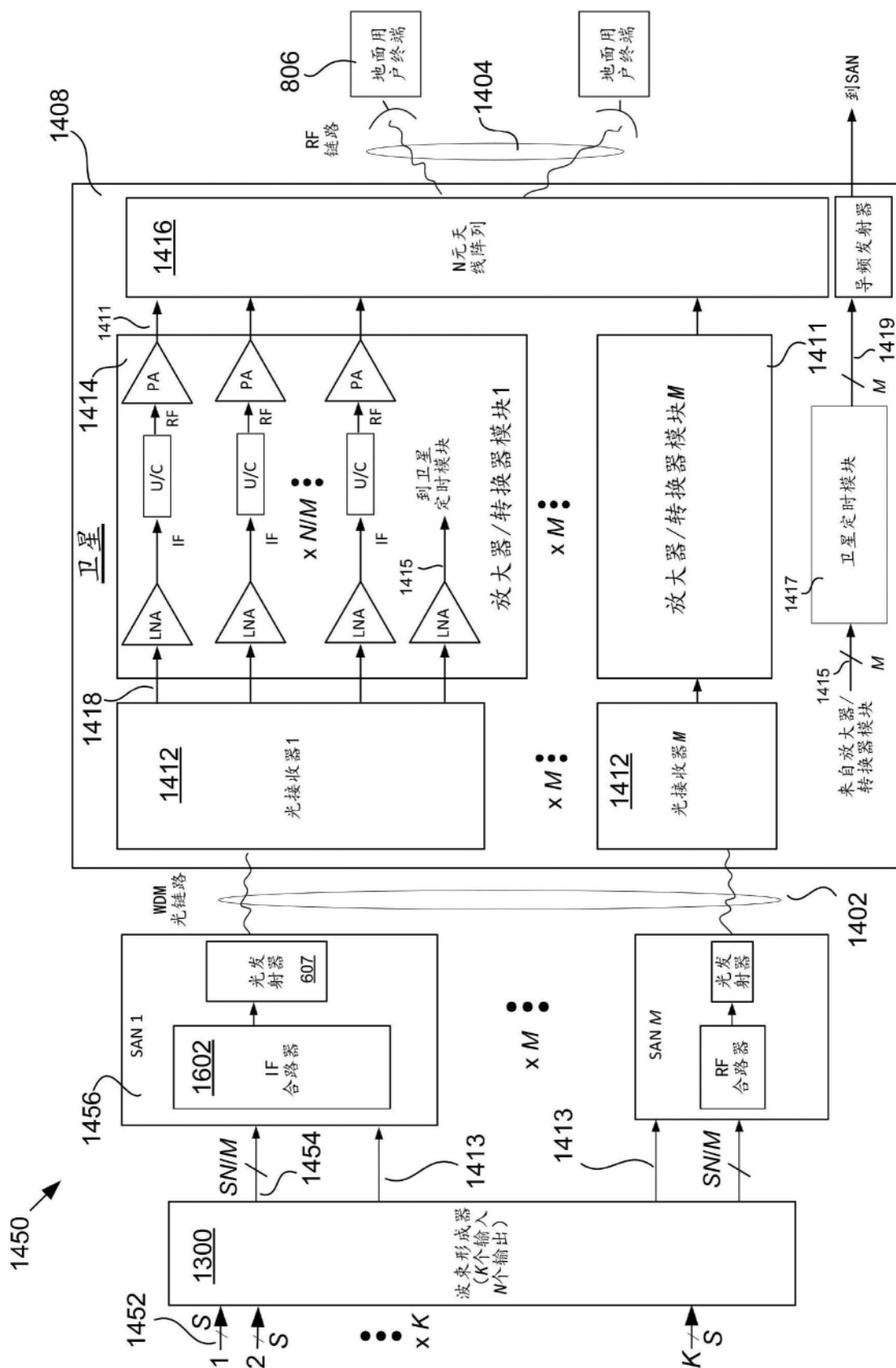


图21

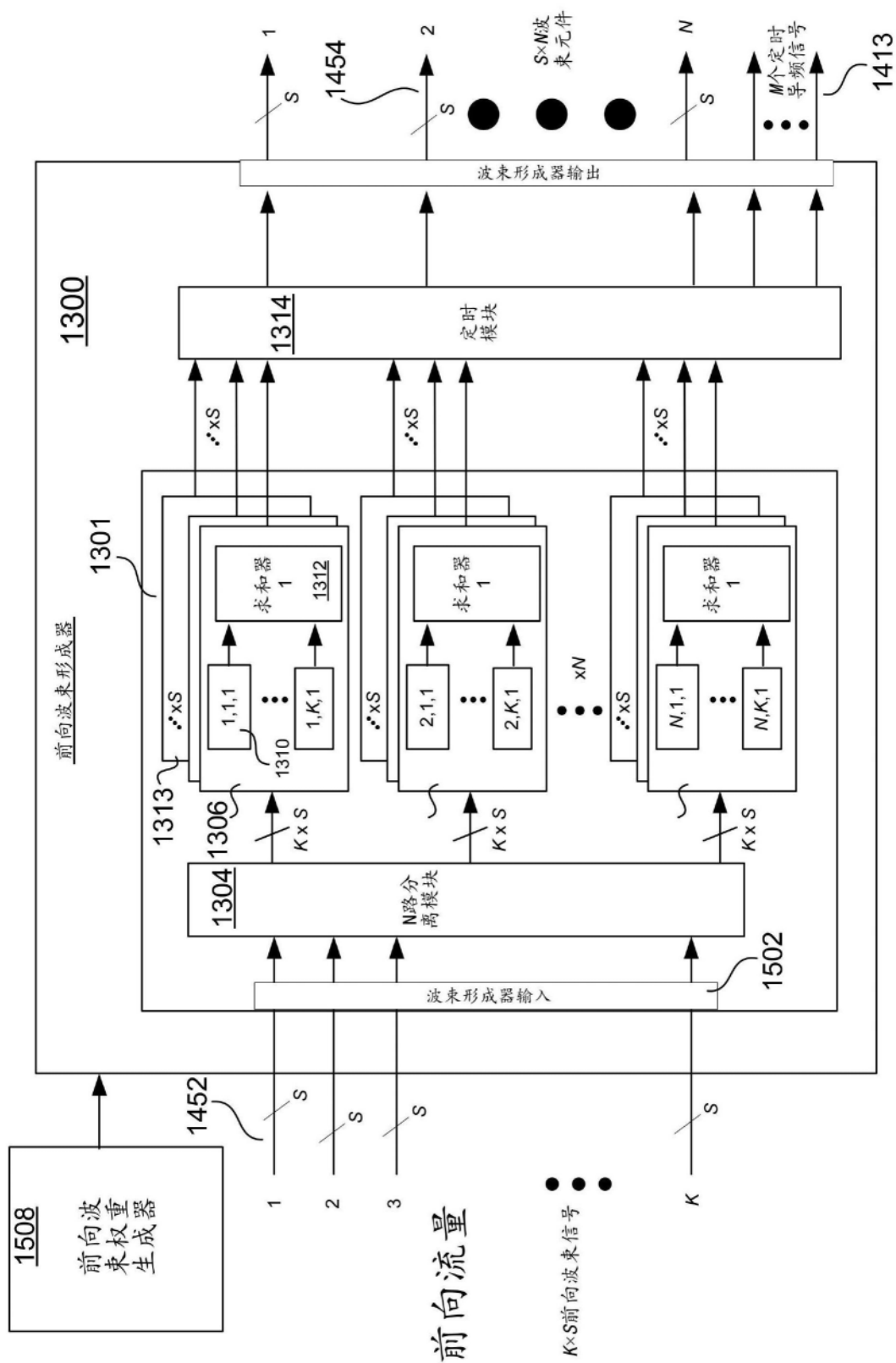


图22

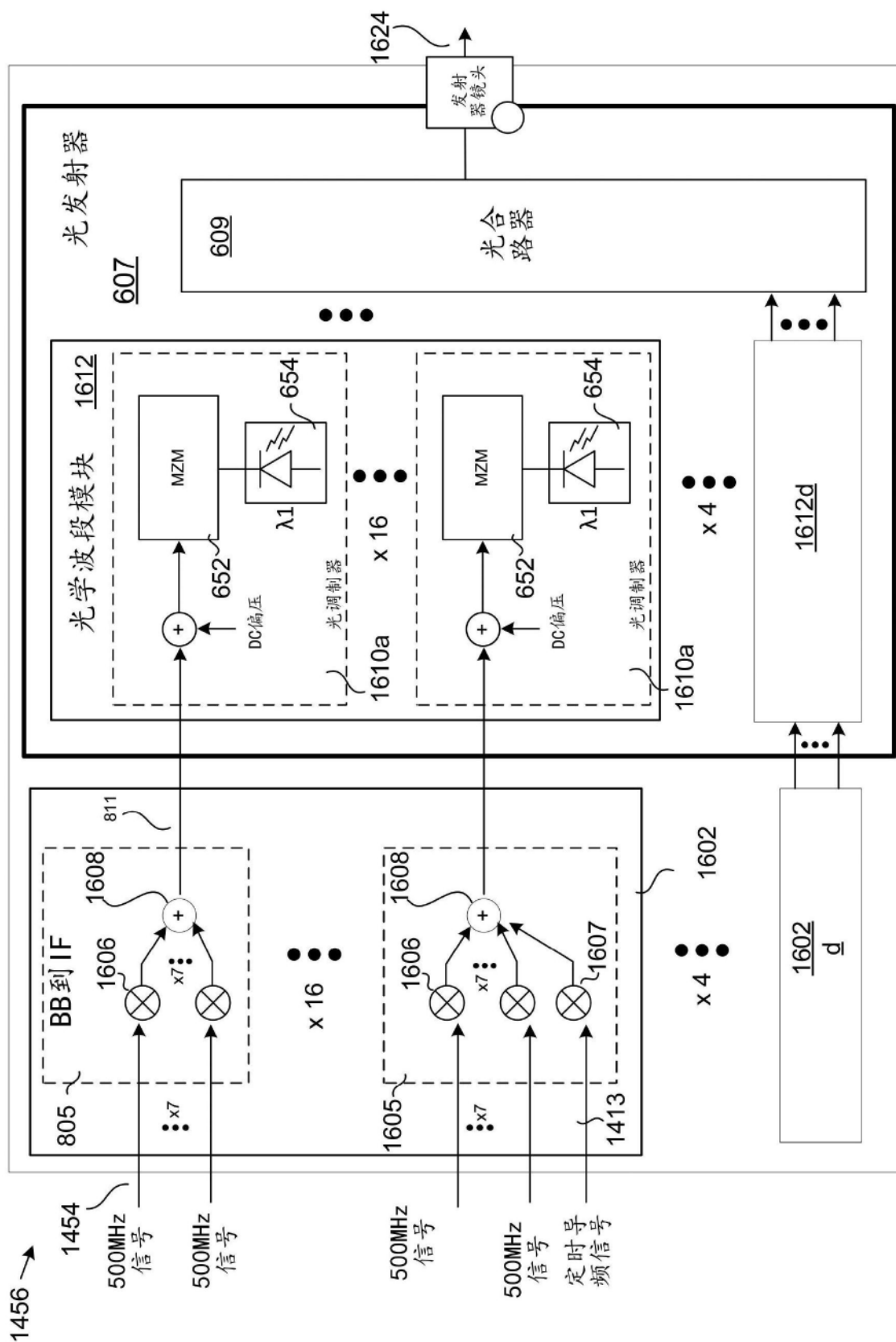


图23

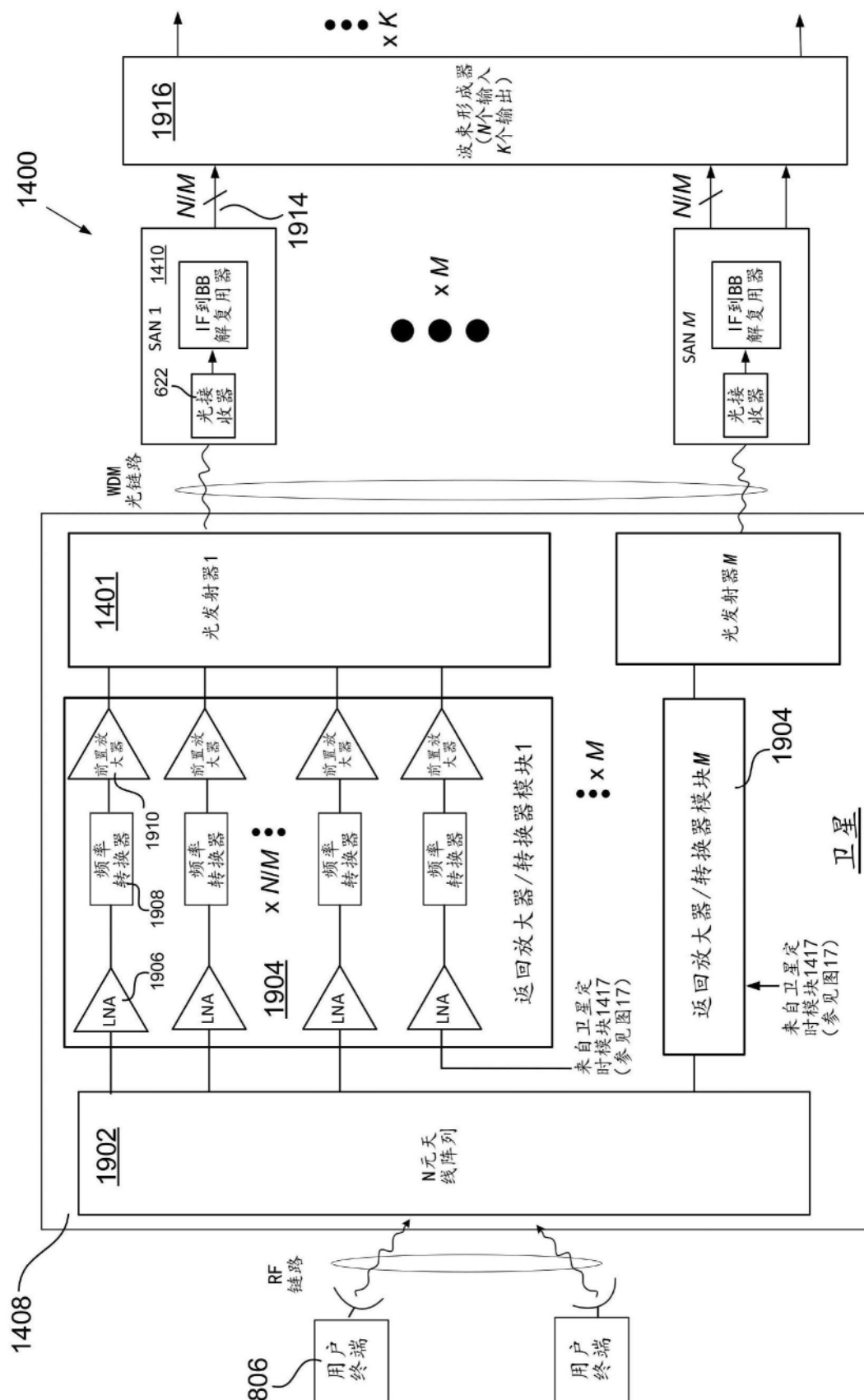


图24

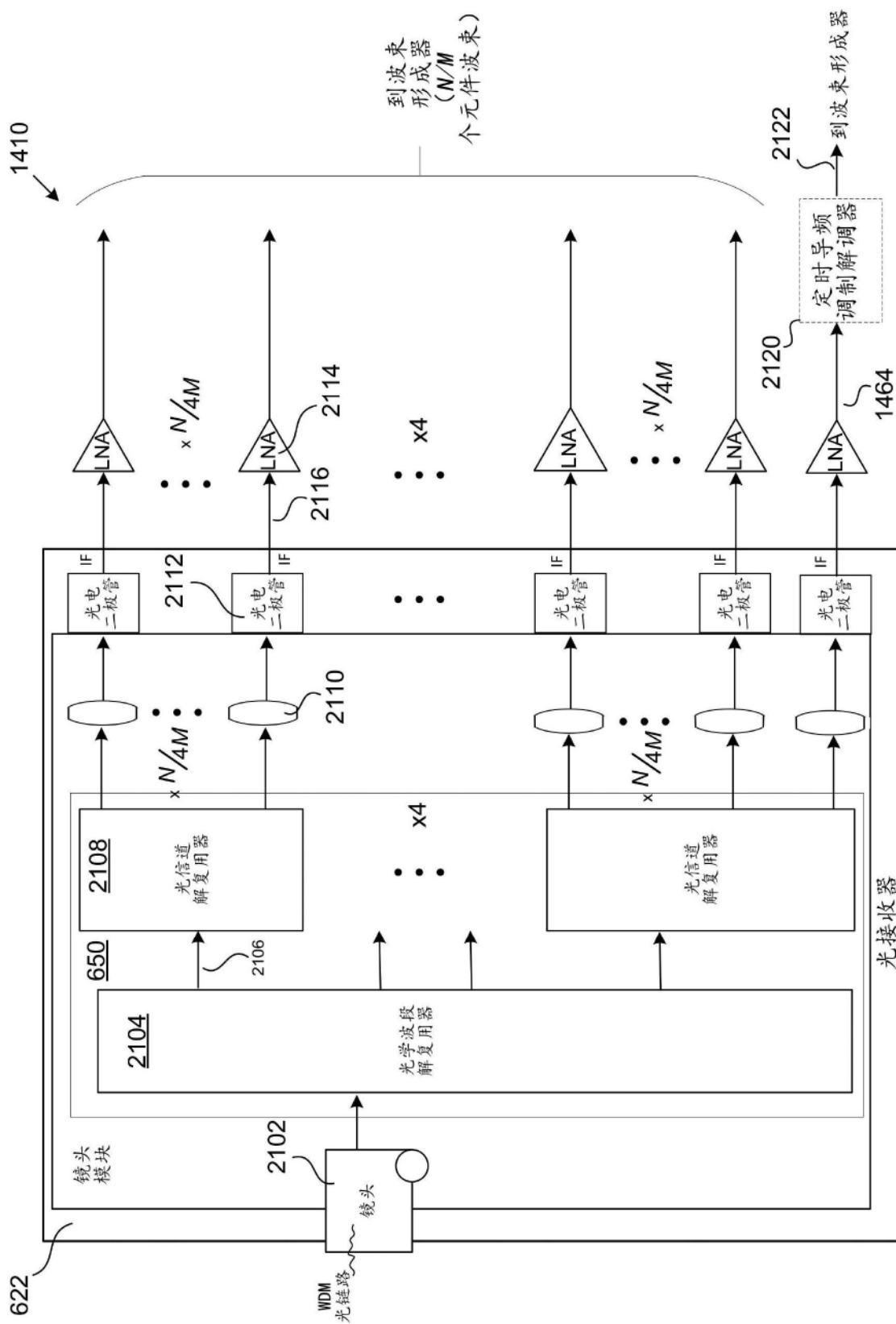


图25

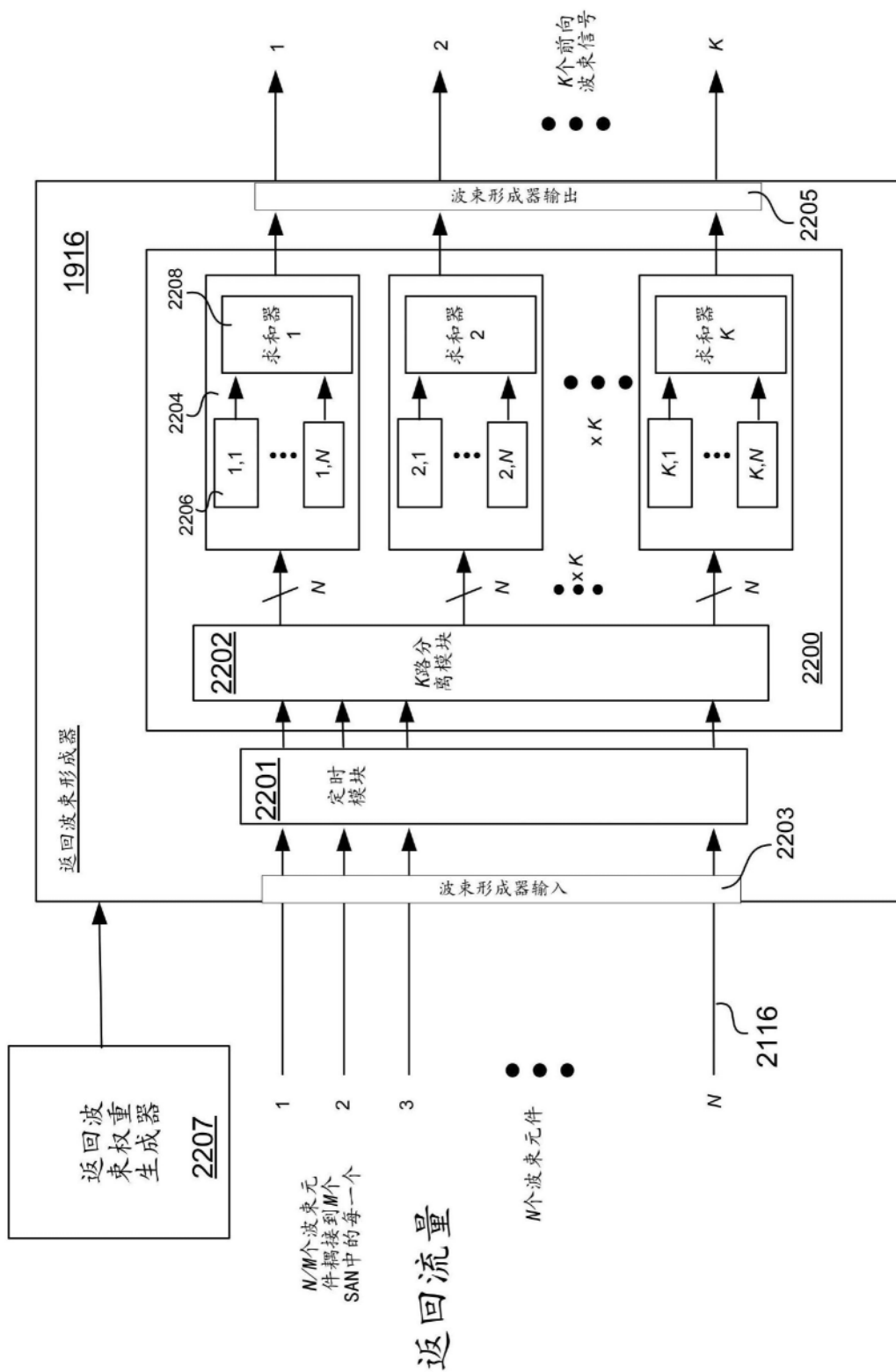


图26