



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101366195 B

(45) 授权公告日 2015. 06. 17

(21) 申请号 200680052560. 5

(22) 申请日 2006. 02. 08

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2008. 08. 07

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/SE2006/000176 2006. 02. 08

(87) PCT国际申请的公布数据
W02007/091930 EN 2007. 08. 16

(73) 专利权人 艾利森电话股份有限公司
地址 瑞典斯德哥尔摩

(72) 发明人 P·拉森 张璋

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 柯广华 王忠忠

(56) 对比文件

EP 1473885 A1, 2004. 11. 03,
CN 1495588 A, 2004. 05. 12,
US 5293639 A, 1994. 03. 08,
WO 2005020508 A1, 2005. 03. 03,

审查员 颜燕

(51) Int. Cl.
H04B 7/005(2006. 01)
H04L 1/00(2006. 01)

权利要求书3页 说明书10页 附图7页

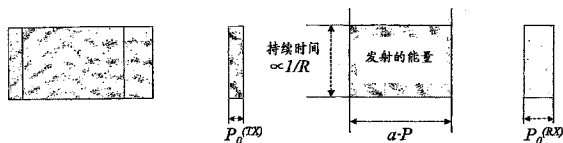
(54) 发明名称

能耗最小化的链路适配和功率控制

(57) 摘要

本发明涉及发射器 (TX) 和至少一个接收器 (RX) 之间的无线通信的发射参数的控制和适配以提供共同的功率和链路适配。本发明的基本原理在于, 基于给定目标函数关于发射持续时间和 / 或发射功率的最小化来一起确定发射器的发射持续时间 (T) 和发射功率 (P), 该给定目标函数表示发射端和接收端上的总能耗。实际上, 这意味着基于发射端和接收端上的能耗来确定链路发射参数。此外, 发射功率和发射持续时间都是变化的, 同时将总计能耗降至最小。

总能耗 = 发射器能耗 + 发射相关的辐射和功耗 + 接收器能耗



1. 一种用于控制发射器与至少一个接收器之间的无线通信的发射参数的方法,其特征
在于,基于给定目标函数关于发射持续时间和发射功率的至少其中之一的最小化来一起确
定发射持续时间和发射功率,所述给定目标函数表示所述发射器和所述至少一个接收器的
总能耗,并且基于所确定的发射持续时间和发射功率来执行共同的链路适配和功率控制,
其中所述总能耗包括按如下公式定义的能量项:

$$(aP + P_0) \cdot T,$$

其中 a 是用于反映所述发射器处的功率放大器效率的系数, P 是可变发射功率, P_0 是源
于接收器和发射器处的与辐射无关的功耗的常数项,以及 T 是可变发射持续时间。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中基于通信期间的发射功率、发射持续时间以及发射
端和接收端上的与辐射无关的功耗来定义总能耗。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中所述与辐射无关的功耗与发射和接收时的基于硬件
的处理相关。

4. 如权利要求 2 或 3 所述的方法,其中将所述与辐射无关的功耗估算为常数。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其中将所述目标函数关于发射持续时间和发射功率最小
化,其中所述发射持续时间和发射功率可彼此独立地变化。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其中将所述目标函数关于选为发射持续时间或发射功率
的第一个发射参数最小化,以及将发射持续时间或发射功率中的另一个即第二个发射参数
确定为所述第一个发射参数的函数。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其中确定发射持续时间和发射功率的所述步骤还基于期
望的通信质量。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其中基于给定目标函数的最小化来一起确定发射持续时
间和发射功率的所述步骤基于有关所述发射器和所述至少一个接收器的功耗特征的信息
以及有关通信特征的信息。

9. 如权利要求 1 所述的方法,其中每个位的所述可变发射持续时间 T 按如下公式定
义:

$$T = \frac{L}{B \cdot f(\Gamma, P)}$$

其中 L 是分组中的位的数量, B 是链路带宽, f 是分段单调递增函数,以及 Γ 表示本地
链路特征。

10. 如权利要求 1 所述的方法,其中每个位的所述可变发射持续时间 T 按如下公式定
义:

$$\left(\frac{L}{B \lg_2(1 + \Gamma P)} \right),$$

其中 L 是分组中的位的数量, B 是链路带宽,以及 Γ 表示本地链路特征。

11. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述发射器可用于在单播链路上与接收器通信。

12. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述发射器可用于在组播链路上与多个接收器通信。

13. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述发射器和所述至少一个接收器是电池驱动的短距离通信装置。

14. 一种用于控制发射器与至少一个接收器之间的无线通信的发射参数的设备,其特征在于,用于基于给定目标函数关于发射持续时间和发射功率的至少其中之一的最小化来一起确定发射持续时间和发射功率的部件,所述给定目标函数表示所述发射器和所述至少一个接收器的总能耗,以及用于基于所确定的发射持续时间和发射功率来执行共同的链路适配和功率控制的部件,

其中所述总能耗包括按如下公式定义的能量项:

$$(aP + P_0) \cdot T,$$

其中 a 是用于反映所述发射器处的功率放大器效率的系数,P 是可变发射功率, P_0 是源于接收器和发射器处的与辐射无关的功耗的常数项,以及 T 是可变发射持续时间。

15. 如权利要求 14 所述的设备,其中基于通信期间的发射功率、发射持续时间以及发射端和接收端上的与辐射无关的功耗来定义总能耗。

16. 如权利要求 15 所述的设备,其中所述与辐射无关的功耗与发射和接收时的基于硬件的处理相关。

17. 如权利要求 15 或 16 所述的设备,其中将所述与辐射无关的功耗估算为常数。

18. 如权利要求 14 所述的设备,其中将所述目标函数关于发射持续时间和发射功率最小化,其中所述发射持续时间和发射功率可彼此独立地变化。

19. 如权利要求 14 所述的设备,其中将所述目标函数关于选为发射持续时间或发射功率的第一个发射参数最小化,以及将发射持续时间或发射功率中的另一个即第二个发射参数确定为所述第一个发射参数的函数。

20. 如权利要求 14 所述的设备,其中用于确定发射持续时间和发射功率的所述部件还基于期望的通信质量。

21. 如权利要求 14 所述的设备,其中用于基于给定目标函数的最小化来一起确定发射持续时间和发射功率的所述部件基于有关所述发射器和所述至少一个接收器的功耗特征的信息以及有关通信特征的信息。

22. 如权利要求 14 所述的设备,其中每个位的所述可变发射持续时间 T 按如下公式定义:

$$T = \frac{L}{B \cdot f(\Gamma, P)}$$

其中 L 是分组中的位的数量, B 是链路带宽, f 是分段单调递增函数,以及 Γ 表示本地链路特征。

23. 如权利要求 14 所述的设备,其中每个位的所述可变发射持续时间 T 按如下公式定义:

$$\left(\frac{L}{B \lg_2(1 + \Gamma P)} \right),$$

其中 L 是分组中的位的数量, B 是链路带宽, 以及 Γ 表示本地链路特征。

24. 如权利要求 14 所述的设备, 其中所述发射器可用于在单播链路上与接收器通信。

25. 如权利要求 14 所述的设备, 其中所述发射器可用于在组播链路上与多个接收器通信。

26. 如权利要求 14 所述的设备, 其中所述发射器和所述至少一个接收器是电池驱动的短距离通信装置。

27. 一种用于确定在无线通信网络中路由的链路成本的方法, 其特征在于, 基于给定目标函数关于发射器的发射持续时间和发射功率的至少其中之一的最小化来确定所述发射器和至少一个接收器之间的链路的链路成本, 所述给定目标函数表示发射端和接收端上用于所述链路上的通信的总能耗, 并且基于所确定的发射持续时间和发射功率来执行共同的链路适配和功率控制,

其中所述总能耗包括按如下公式定义的能量项:

$$(aP + P_0) \cdot T,$$

其中 a 是用于反映所述发射器处的功率放大器效率的系数, P 是可变发射功率, P_0 是源于接收器和发射器处的与辐射无关的功耗的常数项, 以及 T 是可变发射持续时间。

28. 一种用于确定在无线通信网络中路由的链路成本的设备, 其特征在于, 用于基于给定目标函数关于发射器的发射持续时间和发射功率的至少其中之一的最小化来确定所述发射器和至少一个接收器之间的链路的链路成本的部件, 所述给定目标函数表示发射端和接收端上用于所述链路上的通信的总能耗, 以及用于基于所确定的发射持续时间和发射功率来执行共同的链路适配和功率控制的部件,

其中所述总能耗包括按如下公式定义的能量项:

$$(aP + P_0) \cdot T,$$

其中 a 是用于反映所述发射器处的功率放大器效率的系数, P 是可变发射功率, P_0 是源于接收器和发射器处的与辐射无关的功耗的常数项, 以及 T 是可变发射持续时间。

能耗最小化的链路适配和功率控制

技术领域

[0001] 本发明一般涉及无线网络中的通信,更具体来说涉及用于控制无线网络中发射端与接收端之间的通信的链路发射参数的新策略。

背景技术

[0002] 有关链路级的发射参数的控制和适配一般包括例如链路适配和功率控制的问题。

[0003] 链路适配允许调整用于通信的传输参数(通常为调制和编码方案),以便优化地利用通信信道的潜力,常常提供高数据传输速率以及低误码率。

[0004] 在多数无线系统中使用功率控制以便能够实现“有效率的”通信而无需扩展不必要的功率资源。

[0005] 因为例如移动装置或类似短距离通信装置的通信装置在许多情况中依赖于电池供电,所以存在将它们能耗降至最小的普遍需要。

[0006] 从能耗的角度来看,在相对较高发射功率下的低传输速率当然是非期望的,因为低速率会转换成长发射持续时间,而高功率会转换成高能耗水平。另一方面,使用低发射功率电平实现高传输速率下的可靠通信是不可能的,所以低能耗并非总是易于实现的。

[0007] 在多跳路由选择的技术领域中,其中涉及源节点和目的地节点之间沿多个跳上的路由的通信,传统的最小功率路由选择(routing)致力于在功率设置是灵活的(和每个链路的路径损耗不同)、但是单个固定的发射持续时间对于所有链路是共同的假设下,确保所选的路由使累积的链路发射功率最小化。

[0008] 还应该理解,限于发射功率电平的能耗或功耗分析仅考虑用于发送信息的与辐射相关的能耗。

[0009] 正如参考文献[1]中所得出的结论,有关公知无线网络接口的能耗行为只有少许实用信息可用,并且装置规范一般不提供有用形式的信息。参考文献[1]描述了一系列试验,这些试验提供对自组织联网环境中工作的 IEEE 802.11 无线网络接口的能耗的测量。试验数据作为用于计算发送、接收和废弃多种大小的广播和点到点数据分组时所消耗的能量的一组线性公式提出。在参考文献[1]中得到结论为,能耗具有与网络层协议的设计有关的复杂行为范围。

[0010] 确实普遍需要一种改进的策略,以用于控制无线通信网络中的通信的链路发射参数。

发明内容

[0011] 本发明克服了现有技术设备中的这些和其他缺点。

[0012] 本发明的一般性目的在于提供一种用于控制无线通信网络中发射器和至少一个接收器之间的通信的链路发射参数的新的改进策略。

[0013] 具体来说,期望减少参与通信的装置的总能耗。

[0014] 一个特定的目的在于提供链路适配(adaptation)和功率控制的新策略。

[0015] 这些和其他目的由所附的专利权利要求所定义的本发明来满足。

[0016] 本发明涉及发射器和至少一个接收器之间的无线通信的发射参数的控制和适配。本发明的基本原理是,基于给定目标函数关于发射持续时间和 / 或发射功率的最小化来一起确定发射持续时间和发射功率,其中给定目标函数表示发射端和接收端上的总能耗。

[0017] 实际上,这意味着基于发射端和接收端上的能耗来确定链路发射参数。此外,发射功率和发射持续时间(由于链路适配的原因)都被改变,同时将总能耗降至最小。

[0018] 优选地,一起或共同地确定发射持续时间和发射功率,以支持共同的链路适配和功率控制。这通常意味着在集成的优化过程中确定发射持续时间和发射功率,其中通过改变发射持续时间和功率来将总能耗降至最小。

[0019] 可以将目标能量函数关于发射持续时间和发射功率最小化,其中最优化变量可以彼此独立地变化。或者,可以将考虑的发射参数耦合,以使这些参数彼此相关。这意味着,当这些参数中第一个参数的值变化时,第二个参数的值也变化,虽然并非独立地变化,但是作为第一个参数的函数。实际上,后一种备选方案常常提供最优化问题的计算上较为简单的解。

[0020] 通常,可以基于通信期间的发射功率、发射持续时间以及发射端和接收端上的与辐射无关的消耗功率来定义总或全部能耗。与辐射无关的消耗功率优选地与发送和接收时的基于硬件的处理相关,并且通常可以估算为常数。

[0021] 在一些情况中,例如当有多个非常宽的能量最小值时,在确定发射功率和持续时间时还将期望的通信质量纳入考虑而不仅限于仅在刚好的最小能量点上工作将会是有利的。这意味着,可以某种程度地偏离准确的最小值,例如可以获得从解调和解码的角度来看更易实现的通信质量,同时仍在足够接近真实的能量最小值地工作。

[0022] 负责确定发射功率和持续时间的控制系统可以在通信网络内的任何网络节点中实现,只要将相关信息传送到所考虑的发射器以用于实施链路适配和功率控制即可。这通常意味着使表示一个或多个通信节点的能耗的模型被负责将总计能耗最小化的节点知道。但是,优选地,该控制系统在发射器中实现,或在接收器中实现。当控制系统设在发射器中时,该控制系统一般负责确定发射持续时间和功率以及实际的链路适配和功率控制。在此情况中,发射器优选地获取有关接收器的能耗的信息,并通常还在开始最小化之前获取有关通信特征的信息。

[0023] 本发明可应用于单播和组播链路。在前一种情况中,发射器可用于通过单播链路来与单个接收器通信。在后一种情况中,发射器可用于通过组播链路来与多个接收器通信。

[0024] 当然,本发明一般可应用于其中期望减少发射器与接收器之间的通信的总能耗的任何无线网络。但是,本发明已证明对于电池驱动的短距离通信装置是尤其有用的。这对于传感器网络(通常假定是由具有电池资源有限的小装置组成的自组织网络)、无线个人区域网络(WPAN)和某种程度也对于无线局域网(WLAN)是所关心的问题。相关通信协议的特定示例包括 IEEE 802.11,而且还包括 802.15.3 和 802.15.4。

[0025] 本发明提供如下优点:

[0026] > 改进的链路适配和功率控制策略。

[0027] > 降低了能耗。

[0028] > 由电池资源有限的通信装置组成的自组织网络的操作时间更长且更稳定。

[0029] 当阅读对本发明实施例的描述时,将认识到本发明提供的其他优点。

附图说明

[0030] 结合附图参考下文描述将以最佳方式理解本发明连同本发明的其他目的和优点,其中:

[0031] 图 1A 是发射器通过单播链路与接收器通信的示意图;

[0032] 图 1B 是发射器通过组播链路与多个接收器通信的示意图;

[0033] 图 2 是根据本发明优选实施例用于链路发射参数的控制和适配的示范方法的示意图;

[0034] 图 3 是图示用于发射端和接收端上的总能耗的示范系统模型的示意图;

[0035] 图 4 是图示多种实际的调制和编码方案对信噪比(SNR)的最大吞吐量的示范图形的示意图;

[0036] 图 5 是根据本发明的特定示范实施例用于链路发射参数的控制和适配的示意图;

[0037] 图 6 是图示根据本发明的示范优选实施例的发射器和接收器的相关部分的示意图;以及

[0038] 图 7 是图示根据本发明的示范实施例的作为发射功率的函数的能耗和接收器 SNR 的曲线的示意图。

具体实施方式

[0039] 在所有附图中,相同的引用符号将用于对应的或相似的部件。

[0040] 在许多情况中,例如对于电池驱动的短距离通信装置来说,将通信实体的总能耗降至最小或至少降低其总能耗是所关心的问题。这尤其对于常常被视为由电池资源有限的小装置组成的自组织网络的所说的传感器网络或无线个人区域网络(WPAN)以及某种程度地也对于无线局域网(WLAN)(例如当将 WLAN 与电池有限的 PDA 一起使用时)是所关心的问题。

[0041] 本发明涉及发射器和至少一个接收器之间的无线通信的发射参数的控制和适配。本发明可应用于单播和组播链路。在前一种情况中,因为发射器 TX 可用于在单播链路上与单个接收器 RX 通信,如图 1A 的示意图示。在后一种情况中,发射器 TX 可用于在组播链路上与多个接收器 RX_1 、 RX_2 、...、 RX_n 通信,如图 1B 中示意图示。

[0042] 在此上下文中,本发明的基本原理是,基于给定目标函数关于发射持续时间和/或发射功率的最小化来一起确定发射器的发射持续时间和发射功率。根据本发明,该目标函数表示发射端和接收端上的通信所需的总能耗。

[0043] 参考图 2 的示意图,可以看到在步骤 S1 中,将总能耗关于发射持续时间和/或发射功率最小化,这优选地通过使用有关发射器和接收器的功耗的适合输入和/或通信特征来实现。如步骤 S2 所指示的,作为最小化的直接结果或基于最小化连同其他系数(例如期望的通信质量)来一起确定发射持续时间和发射功率。在步骤 S3 中,基于所确定的发射持续时间和发射功率来执行共同的链路适配和功率控制。

[0044] 与现有技术相比,现有技术仅考虑发射器上的功耗,而本发明同时考虑发射端和

接收端上的能耗。此外,发射功率和发射持续时间是变化的,同时将总能耗降至最小,从而支持共同的链路适配和功率控制。

[0045] 可以将目标能量函数关于发射持续时间和发射功率最小化,其中优化变量可以彼此独立地变化。或者,所考虑的发射参数可以彼此相关,从而当这些参数中第一个参数变化时,另一个参数也变化,但是是第一个参数的函数。

[0046] 系统模型和参数推导

[0047] 为了更好地理解本发明,参考能耗的示范系统模型来描述本发明会是有用的。为了简化,假定通信系统是优选地为非时隙式(non-slotted)的速率可控系统(例如 IEEE 802.11)。应该理解尽管如此,但是本发明并不局限于此。例如,本发明可对于固定资源大小的系统也是有用的。例如本发明可以用于找到使用时隙式信道访问的通信系统(例如时隙式系统)的逼近最优解。然后,将节点传输的持续时间(正如将见到的)取舍为最接近的时隙数。因此,潜在地对每个分组传输使用多个时隙。

[0048] 本发明的关键点在于,支持数据分组的灵活发射持续时间。这与许多现有技术的路由选择解决方案(例如最小功率路由选择)形成对比,在现有技术的路由选择解决方案中,在沿路由的所有链路上将发射持续时间保持固定。

[0049] 图3是图示发射端和接收端上的总能耗的示范系统模型的示意图。这里断言一个简单的模型,其中基于通信期间的发射功率、发射持续时间以及发射端和接收端上的与辐射无关的消耗功率来定义总或全部能耗。

[0050] 如图3所示,可以例如将节点对(即单播的情况)之间的通信的总能耗定义为与辐射无关的发射器能耗加发射相关的辐射和消耗功率(“发射的能量”)加与辐射无关的接收器能耗。假定发射持续时间 T 与数据速率 R 成反比,其中可以通过更改调制和编码方案来调整数据速率 R (链路适配)。根据基本物理定律 $E=P \cdot T$,“发射的能量”与发射功率 P 和发射持续时间 T 直接相关。与辐射无关的消耗功率优选地分别与发射和接收时基于硬件的处理相关,并且通常可以估算为常数。用于发射(功率放大器(PA)相关的功率除外)和用于接收的恒定功率假设是非常好的逼近,因为(固定的)本地振荡器功率通常大于例如基带处理和解码的任务所需的信号处理功率。

[0051] 在本上下文中,总能耗通常包括按如下公式定义的能量项:

[0052]

$$E_{\text{Comm}} = (aP + P_0) \cdot T, \quad (1)$$

[0053] 其中 a 是用于反映发射器处的功率放大器效率的系数, P 是可变发射功率, P_0 是源于接收器和发射器处的辐射无关的功耗的常数项, T 是可变的发射持续时间。

[0054] 一般可以将速率(或吞吐量)表示为函数 $f(\Gamma, P)$, 其中 Γ 表示本地链路特征。然后可以基于函数 $f(\Gamma, P)$ 来表示发射持续时间。例如,发射持续时间 T 可以按如下公式确定:

[0055]

$$T = \frac{L}{B \cdot f(\Gamma, P)} \quad (2)$$

[0056] 其中 L 是分组中的位的数量,以及 B 是链路带宽。

[0057] 在使用香农速率的特定示例中,发射持续时间可以定义为:

[0058]

$$T = \left(\frac{L}{B \lg_2(1 + \Gamma P)} \right) \quad (3)$$

[0059] 在示范优选实施例中,可以将一对通信节点(单播)的能耗(每个位)基于香农速率书写为:

[0060]

$$\begin{aligned} E_{\text{Cons}} &= (aP + P_0) \cdot (T + T_0) \\ &= (aP + P_0) \left(\frac{L}{B \lg_2(1 + \Gamma P)} + T_0 \right) \\ &= P_0 T_0 (aP_0^{-1} P + 1) \left(\frac{LB^{-1} T_0^{-1}}{\lg_2(1 + \Gamma P)} + 1 \right) \end{aligned} \quad (4)$$

[0061] 其中T是每个位的可变发射持续时间, T_0 是任何固定的时间(例如因无法速率适配的开销所致的时间), Γ 是路径增益G对噪声功率W的比率(注意还可以将干扰添加到噪声项中),P是可变发射功率, P_0 是源于在接收器和发射器未处于待机时所产生的接收器和发射器“静态”(基于硬件的、非辐射)功耗的常数项 $P_0 = P_0^{(TX)} + P_0^{(RX)}$ 。项a用于反映功率放大器效率,即因为比辐射消耗更多功率, $a > 1$ 。

[0062] 因为不仅考虑与发射功率相关的能耗,以及还将发射端和接收端上的能耗纳入考虑,所以能耗(4)具有不同的最小值,并且因此可将能耗关于公式(4)中的发射功率变量P和/或发射持续时间变量T最小化。正如前文提到的,可以相对于发射持续时间和发射功率将目标能量函数最小化,其中最优化变量可以彼此独立地变化。或者,可以将考虑的发射参数耦合,以使这些参数彼此相关。在后一种情况中,将能耗关于功率变量降至最小,然后将发射持续时间确定为最优发射功率的函数,因为使该持续时间设为与功率相关。同样地,可以将能耗关于持续时间变量最小化,然后将发射功率确定为最优发射持续时间的函数。

[0063] 在下文中,我们将主要描述将能量函数关于发射功率变量P最小化,并将发射持续时间确定为 Γ 和P的函数的情况。

[0064] 目标能量函数(4)是非线性的,但是可以容易地离线方式预先计算最优发射功率(并因此计算持续时间/速率)。知道如下参数: Γ 、 aP_0^{-1} 和 $LB^{-1}T_0^{-1}$ 以产生二维表以便用于在线查询就足够了。为了简化,以及在大多数情况中合理假设分组包含大量数据,可以假定 $T_0 = 0$ 。如果是这样的,则足以知道 Γ 和比率 aP_0^{-1} 。

[0065] 在更普遍的情况中,可以基于例如下面的通用公式来确定编码和调制方案(即速率):

[0066]

$$\hat{r} = \arg \min_{r_i \in R} f_r(LB^{-1}T_0^{-1}, aP_0^{-1}, \Gamma, r_i), \quad (5)$$

[0067] 其中R是一组由调制和编码方案给出的允许速率, r_i 是调制和编码方案i给出的

速率。这样功率为：

[0068]

$$\hat{P} = \arg \min f_p \left(LB^{-1}T_0^{-1}, aP_0^{-1}, \Gamma, P \right), \quad (6)$$

[0069] 它必须从其定义范围中选择。

[0070] 在发射持续时间取为时隙的整数形式的情况中，与假定任意持续时间的发射的上文示例相比，需要对发射持续时间进行四舍五入。一种可能是四舍五入为支持连续情况中确定的发射持续时间的最接近最大时隙数。在如此执行时，可以调整发射功率以将能量花费降至最小，同时确保链路提供期望的速率。注意，为了确定时隙的数量，需要知道分组长度 L 和时隙持续时间 T_s 。

[0071] 注意，功率还可以仅允许离散值，这样在实际中可以在离散的空间来搜索时隙数量和功率电平。

[0072] 虽然上文使用了香农界限，但是在实际中，还可以使用一组不同的调制和编码方案。这还可以将四舍五入过程纳入考虑。

[0073] 上面的系统模型和公式易于扩展到组播情况，包括所有考虑的接收器的能耗。例如，在 N 数量个接收器遇到不同的路径增益与噪声功率比的情况中，可以将上面公式中的 Γ 确定为 $\min(\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M)$ 。

[0074] 还可以将接收器 / 发射器的能耗的更详细特征纳入考虑。例如，可能期望提供关于数据速率的更详细的能耗模型，因为功耗可能与调制和编码方案相关。与更高速率对应的调制和编码方案 (MCS) 可能比与较低速率对应的 MCS 消耗更多功率，因为更高速率意味着需要以更快的步调来处理信息。

[0075] 在参考文献 [2] 中，假设考虑在单独链路上与中心节点通信的两个用户，并且每个链路具有给定的期望数据速率。然后通过控制分配给每个用户的相对信道利用的量尽力将合计干扰能量 (来自两个用户) 降至最小。在发现最优利用系数时，将由利用系数、给定的速率和传播状况所给定的功率分配给用户。相比之下，本发明考虑将与接收器和发射器相关的能耗降至最小，而仅考虑发射器端 (这样仅针对发射的能量)。而且，与 [2] 相比，相对信道利用不是本发明中的参数。

[0076] 结合实际调制和编码方案的最优化

[0077] 对于无法将实际的速率调制为小于香农速率的常数系数的情况，可以利用用于不同调制和编码方案 (MCS) 的逆向吞吐量性能曲线 (甚至能将重发影响纳入考虑) 以取代香农速率。假定将所有 MCS 的最大速率 (或吞吐量) 表示为分段单调递增函数 $f(\Gamma, P)$ 的逼近函数。可以使用下面的表达式来找出最优功率。可以从下面的公式 (7) 得出最优功率，这然后给出最优链路速率 (并因此得到链路模式)。¹

[0078]

$$\frac{d}{dP} \left(\frac{aP_0^{-1}P + 1}{f(\Gamma, P)} \right) = 0 \quad (7)$$

[0079] 1 这里假设 $T_0=0$ ，但是本发明不限于此。

[0080] 如前面所述，这可以基于参数 Γ 和比率 aP_0^{-1} 来预先计算，并存储在二维查询表中。

[0081] 图 4 示出分段单调递增函数 $f(\Gamma, P)$ (点划线) 和一组实际的 (以实线示出) 调制和编码方案 (例如 4 QAM 至 64 QAM 的 Turbo 编码) 最大吞吐量和对重发的统计。

[0082] 参考图 4, 可以认识到在 SNR_{low} 以下, 链路是不可行的, 因为结果将提供无限发射时间。在 SNR_{high} 以上, 发射时间被设置了上限, 比 SNR_{high} 高的 SNR 无需视为能耗增加 (时间是固定的, 但是更高的 SNR 意味着投入不必要的发射功率量)。

[0083] 实现方面

[0084] 实现所考虑的链路发射参数的控制和调整的系统可以设在通信网络的任何节点或子系统中, 但是优选地在发射器或接收器中实现。在下文中, 假定控制系统设在发射器中, 但是本发明不限于此。

[0085] 正如图 5 的示范流程图中所大概图示的, 在步骤 S11 中开始链路参数的控制和适配。接下来, 控制系统收集或接收有关发射器和接收器的功耗特征的信息、例如有关发射器功率放大器效率和发射器和接收器的与辐射无关的功耗, 以及有关通信特征的信息, 如图步骤 S12 所示。这可以是控制系统或多或少可直接获取的先有信息。例如, 控制系统可以具有有关发射器和接收器的功耗的先有信息, 并可能还具有有关通信特征的先有信息 (例如有关通信质量的历史或假定值)。如果控制系统设在发射器中, 则可以假定控制系统可访问有关发射器的功耗的必要信息。

[0086] 如果发射器缺少有关接收器的功耗或有关通信质量的任何信息, 则它通过例如轮询或接收推送的有关接收器的功耗 (和潜在的其他相关参数) 的信息来从接收器获取此信息。这可以视为发射器获取的能力信息, 它优选地仅在装置第一次满足时发生一次。当将开始或进行通信时, 发射器优选地连续获取有关该参数的信息, 并知道它自己的功耗 P_0 及系数 a 。

[0087] 如果链路性能是可接受的 (S13, 是), 则无需执行任何功率或链路模式适配。但是, 如果链路性能需要调整 (S13, 否), 则可能需要优化。在步骤 S14 中, 发射器中的控制系统对链路发射参数进行优化, 以便基于相关输入参数将总能耗降至最小。

[0088] 为了保持有关通信特征或链路性能的信息是最新的, 持续测量链路性能特征是有利的, 如可选但是高度优选的步骤 S16 中所示。

[0089] 图 6 是根据本发明示范优选实施例的发射器和接收器的相关部分的示意框图。在发射端上, 示范发射器 100 包括传输队列 110、分组化单元 120、调制和编码单元 130、数模转换器 (DAC) 140、频率转换器 150 和连接到天线系统 170 的功率放大器 (PA) 160, 以及控制系统 180。优选地, 控制系统 180 收集或接收有关发射器和接收器的功耗特征的信息。这可以是对于控制系统或多或少可直接获取的先有信息。例如, 可以假定控制系统能够访问有关发射器功耗的必要信息 (例如, 有关发射器功率放大器效率和发射器的与辐射无关的功耗的信息)。如果发射器缺少有关接收器的功耗或有关通信质量的任何信息, 则它通过例如轮询或接收推送的信息来从接收器端获取此信息。控制系统 180 还可以从分组化单元 120 接收例如有关分组长度 L 的信息的附加信息。控制系统 180 然后基于发射器和接收器的总计能耗的最小化、使用相关输入信息来确定发射持续时间和发射功率。控制系统 180 基于所确定的发射器功率参数值来控制功率放大器的功率电平。控制系统还对用于链路适配的适合调制和编码方案 (MCS) 和 / 或其他信号和协议参数作出决定。将所确定的发射持续时间

参数值转换成数据速率,最后将其映射到适合的调制和编码方案中。

[0090] 在接收端上,接收器 200 包括天线系统 210、频率转换器 220、模数转换器(ADC) 230、解调和解码单元 240、接收缓冲器 250 和信道质量估算器 260 或用于表征通信质量或链路性能的等效模块。

[0091] 自然,正如本领域技术人员理解的,发射器包括用于接收信息的常规电路,以及接收器包括用于发送信息的常规电路。出于简化和明了的原因,图 6 中未示出这些部分。

[0092] 或者,控制系统设在接收端。例如,接收台可以控制链路参数,并以信号向发射器通知发射功率和链路速率中的期望改变。以此方式,接收器可以更直接地确保接收质量是满意的。以此方式,接收器优选地已获取发射器的参数 $P_0^{(TX)}$ 和 a 的模型。接收器还可以调整发射功率和链路速率以适于处理错误的分组,并因此优化系统的平均能耗。

[0093] 性能示例

[0094] 为了提供某种性能估算和操作范围的意义,将(2)中的参数假定为:

[0095] ● $a = 4$ 。这是功率放大器的效率的估算值,即假定为 25%。

[0096] ● $P_0 = 2.4 \cdot 10^{(P_{LO}/10)} \text{ mW}$. $P_{LO} = +7 \text{ dBm}$ 是混合器所需的本地振荡器(L0)的功率电平(这里假定为低,因为这是定位的低功率应用)。极端混合器范围最大达 $P_{LO} = +27 \text{ dBm}$ 。包括系数 4 以用于估算 L0 加其他 RF 和基带电路的效率。系数 2 同时考虑发射器和接收器端的 L0。

[0097] ● $\Gamma = G/W$, 其中将路径增益设为 $G = \{-40, -100\} \text{ dB}$, 噪声(和干扰)电平是 $W = kTBN_f$, 其中 $k = 1.38e-23$, $T = 273+25$, $B = 100 \text{ MHz}$ 以及 $N_f = 6\text{dB}$ 。

[0098] ● $T_0 = 0$ 。

[0099] 图 7 是图示根据本发明示范实施例的作为发射功率的函数的能耗和接收器 SNR 的曲线的示意图。作为发射功率的函数绘制能耗以及所产生的接收器 SNR。注意,对于高增益($G = -40 \text{ dB}$),能耗最小值的范围非常宽。因此,可以首选地使用产生从解调和解码的角度来看更可行的接收器(RX) SNR 的较低发射功率,例如小于 30 dB。

[0100] 虽然这里使用能耗作为性能标准,但是注意,接收器 SNR 在数据速率将是可接受的范围中,即吞吐量性能不受提出的优化方法或度量的严重影响。

[0101] 对路由选择的扩展 - 使用能耗作为链路成本

[0102] 在本发明的另一个方面中,在可自由改变功率和发射持续时间(的情况下),还扩展到多跳,其中使用能耗作为链路度量。

[0103] 也可以使用每个链路上发射器和接收器的最小能耗作为多跳网络的链路成本。例如,可以将新链路成本度量与最短路径算法和协议(例如 Dijkstra 和 Bellman-Ford 算法)一起使用来找到提供最少能耗的路由。

[0104] 本发明的此方面一般可应用于任何路由选择协议,而与实现无关,包括分布式和集中式路由选择算法、逐跳路由选择以及源路由选择、链路状态路由选择和距离矢量路由选择(有时也称为基于 Bellman-Ford 算法的路由选择)、主动式或反应式路由选择、平面或分层式路由选择、单径和多径路由选择及其变化和它们的组合。

[0105] 在源路由选择中,通常假定源端节点确定整个路由。中间节点然后仅作为存储和转发单元,无意识地将分组转发到往目的地节点的路径上的下一个节点。

[0106] 在逐跳路由选择中,每个节点基本确定并维护一个路由选择表,该表具有多个目的地的每个目的地的信息、优选的下一跳节点的信息。当节点接收到分组时,它基于有关分组的目的地信息将分组转发到下一跳节点。转发过程逐个节点地继续进行,直到分组到达目的地为止。

[0107] 网络节点通过传输多种路由选择信息消息来传递路由选择信息并维护它们的路由选择表。路由选择信息自然根据所使用的具体路由选择方案来变化。

[0108] 逐跳路由选择方案通常分类成两个主要类,即链路状态和距离矢量算法。链路状态算法一般将路由选择信息注满所有节点(但是也存在仅注满网络的一部分的解决方案),但是每个节点仅发送描述它自己链路的状态的信息。在另一方面,距离矢量算法基于仅在相邻节点之间交换路由选择成本信息。

[0109] 确定并更新路由选择表所采用的方式可能对于不同路由选择方案是不同的。但是,一个共同的目标通常是找到在某种意义上是最优的路径。

[0110] 一种经典方法是将所说的最短路径多跳树跨源节点与目的地节点之间,其中每个链路由德尔塔成本来表征,每个节点被赋予沿所确定的最短路径到达目的地的累计成本。应该明确的是,表达“最短路径”通常对应于最小成本路径,它强调该路径或路由是提供相对于某个具体成本度量的最小成本的路径。

[0111] 下文将使用 Bellman-Ford 最短路径算法作为最短路径算法的一个示例,当然对于该主题也可以使用 Dijkstra 算法或任何其他路由选择算法。Bellman-Ford 算法在有线网络(例如因特网)中已经起到中心角色的作用,但是在无线多跳网络中也具有重要的功能。在常见优选的实现中,Bellman-Ford 算法基于相邻节点之间的路由选择成本信息的交换来以分布式和“非协调”方式提供最短路径确定,并确保在有限时间周期内收敛。

[0112] 对于 Bellman Ford 算法,因此可以通过分布式 Bellman Ford 公式来确定节点 v_i 至一组给定目的地中的每个目的地 d 的成本 C_i :

[0113]

$$C_i^{(d)} = \min_{v_j \in N_i} \{ \Delta C_{ij} + C_j^{(d)} \}, \quad (8)$$

[0114] 其中 $v_j \in N_i$ 是属于节点 v_i 的相邻节点的相邻节点索引, C_j 是相邻节点 v_j 到达目的地 d 的成本, ΔC_{ij} 是从节点 v_i 到 v_j 的成本(即跳的成本或链路成本)。

[0115] 可以将迭代次数限于整数,从而对跳的数量设置上限,例如两个跳的最大值。

[0116] 如上所述,Bellman-Ford 算法易于以分布式方式来实现。多跳网络中的源与目的地之间的多跳树是基于网络中分布的路由选择成本信息来构建和定义的。实际中,相邻节点交换路由选择列表。每个路由选择列表包含多个项,其中每个项指定目的地节点、从相应节点到目的地的路由选择成本以及下一跳节点的指示。路由选择列表通常在分组中发送,有时表示为 Hello 分组。

[0117] 接收路由选择列表的节点检查任何项是否提供比这些节点自己的列表所指示的更优化的路由。通常,将时间戳或序列号一起包括在项中,以确保新成本信息不是过时的状态信息。

[0118] 为了降低分布式方法的开销,限制路由选择成本信息在网络上传播也是常见的实践。例如,可以允许最大数量的跳,仅某个区域内的节点或仅一个基站(BS)的控制下的节

点。

[0119] 本发明的此方面的一个基本原理在于,基于给定目标函数相对于所述发射器的发射持续时间和发射功率的至少其中之一的最小化来确定发射器和至少一个接收器之间的无线链路的链路成本,该给定目标函数表示发射端和接收端上用于所述链路上的通信的总能耗。其他相关无线链路的链路成本以一种方式或另一种方式来确定,优选地以基于每个考虑的链路上的通信的总能耗的最小化的相同方式来确定。然后将所确定的链路成本信息与用于路线确定的附加路由成本信息一起使用(可以根据所用的路由确定协议而变化),从而确定了用于在网络中的不同网络节点之间路由信息的功耗最优路径。在转发过程中,沿路由确定期间所确定的路径经由一组适合的中间节点将分组从源转发到目的地。换言之,至少部分地基于至少一个无线链路的每个链路最小能耗的来执行路由确定。然后可以根据路由确定将数据从给定的节点转发到往给定目的地节点的路径上的至少一个相邻节点。

[0120] 上文描述的实施例仅是作为示例来给出的,应该理解本发明不限于此。保留本文公开并要求权利的基本底层原理的进一步修改、更改和改进均在本发明范围内。

[0121] 参考文献

[0122] [1] Laura Feeny 和 Martin Nilsson 所著的“自组织联网环境中查询无线网络接口的能耗”(Laura Feeny and Martin Nilsson, "Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment", Proceedings INFOCOM 2001, Anchorage, Alaska, <http://www.cs.cornell.edu/People/egs/615/feeney.pdf>)

[0123] [2] A. Simonsson, M. Almgren, M. Thurfjell 所著的“用于 EGPRS 的功率控制和调度概念”(A. Simonsson, M. Almgren, M. Thurfjell, "A power control and scheduling concept for EGPRS", in Proceedings of Vehicular Technology Conference, 2000)。

单播



图 1A

组播

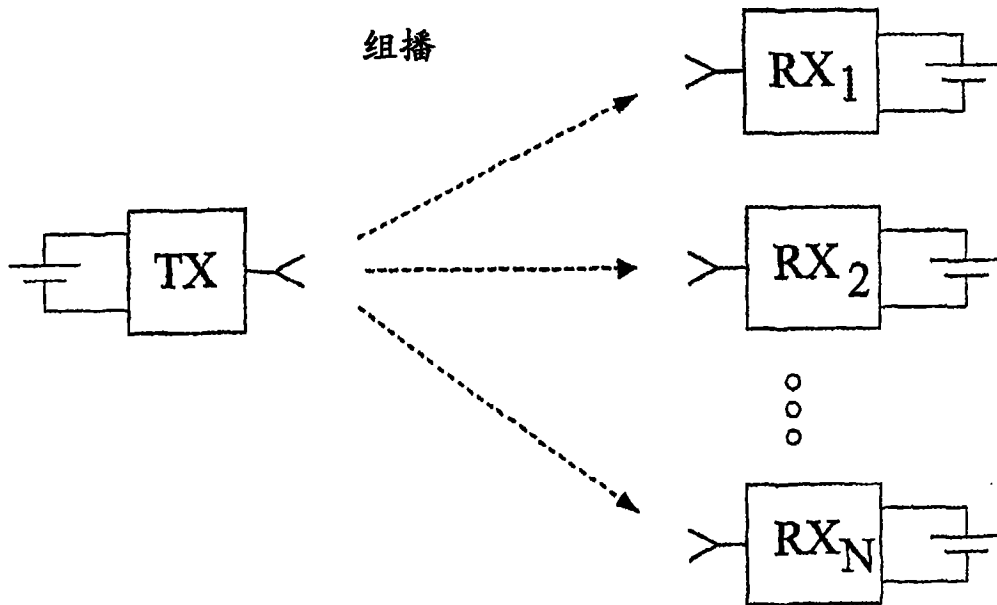


图 1B

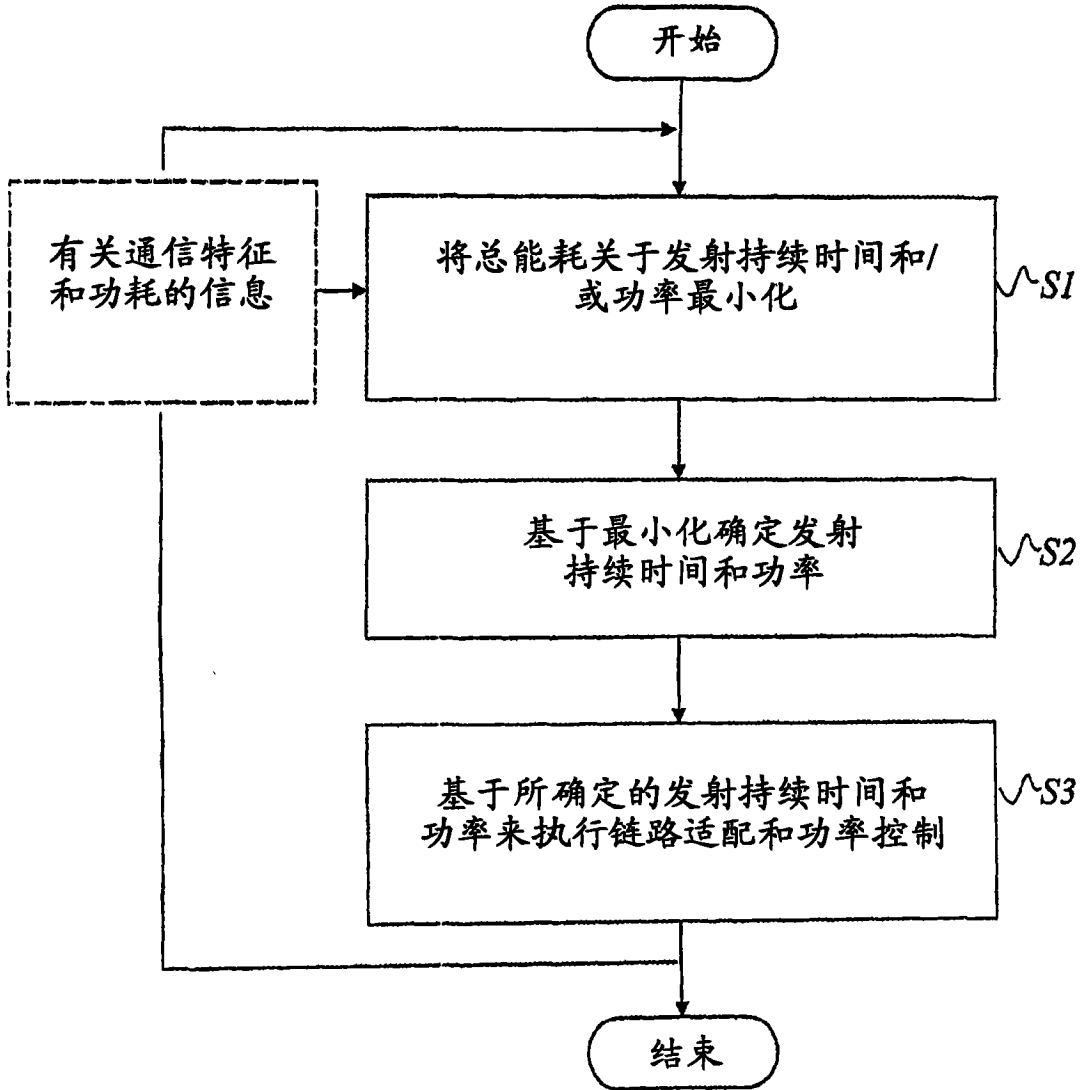


图 2

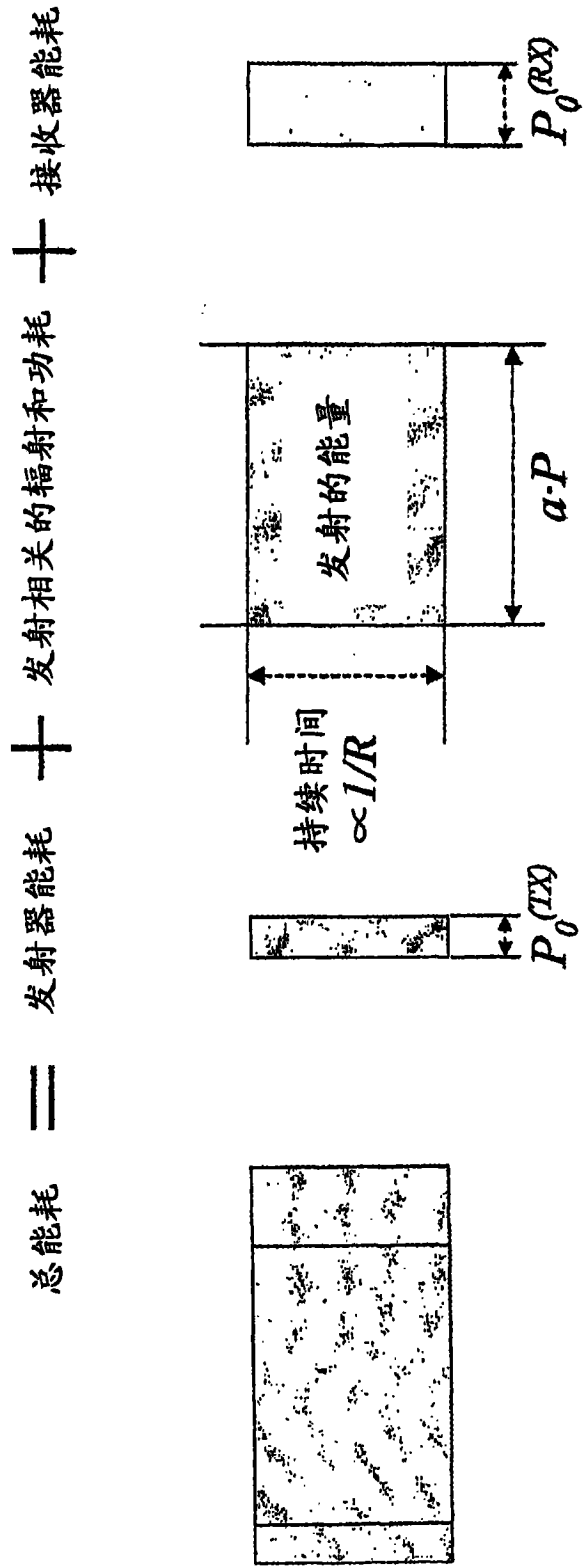


图 3

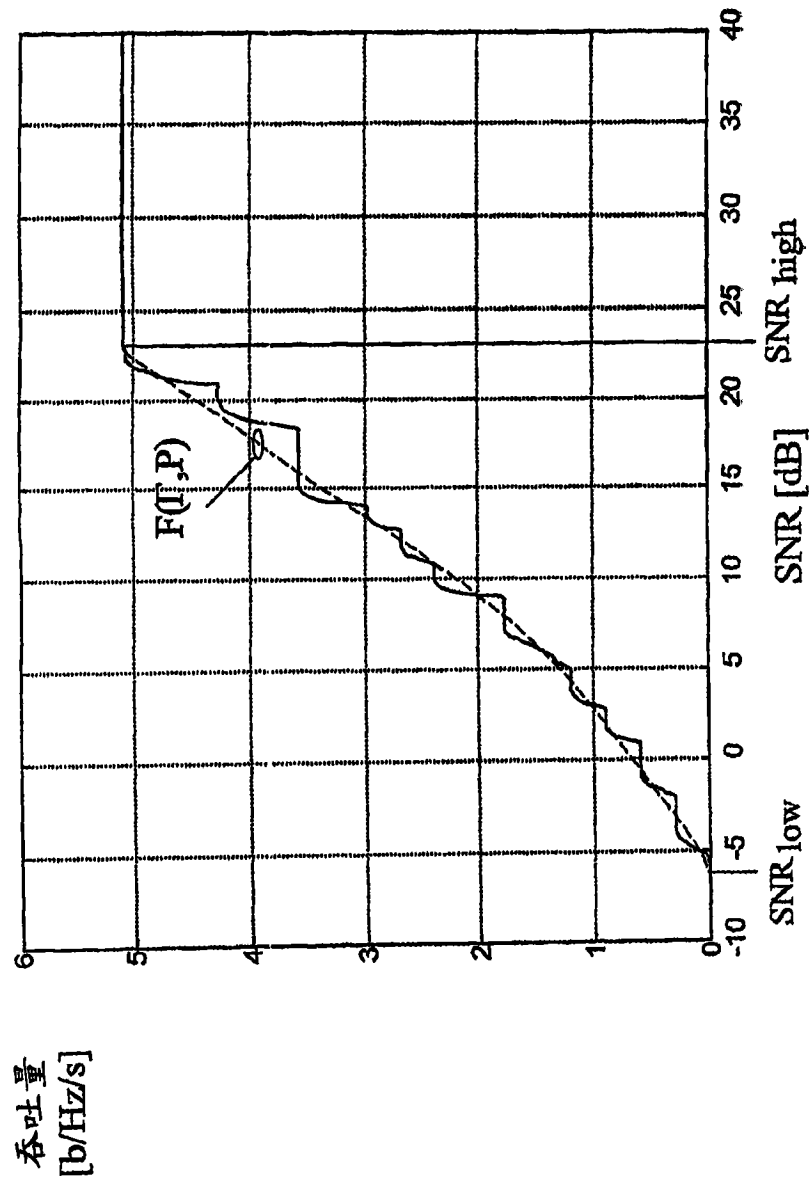


图 4

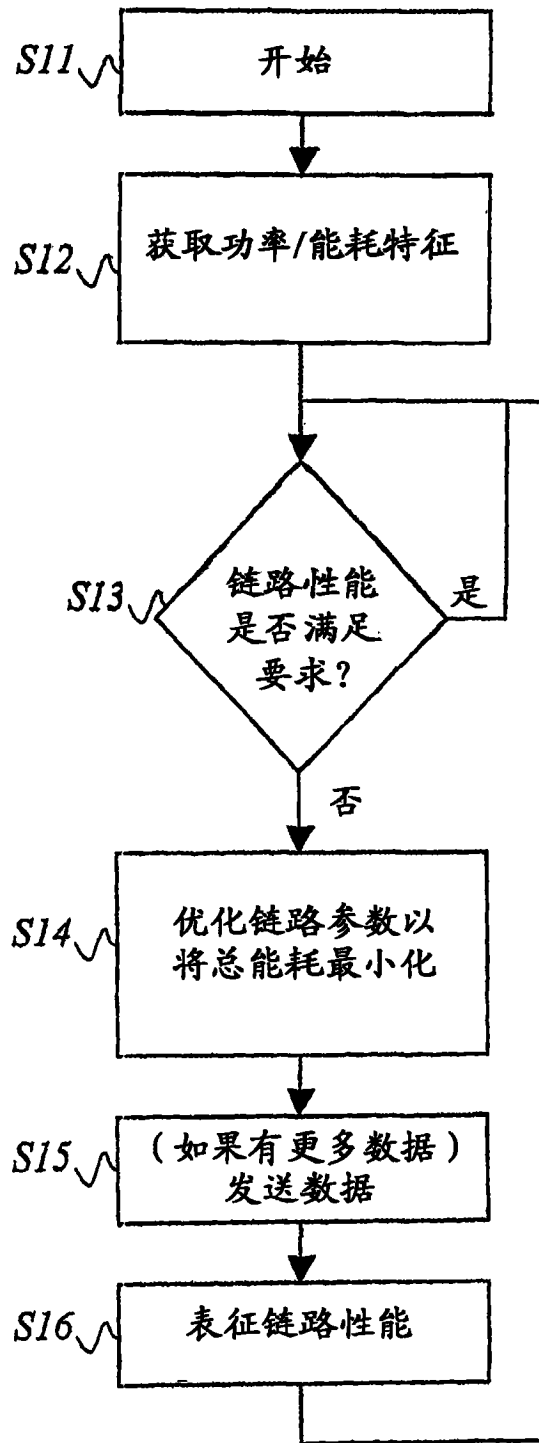


图 5

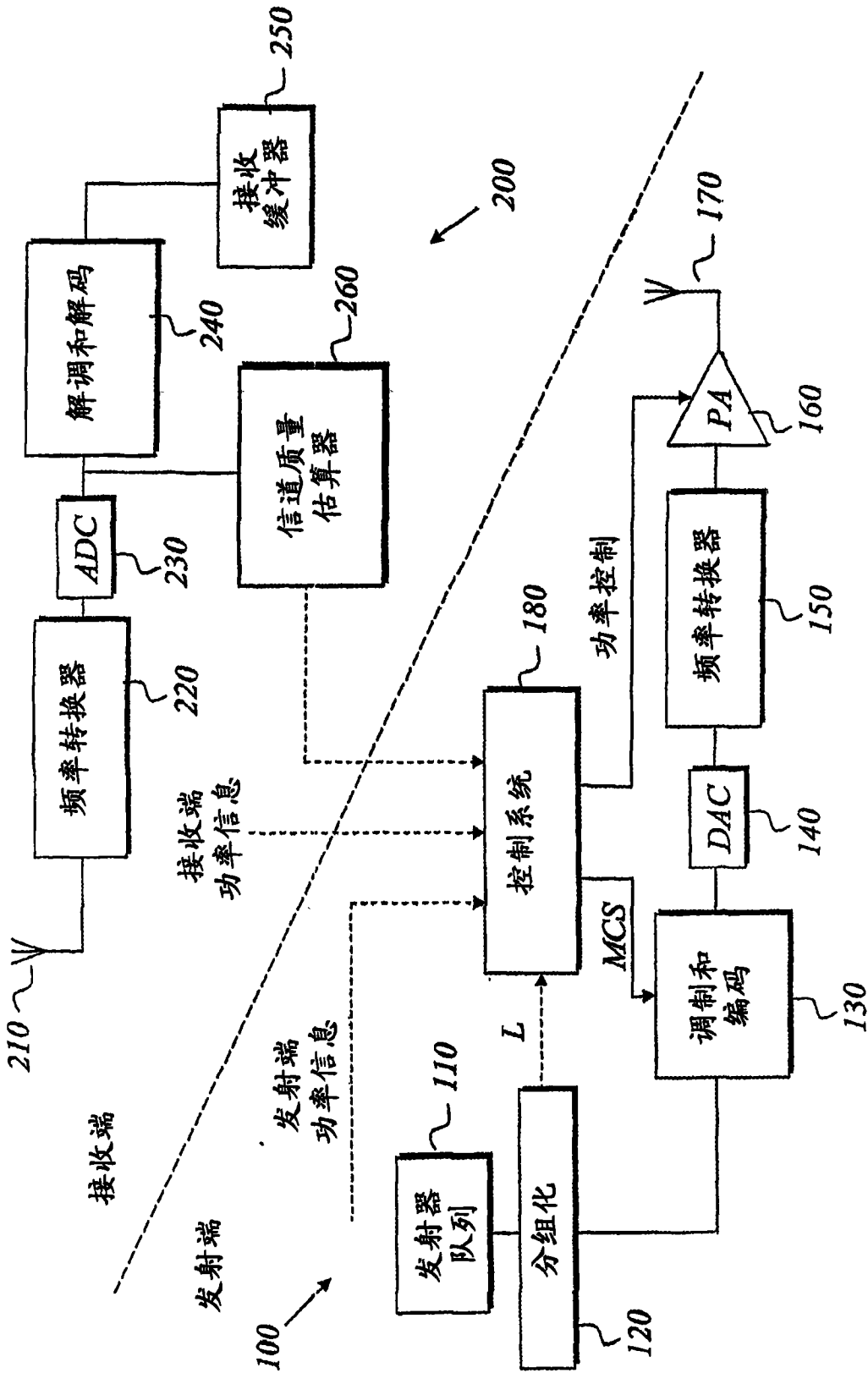


图 6

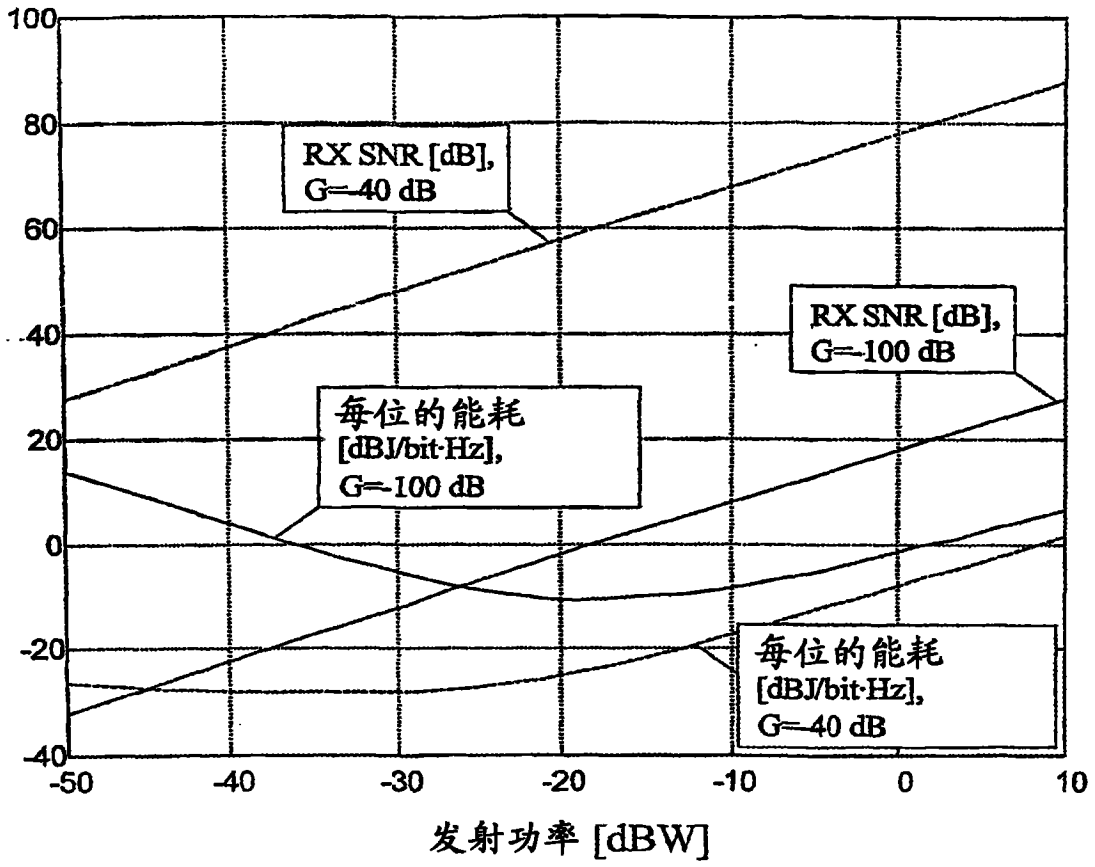


图 7