



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112385159 A

(43) 申请公布日 2021.02.19

(21) 申请号 201980032278.8

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

(22) 申请日 2019.05.16

代理人 刘瑜

(30) 优先权数据

62/672,551 2018.05.16 US

(51) Int.Cl.

H04L 1/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.11.13

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/032625 2019.05.16

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2019/222472 EN 2019.11.21

(71) 申请人 网络编码代码有限责任公司

地址 美国马萨诸塞

(72) 发明人 K·富利 M·梅达尔

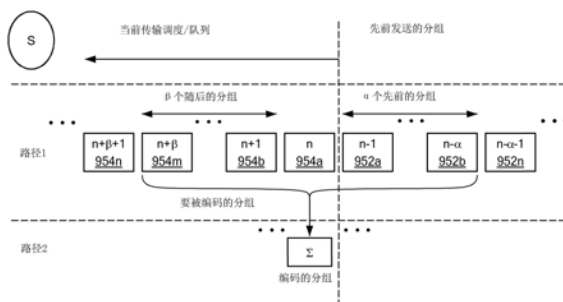
权利要求书7页 说明书17页 附图8页

(54) 发明名称

多路径编码装置及相关技术

(57) 摘要

公开了多路径编码系统、设备和方法。在多路径网络中,设备和方法生成:多个未编码的分组中的至少一个未编码的分组,以在从源节点到目的地节点的第一路径上进行传输;以及基于未编码的分组集合的至少一个编码的分组,以在从源节点到目的地节点的第二路径上进行传输。未编码的分组集合是根据要被发送的下一个未编码的分组、多个( $\alpha$ 个)先前被发送的未编码的分组以及要在下一个未编码的分组之后被发送的多个( $\beta$ 个)未编码的分组形成、生成或以其他方式提供的,并且 $\alpha + \beta$ 大于零。目的地节点进行操作以接收未编码和编码的分组并且根据需要对其进行解码。



1. 一种源节点,其被布置为跨网络与一个或多个目的地节点进行通信,所述网络具有在所述源节点与所述一个或多个目的地节点之间的多条路径,所述源节点包括:

处理器和存储器,其被配置为:

准备多个未编码的分组中的至少一个未编码的分组,以在从所述源节点(S)到目的地节点(D)的所述多条路径中的第一路径(P1)上进行传输;并且

生成第一编码的分组,以在从所述源节点(S)到所述目的地节点(D)的所述多条路径中的不同的第二路径(P2)上进行传输,所述第一编码的分组基于未编码的分组的集合,其中,所述未编码的集合包括:

要由所述源节点发送的下一个未编码的分组;

$\alpha$ 个先前被发送的未编码的分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数;以及

要在所述下一个未编码的分组之后被发送的 $\beta$ 个未编码的分组,其中, $\beta$ 是等于或大于零的整数;并且

$\alpha$ 和 $\beta$ 的总和大于零。

2. 根据权利要求1所述的源节点,其中,所述源节点处理器和存储器还被配置为:

在从所述源节点(S)到所述目的地节点(D)的所述多条路径中的所述第一路径(P1)上发送所述至少一个未编码的分组;以及

在从所述源节点(S)到所述目的地节点(D)的所述多条路径中的所述不同的第二路径(P2)上发送所述第一编码的分组。

3. 根据权利要求1所述的源节点,其中,所述目的地节点(D)在不接收所述未编码的集合中的至少一个未编码的分组的情况下,通过对所述第一编码的分组进行解码来取回所述未编码的集合中的所述至少一个未编码的分组的信息。

4. 根据权利要求1所述的源节点,其中,所述源节点处理器和存储器还被配置为:

生成第二编码的分组;以及

在不同的第三路径(P3)上发送所述第二编码的分组。

5. 根据权利要求4所述的源节点,其中,所述编码的分组被均匀地分发给所述第二路径(P2)和所述第三路径(P3)。

6. 根据权利要求5所述的源节点,其中,所述编码的分组根据与所述第二路径(P2)和所述第三路径(P3)相关联的网络约束被分发给所述第二路径和所述第三路径。

7. 根据权利要求6所述的源节点,其中,所述编码的分组和所述未编码的分组分别与所述第二路径和所述第三路径的负载成比例地被分发给所述第二路径和所述第三路径。

8. 根据权利要求1所述的源节点,其中, $\alpha$ 和 $\beta$ 是固定的或可变的。

9. 根据权利要求1所述的源节点,其中,一个或多个相同的未编码的分组被用于生成多于一个编码的分组。

10. 根据权利要求1所述的源节点,其中,使用系统编码。

11. 根据权利要求1所述的源节点,其中, $\alpha$ 能够根据所述第二路径的相对加速来确定。

12. 根据权利要求1所述的源节点,其中, $\beta$ 能够根据所述第二路径的相对减速来确定。

13. 根据权利要求1所述的源节点,其中,所述源节点还被配置为使用网络参数来跨所述网络进行分组的传输。

14. 根据权利要求13所述的源节点,其中,用于所述源节点的网络参数包括以下各项中

的至少一个：

由 $\alpha$ 和 $\beta$ 定义的要任何时间点被发送的分组群组；  
信息速率；  
可用路径；以及  
分配的路径负载。

15. 根据权利要求14所述的源节点，其中，用于源节点的所述网络参数是从外部节点接收到的。

16. 根据权利要求15所述的源节点，其中，用于源节点的所述网络参数是从与网络控制器相对应的外部节点接收到的。

17. 根据权利要求14所述的源节点，其中，用于源节点的所述网络参数是根据外部接收的信息在所述源节点处确定的。

18. 根据权利要求14所述的源节点，其中，用于源节点的所述网络参数是固定的或者可变的，并且能够动态地改变。

19. 根据权利要求15所述的源节点，其中，外部接收的网络参数包括以下各项中的一个或多个：(a) 信道/路径状态；(b) 网络状态；(c) 目的地反馈；以及 (d) 网络反馈。

20. 一种目的地节点，其被布置为跨网络从一个或多个源节点接收数据，所述网络具有在所述目的地节点与所述一个或多个源节点之间的多条路径，所述目的地节点包括：处理器和存储器，其被配置为：

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组；

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组，所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个未编码的分组，其中， $\alpha$ 是等于或大于零的整数， $\beta$ 是等于或大于零的整数，并且 $\alpha+\beta$ 大于零；以及

对所述编码的分组进行解码，并且基于所述编码的分组中的信息取回原始分组的信息。

21. 根据权利要求19所述的目的地节点，其中，所述目的地节点处理器和存储器还被配置为：在不要求在所述第一路径上接收所有所述多个原始分组的情况下，通过对编码的数据分组中的至少一个进行解码来取回所有所述多个原始数据分组中的信息。

22. 一种源节点，用于将数据传送到目的地节点，所述源节点包括：处理器和存储器，其被配置为：

在所述源节点处获取要被传送到所述目的地节点的多个原始数据分组；

在所述源节点处通过使用网络编码将所述原始数据分组中的两个或更多个原始数据分组线性组合来生成第一编码的分组；

沿着从所述源节点通往所述目的地节点的第一路径发送所述多个原始数据分组；以及

沿着从所述源节点通往所述目的地节点的第二路径发送所述第一编码的数据分组中的至少一个；

其中，所述目的地节点在不要求在所述第一路径上接收所有所述多个原始分组的情况下，通过对编码的数据分组中的至少一个进行解码来取回所有所述多个原始数据分组中的信息。

23. 一种目的地节点，用于处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组，所

述目的地节点包括:处理器和存储器,其被配置为:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

针对至少一个成功接收到的原始分组或编码的分组,从所述目的地节点向所述源节点发送确认消息;以及

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息。

24. 一种目的地节点,用于处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组,所述目的地节点包括:处理器和存储器,其被配置为:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;以及

将与所述第一路径相关联的所有接收到的原始分组和与所述第二路径相关联的所有接收到的编码的分组转发到所述目的地节点内的公共处理层,而无需对所述编码的分组进行解码。

25. 一种目的地节点,用于处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组,所述目的地节点包括:处理器和存储器,其被配置为:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息;以及

将所述原始分组转发到所述目的地节点中的处理层。

26. 一种目的地节点,用于处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组,所述目的地节点包括:处理器和存储器,其被配置为:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与不同的第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

响应于接收到至少一个原始分组或编码的分组,从所述目的地节点向所述源节点发送确认消息;

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息;以及

将所述原始分组转发到所述目的地节点中的处理层。

27. 一种具有多个节点的网络,其中,所述多个节点中的至少一个节点对应于源节点,

并且所述多个节点中的至少一个节点对应于目的地节点,所述网络还具有在至少一个源节点与至少一个目的地节点之间的多条路径,一种用于在源节点(S)中发送分组的方法包括:

准备多个未编码的分组中的至少一个未编码的分组,以在从所述源节点(S)到目的地节点(D)的所述多条路径中的第一路径(P1)上进行传输;

生成第一编码的分组,以在从所述源节点(S)到所述目的地节点(D)的所述多条路径中的不同的第二路径(P2)上进行传输,所述第一编码的分组基于未编码的分组的集合,其中,所述未编码的集合包括:

要由所述源节点发送的下一个未编码的分组;

$\alpha$ 个先前被发送的未编码的分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数;以及

要在所述下一个未编码的分组之后被发送的 $\beta$ 个未编码的分组,

其中, $\beta$ 是等于或大于零的整数;并且

$\alpha$ 和 $\beta$ 的总和大于零。

28.根据权利要求27所述的方法,还包括:

在从所述源节点(S)到所述目的地节点(D)的所述多条路径中的所述第一路径(P1)上发送所述至少一个未编码的分组;以及

在从所述源节点(S)到所述目的地节点(D)的所述多条路径中的所述不同的第二路径(P2)上发送所述第一编码的分组。

29.根据权利要求27所述的方法,其中,所述目的地节点(D)在不接收所述未编码的集合中的至少一个未编码的分组的情况下,通过对所述第一编码的分组进行解码来取回所述未编码的集合中的所述至少一个未编码的分组的信息。

30.根据权利要求27所述的方法,还包括:

生成第二编码的分组;以及

在不同的第三路径(P3)上发送所述第二编码的分组。

31.根据权利要求30所述的方法,其中,所述编码的分组被均匀地分发给所述第二路径(P2)和所述第三路径(P3)。

32.根据权利要求30所述的方法,其中,所述编码的分组根据与所述第二路径(P2)和所述第三路径(P3)相关联的网络约束被分发给所述第二路径和所述第三路径。

33.根据权利要求32所述的方法,其中,所述编码的分组和所述未编码的分组分别与所述第二路径和所述第三路径的负载成比例地被分发给所述第二路径和所述第三路径。

34.根据权利要求27所述的方法,其中, $\alpha$ 和 $\beta$ 是固定的或可变的。

35.根据权利要求27所述的方法,其中,一个或多个相同的未编码的分组被用于生成多于一个编码的分组。

36.根据权利要求27所述的方法,其中,使用系统编码。

37.根据权利要求27所述的方法,其中, $\alpha$ 能够根据所述第二路径的相对加速来确定。

38.根据权利要求27所述的方法,其中, $\beta$ 能够根据所述第二路径的相对减速来确定。

39.根据权利要求27所述的方法,其中,所述源节点还被配置为使用网络参数来跨所述网络进行分组的传输,并且其中,用于所述源节点的所述网络参数包括但不限于:

由 $\alpha$ 和 $\beta$ 定义的要任何时间点被发送的分组的群组;

信息速率;

可用路径;以及  
分配的路径负载。

40. 根据权利要求39所述的方法,其中,用于源节点参数是从外部节点接收到的。

41. 根据权利要求40所述的方法,其中,用于源节点的所述参数是从与网络控制器相对应的外部节点接收到的。

42. 根据权利要求39所述的方法,其中,用于源节点的所述参数是根据外部接收的信息在所述源节点处确定的。

43. 根据权利要求39所述的方法,其中,用于源节点的所述参数是固定的或者可变的,并且能够动态地改变。

44. 根据权利要求40所述的方法,其中,外部接收的信息包括以下各项中的一个或多个:(a) 信道/路径状态;(b) 网络状态;(c) 目的地反馈;以及(d) 网络反馈。

45. 在目的地节点处的多路径系统中的一种方法,包括:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个未编码的分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;以及

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回原始分组的信息。

46. 一种用于在源节点(S)处将数据传送到目的地节点(D)的机器实现的方法,所述方法包括:

在所述源节点(S)处获取要被传送到所述目的地节点(D)的多个原始数据分组;

在所述源节点处通过使用网络编码将所述原始数据分组中的两个或更多个原始数据分组线性组合来生成第一编码的分组;

沿着从所述源节点(S)通往所述目的地节点(D)的第一路径(P1)发送所述多个原始数据分组;以及

沿着从所述源节点(S)通往所述目的地节点(D)的不同的第二路径(P2)发送所述第一编码的数据分组中的至少一个;

其中,所述目的地节点(D)在不要求在所述第一路径(P1)上接收所有所述多个原始分组的情况下,通过对编码的数据分组中的至少一个进行解码来取回所有所述多个原始数据分组中的信息。

47. 一种用于在目的地节点处处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组的机器实现的方法,所述方法包括:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

针对至少一个成功接收到的原始分组或编码的分组,从所述目的地节点向所述源节点发送确认消息;以及

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息。

信息。

48. 一种用于在目的地节点处处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组的方法,所述方法包括:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;以及

将与所述第一路径相关联的所有接收到的原始分组和与所述第二路径相关联的所有接收到的编码的分组转发到所述目的地节点内的公共处理层,而无需对所述编码的分组进行解码。

49. 一种用于在目的地节点处处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组的方法,所述方法包括:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息;以及

将所述原始分组转发到所述目的地节点中的处理层。

50. 一种用于在目的地节点处处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组的方法,所述方法包括:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

针对至少一个成功接收到的原始分组或编码的分组,从所述目的地节点向所述源节点发送确认消息;

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息;以及

将所述原始分组转发到所述目的地节点中的处理层。

51. 一种目的地节点,用于处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组,所述目的地节点包括:处理器和存储器,其被配置为:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述至少一个编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;并且

将与所述第一路径相关联的所有接收到的原始分组和与所述第二路径相关联的所有接收到的编码的分组转发到所述目的地节点内的公共处理层,而无需对所述编码的分组进行解码。

52. 一种用于处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组的目的地节点装置,所述目的地节点装置包括:处理器和存储器,其被配置为:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的

信息;以及

将所述原始分组转发到所述目的地节点中的处理层。

53. 一种目的地节点,用于处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组,所述目的地节点包括:处理器和存储器,其被配置为:

接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;

接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,所述编码的分组中的每一个基于被调度用于在所述第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个原始分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;

针对至少一个成功接收到的原始分组或编码的分组,从所述目的地节点向所述源节点发送确认消息;

对所述编码的分组进行解码,并且基于所述编码的分组中的信息取回未编码的分组的

信息;以及

将所述原始分组转发到所述目的地节点中的处理层。



## 多路径编码装置及相关技术

### 背景技术

[0001] 如本领域中已知的,具有多路径网络拓扑的网络包括在源节点(S)与目的地节点(D)之间的多条路径。这种拓扑通常已经用于实现带宽、可靠性和平均延迟改进方面的改进。

[0002] 如图1中示出的,具有多路径拓扑的网络包括源节点100、目的地节点200以及源节点与目的地节点之间的信号路径对110、120。当源节点根据常规的多路径技术进行操作时,源节点100同时沿着第一路径110发送第一分组112并且沿着第二路径120发送第二分组122。因此,基本上同时通过两条路径110、120将两个分组112、122发送到目的地节点。这与非多路径系统相反,在非多路径系统中,源节点通过源节点与目的地节点之间的单条路径一次一个地(即,顺序地)发送两个分组。

[0003] 与非多路径系统相比,使用这种多路径方法提供了带宽的改进和平均延迟的减少(当没有分组丢失时)。

[0004] 图2示出了根据复制多路径技术进行操作的源节点,其中,分组112、114在第一路径110上从源节点100发送到目的地节点200,并且分组的复制的集合112'、114'基本上同时在第二路径120上从源节点发送到目的地节点200。通过同时在路径110、120中的相应的路径上发送两个分组的集合112、114、112'、114'(其中112'、114'对应于分组的复制的集合112、114),除非两条路径都被中断,否则在复制多路径系统中的通信不会被中断。因此,利用复制多路径技术,通过在多条路径上发送所有分组,与根据常规的多路径技术(例如,如图1中示出的)进行操作提供的可靠性相比,可以改进可靠性。在具有多路径拓扑的工业网络中,复制多路径技术可以用于减少单个分组时延并且改进可靠性。复制多路径是IEEE 802.1CB以太网“帧复制和消除”标准的基础。

[0005] 表1示出了当使用两条路径时,由源节点发送并在目的地节点处接收到的两个分组A和B的可能时序(即,一种可能的到达模式)。在该说明中,分组同时从源节点发送到目的地节点。如表1的时序图中示出的,与路径1相比,路径2引入了一个时隙的延迟。这导致增加的分组时延。因此,与仅使用单条路径相比,使用多于一条路径可以允许目的地节点在时间上更早完成(即,使用路径1和路径2两者允许目的地节点处的完成时间比仅使用路径2实现的完成时间快一个时隙)。路径之间的可变性越高,分组时延增益就越高。

[0006] 表1

时间	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
路径 1	A			B	
[0007] 路径 2		A			B
接收到 A	✓				
接收到 B				✓	

[0008] 众所周知,使用编码可以进一步改进延迟特性。图3示出了常规的编码多路径网络。编码多路径网络避免了复制,因此使用复制多路径网络的带宽的一半。然而,由于要求编码多路径网络中的两条路径(图3中的路径110、120)来传达信息,因此不能保证针对路径损耗的可靠性。例如,在图3中,如果在路径120(即,路径2)上的分组322(即,A-B)的传输被中断,则目的地(D)200可能不接收完整的A和B的分组,而仅基于分组312(即,包含A+B的总和的分组)。

[0009] 还可以在根据编码多路径技术操作的源节点中使用复制,使得源节点根据复制编码多路径技术进行操作。复制编码多路径技术提供了针对路径损耗的保护。然而,这种方法使用了完整的复制的带宽。

### 发明内容

[0010] 根据本文描述的概念、系统、设备和技术是多路径编码系统、设备和方法,其在从源到节点的不同的网络路径上传播的编码和未编码的分组上进行操作或与其一起操作。根据参量冗余多路径技术处理编码的和未编码的分组,该参量冗余多路径技术是允许在具有多路径拓扑的网络中对冗余进行参量化的混合方案(组合复制方案和编码方案的方面)。与维持冗余的常规的技术相比,使用参量冗余多路径技术可以减少在源与目的地之间发送信息所要求的传输次数。

[0011] 在根据参量冗余多路径方法进行操作时,设备和方法生成:多个未编码的分组中的至少一个未编码的分组,以在从源节点到目的地节点的第一路径上进行传输;以及基于未编码的分组的集合的至少一个编码的分组,以在从源节点到目的地节点的第二路径上进行传输。未编码的分组的集合是根据要被发送的下一个未编码的分组、多个( $\alpha$ 个)先前被发送的未编码的分组以及要在下一个未编码的分组之后被发送的多个( $\beta$ 个)未编码的分组形成、生成或以其他方式提供的。在这里, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零。目的地节点进行操作以接收未编码和编码的分组并且根据需要对其进行解码。

[0012] 根据本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面,公开了在多路径网络的源节点(S)中运行(或以其他方式执行、操作、处理或运作)的多路径编码方法。该方法准备或生成多个未编码的分组中的至少一个未编码的分组,以在从源节点(S)到目的地节点(D)的第一

路径 (P1) 上进行传输。该方法还生成基于未编码的分组的第一编码的分组,以在从源节点 (S) 到目的地节点 (D) 的不同的第二路径 (P2) 上进行传输。未编码的分组的集合包括要被发送的下一个未编码的分组、 $\alpha$  个先前被发送的未编码的分组以及要在下一个未编码的分组之后被发送的  $\beta$  个未编码的分组。这里,  $\alpha$  是等于或大于零的整数,  $\beta$  是等于或大于零的整数, 并且  $\alpha$  和  $\beta$  的总和 (即,  $\alpha + \beta$ ) 大于零。

[0013] 在一方面, 方法还包括: 在从源节点 (S) 到目的地节点 (D) 的第一路径上发送多个未编码的分组中的至少一个未编码的分组; 以及在从源节点 (S) 到目的地节点 (D) 的不同的第二路径 (P2) 上发送第一编码的分组。

[0014] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 目的地节点 (D) 在不接收未编码的分组的集合中的至少一个未编码的分组的情况下, 通过对第一编码的分组进行解码来取回未编码的分组的集合中的至少一个未编码的分组的信息。

[0015] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 多路径编码方法还包括: 生成第二编码的分组; 以及在不同的第三路径 (P3) 上发送第二编码的分组。

[0016] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 编码的分组被均匀地分发给第二路径 (P2) 和第三路径 (P3)。

[0017] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 编码的分组根据与第二路径和第三路径相关联的网络约束被分发给第二路径 (P2) 和第三路径 (P3)。

[0018] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 编码的分组和未编码的分组分别与第二路径和第三路径的负载成比例地被分发给第二路径和第三路径。

[0019] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面,  $\alpha$  和  $\beta$  是固定的或可变的。

[0020] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 一个或多个相同的未编码的分组被用于生成多于一个编码的分组。在所要求保护的发明的另一方面, 使用系统编码。

[0021] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面,  $\alpha$  可以根据第二路径的相对加速来确定。

[0022] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面,  $\beta$  可以根据第二路径的相对减速来确定。

[0023] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 用于源节点的网络参数包括但不限于: 由  $\alpha$  和  $\beta$  定义的要任何时间点被编码的分组的群组; 信息速率; 可用路径; 以及分配的路径负载。

[0024] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 用于源节点参数是从外部节点接收到的。

[0025] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 用于源节点参数是从与网络控制器相对应的外部节点接收到的。

[0026] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 用于源节点参数是根据外部接收的信息在源节点处确定的。在另一方面, 用于源节点参数是固定的或者可变的, 并且可以动态地改变。

[0027] 在本文描述的概念、系统、设备和技术的一方面, 其中, 外部接收的信息包括以下各项中的一个或多个: (a) 信道/路径状态; (b) 网络状态; (c) 目的地反馈; 以及 (d) 网络反馈。

[0028] 在实施例中,在目的地节点处的多路径系统中,多路径编码方法包括:(a)接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;(b)接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,该编码的分组中的每一个基于被调度用于在第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个未编码的分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;以及(c)对编码的分组进行解码,并且基于该编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息。

[0029] 在另一实施例中,一种用于在源节点(S)处将数据传送到目的地节点(D)的机器实现的方法包括:(a)在源节点(S)处获取要被传送到目的地节点(D)的多个原始数据分组;(b)在源节点处通过使用网络编码将原始数据分组中的两个或更多个原始数据分组线性组合来生成第一编码的分组;(c)沿着从源节点(S)通往目的地节点(D)的第一路径(P1)发送多个原始数据分组;以及(d)沿着从源节点(S)通往目的地节点(D)的不同的第二路径(P2)发送第一编码的数据分组中的至少一个,其中,目的地节点(D)在不要求在第一路径(P1)上接收所有多个原始分组的情况下,通过对编码的数据分组中的至少一个进行解码来取回所有多个原始数据分组中的信息。

[0030] 在不同的实施例中,一种用于在目的地节点处处理经由多条不同的路径从源节点接收到的编码的分组的目的地节点装置和机器实现的方法包括:(a)接收与第一路径相关联的多个原始分组中的至少一个原始分组;(b)接收与第二路径相关联的至少一个编码的分组,该编码的分组中的每一个基于被调度用于在第一路径上进行传输的 $\alpha+\beta+1$ 个未编码的分组,其中, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零;(c)针对成功接收到的与第二路径相关联的至少一个编码的分组,从目的地节点向源节点发送确认消息;(d)将与第一路径相关联的所有接收到的原始分组和与第二路径相关联的所有接收到的编码的分组转发到目的地节点内的公共处理层,而无需对编码的分组进行解码;(e)对编码的分组进行解码,并且基于该编码的分组中的信息取回未编码的分组的信息;以及(f)将原始分组转发到目的地节点中的处理层。在实施例中,针对成功接收到的与第二路径相关联的多个编码的分组,从目的地节点向源节点发送确认消息。在实施例中,针对成功接收到的与第二路径相关联的编码的分组中的每一个,从目的地节点向源节点发送确认消息。

## 附图说明

[0031] 可以根据以下附图描述中更充分地理解前述特征,其中:

[0032] 图1是具有从一个源(S)到一个目的地(D)的多条路径的常规的多路径拓扑的示意图;

[0033] 图2是根据常规的复制多路径技术进行操作的具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图;

[0034] 图3是根据常规的编码多路径技术进行操作的具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图;

[0035] 图4是根据编码复制多路径技术进行操作的具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图;

[0036] 图5是根据参量冗余多路径技术进行操作的具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图;

[0037] 图6是使用源节点与目的地节点之间的第三路径根据复制多路径技术进行操作的具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图；

[0038] 图7是使用源节点与目的地节点之间的第三路径根据编码参量冗余网络进行操作的具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图；

[0039] 图8是用于在多个信号路径上发送三(3)个分组的根据复制多路径技术进行操作的具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图；

[0040] 图9是用于在多个信号路径上发送三(3)个分组的根据编码参量冗余多路径技术进行操作具有多路径拓扑并且具有源节点的网络的示意图；

[0041] 图10A是示出根据编码参量冗余多路径技术准备用于在源节点与目的地节点之间的多个信号路径上进行的分组的传输的网络参数的示例的流程图；

[0042] 图10B是示出根据编码参量冗余多路径技术在源节点与目的地节点之间的多个信号路径上发送分组的示例的流程图；

[0043] 图11是根据编码参量冗余多路径技术在源节点处对编码的分组进行编码的示意图；以及

[0044] 图12是能够执行所描述的过程以实现编码参量冗余多路径技术的网络系统或网络节点的说明性实现方式。

### 具体实施方式

[0045] 根据本文描述的概念,已经认识到,当编码的分组被设计为使其与其相关联的未编码的分组一致时,在具有多路径拓扑的网络中使用编码可以改进延迟特性。

[0046] 现在参考图4,具有多路径拓扑的网络(即,所谓的“多路径网络”)包括源节点400,该源节点400在第一路径406上将多个未编码的分组(这里是在图4的说明性实施例中示出的两个未编码的分组402、404)发送到目的地节点408。源节点400还在不同的第二路径414上将多个编码的分组(这里是在图4的说明性实施例中示出的两个编码的分组410、412)发送到目的地节点408。因此,源节点400根据复制编码多路径技术进行操作。这种操作提供了针对路径损耗的保护。但是,这种操作使用与完整复制系统相同的带宽(例如,如图2中示出的)。

[0047] 现在参考图5,多路径网络包括源节点500,该源节点500在第一路径506上将多个未编码的分组(在图5的说明性实施例中示出的两个未编码的分组502、504)发送到目的地节点508。源节点500还在不同的第二路径512上将编码的分组(在图5的说明性实施例中示出的单个编码的分组510)发送到目的地节点508。应该认识到的是,在源节点500与目的地节点508之间的路径506、512中的相应的路径中可以分别存在一个或多个中间节点514、515。

[0048] 源节点500根据参量冗余多路径技术进行操作,该参量冗余多路径技术是允许对冗余进行参量化的混合方案,其中信息速率(R)(在本文中有时也称为“码速率”)被定义为有用的(即,非冗余的)数据在总的可用路径中所占的比例。换言之,参考图5,信息速率是两条路径上的未编码速率与两条路径上的全数据速率的比率。因此,信息速率(R)是在总的可用路径上定义的,并且可以取0到1之间的任何值(即, $0 < R \leq 1$ )。

[0049] 信息速率R可以如下计算或以其他方式确定:对于分组的任何本地(即,未编码的)

群组,信息速率R等于本地分组的数量除以本地分组和相关联的编码的分组的总数。在图5的说明性实施例中,存在两个本地分组(即,分组502、504)和一个编码的分组510。因此,本地分组的总数为二(2),而本地分组和相关联的编码的分组的总数为三(3)。因此,在图5的说明性实施例中,信息速率R为2/3。

[0050] 应当注意,在实施例中,码速率R总是满足 $0 < R \leq 1$  (并且如上面所指出的,R在这里是在总的可用路径上定义的)。

[0051] 此外,冗余比率可以表示为 $1/R$ 。因此,可以将全数据速率确定为:

[0052] 全数据速率 =  $(1/R) \times$  未编码速率。

[0053] 表2比较了在给定相同分组到达模式的情况下的常规的方案、复制方案和参量方案。

[0054] 表2

时间	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
<b>复制多路径 (图 2)</b>					
时间	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
[0055] <b>路径 1</b>	A			B	
<b>路径 2</b>		A			B
<b>接收到 A</b>	✓				
<b>接收到 B</b>				✓	

---

 常规的编码多路径 (图 3)

路径 1	A+B	
路径 2		A-B
接收到 A		✓
接收到 B		✓

---

## 复制编码多路径 (图 4)

	路径 1	A		B	B
[0056]	路径 2		A-B		A-B
	接收到 A	✓			
	接收到 B		✓		

---

## 参量冗余多路径 (图 5)

路径 1	A		B
路径 2		A+B	
接收到 A	✓		
接收到 B		✓	

---

[0057] 如可以从表2中看出的,编码方案提供了潜在的显著的时延优势,从而在某些实例中,允许在第二时隙( $t_2$ )处尽快解码。注意,与使用复制方案所要求的四(4)次传输相比,参量冗余多路径“方案”(即,技术)使用三(3)次传输。在一些实施例中,编码延迟可以影响分组502、504、510的传输。编码延迟取决于所选择的编码技术。本文寻求保护的概念、系统、设备和技术不依赖于对特定编码技术的选择。

[0058] 现在参考图6和图7,示例多路径网络包括在源节点600与目的地节点602之间的三个信号路径610、620、630。在图6中,源节点600经由路径610向目的地节点602发送分组的第

一集合A、B(由附图标记612、614表示)。源节点600还经由路径620向目的地节点602发送复制的分组的第一集合A、B(由附图标记612'、614'表示)(即,分组612'、614'是分组612、614的复制)。源节点600还经由路径630向目的地节点602发送分组的第二复制的集合A、B(由附图标记612'',614''表示)(即,分组612'',614''也是分组612、614的复制的版本)。因此,图6示出了使用具有 $R=1/3$ 的复制技术的操作。

[0059] 在图7中,源节点600进行操作以经由路径610向目的地节点602发送分组A、B(由附图标记712、714表示)的第一集合(这可以与上面的图6中描述的源节点600相同或类似)。分组712、714可以与图1中的分组612、614相同或类似。源节点600还进行操作以经由路径620向目的地节点602发送至少一个编码的分组A-B 722(即,分组722是分组712、714的编码的版本)。源节点600还进行操作以经由路径630向目的地节点602发送第二编码的分组A+B(由附图标记724表示)(即,分组722、724是分组712、714的编码的版本)。因此,图7示出了使用具有 $R=1/2$ 的编码参量技术的操作。

[0060] 如上面所指出的,针对分组的任何本地群组,信息速率或码速率 $R$ 被定义为本地分组的数量除以本地分组和相关联的编码的分组的总数。还如上面所指出的,码速率 $R$ 在 $0 < R < 1$ 的范围内。

[0061] 表3比较了针对给定的到达模式的复制方案和参量方案中的分组时延增益。

[0062] 表3

[0063]	时间	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
--------	----	-------	-------	-------	-------	-------



## 复制多路径 (图 6)

路径 1	A	B
路径 2	A	B
路径 3	A	B
接收到 A	✓	
接收到 B		✓

[0064]

## 参量冗余多路径 (图 7)

路径 1	A	B
路径 2	A+B	
路径 3	A-B	
接收到 A	✓	
接收到 B	✓	

[0065] 表3的时序图针对给定的到达模式比较了复制方案和参量方案中的分组时延增益。在这种情况下,接收到分组A(在图6中由附图标记612表示,并且在图7中由附图标记712表示),并且在编码方案中在第一时隙( $t_1$ )中对分组B 614(图6)、714(图7)进行解码,而在未编码方案中在第四时隙( $t_4$ )中对其进行解码。当有更多路径可用时,编码方案可以避免分组无序到达而无需进行复杂的分组调度,因此改进了分组时延。这示出了在给定路径延迟可变性的情况下的增加的时延改进。

[0066] 应当注意,与复制多路径系统相比,参量方案具有更高的信息速率并且使用更少的传输(更少的带宽)。另外地,时延、带宽(和能量)的改进取决于所使用的编码技术和参数。

[0067] 当考虑用于发送更多分组(例如,3个分组)的场景时,可以强调上面解释的技术的益处。

[0068] 现在参考图8,其示出了其中源节点根据常规的复制多路径技术进行操作的多路径网络。如上文所指出的,常规的复制多路径技术集中于可靠性或带宽使用方面。

[0069] 其中提供具有相同附图标记的相同元件的图8和图9的示例多路径网络包括在源节点800与目的地节点802之间的信号路径对810、820。在图8中,源节点800经由路径810向目的地节点802发送三个分组A、B、C(由附图标记812、814、816表示)。源节点800还经由路径820向目的地节点802发送三个复制的分组A、B、C(由附图标记812'、814'、816'表示)(即,分组812',814',816'是分组812、814、816的复制)。因此,图6示出了使用复制技术的操作。

[0070] 参考图8中描述的系统的时序表4,示出了分组A、B、C必须由目的地节点接收。在这里,目的地节点在t<sub>6</sub>处接收所有分组A、B、C。

[0071] 表4

时间	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>
<b>复制多路径 (图 8)</b>								
路径 1	A			B			C	
路径 2		A			B			C
接收到 A	✓							
接收到 B				✓				
接收到 C							✓	
<b>编码多路径-针对时延的编码 (图 9)</b>								
时间	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>
路径 1	A			B			C	
路径 2		A+B			B+C			
接收到 A	✓							
接收到 B		✓						
接收到 C					✓			

[0074] 在另一实施例中,可以使用不同的编码来减少分组时延。表4示出了一种编码配置,该编码配置允许比使用图8中示出的复制多路径方案在时间上更早地解码和递送分组。

[0075] 在图9中,源节点800进行操作以经由路径810向目的地节点802发送分组A,B,C(由附图标记912、914、916表示)的第一集合。分组912、914、916可以与图8中的分组812、814、816相同或类似。源节点800还进行操作以经由路径820向目的地节点802发送至少一对编码的分组A+B922和B+C 924(即,分组922、924是分组912、914、916的编码的版本)。因此,图9示出了使用编码参量技术的操作。

[0076] 图9的编码参量多路径方案比图8中示出的未编码复制方案更早地递送所有分组。编码参量多路径方案的一种可能的实现方式是使源节点在每个传输机会处将在第一路径(例如,路径1)上最后一次发送的传出分组与被调度用于传输的 $\beta$ 个分组组合,其中 $\beta$ 是固定的正自然数,或者是可变的且取决于网络条件(包括但不限于路径的近期的延迟特性,或路径之间的近期的延迟差异)的。

[0077]  $\beta$ 的值可以取决于多种因素,包括但不限于相对路径延迟。例如,如果源知道路径1比路径2快T个时间单位,则源可以组合比在时间段T内期望接收到的分组的数量多一个的分组,以便能够在目的地节点处对事件进行解码。

[0078] 表5的第二种场景示出了一种新的到达模式,该到达模式示出了使用连续的未编码的分组(在时间 $t_2$ 处的A+B)和随后的在时间 $t_3$ 处的B+C来解码多于一个尚未接收到的未编码的分组(在 $t_4$ 处的B和在 $t_6$ 处的C)的编码多路径。这示出了路径可变性对解码事件从而对分组时延的影响。

[0079] 表5

时间	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_5$	$t_6$	$t_7$
<b>复制多路径 (图 8)</b>								
路径 1	A			B			C	
路径 2		A	B					C
接收到 A	✓							
接收到 B			✓					
[0080] 接收到 C							✓	
<b>编码多路径-针对时延的编码 (图 9)</b>								
路径 1	A			B			C	
路径 2		A+B	B+C					
接收到 A	✓							
接收到 B		✓						
接收到 C				✓				

[0081] 如图9中示出的,目的地可以在接收到第一编码的分组时解码分组B,同时接收未编码的分组A。因此,这种编码参量多路径技术优于上面结合图3所描述的常规的编码技术。此外,使用本文描述的编码参量多路径概念和技术,可以设计编码以确保针对每个分组尽快发生解码。益处表4和表5的时序表中清楚地示出。

[0082] 在表5中,使用参量冗余多路径技术,目的地节点可以在时间 $t_1$ 处接收或解码A,在时间 $t_2$ 处接收或解码B,并且在时间 $t_3$ 处接收或解码C。因此,编码方案比未编码复制方案更早地递送所有分组。

[0083] 应当认识到的是,图9和表4中描述的技术用于减少时延。如果可靠性比较少的时延更重要,则可以调整冗余比率(1/R)。因此,在这种情况下,源节点可以将更多编码的分组发送到目的地。例如,源可以发送编码的分组A+B、B+C、A-B和B-C以增加传输的可靠性,而不是仅发送编码的分组B+C和A+B(如图9中示出的)。

[0084] 应当认识到的是,当有更多路径可用时,编码方案可以避免分组无序到达而无需

进行复杂的分组调度,因此改进了分组时延。这示出了在给定路径延迟可变性的情况下的增加的时延改进。还应注意,参量方案具有较高的码速率R,并且使用较少的传输。

[0085] 根据本文描述的概念的方面,一个或多个源节点可能需要跨多个可用路径分发分组。这样的源节点S可以根据各种不同的方案进行操作,这些不同的方案取决于响应于各种负载条件的负载。这样的操作方案包括但不限于相等负载方案和基于负载方案。

[0086] 在相等负载操作期间,针对本地分组的每个群组和信息速率,源节点进行以下操作:(1)计算冗余分组;以及(2)以相等负载跨所有可用路径发送本地分组和编码的分组,其中每条路径看到相等数量的分组。下面将参考图10A-10B详细描述相等负载操作。

[0087] 在基于负载操作期间,对于本地分组的每个群组和信息速率,源节点进行以下操作:(1)根据分组的本地群组计算冗余分组;(2)接收或确定路径负载;以及(3)根据计算出的路径负载跨所有可用路径发送本地分组和冗余分组。下面将参考图10A-10B详细描述基于负载操作。

[0088] 在实施例中,为了接收或确定路径负载,源节点接收或确定P条路径的总负载T(信息单位/秒,例如,位/秒)以及部分路径负载 $H_i$ ,其中i为路径索引( $i=1\cdots P$ ),并且P是路径的数量。

[0089] 在实施例中,为了根据计算出的路径负载跨所有可用路径发送本地分组和冗余分组,针对编码的分组和本地分组的大小为G的每个群组,经由路径i( $i=1\cdots P$ )发送的分组数量 $G_i$ 应该满足 $G_i/G=H_i/T$ 。

[0090] 在上述技术中的任何一种(即,相等负载或基于负载技术中的任何一种)中,分组的群组可以是固定或可变大小的块或窗口。类似地,信息速率和路径信息可以是固定的或可变的。而且,分组的群组可以重叠。即,一个未编码的分组可以用于生成多于一个编码的分组。

[0091] 应当注意,在上文中,假设使用了系统编码。然而,应当认识到的是,在实施例中,分组可以在源处进行传输之前全部被编码。

[0092] 还应认识到的是,由于较大的分组群组花费更多的时间来传输以及在目的地被解码,因此可以减小分组群组大小G以实现特定的要求的时延。

[0093] 还应认识到的是,可以从外部节点(例如,网络控制器或其他设备)接收用于源节点参数,或者可以以任何方式(例如,通过使用任何本地机制或外部机制)确定或提供用于源节点参数。这样的本地机制或外部机制可以包括但不限于固定的、信道状态、网络状态、目的地反馈、网络反馈等。

[0094] 在实施例中,可以以下方式选择系统参数和设计。

[0095] 源节点处理

[0096] 在一些实施例中,用于生成编码的分组的技术可以增加编码的分组导致可以减少时延的解码事件的可能性。在这里,源节点需要跨多条可用路径分发分组,使得可以更快地进行解码。一条路径用于本地/原始分组,其他可用路径典型地以较低的速率用于编码的分组。每个发送的编码的分组都应导致解码事件,因为解码会为目的地生成“新分组”,从而减少分组时延。

[0097] 源按照预定的调度(例如,到达的次序)在主路径(未编码的路径)上按次序发送分组。使每个分组具有一个索引,其中索引示出调度的传输次序。

[0098] 针对编码的路径上的每个传输机会：

[0099] • 表示要在未编码的路径 $p_n$ 上发送的下一个分组，其中 $n$ 是分组索引。

[0100] • 创建并发送编码的分组，该编码的分组将近期发送的分组（先前的分组）中的 $\alpha$ 个分组与要被发送的分组（随后的分组）中的 $\beta$ 个分组组合在一起。

[0101] 这里，可以使用任何编码方案来生成编码的分组。例如，使用线性编码，编码的分组可以是以下求和的结果： $\sum_{i=0}^{\alpha+\beta} c_i p_{n-\alpha+i}$ ，其中 $c_i$ 是编码系数，并且在预定义的有限域或其任何预定义子集中，逐符号地执行操作。生成的编码系数可以被附加到编码的分组以用于传输到目的地节点。

[0102]  $\alpha$ 可以通过编码的路径的相对加速的知识来确定（即，其可以与编码的分组在目的地节点处被接收时将“代替”的分组数量相关）。在这种情况下，编码的分组到达目的地的最早时间应与分组 $p_{n-\alpha}$ 的到达一致。类似地， $\beta$ 可以通过编码的路径的相对减速的知识来确定（即，其可以与编码的分组在目的地节点处被接收到时将“代替”的编码的分组数量相关）。在这种情况下，编码的分组到达目的地的最晚时间应与分组 $p_{n+\beta}$ 的到达一致。在一些实施例中， $\alpha$ 和 $\beta$ 可以是固定的或可变的。 $\alpha > 0, \beta > 0$ 可以是固定的或可变的。 $\alpha$ 和 $\beta$ 的值可以由源、目的地或网络控制器根据它们可能具有的任何信息（例如，分组到达反馈、信道状态信息等）确定，并将其传达给源。例如，图9和表4示出了 $\alpha = \beta = 1$ 的情况。

[0103] 编码的路径上的传输机会可能受各种因素（例如，负载约束、拥塞约束、介质访问控制协议、目标信息速率等）决定或影响。

[0104] 可以调整信息速率 $R$ 以补偿主路径上的分组丢失，或替换路径损耗。

[0105] 上面假设使用了系统编码。然而，可以对主路径上的某些分组进行编码，以防止主路径上的分组丢失。在这种情况下，编码的路径（辅助路径）上的分组可以使用被调度用于在主路径上进行传输的编码的路径，或者跳过这些编码的路径。如果编码的分组用作源分组，则可以对针对辅助路径（编码的路径）生成的编码的分组进行重新编码。

[0106] 可以从外部节点（例如，网络控制器）接收用于源节点参数（要在任何时间点被发送的分组的群组、信息速率、可用路径、分配的路径负载），或通过任何本地机制或外部机制确定用于源节点参数（例如，固定的、信道状态、网络状态、目的地反馈、网络反馈等）。

[0107] 现在参考图11，该图示出了在源节点处调度分组传输和编码。该技术可以使用 $\alpha$ 个发送的未编码的分组952a、952b、……、952n和 $\beta$ 个未发送的未编码的分组954a、954b、954c、……、954m、954n。例如，图9/表4示出了 $\alpha = 1$ 且 $\beta = 0$ 的情况（取一个先前的分组但没有取随后的分组）。

[0108] 上面提到的技术假设源节点在传输之后缓冲 $\alpha$ 个或更多个分组，并且具有对要被发送的 $\beta$ 个或更多个分组的访问权。在这种情况下，关于先前的分组，可以在源处强制执行缓冲要求，或者源可以对可用的尽可能多的分组（最多为 $\alpha$ 个分组）进行编码。另一方面，关于随后的分组，源节点可以对可用的尽可能多的分组（最多为 $\beta$ 个分组）进行编码。源还可以从分组生成过程（例如，应用层、内容缓存/服务器应用等）请求多达 $\beta$ 个分组。

[0109] 流程图

[0110] 图10A和10B是一系列流程图，其示出了可以在计算系统的设备或系统内实现的处理。在本文中，表示为“处理框”的矩形元素（典型地为图10A中的元素1002）表示计算机软件

指令或指令组。在本文中为表示为“决策框”的菱形元件(未示出)表示影响由处理块表示的计算机软件指令的执行的计算机软件指令或指令组。

[0111] 可替代地,处理块和决策块可以表示由功能上等效的电路(例如,数字信号处理器(DSP)电路或专用集成电路(ASIC))执行的步骤。流程图没有描绘任何特定编程语言的语法,而是示出了本领域普通技术人员制造电路或生成计算机软件以执行特定装置要求的处理所要求的功能信息。应当注意,为了清楚起见,可以省略许多例行程序元素,例如,循环和变量的初始化以及临时变量的使用。所描述的框的特定序列仅是说明性的,并且可以在不脱离本文寻求保护的概念、系统、设备和技术的精神的情况下进行改变。因此,除非另有指示,否则下面描述的框是无序的,这意味着在可能的情况下,可以以任何方便或期望的次序来执行由块表示的功能。

[0112] 参考图10A,准备用于传输的参数的过程的示例是1000。过程1000可以准备用于编码多路径传输的参数。

[0113] 在一些实施例中,可以从外部节点或外部系统(例如,网络控制器、网络管理系统)接收网络参数(在处理框1002中)。参数可以包括分组群组大小、信息速率(或码速率)、可用路径和分配的路径负载。外部节点或外部系统可以提供关于网络的附加信息,例如,信道状态、网络状态、目的地反馈、网络反馈等。在其他实施例中,关于网络的信息可以被内部存储。任何节点(例如,源节点、中间节点和/或目的地节点中的一个或多个)可以使用一个或多个参数,并且这些参数包括但不限于:由 $\alpha$ 和 $\beta$ 定义的要任何时间点被发送的分组的群组;信息速率;可用路径;以及分配的路径负载。

[0114] 根据关于网络的信息,可以确定网络参数(在处理框1004中)。当外部节点或外部系统提供网络参数时,可以根据所提供的网络参数来计算或确定附加的网络参数。例如,根据所提供的关于可用路径和分配的路径负载的信息,可以计算或确定码速率。

[0115] 在处理框1006中,过程1000确定传输路径。在一些实施例中,所有可用路径可以被确定为用于分组传输。在另一实施例中,可以选择可用路径的子集以进行分组传输。在处理框1008中,过程1000确定传输模式。可以均匀地或根据路径负载来跨传输路径发送分组。过程1000可以考虑可用路径、分配的路径负载、要发送的分组的数量和/或信息速率来确定传输模式。例如,如果分配的路径负载是偶数或接近偶数,则可以选择相等负载模式作为传输模式。

[0116] 在处理框1010中,过程1000确定信息速率(或码速率)。针对分组的任何本地群组,信息速率或码速率 $R$ 可以被定义为本地分组的数量除以本地分组和相关联的编码的分组的总数。信息速率 $R$ 大于零并且可以等于1或小于1。可以考虑期望的时延、网络路径可靠性、带宽和其他参数来确定信息速率。在一些实施例中,信息速率可以由外部节点或系统给出(在处理框1002中)。在其他实施例中,过程1000可以根据其他网络参数来修改由外部节点或系统提供的信息速率。

[0117] 在处理框1002中,处理1000确定要被编码的分组。进行编码以基于未编码的分组的集合生成编码的分组。未编码的分组的集合包括要被发送的下一个未编码的分组、 $\alpha$ 个先前被发送的未编码的分组以及要在下一个未编码的分组之后被发送的 $\beta$ 个未编码的分组。这里, $\alpha$ 是等于或大于零的整数, $\beta$ 是等于或大于零的整数,并且 $\alpha+\beta$ 大于零。根据网络带宽、目的地的CPU功率或任何其他因素来决定 $\alpha$ 和 $\beta$ 的值。

[0118] 参考图10B,过程1050示出了具有相等负载传输模式的分组传输的示例。源节点可以接收本地分组以从外部节点发送(在处理框1052中)。在处理框1054中,根据本地分组生成编码的分组。可以选择各种技术并将其用于编码本地分组。例如,可以使用具有系数的线性组合。在一些实施例中,分组可以在进行传输之前全部被编码。在其他实施例中,可以在传输开始时对本地分组的一部分进行编码,并且可以在传输继续进行对其余分组进行编码。

[0119] 在相等负载传输负载下,跨传输路径均匀地发送未编码的分组和编码的分组,这些传输路径是在图10A的处理框1006中根据网络参数选择的。可以根据网络约束(例如,编码的路径的可用负载、介质访问控制传输机会、路径拥塞和任何其他因素)跨传输路径分发未编码的分组和编码的分组。在实施例中,可以以循环方式跨传输路径顺序地发送本地分组和编码的分组。例如,当使用传输路径P1、P2、P3以进行传输时,过程1050可以以P1→P2→P3→P1→……的次序发送分组。在另一实施例中,可以以P1→P2→P3→P3→P2→P1……的次序发送分组。在其他实施例中,可以使用用于跨传输路径均匀地分发分组的合适方法。

[0120] 在处理框1058中,当在目的地处接收到编码的分组时,在处理框1054中根据用于对本地分组进行编码的编码技术对编码的分组进行解码。目的地节点可以根据对编码的分组进行解码获得本地分组。例如,目的地节点可以通过对编码的分组A+B进行解码来获得本地分组A和B。

[0121] 在处理框1060中,目的地通过使用来自接收到的且解码的编码的分组的信息来取回未编码的分组的信息。例如,使用图7中示出的示例,当目的地200通过P1 110获得本地分组B 714并且通过P2 120获得编码的分组A-B 722时,目的地200可以确定其接收到了所有分组A、B,因为目的地200可以通过解码A-B来获得分组A。

[0122] 现在参考图12,可以适合于实现本文描述的处理技术的网络系统1200的说明性实现方式包括处理器1202、易失性存储器1204、非易失性存储器1208(例如,硬盘、闪存存储器)和接口模块1206(例如,用户接口、USB接口等)。非易失性存储器1208存储程序指令1210、操作系统1212和数据1214。在一个示例中,程序指令1212由处理器1202从易失性存储器1204中执行以执行本文描述的过程中的全部或一部分(例如,过程1000)。

[0123] 本文描述的过程(例如,过程1000)不限于与图12的硬件和软件一起使用;这些过程可以在任何计算或处理环境中找到适用性并且与能够运行计算机程序的任何类型的机器或机器的集合一起使用。本文描述的过程可以以硬件、软件或两者的组合来实现。本文描述的过程可以以可编程计算机/机器上执行的计算机程序来实现,可编程计算机/机器各自包括处理器、非易失性机器可读介质或处理器可读的另一制品(包括易失性和非易失性存储器以及和/或存储元素)、至少一个输入设备和一个或多个输出设备。可以将程序代码应用于使用输入设备输入的数据,以执行本文描述的过程中的任一过程并生成输出信息。

[0124] 系统可以至少部分地经由计算机程序产品(例如,在诸如非暂时性计算机可读介质之类的非暂时性机器可读存储介质中)实现,以用于由数据处理装置(例如,可编程处理器、计算机或多台计算机)执行或控制数据处理装置的操作。每个这样的程序可以用高级过程、功能或面向对象的编程语言来实现,以与基于计算机的系统的其余部分一起工作。然而,可以用汇编、机器语言或硬件描述语言来实现程序。语言可以是编译的或解释的语言,并且可以以任何形式进行部署,包括作为独立程序或作为模块、组件、子例程或适用于计算



环境的其他单元。可以部署计算机程序以在一个站点上的一台或多台计算机上执行,或者跨由通信网络互连的多个站点分布。计算机程序可以存储在通用或专用可编程计算机可读的非暂时性机器可读介质上,以在计算机读取非暂时性机器可读介质时配置并操作计算机以执行本文描述的过程。例如,本文描述的过程还可以被实现为配置有计算机程序的非暂时性机器可读存储介质,其中计算机程序在被执行时,计算机程序中的指令使得计算机根据过程进行操作。非暂时性机器可读介质可以包括但不限于硬盘驱动器、压缩盘、闪存存储器、非易失性存储器、易失性存储器、磁盘等,但是本身不包括暂时性信号。

[0125] 本申请寻求保护的一个概念是编码的分组创建和使用,其实现较低的单个分组的递送延迟(即,可以实现在目的地解码事件,因此释放新的分组)。在一些实施例中,反馈可能是有帮助的,但是它可能是不可用的。在没有反馈或源节点处的路径延迟的知识的情况下,当存在传输机会时(例如,图9中的 $N=2$ ),源节点可以仅编码要被发送的下一个 $N>=2$ 个分组。利用路径延迟(或延迟差异)的知识,源节点可以估计分组到达目的地的时间,并创建可能实现解码的编码的分组。在这里,反馈可能有助于估计路径延迟。

[0126] 此外,本文公开的参量编码多路径系统的应用使得能够考虑冗余(并且理想地为总冗余)和路径数量以及网络参数的确定,这实现了时延增益同时还改进了可靠性(即,即使在路径损耗的情况下也成功发送分组)。

[0127] 在前述详细描述中,仅出于简化本公开的目的,可以在一个或多个单独的实施例中,将概念、系统、设备和技术的各种特征组合在一起。本公开的方法不应被解释为反映要求保护的主体要求比每项权利要求中明确引述的特征更多的特征的意图。而是,发明方面可以在于少于每个公开的实施例的所有特征。

[0128] 已经描述了用于说明作为本公开内容的主题的各种概念、结构和技术的实现方式,现在对于本领域普通技术人员而言将显而易见的是,可以使用结合了这些概念、结构和技术的其他实现方式。因此,提出专利的范围不应限于所描述的实现方式,而应仅由所附权利要求书的精神和范围来限定。

[0129] 本文引述的所有出版物和参考文献均通过引用以其整体明确地并入本文。

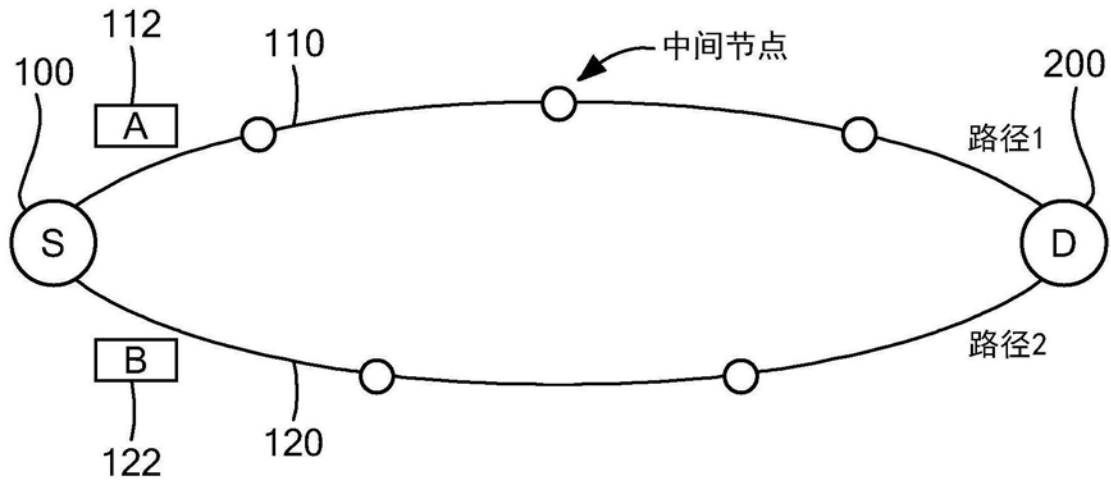


图1 (现有技术)

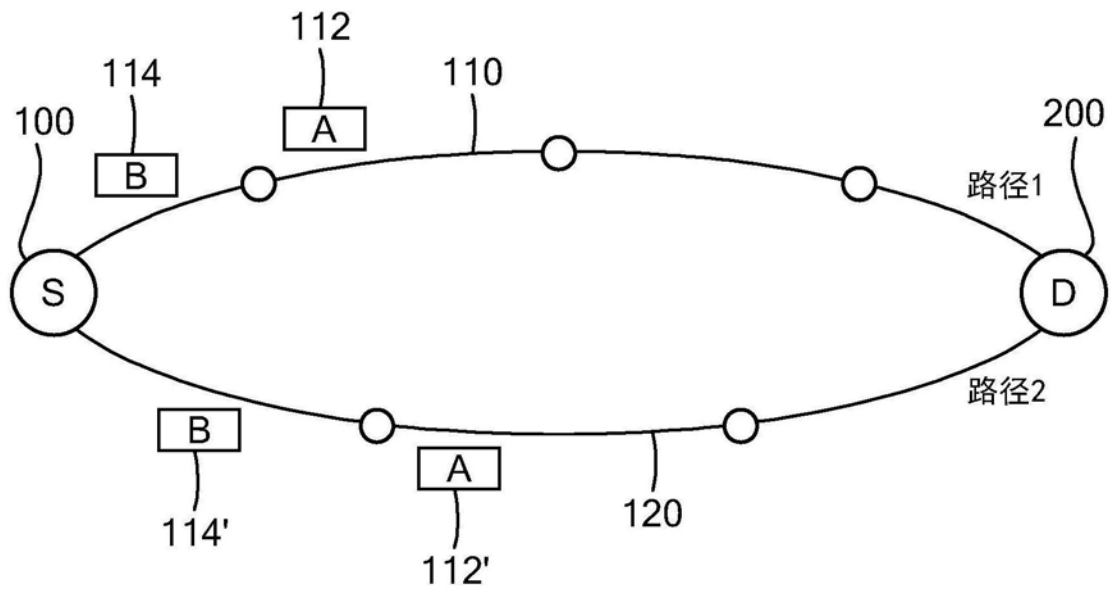


图2 (现有技术)

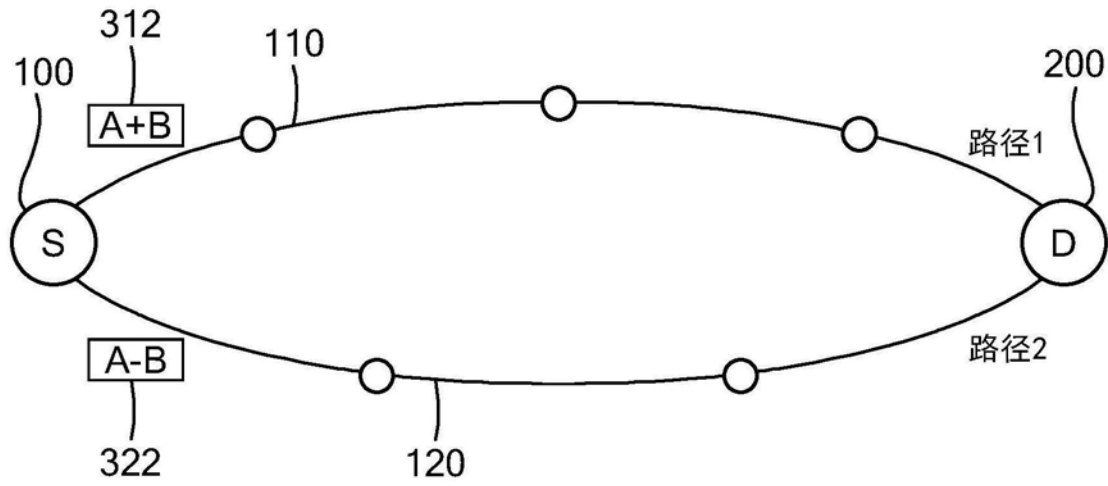


图3 (现有技术)

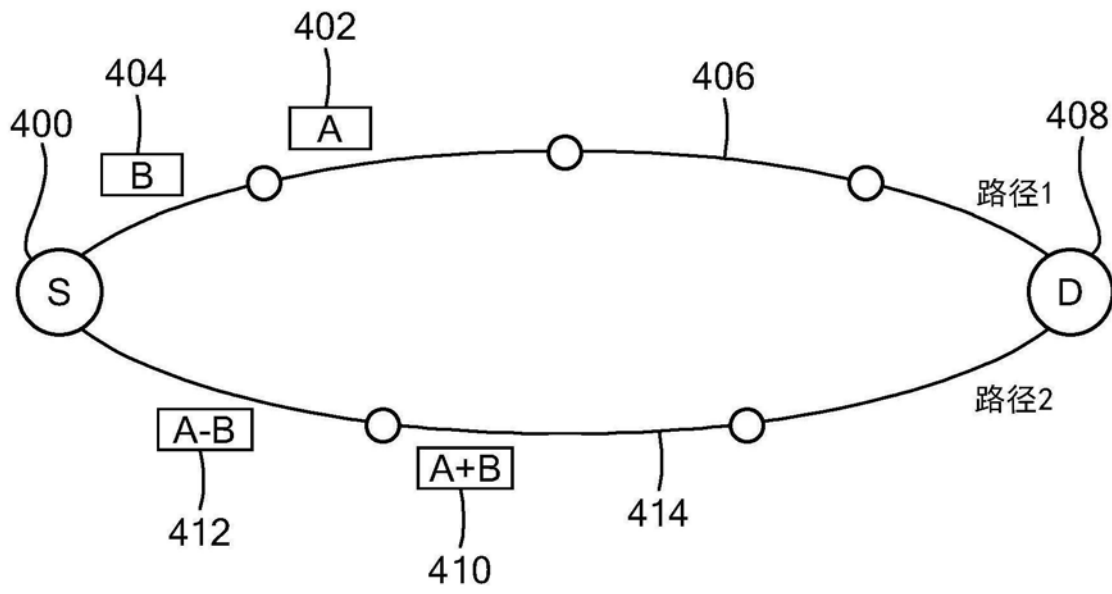


图4

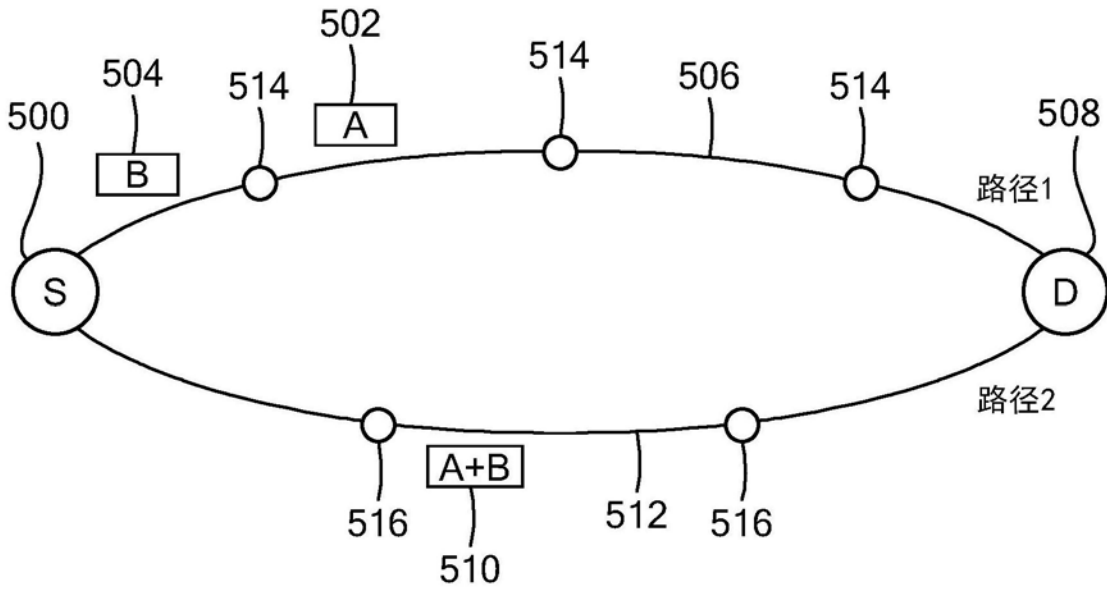


图5

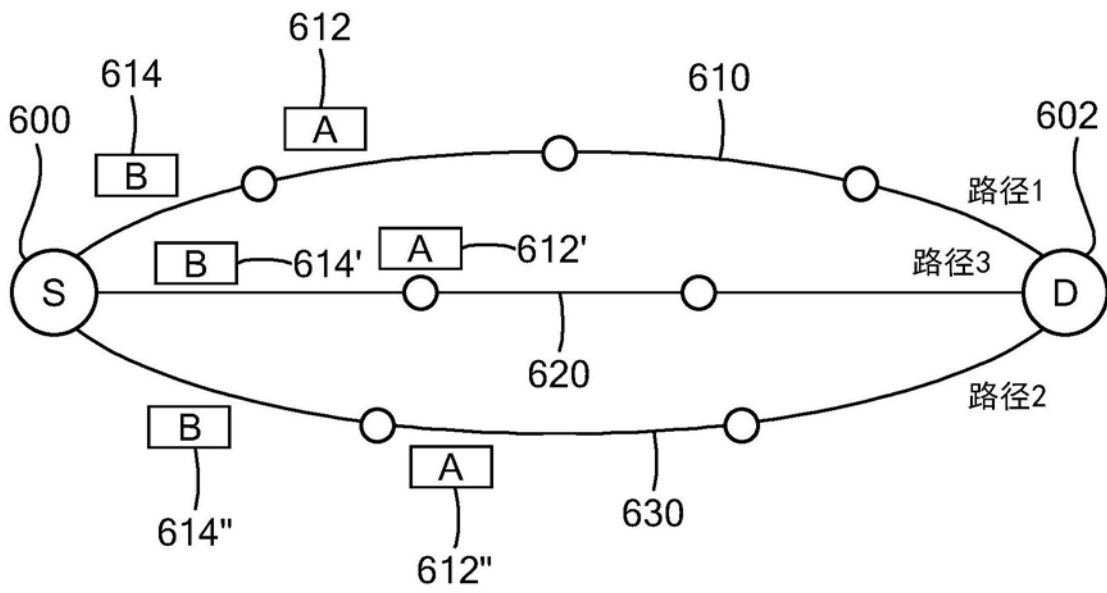


图6

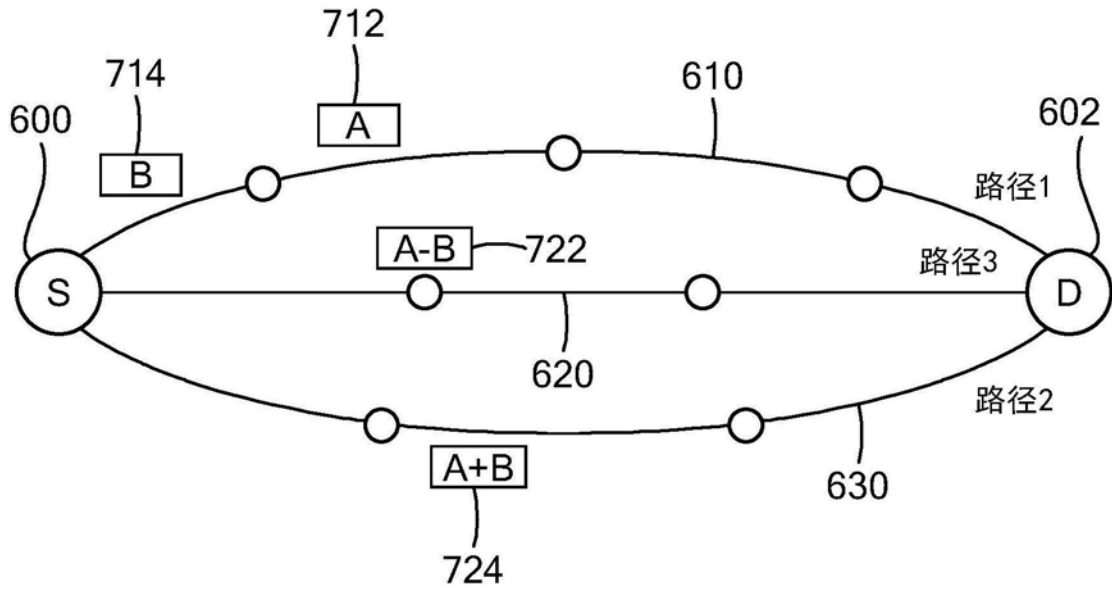


图7

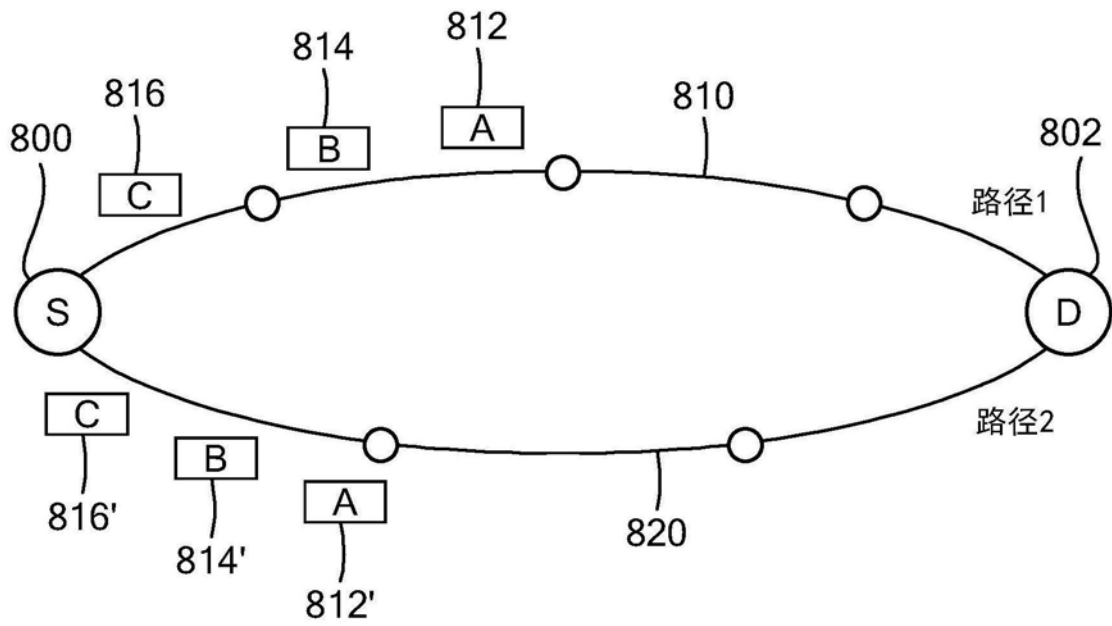


图8

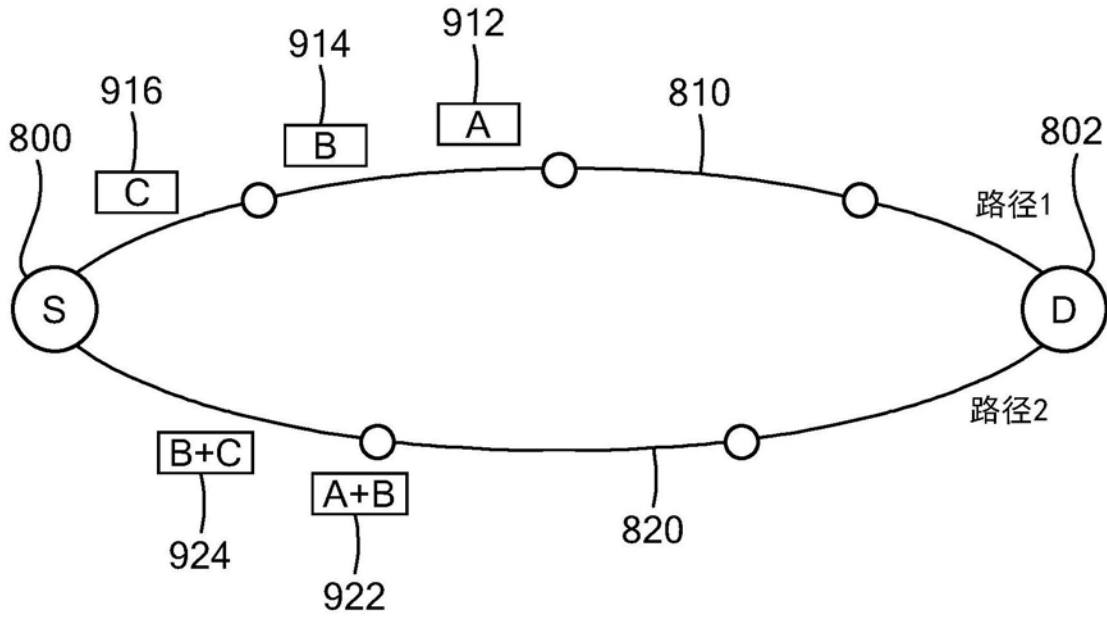


图9

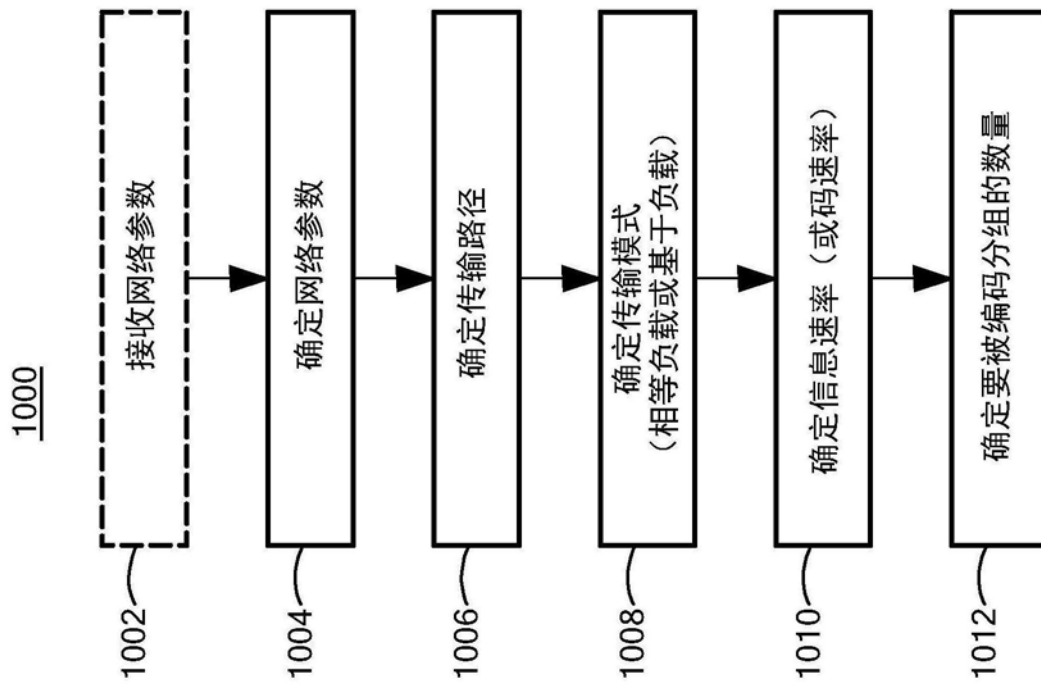


图10A

1050

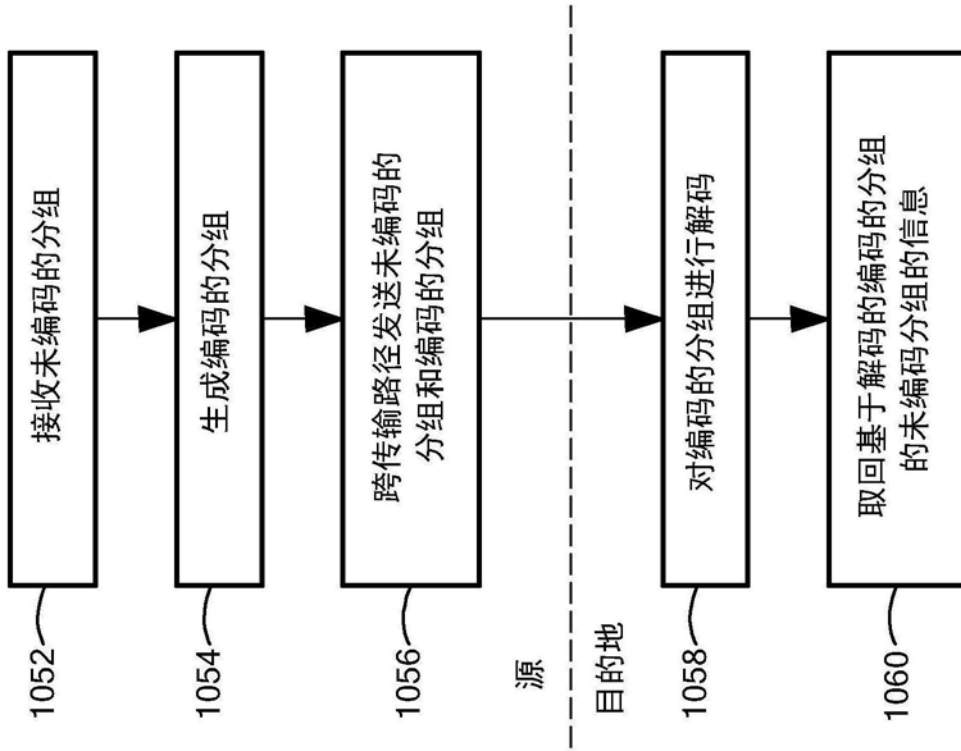


图10B

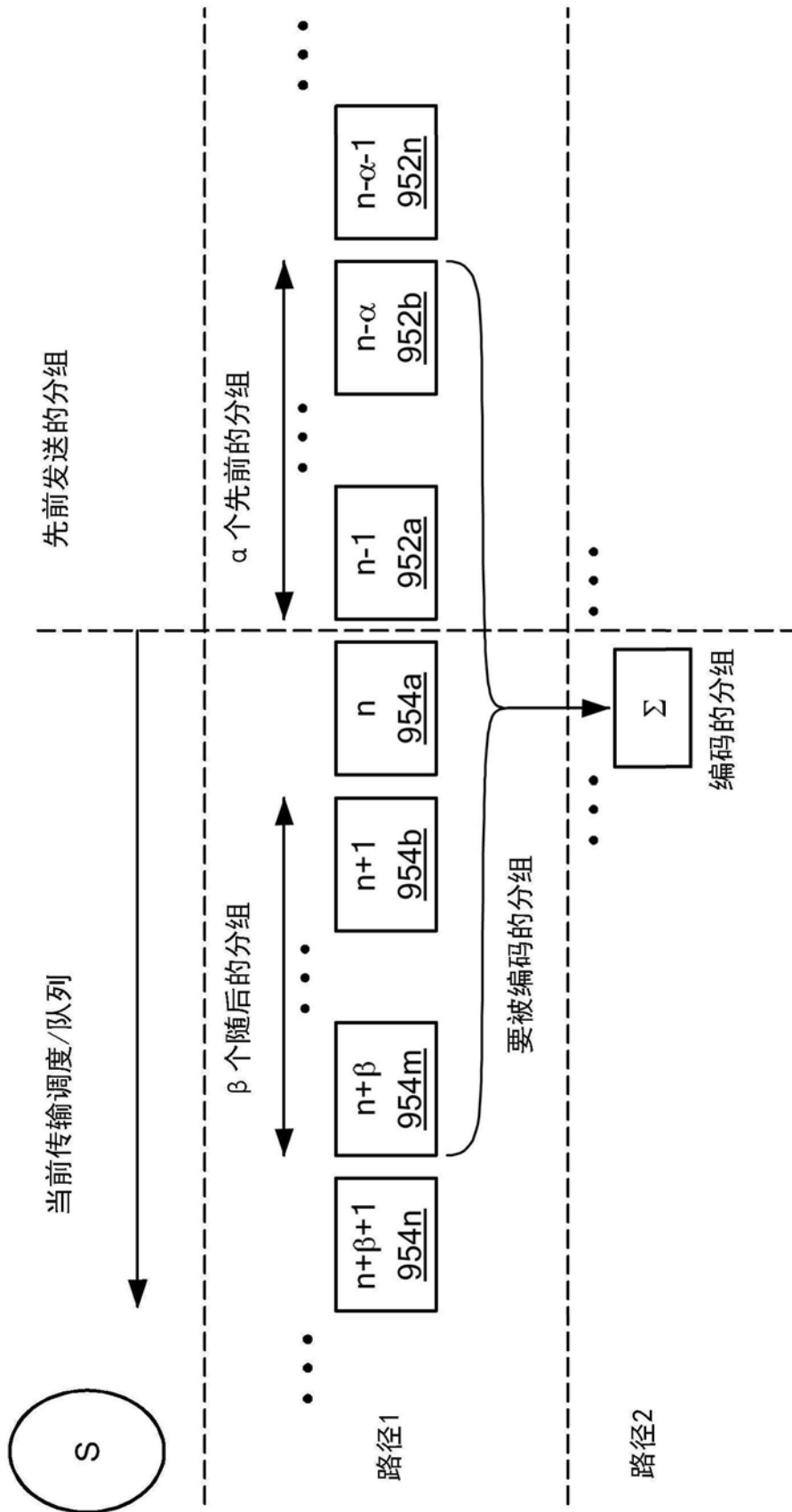


图11



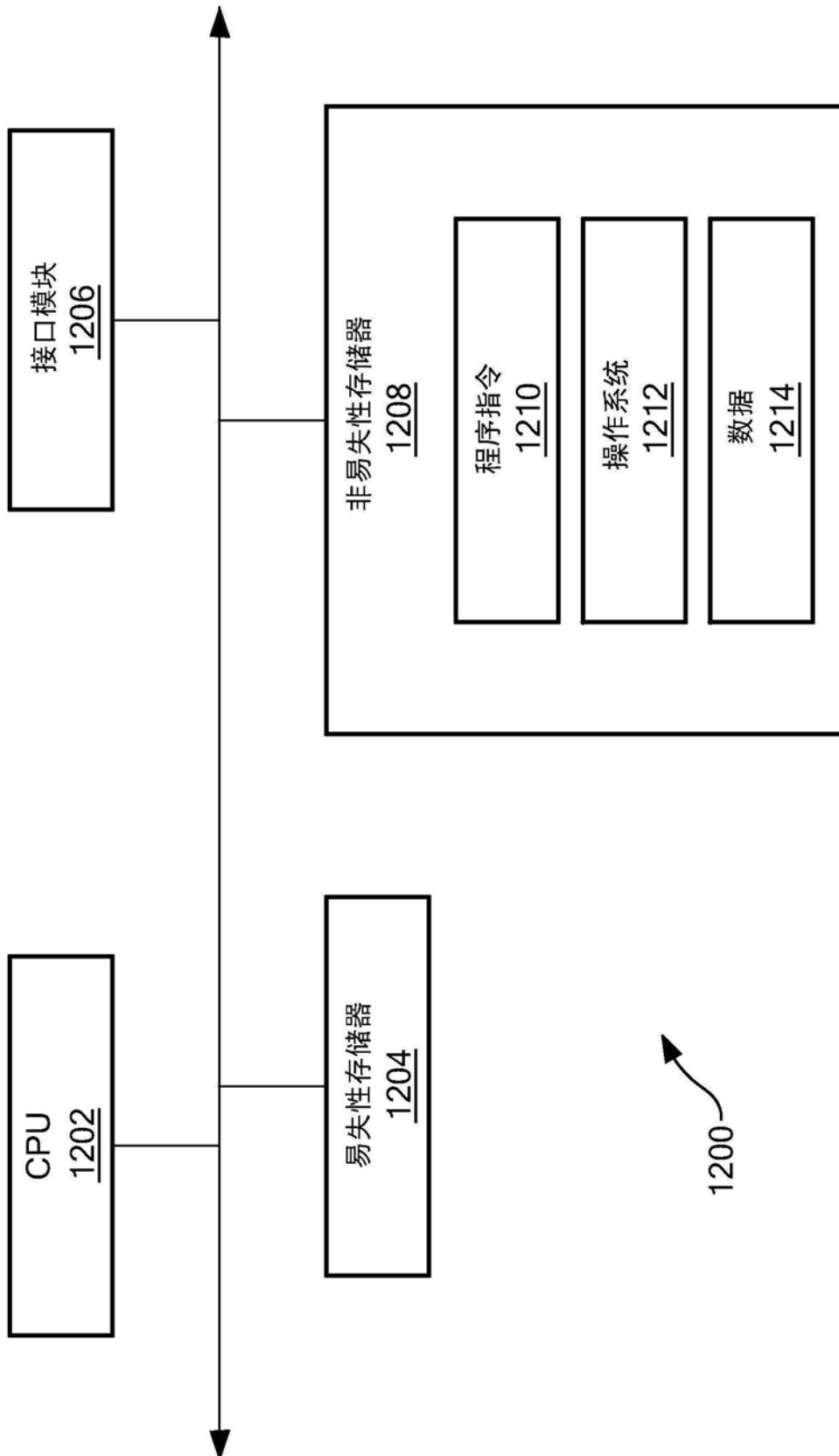


图12