



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102379136 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 14

(21) 申请号 201080015379. 3

代理人 吕晓章

(22) 申请日 2010. 03. 18

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H04W 24/02 (2006. 01)

09305284. 3 2009. 04. 03 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 09. 30

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2010/053577 2010. 03. 18

(87) PCT申请的公布数据

W02010/112349 EN 2010. 10. 07

(71) 申请人 汤姆森特许公司

地址 法国伊西莱穆利诺

(72) 发明人 T. 萨洛尼迪斯 G. 索蒂罗鲍罗斯

R. 古尔林 R. 格温丹

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

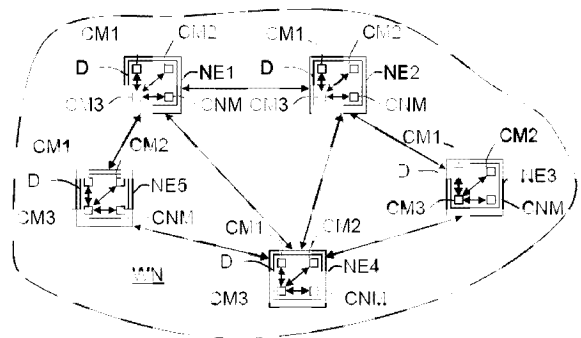
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 1 页

(54) 发明名称

用于随机接入网络的可行速率区的在线计算的方法和装置

(57) 摘要

一种用于在网络 (WN) 运转过程中计算网络 (WN) 中的可行速率区的方法, 所述网络 (WN) 采用随机接入 MAC 协议并且包括节点 (NE1-NE5), 节点之间具有链路, 所述可行速率区是指可以由所述网络 (WN) 同时支持的速率集。所述方法包括步骤: i) 对于每个链路确定主极值点, 所述主极值点对应于当此链路以最大输入速率单独传输时的最大输出速率; 并且 ii) 通过将所述主极值点与选择的干扰模型相结合确定从属极值点, 所述主极值点和从属极值点限定可用速率区的边界。



1. 一种用于在网络 (WN) 运转过程中计算网络 (WN) 中的可行速率区的方法, 所述网络 (WN) 采用随机接入 MAC 协议并且包括节点 (NE_i), 节点之间具有链路, 所述可行速率区是指可以由所述网络 (WN) 同时支持的速率集, 其特征在于, 包括步骤:

i) 对于每个链路确定主极值点, 所述主极值点对应于当此链路以最大输入速率单独传输时的最大输出速率; 并且

ii) 通过将所述主极值点与选择的干扰模型相结合确定从属极值点, 所述主极值点和从属极值点限定可用速率区的边界。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在步骤 i) 中在线确定所述主极值点。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 在步骤 i) 中链路的每个主极值点对应于当此链路以最大输入速率单独传输时获得的最大输出速率。

4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 首先通过网络层广播探测在线测量介质访问控制 (MAC) 协议具有的丢包率, 然后利用信道损耗率估计器来过滤出测量的丢包率中由交叉流量导致的冲突以产生信道损耗率, 然后利用容量表示法将最大输出速率与信道损耗率相关。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的方法, 其特征在于, 所述最大输出速率是最大用户数据报协议输出速率。

6. 根据权利要求 1 至 5 中任一所述的方法, 其特征在于, 在步骤 ii) 中, 通过将主极值点与选择的干扰模型结合来确定第二极值点, 其中假设 a) 成对干扰, 其中一对链路两者之间的每个干扰被视为独立于其他链路对之间的干扰, 和 b) 二元干扰, 其中一对链路两者之间要么以互斥方式干扰要么不干扰。

7. 根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 在步骤 ii) 中, 创建所述网络 (WN) 的冲突图, 其中每个顶点对应于单向链路并且一对顶点之间的每个边对应于与此对顶点对应的一对单向链路之间的干扰, 并且从所述冲突图的最大独立顶点集确定所述从属极值点。

8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 在所述冲突图上通过独立集枚举算法或者在所述冲突图的补集上通过最大团枚举算法确定每个最大独立顶点集。

9. 根据权利要求 6 至 8 中任一所述的方法, 其特征在于, 所述选择的干扰模型是二元链路干扰比干扰模型。

10. 一种用于在网络 (WN) 运转过程中计算网络 (WN) 中的可行速率区的设备 (D), 所述网络 (WN) 采用随机接入 MAC 协议并且包括节点 (NE_i), 节点之间具有链路, 所述可行速率区是指可以由所述网络 (WN) 同时支持的速率集, 其特征在于, 所述设备包括:

i) 第一计算装置 (CM1), 用于对于每个链路确定主极值点, 所述主极值点对应于当此链路以最大输入速率单独传输时的最大输出速率; 和

ii) 第二计算装置 (CM2), 用于通过将所述主极值点与选择的干扰模型相结合确定从属极值点, 所述主极值点和从属极值点限定可用速率区的边界。

11. 根据权利要求 10 所述的设备, 其特征在于, 还包括第三计算装置 (CM3), 用于由所述节点 (NE_i) 提供的信道损耗率、节点 (NE_i) 之间的相邻关系、路由矩阵以及主极值点和从属极值点计算用于所述网络 (WN) 的目标输出速率集。

12. 根据权利要求 11 所述的设备, 其特征在于, 所述第三计算装置 (CM3) 用于在基于路由矩阵以及主极值点和从属极值点的约束下最优化所述目标输出速率的效用函数计算所

述网络目标输出速率,然后从所述计算的集合中选择对于相关节点 (NE_i) 是源的输出速率的子集,并且产生对应于所选子集的所述输出速率的最优输入速率。

13. 根据权利要求 12 所述的设备,其特征在于,还包括控制装置 (CNM),用于根据所述产生的最优输入速率限制所述相关节点 (NE_i) 的流的速率。

用于随机接入网络的可行速率区的在线计算的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明涉及随机接入网络 (random access network), 具体而言, 涉及这种网络的可行速率区 (feasible rates regions) 的计算。

[0002] 本文中“随机接入网络”的一个定义是, 该网络中的节点基于随机访问 (或“基于竞争”) MAC (“介质访问控制”) 协议, 例如 ALOHA 或 CSMA (载波侦听多路访问)。因此其可以是固定 (通信) 网络或无线 (通信) 网络, 比较典型的是 IEEE802.11 网络 (即 WLAN (无线局域网), 例如 WiFi 类型)。

背景技术

[0003] 在下文中:

[0004] - 链路的“输出速率”等同于该链路的“传输率 (throughput)”;

[0005] - 链路的“最大输出速率”等同于该链路的“最大传输率”或“容量”;

[0006] - “以积压 (backlogged) 模式传输”等同于“以最大输入速率传输”。

[0007] 本领域普通技术人员可以理解, 部署在世界各个城市、乡村的上述某些网络 (典型的是 802.11 多跳无线网状网络) 可以实现低成本的互联网接入和新出现的社区应用。

[0008] 随机接入网络具有一些优势, 例如能够仲裁 (arbitrate) 对于无线介质的传输的简单的分散介质访问控制 (MAC) 协议。但是, 随机接入网络还是受限于一些公知的性能问题, 例如缺乏预测性、不公平甚至完全“饥饿态 (starvation)”。这些问题是由于随机接入 MAC 协议 (典型的是 IEEE802.11 协议) 和协议栈的较高层的较差的协同性造成的。已经提出了一些解决方案, 但是大部分方案都需要修改 MAC 协议或更高层传统协议, 例如 TCP。

[0009] 上述这些方案可以分为三类: 传输率预测方案、容量估计方案和协议方案。下面将重点针对 IEEE802.11 方案进行说明, 但如上所述, 本发明并不局限于这种类型的网络。

[0010] 针对 802.11 随机访问多跳网络中的传输率预测已经提出了数个模型。大多数的模型基于在 G. Bianchi 在 2000 年 3 月在 IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(3):535-547 上发表的文件“Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function”中描述的第一方案和 R. Boorstyn 等在 1987 年 3 月在 IEEE Transactions on Communications, 35(3):267-274 上发表的“Throughput Analysis in Multi-hop CSMA Packet Radio Networks”中描述的第二方案, 其中第一方案在单跳网络中获取 IEEE802.11 二进制指数回退的效应, 而第二方案在多跳网络中获取载波侦听效应。

[0011] 这些模型在它们用于建模干扰 (纯粹基于几何学或植入实际测量) 和预测能力 (单跳传输率预测或多跳传输率预测) 的精度不同。出于两个原因, 这些模型对于运转的多跳 802.11 网络是不实用的。首先, 许多这些模型不提供传输率的闭式表达 (closed form expression), 因此必须在设定的可行速率区中进行完全搜索以预测最佳多跳传输率。当流的数量增加时这种搜索可能会变得非常昂贵, 除非其可行性以有可能降低的精确性为代价利用非线性约束来表征。第二, 全部现有基于测量的模式需要单独的测量阶段, 其中全部链

路都以特定图案积压地激活（单个节点激活或成对链路激活）。结果，这些模式需要 $O(N^2)$ 测量或者 $O(L^2)$ 测量，并且每个测量通常需要数秒来收集有效的统计数据。在实际应用中，由于需要额外的信令机制以在测量和普通运转之间切换，导致了较长网状网络停机时间并且使得网络运转复杂化。

[0012] 最近，在 N. Ahmed 等 2008 年 12 月于西班牙马德里的 Proc. ACM CoNEXT 发表的文件“Online Estimation of RF Interference”中提出一种新技术，能够在客户-AP WLAN 中极大地降低这些测量的时间，但是这种新技术无法应用于多跳无线网状网络并且需要进行彻底的固件修改。

发明内容

[0013] 本发明的目的是提供一种方法及相关设备，能够确定（或计算）随机接入网络（即利用随机接入 MAC 协议）中的可行速率，并且有可能通过速率控制优化这些随机接入网络的性能。该方法不需要修改传统协议并且可以利用广泛应用的流量整形器和速率限制器直接实施（或并入）在目前的部署中。

[0014] 具体而言，本发明提供一种方法，用于在线计算网络中的可行速率区，所述网络利用随机接入 MAC 协议并且包括节点，节点之间具有链路。所述可行速率区的在线计算能够进行诸如准入控制 (admission control) 或网络最优化等应用。

[0015] 此处“可行速率区”是指在给定时间可以由随机接入网络同时支持的速率集。可行速率区的更为正式的定义为：从只由固有链路丢包率 (p_1) 按比例缩小的输入速率得出的全部可获得的输出速率（或传输率）集。所述固有链路丢包率是在所述链路以积压模式（即以最大输入速率）单独传输时进行测量或估计的。在固有链路丢包率 p_1 为零的特定情况下，所述可行速率区是等于对应的输入速率的全部输出速率（或传输率）集。

[0016] 该方法包括下述步骤：

[0017] i) 对于每个链路确定主极值点 (primary extreme point)，该主极值点对应于当此链路以最大输入速率（即以积压模式）单独传输时的最大输出速率（或最大传输率，或者是容量）；并且

[0018] ii) 通过将主极值点与选择的干扰模型 (interference model) 相结合确定从属极值点 (secondary extreme point)，

[0019] 这些主极值点和从属极值点限定可用速率区的边界。

[0020] 根据本发明的方法可以包括单独或一起考虑的另外的特征，即：

[0021] 在步骤 i)，可以在线确定所述主极值点；

[0022] 在步骤 i)，链路的每个主极值点可以对应于当此链路以最大输入速率（即以积压模式）单独传输时获得的最大输出速率；

[0023] 为了计算最大输出速率（或容量），可以首先通过网络层广播探测 (broadcast probe) 在线测量介质访问控制 (MAC) 协议经受的丢包率，然后利用信道损耗率 (channel loss rate) 估计器来过滤出测量的丢包率中由交叉流量 (cross traffic) 导致的冲突以产生信道损耗率，然后利用容量表示法将最大输出速率与信道损耗率相关；

[0024] 所述最大输出速率可以是最大用户数据报协议 (UDP) 输出速率。

[0025] 在步骤 ii) 通过将主极值点与选择的干扰模型结合来确定第二极值点，其中假设

a) 成对干扰,其中一对链路两者之间的每个干扰被视为独立于其他链路对之间的干扰,和
b) 二元干扰,其中一对链路两者之间要么以互斥方式干扰要么不干扰。

[0026] 在步骤 ii) 可以创建所述网络的冲突图 (conflict graph),其中每个顶点对应于单向链路并且一对顶点之间的每个边对应于与此对顶点对应的一对单向链路之间的干扰,并且可以从所述冲突图的最大独立顶点集确定所述从属极值点;

[0027] 可以在所述冲突图上通过独立集枚举算法 (independent set enumeration algorithm) 或者在所述冲突图的补集上通过最大团枚举算法 (maximal clique enumeration algorithm) 确定每个最大独立顶点集。

[0028] 所述选择的干扰模型可以是二元 LIR (Link Interference Ratio, 链路干扰比) 干扰模型。

[0029] 所述发明还提供了一种设备,用于在线计算网络中的可行速率区,所述网络利用随机接入 MAC 协议并且包括节点,节点之间具有链路,所述装置包括:

[0030] 第一计算装置,对于每个链路确定主极值点,该主极值点对应于当此链路以最大输入速率 (即以积压模式) 单独传输时的最大输出速率 (或容量);并且

[0031] 第二计算装置,用于通过将这些主极值点与选择的干扰模型相结合确定从属极值点,

[0032] 这些主极值点和从属极值点限定可用速率区的边界。

[0033] 所述设备还包括第三计算装置,用于由所述节点提供的信道损耗率、节点之间的相邻关系、路由矩阵以及主极值点和从属极值点计算用于所述网络的目标输出速率集。

[0034] 所述第三计算装置用于在基于路由矩阵以及主极值点和从属极值点的约束下最优化所述目标输出速率的效用函数计算网络目标输出速率,然后从此计算的集合中选择对于相关节点是源的输出速率的子集,并且产生对应于所选子集的输出速率的最优输入速率。

[0035] 所述设备还包括控制装置,用于根据产生的最优输入速率限制相关节点的流的速率。

附图说明

[0036] 通过下文结合附图对本发明的具体实施方式进行的详细说明,本发明的其他特征和优点将更为明显,其中:

[0037] 图 1 是配备有根据本发明实施方式的设备的包括 5 个网络设备 (或节点) 的网络的示意性功能图;

[0038] 图 2 是可行速率区的实例的示意图。

具体实施方式

[0039] 附图不仅用于使得对发明的描述变得完整,需要时还有助于限定本发明。

[0040] 本发明的目的是提供一种方法及相关设备 (D),能够在线计算随机接入网络 (即利用随机接入 MAC 协议的网络) 中的可行速率。

[0041] 在下文中将以无线类型的网络 (WN) 为例进行说明,更具体而言是 IEEE802.11 网络 (例如 WiFi 网络)。但是本发明不局限于此种类型的网络。实际上本发明可以用于包括

采用随机接入 MAC 协议的节点（或网络设备）的任何类型的网络。因此，本发明所述网络可以是固定网络。

[0042] 并且，在下文中，以多跳类型的无线网络（WN）为例进行说明。因此，如图 1 所示，所述网络包括其间连接（链接）并限定节点的无线路由器或者接入点 NE_i。但是本发明不局限于此种类型的网络。实际上本发明可以用于单跳类型的无线网络，即包括用于对用户（或客户）无线通信设备进行服务并限定节点的基站（或任何等同的无线网络设备）。单跳类型无线网络是多跳类型无线网络的特例。

[0043] 在所述实施例中，节点编码 *i* 从 1 只 5，但是节点 NE_i 的数量可以大于或小于 5。

[0044] 如上所述，本发明提供一种用于在线计算网络 WN 中可行速率区的方法。

[0045] 此处“可行速率区”是指在给定时间可以由随机接入网络同时支持的全部速率的集合。

[0046] 802.11MAC 协议可以被视为函数 *f*，其在时间周期 *T* 将链路输入速率 *x*（表示负载）映射至链路输出速率 *y*（表示传输率）： $y = f^{(T)}(x)$ 。当 *x* 无约束并且节点 NE_i 可以按照标称比例带宽传输时，由于干扰和恶劣信道条件，每个链路的输出速率通常小于其输入速率。这两个因素表现为由缓冲区溢出、MAC 冲突或恶劣无线信道条件造成的 MAC 退避（backoff）和重传延迟或者网络层丢包。

[0047] 基于上述，可行速率区的更为正式的定义为：从只由固有链路丢包率矢量 $p = (p_1, \dots, p_1, \dots, p_L)$ 按比例缩小的受约束输入速率矢量 $x = (x_1, \dots, x_1, \dots, x_L)$ 如下得出的全部输出速率矢量集：对于每个链路 $l = 1, \dots, L$, $y_l = (1-p_l)x_l$ ，所述固有链路丢包率 $p = (p_1, \dots, p_1, \dots, p_L)$ 是类似于所述最大输出速率（或容量）在所述链路以最大输入速率（或以积压模式）单独传输时进行测量或估计的。在固有链路丢包率 p_l 为零的特定情况下，所述可行速率区是等于对应的输入速率的全部输出速率（或传输率）集。

[0048] 需要指出，可行速率区的定义还可以按照上述相同方式延伸至具有固定路由的 *S* 多跳流的速率矢量 $y = (y_1, \dots, y_1, \dots, y_S)$ ，而非 *L* 链路的速率矢量 $y = (y_1, \dots, y_1, \dots, y_L)$ 。惟一的区别是，用于链路的固有链路丢包率由这些流的多跳路由的固有链路丢包率 $p = (p_1, \dots, p_1, \dots, p_S)$ 替代。可以基于路由 *s* 中的链路的测量的信道损耗率估计每个路由 *s* 的丢包率 p_s ，例如通过公式 $p_s = 1 - \prod_{l \in s} (1-p_l)$ 来估计。

[0049] 根据本发明的方法至少可以部分地由根据本发明的至少一个设备 *D* 来实施。

[0050] 如图 1 所示，根据本发明的设备 *D* 可以位于数个（优选为每个）限定网络 WN 的节点的网络设备 NE_i 中。但是设备 *D* 也可以是连接至网络节点 NE_i 的网络设备或元件或者连接至网络 WN 的网络设备，例如管理设备。

[0051] 因此，设备 *D* 可以（至少部分地）由软件模块、或者电路或硬件模块构成，或者由硬件模块和软件模块构成（在这种情况下设备 *D* 还包括使硬件模块与软件模块进行交互工作的软件接口）。

[0052] 当设备 *D* 分布在节点 NE_i 中时，每个节点确定用于此节点 NE_i 的可行速率区。当对于整个网络或者网络的一部分只有一个设备 *D* 时，此中央设备对于全部网络节点 NE_i 或者属于该网络部分的节点确定可行速率区。

[0053] 根据本发明的方法包括两个主要步骤，目的在于确定限定可行速率区的主极值点和从属极值点。

[0054] 所述可行速率区可以用凸多面体 (convex polytope) 进行建模。所述可行速率区可以由 K 个极值点 $c[k] = (c_{k1}, \dots, c_{kL})$ 来表征, 其中 $k = 1$ 至 K , I 表示两个节点 NE_i 之间的链路 ($l = 1$ 到 L)。位于所述多面体内、包括凸包 (convex hull) (或者边界) 的输出速率的任何集合都是可行的。

[0055] 根据本发明, 如下详细所述, 可以将此多面体上的凸包 (或边界) 中的每个点 $c = (c_1, \dots, c_L)$ 确定为限定多面体边界 (或者网络可行速率区的编辑) 的 K 个极值点 $c[k]$ 的线性组合。因此每个 (非极值) 点 $c = (c_1, \dots, c_L)$ 可以由公式 $c = \sum_{k=1}^K \alpha_k c[k]$ 表示, $\sum_{k=1}^K \alpha_k = 1$ 并且 $\alpha_k \geq 0$ 。

[0056] 可用速率区的一个非常简单并且是非限制性的实例示于图 2 中。在此实例中, 链路数 L 等于 2 并且限定可行速率区的边界的极值点的数量等于 4。在此实例中, $c[1] = (c_{11}, 0)$ 、 $c[2] = (0, c_{22})$ 、 $c[3] = (c_{31}, c_{32})$ 以及 $c[4] = (c_{41}, c_{42})$ 是限定可行速率区的边界的四个极值点, 其包括在矩形区 (称为“独立区”), 属于边界的非极值点 $c = (c_1, c_2)$ 是 K 个极值点的线性组合。“分时区 (time sharing region)”是可行速率区的一部分, 其中链路互相干扰但被调度为以互斥方式进行, 因此标称输出速率的和不出单位 ($y_1/c_1 + y_2/c_2 \leq 1$)。根据本发明, 位于由 K 个极值点限定的多面体内的输出速率 $y = (y_1, y_2)$ 都是可行的。

[0057] 需要指出, TDMA 网络或分时 CDMA 网络可以用凸可行速率区来表征, 其中极值点很容易由 SINR 公式来提供。但是, 不清楚这种模型如何可以应用于利用随机访问 MAC 协议的网络, 例如 802.11。与 TDMA 和 CDMA 不同, 在随机接入网络中, 所述可行速率区不一定是凸的并且无法由解析公式得出。根据本发明的方法利用凸逼近 (convex approximation) 来进行在线计算。另外, 将此模型应用于实际的随机接入网络 (本实施例中为 802.11 网络) 需要解决两个问题: (i) 定义足够表征可行速率区的极值点; (ii) 在网络运转过程中以非介入的方式计算这些极值点。

[0058] 所述方法包括的第一主要步骤是 (i) 对于两个网络节点 NE_i 之间的每个链路 I 确定主极值点, 该主极值点对应于当此链路以最大输入速率 (即以积压模式) 单独传输时的最大输出速率。

[0059] 所述第一步骤 (i) 可以通过设备 D 的第一计算装置 CM_1 来执行。如上所述, 可以按照分布式方式执行该步骤, 即在与节点 NE_i 相关联的每个分布式设备上 D 执行, 也可以按照集中方式来执行, 即在网络 WN 的单一中央装置 D 上执行。

[0060] 所述方法的第二步骤 (ii) 通过将这些主极值点与选择的干扰模型相结合确定从属极值点。

[0061] 所述第二主要步骤 (ii) 可以通过设备 D 的第二计算装置 CM_2 来执行。如上所述, 可以按照分布式方式执行该步骤, 即在与节点 NE_i 相关联的每个分布式设备上 D 执行, 也可以按照集中方式来执行, 即在网络 WN 的单一中央装置 D 上执行。

[0062] 确定的主极值点和从属极值点共同限定网络可行速率区的边界。

[0063] 在图 2 示出的可行速率区的非限制性实施例中, $c[1] = (c_{11}, 0)$ 以及 $c[2] = (0, c_{22})$ 是对应于当每个链路单独传输时对应于 (两个) 最大输出速率 (或容量) 的两个主极值点, 而 $c[3] = (c_{31}, c_{32})$ 和 $c[4] = (c_{41}, c_{42})$ 是当两个链路 I 同时传输时获取部分干扰的两个从属极值点。

[0064] 优选地,在网络操作过程中以非介入方式在线确定(或计算)这些主极值点和从属极值点。

[0065] 优选地,链路 I 的每个主极值点对应于当此链路 I 以积压方式单独传输(即以最大输入速率传输)时的最大输出速率(或容量)。

[0066] 虽然此主极值点的定义很简单,但其在线计算却很困难,因为在网络操作过程中链路 I 不会单独或者以积压模式传输。因此,不可能引入在线容量估计过程来计算最大输出速率(或容量)。

[0067] 因为无线链路质量和干扰图案随时间变化,所述在线容量估计过程优选包括测量阶段。例如,此在线容量估计过程可以包括利用容量表示法,将其最大输出速率(或链路最大传输率或容量)与 MAC 协议具有的丢包率相关联。

[0068] 可以利用只导致较低开销的网络层广播探测在线测量丢包率。但是,当干扰出现时,此丢包率既包括信道误差也包括冲突产生的丢包。因此,优选使用将链路的最大输出速率(或者最大传输率或容量)与此链路的信道损耗率相关联的容量表示法。在这种情况下,可以通过网络层广播探测在线测量 MAC 协议具有的丢包率,然后利用信道损耗率估计器在测量的丢包率中过滤出由交叉流量导致的冲突以产生信道损耗率,最后利用将最大输出速率与信道损耗率关联的容量表示法来确定所考虑的链路的最大传输率。

[0069] 需要指出,优选确定最大输出速率(或最大传输率或容量)为最大用户数据报协议(UDP)传输率,因此它能提供更高精确性。在另外的方式中,例如也可以利用最大 TCP 传输率,但是这将导致可行速率区的较差估计精度。

[0070] 例如,可以利用下述公式(1)表示最大 UDP 传输率 T 和链路 I 的信道损耗率 p_1 之间的关系:

$$[0071] \quad T = \frac{P}{t_{idle} + t_{tx}} \quad (1)$$

[0072] 其中 P 是 UDP 有效载荷大小, t_{idle} 和 t_{tx} 分别是平均空闲时间和传输时间,如下逼近:

$$[0073] \quad t_{tx} = \frac{P+H}{(1-p_1^{ETX})T_{nom}}$$

[0074] 其中 H 是 UDP 头大小, T_{nom} 是标称传输率, ETX 等于 $1/(1-p_1)$ 并且是在假设具有概率 p_1 的独立损耗的情况下的 MAC 重传的预期数量。

[0075]

$$t_{idle} = \begin{cases} F(1, [ETX]-1) & \text{如果 } ETX < m \\ (F(1, m-1) + \sigma \frac{([ETX]-m)(W_m-1)}{2}) & \text{否则} \end{cases}$$

[0076] 其中 σ 是 802.11 时隙期间(slot duration), W_0 和 W_m 分别是最小和最大竞争窗口大小, m 是 802.11 回退阶数(backoff stage), 其中竞争窗口大小为最大并等于 W_m 。参数 m 为整数并由 802.11 标准定义。另外, $F(a, b) = \sigma \sum_{i=a}^b \frac{2^i W_0 - 1}{2}$ 是表述任何两个 802.11 回退阶数 a 和 b 之间的总平均回退时间的函数, 其中 $a \leq b$ 。

[0077] 在公式(1)中,所有的量都是提前知道或者根据 p_1 确定。 T_{nom} 可以根据 802.11 MAC 参数、数据包大小和数据率按照 J. Jun 等 2003 年 4 月在 Proc. International Symposium

on Network Computing and Applications(NCA), Cambridge, MA, USA 发表的文件“*Theoretical Maximum Throughput of IEEE802.11 and its Applications*”进行计算。 W_0 、 W_m 和 m 由 802.11 规格书给出。头 H 和包有效载荷 P 也是已知的, ETX 根据 p_1 确定。

[0078] 如上所述,可以通过探测系统测量丢包率 p_1 ,所述系统利用网络层广播探测包。广播包不进行 MAC 重传并且反映了 MAC 协议具有的丢包率。例如,可以用 $[1-(1-p_{DATA})(1-p_{ACK})]$ 计算丢包率 p_1 ,其中 p_{DATA} 和 p_{ACK} 分别是 DATA 和 ACK (“应答”)丢包率。可以在探测窗口上的丢失的 DATA 和 ACK 广播探测部分来测量这些丢包率。可以分别以 DATA 和 ACK 包的数据率和包大小来发送仿真 DATA 和 ACK 的广播探测。

[0079] 在网络运转过程中,丢包是由信道误差和冲突造成的,测量的丢包率 p_{DATA} 和 p_{ACK} 将高于链路单独传输的情况。为了利用最大 UDP 传输率表示法,必须能够将冲突与信道误差区别开来,并将由估计的 p_{DATA} 和 p_{ACK} 的信道损耗率计算的 p_1 用于公式 (1)。因此,在线最大 UDP 传输率估计的问题转变为将信道损耗与冲突区别的问题。针对客户-AP WLAN 流量情形或者需要对固件的低级接入的情况提出对上述问题的解决方案。这些方案描述在 S. Rayanchu 等 2008 年 4 月在 Proc. IEEE INFOCOM, Phoenix, AZ, USA 发表的文件“*Diagnosing Wireless Packet Losses in 802.11: Separating Collision from Weak Signal*”和 K. Whitehouse 等的文件“*Exploiting the capture effect for collision detection and recovery*”, EmNetS-11, 2005 中。

[0080] 可以利用本领域任何已知技术来估计最大 UDP 传输。Ad Hoc 探测就是这种可用的技术 (L.-J. Chen 等 2005 年 7 月在 Proc. International Conference on Wireless Internet (WICON), Budapest, Hungary 发表的文件“*Ad hoc probe: path capacity probing in wireless ad hoc networks*”中描述了 Ad Hoc 探测)。但是,Ad Hoc 探测不适于估计链路最大 UDP 传输率,因为:a) 在没有干扰的情况下,其估计出接近标称传输率的较高值(因为 Ad Hoc 探测估计基于最小离散(延迟)估计,其不考虑固有信道损耗);b) 在没有干扰的情况下,最小延迟过滤器将过滤出拥塞,但同样不考虑损耗。

[0081] 如上所述,在第二主步骤(ii)过程中,通过将主极值点(在第一主步骤(i)中确定)与选择的干扰模型相结合确定从属极值点。

[0082] 例如,此干扰模型可以取决于两个简化的假设。第一,假设是成对干扰,即假设成对的两个链路之间的每个干扰与其他链路对之间的干扰相独立。第二,假设是二元干扰,即成对的两个链路要么以互斥方式干扰要么不干扰。如果参看图 1 所示实施例(简单二维情况),干扰模型获取分时区或独立区。

[0083] 例如,选择的干扰模型可以是二元 LIR(链路干扰比)干扰模型。链路干扰比(LIR)是用于测量 CSMA 网络中链路对之间的干扰的标准,描述在 J. Padhye 等 2005 年 10 月在 Proc. ACM Internet Measurement Conference (IMC), Berkeley, CA, USA 发表的文件“*Estimation of Link Interference in Static Multi-hop Wireless Networks*”中。

[0084] 将 LIR 定义为 $LIR = \frac{c_{31} + c_{32}}{c_{11} + c_{22}}$, 其中 c_{11} , c_{22} , c_{31} 和 c_{32} 分别是链路以积压方式单独和

同时传输时的 UDP 传输率。LIR = 1 表示链路不干扰。较低 LIR 表示较大程度的干扰。

[0085] 例如,可以采用基于 LIR 阈值 LIR_{th} 的二元干扰模型。如果两个链路的 LIR 大于 LIR 阈值 LIR_{th} ,可以认为两个链路是“非干扰的”并且通过其主极值点 $(c_{11}, 0)$ 和 $(0, c_{22})$ 以

及其从属极值点 (c_{11}, c_{22}) 限定的独立区获取可行速率区。否则,认为两个链路是干扰的,其可行速率区是只由主极值点 $(c_{11}, 0)$ 和 $(0, c_{22})$ 限定的分时区。

[0086] 可以采用另外的二元干扰模型,即二跳成对二元干扰模型,其中每个链路与其相邻于其节点端点的全部链路以及相邻于其单跳邻居的全部链路干扰。这种干扰模式(描述于 S. Rangwala 等 2008 年 9 月在 Proc. ACM MobiCom, San Francisco, CA, USA 发表的文件“Understanding congestion control in multi-hop wireless mesh networks”)比上述 LIR 干扰模式更容易进行在线(即在网络操作过程中)应用。在无线网状试验台上进行的广泛实验和测试证明,该模式提供了对于 LIR 阈值 $LIR = 0.95$ 的二元 LIR 干扰模式的足够逼近。但是,还可以采用这种基于跳(hop-based)的干扰模型的其他变型实现成对二元干扰模型。

[0087] 可以创建所述网络 WN 的冲突图,其中每个顶点对应于单向链路 I 并且一对顶点之间的每个边对应于与此对顶点对应的一对单向链路 I 之间的干扰,并且可以从所述冲突图的最大独立顶点集确定所述从属极值点。

[0088] 需要指出,所述成对二元干扰模型确定所述冲突图的两个顶点之间是否存在边。如果基于此模型对应的链路是干扰的,在顶点之间加入边。通常而言不同的成对二元干扰模型对相同的网络将产生不同冲突图。

[0089] 冲突图的独立顶点集指示能够不干扰地同时传输的链路 I 的集合。可以在冲突图上采用独立集枚举算法计算这些独立集。可选择地,可以在冲突图的补集中采用团枚举(clique enumeration)算法进行计算(通常而言,具有顶点集 V 和边集 E' 的图 $G' = (V, E')$ 是具有相同具有顶点集 V 和另一边集 E 的图 $G = (V, E)$ 补集,如果边在 E' 中并且只有其不在 E 中。换言之,两个顶点 v_i 和 v_j 在 G' 中相邻并且在 G 中不相邻。因此冲突图的补集中的团是冲突图的独立集)。

[0090] 需要指出,在此处采用最大独立集来降低枚举算法的复杂性。但是更精确的计算将需要使用冲突图中的全部独立集。

[0091] 可以采用的团枚举算法的实施例描述在 K. Makino 等 2004 年 7 月在 Proc. 9th Scandinavian Workshop on Algorithm Theory, Humlebaek, Denmark 发表的文件“New algorithms for enumerating all maximal cliques”中。

[0092] 每个最大独立集 $m \in M$ 由 $0-1L \times 1$ 矢量 $v[m]$ 表示,其中单位元表示对应于此独立集的顶点的链路。可通过用对应的容量代替每个单元入口而将每个矢量 $v[m]$ 映射至从属极值点 $c^{(2)}[m]$ 。这可以通过采用 $L \times L$ 对角矩阵 $C^{(1)}$ 实现,其中每列对应于主极值点 $c^{(1)}[k]$ 。然后,如下构建每个从属极值点:

[0093] $c^{(2)}[m] = C^{(1)}v[m]$, $m = 1, \dots, M$, 其中 M 是冲突图中最大独立集的数量。

[0094] 如图 1 所示,设备 D 还可以包括连接至第一计算装置 CM1 和第二计算装置 CM2 的第三计算装置 CM3。第三计算装置 CM3 用于由所述节点 NEi 提供的信道损耗率、节点之间的相邻关系、路由矩阵以及主极值点和从属极值点计算用于所述网络 WN 的目标输出速率集。

[0095] 可以通过路由协议(例如通过“点击”选择的 Srcr)将路由(路由矩阵)、相邻关系信息(或关系)以及信道损耗率估计传播至网络 MN。每个节点 NEi 利用该信息更新其 Srcr 拓扑数据库以计算路由(例如可以利用链路代价度量(例如 ETT)采用 Dijkstra 路由算法,该算法描述在 R. Draves 等 2004 年在 Proceedings of MobiCom 发表的文件“Routing

in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks”中)并在第三计算装置 CM3 中执行优化算法。

[0096] 可以在与分布式设备 D 相关联的每个节点 NEi 中本地 (即以分布式方式) 或者以集中方式 (即在网络 WN 的单一中央设备 D) 计算目标输出速率集。

[0097] 例如,可以在基于路由矩阵以及主极值点和从属极值点 $c[k] = (c_{k1}, \dots, c_{kL})$ 的约束下最优化所述目标输出速率的效用函数 $U(y_s)$ 计算网络目标输出速率集 $y = (y_1, \dots, y_S)$ 。

[0098] 效用函数 $U(y_s)$ 的凸优化的一个实例如下:

[0099] 最大化 $\sum_{s=1}^S U(y_s)$

[0100] 条件: $\sum_{s=1}^S R_{l,s} y_s \leq \sum_{k=1}^K \alpha_k c_{kl}, l = 1, \dots, L$

[0101] $\sum_{k=1}^K \alpha_k, \alpha_k \geq 0$, 并且 $k = 1, \dots, K$,

[0102] 其中 S 是流 s 的数量, $R_{l,s}$ 是 (根据路由矩阵) 指示 s 是否通过链路 l 路由的二元路由变量, 其中效用函数如下:

[0103]

$$U(y_s) = \begin{cases} y_s^{1-\alpha}, & \text{如果 } \alpha \neq 1 \\ \log(y_s) & \text{否则} \end{cases}$$

[0104] 该函数是一个著名的家族, 能够提供广泛的均衡公平性和传输率的目的。

[0105] 然后, 给定网络输出速率矢量 $y = (y_1, \dots, y_S)$, 第三计算装置 CM3 选择对于相关节点 NEi 是源的速率的子集 y_s , 并且产生对应于所选子集的输出速率的最优输入速率 x_s 。例如, 由 $x_s = y_s / (1-p_s)$ 给出每个最优化输入速率 x_s , 其中 p_s 是路径损耗。例如可以基于路径 s 中的信道损耗率 p_l 通过公式 $p_s = 1 - \prod_{l \in s} (1-p_l)$ 估计路径损耗 p_s 。

[0106] 如图 1 所示, 设备 D 还可以包括控制装置 CNM, 用于根据由第三计算装置 CM3 产生的最优输入速率 x_s 限制级相关节点 NEi 的流的速率。为此目的, CNM 例如可以利用 Click BandwidthShaper。

[0107] 可以根据容量估计区间 (estimation interval, 由探测窗口大小和周期确定) 以及第一计算装置 CM1、第二计算装置 CM2 和第三计算装置 CM3 采用的计算时间调整根据本发明的速率控制的时标 (time scale)。

[0108] 容量估计区间受所述网络层探测系统约束。探测频率应该足够低 (例如每 0.5 秒), 以保持较低开销, 但是应该进行足够的探测以保证足够的精确度。在几分钟 (通常为大约 100 秒至 800 秒) 内可以获得稳定的信道损耗率和稳定的容量估计。

[0109] 所述计算时间是第一计算装置 CM1、第二计算装置 CM2 和第三计算装置 CM3 计算可行速率区的极值点并解决最优化问题所需时间。

[0110] 本发明提供了一种用于网状网络的基于最优化的在线网络层速率控制, 时间是几分钟的量级, 能够消除这种网络中发生的数个常见性能问题, 例如避免“饥饿态”并在不牺牲太多输出速率 (或传输率) 的情况下实现公平性的目的。

[0111] 并且, 除了上述优化方法外, 可行速率区的在线计算还可以用于准入控制 (例如

确定网络在给定时间能否保持给定速率集)。

[0112] 本发明不局限于所述方法、设备和网络设备的实施例,而是包含所附权利要求限定的范围内的本领域普通技术人员可以得到的所有可替代实施方式。

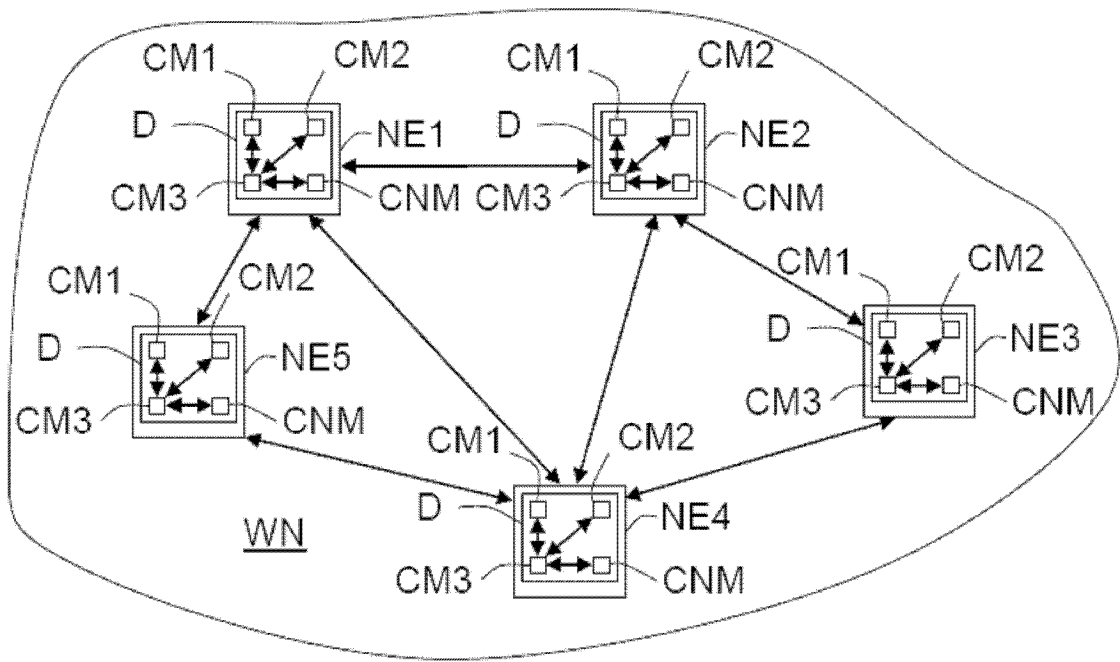


图 1

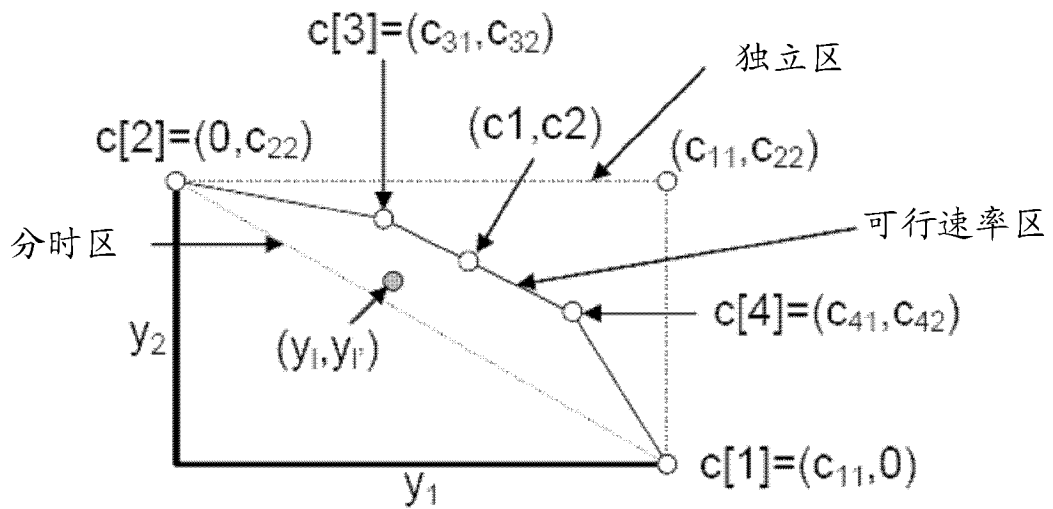


图 2