

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04L 12/56 (2006.01)

H04L 29/08 (2006.01)

H04B 7/005 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810178642.5

[43] 公开日 2009年5月6日

[11] 公开号 CN 101425968A

[22] 申请日 2002.12.20

[21] 申请号 200810178642.5

分案原申请号 02828284.1

[30] 优先权

[32] 2002. 2. 22 [33] US [31] 60/358370

[32] 2002. 10. 23 [33] US [31] 10/278014

[71] 申请人 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·拉斯森 N·约翰森

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 柯广华 王忠忠

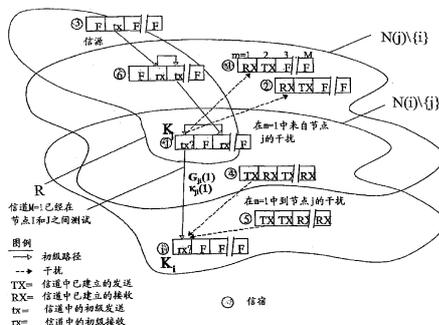
权利要求书5页 说明书31页 附图14页

## [54] 发明名称

跨层综合式无冲突路径路由选择

## [57] 摘要

本发明主要阐述了网络的多个协议层上功能的真正跨层综合,因此提供了一种统一的方法满足多跳网络内的 QoS 要求。在根据本发明的统一方法中,连接优选地由给定目标函数针对网络内至少三个协议层上的连接参数进行综合优化而确定。优选地,该优化包括路由选择(路径选择)、信道接入以及物理链路参数的自适应。通过将物理连接参数与恰当设计的约束相结合,可以仔细地考虑干扰的问题。这就意味着可以确定连接参数,以便真正确保已有连接和新连接基本上无干扰的通信。



1.一种通信网络中建立连接的方法，所述方法包括如下步骤：

—为所请求的连接确定一组连接参数，参数包括路径、至少一个信道以及至少一个物理链路参数，通过针对所有所述的连接参数对单个目标函数综合优化来实现，其中所述优化包括通过利用搜索过程将所述目标函数最小化，所述目标函数定义为在给定节点集合中从源节点到每个节点的代价，所述搜索过程根据下面的优化算法，在给定集合中找到从源节点到每个节点  $i$  的最小代价  $K_i$ ：

$$K_i = \min_{j \in N(i)} \left\{ \min_{m \in \{1, \dots, M\}} \left\{ \min_{\psi} \{ \kappa_i(j, m, \psi) + K(j) \} \right\} \right\}$$

$$K_{SourceID} = constant,$$

这里  $i \neq SourceID$ ， $N(i)$  是节点  $i$  的当前邻居集合，节点  $i$  是网络内所有节点  $\Omega$  的集合， $j$  是属于  $N(i)$  的邻居节点， $m$  是总共  $M$  个正交信道集合中的至少一个信道的集合， $\psi$  是一个或多个物理层参数， $\kappa_i(j, m, \psi)$  也标为  $\kappa_{ij}(m, \psi)$ ，是从节点  $j$  到节点  $i$  的代价，项  $K(j)$  也标为  $K_j$ ，是从源节点到节点  $j$  逐个节点相加的、包括源节点处的任何代价  $K_{SourceID}$  的累积代价；以及

—基于所确定的连接参数组建立所请求的连接。

2.根据权利要求1的方法，其特征在于所述通信网络是无线多跳网络。

3.根据权利要求1的方法，其特征在于所述优化受到至少一个与干扰有关的约束的限制，该约束的设计针对所请求的连接以及现有连接确保基本上无冲突的通信。

4.根据权利要求3的方法，其特征在于所述连接参数是在至少一个与干扰有关的约束下联合确定的，该约束的设计确保基本上无干扰的链路，包括所请求的连接的链路在内。

5.根据权利要求1的方法，其特征在于至少一个物理链路参数是从如下组中选出的：

- 发射功率；
- 自适应天线 AA 参数；

- 多入多出 MIMO 参数;
- 调制参数;
- 带宽;
- 数据率; 以及
- 纠错参数。

6.根据权利要求 1 的方法,其特征在于在每个节点  $i$  中执行本地搜索过程,以便为所述邻居集合  $N(i)$  中的所有节点  $j$  评估从节点  $j$  到节点  $i$  的代价  $\kappa_{ij}(m, \psi)$ , 并根据所述评估以及从每个节点  $j$  接收的  $K_j$  信息确定从源节点到每个节点  $i$  的最低代价  $K_i$ 。

7.根据权利要求 1 的方法,其特征在于代价  $\kappa_{ij}(m, \psi)$  包括依赖于信道的物理链路参数  $\psi(m)$ 。

8.根据权利要求 1 的方法,其特征在于代价  $\kappa_{ij}(m, \psi)$  包括节点  $j$  的链路发射功率参数  $P_j(m)$ 。

9.根据权利要求 8 的方法,其特征在于链路发射功率参数  $P_j(m)$  受到链路发射功率限于预定范围之内的约束,所述预定范围由节点  $j$  的最大允许的链路发射功率和最小要求的链路发射功率来限定。

10.根据权利要求 9 的方法,其特征在于节点  $j$  最大允许和最小要求的链路发射功率定义如下:

$$\hat{P}_{\max j}(m) = \min \left\{ \min_{u \in N(j) \setminus \{i\}} \left\{ \frac{C_u(m)}{\gamma_m \cdot G_{ju}(m)} \right\}, \min_{r \in R} \left\{ \frac{\hat{C}_r(m)}{\gamma_m \cdot G_{jr}(m)} \right\} \right\}$$

$$\hat{P}_{\min j}(m) = \frac{1}{G_{ji}(m)} \cdot \left( \gamma_W \cdot W + \gamma_R \cdot \left( \sum_{v \in N(i) \setminus \{j\}} P_v(m) \cdot G_{vi}(m) + \sum_{r \in R} \hat{P}_r(m) \cdot G_{ri}(m) \right) \right),$$

这里,  $\hat{P}_r(m)$  和  $\hat{C}_r(m)$  分别表示集合  $R$  中节点  $r$  的初级发射和接收功率, 集合  $R$  表示沿着连接到节点  $j$  的初级路径中的节点,  $P_v(m)$  和  $C_u(m)$  则分别表示已经建立业务流的节点的发射和接收功率,  $\gamma_M$  是衰减因子,  $G(m)$  是各个信道的增益矩阵,  $\gamma_R$  是接收因子,  $W$  是噪声电平, 使用因子  $\gamma_W$  确保信道通常是干扰受限而不是噪声受限的。

11.根据权利要求 9 的方法,其特征在于节点  $j$  最大允许和最小要求的链路发射功率定义如下:

$$\hat{P}_{\max_j}(m) = \min \left\{ \begin{array}{l} \min_{u \in N(j) \setminus \{i\}} \left\{ \frac{C_u(m) - \Gamma_M \cdot (I_u(m) + \hat{I}_u(m) + W)}{\Gamma_M \cdot G_{ju}(m)} \right\}, \\ \min_{r \in R} \left\{ \frac{\hat{C}_r(m) - \Gamma_M \cdot (I_r(m) + \hat{I}_r(m) + W)}{\Gamma_M \cdot G_{jr}(m)} \right\} \end{array} \right\}$$

$$\hat{P}_{\min_j}(m) = \frac{1}{G_{ji}(m)} \cdot \left( \gamma_W \cdot W + \gamma_R \cdot \left( \sum_{v \in N(i) \setminus \{j\}} P_v(m) \cdot G_{vi}(m) + \sum_{r \in R} \hat{P}_r(m) \cdot G_{ri}(m) \right) \right),$$

这里， $\hat{P}_r(m)$ 和 $\hat{C}_r(m)$ 分别表示针对集合  $R$  中的节点  $r$  估计的（或比较初级的）发射和接收功率，集合  $R$  表示沿着连接到节点  $j$  的初级路径中的节点， $P_v(m)$ 和 $C_u(m)$ 则分别表示已经建立业务流的节点的发射和接收功率， $G(m)$ 是各个信道的增益矩阵， $\Gamma_M$ 是 CIR（载干比）门限，假设现有链路或初级路径的每个接收机部分都受到干扰电平  $I(m)$  的影响， $\hat{I}_x(m)$ 是从初级路径上的节点到节点  $x$  的预计干扰， $\gamma_R$ 是接收因子， $W$ 是噪声电平，使用因子  $\gamma_W$  确保信道通常是干扰受限而不是噪声受限的。

12.根据权利要求 1 的方法，还包括在所述综合优化之前确定第一最短路径并根据所述第一最短路径的知识选择邻居节点  $N(i)$  的搜索区域的步骤。

13.根据权利要求 1 的方法，其特征在于安排按需的路由选择，用资源请求 RREQ 为请求的初级连接传递路径、信道以及物理链路参数，并用路由应答 RREP 确认沿着相应路径所选的连接。

14.根据权利要求 1 的方法，其特征在于安排按需的路由选择，当资源请求 RREQ 通过网络被转发时，利用所述 RREQ 整理现有连接的信息，并根据所述整理的信息，在宿节点确定满足所述 RREQ 中包含的服务质量 QoS 要求的新连接。

15.一种通信网络中连接许可控制的方法，所述方法包括如下步骤：

—为所请求的连接，针对包括路径、至少一个信道以及至少一个物理链路参数在内的一组连接参数对单个目标函数进行综合优化，其中所述优化包括通过利用搜索过程将所述目标函数最小化，所述目标函数定义为在给定节点集合中从源节点到每个节点的代价，所述搜索过程根据下面的优化算法，在给定集合中找到从源节点到每个节点  $i$

的最小代价  $K_i$ :

$$K_i = \min_{j \in N(i)} \left\{ \min_{m \in \{1, \dots, M\}} \left\{ \min_{\psi} \{ \kappa_i(j, m, \psi) + K(j) \} \right\} \right\}$$

$$K_{SourceID} = constant,$$

这里  $i \neq SourceID$ ,  $N(i)$  是节点  $i$  的当前邻居集合, 节点  $i$  是网络内所有节点  $\Omega$  的集合,  $j$  是属于  $N(i)$  的邻居节点,  $m$  是总共  $M$  个正交信道集合中的至少一个信道的集合,  $\psi$  是一个或多个物理层参数,  $\kappa_i(j, m, \psi)$  也标为  $\kappa_j(m, \psi)$ , 是从节点  $j$  到节点  $i$  的代价, 项  $K(j)$  也标为  $K_j$ , 是从源节点到节点  $j$  逐个节点相加的、包括源节点处的任何代价  $K_{SourceID}$  的累积代价, 所述优化受到至少一个与干扰有关的约束的限制, 该约束的设计针对所请求的连接以及现有连接确保基本上无冲突的通信;

—如果在违背所述至少一个约束条件下不能确定连接参数组, 就拒绝所请求的连接;

—如果在违背所述至少一个约束条件下能够确定连接参数组, 就接受所请求的连接。

16. 根据权利要求 15 的方法, 其特征在于所述至少一个约束包括与干扰有关的约束, 其被设计为确保包括所请求的连接的链路在内的链路基本上无干扰。

17. 一种在通信网络中建立连接的控制系统, 所述控制系统包括:

—为所请求的连接确定一组连接参数的装置, 参数包括路径、至少一个信道以及至少一个物理链路参数, 通过针对所有所述的连接参数对单个目标函数综合优化来实现, 其中所述确定装置可操作用于根据搜索过程将所述目标函数最小化, 所述目标函数定义为在给定节点集合中从源节点到每个节点的代价, 所述搜索过程根据下面的优化算法, 在给定集合中找到从源节点到每个节点  $i$  的最小代价  $K_i$ :

$$K_i = \min_{j \in N(i)} \left\{ \min_{m \in \{1, \dots, M\}} \left\{ \min_{\psi} \{ \kappa_i(j, m, \psi) + K(j) \} \right\} \right\}$$

$$K_{SourceID} = constant,$$

这里  $i \neq SourceID$ ,  $N(i)$  是节点  $i$  的当前邻居集合, 节点  $i$  是网络内所有节点  $\Omega$  的集合,  $j$  是属于  $N(i)$  的邻居节点,  $m$  是总共  $M$  个正交

信道集合中的至少一个信道的集合,  $\psi$  是一个或多个物理层参数,  $\kappa_i(j, m, \psi)$  也标为  $\kappa_{ij}(m, \psi)$ , 是从节点  $j$  到节点  $i$  的代价, 项  $K(j)$  也标为  $K_j$ , 是从源节点到节点  $j$  逐个节点相加的、包括源节点处的任何代价  $K_{SourceID}$  的累积代价; 以及

—根据所确定的连接参数建立所请求的连接装置。

18. 一种在通信网络中控制连接许可的控制系统, 所述控制系统包括:

—为所请求的连接, 针对包括路径、至少一个信道以及至少一个物理链路参数在内的一组连接参数对单个目标函数进行综合优化的装置, 其中所述用于执行综合优化的装置可操作用于根据搜索过程将所述目标函数最小化, 所述目标函数定义为在给定节点集合中从源节点到每个节点的代价, 所述搜索过程根据下面的优化算法, 在给定集合中找到从源节点到每个节点  $i$  的最小代价  $K_i$ :

$$K_i = \min_{j \in N(i)} \left\{ \min_{m \in \{1, \dots, M\}} \left\{ \min_{\psi} \{ \kappa_i(j, m, \psi) + K(j) \} \right\} \right\}$$

$$K_{SourceID} = \text{constant},$$

这里  $i \neq SourceID$ ,  $N(i)$  是节点  $i$  的当前邻居集合, 节点  $i$  是网络内所有节点  $\Omega$  的集合,  $j$  是属于  $N(i)$  的邻居节点,  $m$  是总共  $M$  个正交信道集合中的至少一个信道的集合,  $\psi$  是一个或多个物理层参数,  $\kappa_i(j, m, \psi)$  也标为  $\kappa_{ij}(m, \psi)$ , 是从节点  $j$  到节点  $i$  的代价, 项  $K(j)$  也标为  $K_j$ , 是从源节点到节点  $j$  逐个节点相加的、包括源节点处的任何代价  $K_{SourceID}$  的累积代价, 所述优化受到至少一个与干扰有关的约束的限制, 该约束的设计针对所请求的连接以及现有连接确保基本上无冲突的通信;

—如果在不违背所述至少一个约束条件下不能确定连接参数组就拒绝所请求的连接装置;

—如果在不违背所述至少一个约束条件下能够确定连接参数组就接受所请求的连接装置。

## 跨层综合式无冲突路径路由选择

本申请是申请号为 02828284.1、申请日为 2002 年 12 月 20 日、发明名称为“跨层综合式无冲突路径路由选择”的发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

本发明主要涉及诸如无线多跳网络这样的通信网内的服务质量 (QoS) 支持, 更具体地涉及这种网络内连接参数的确定、连接建立以及连接许可控制。

### 背景技术

在无线网络中应用路由选择时, 这种网络通常都标明是多跳网络。在多跳网络中, 彼此不能通信的节点可以借助处于中间的节点将它们的消息从信源转发到信宿。通常, 多跳网络与所谓的 ad hoc 网络有关, 后者中的节点通常是移动的而且没有中央调控的基础设施存在。但是, 多跳组网的概念也可以应用于固定的节点。农村地区互联网接入就是这样的一种情况, 使用附着在屋顶、灯柱之类的固定节点进行。

尽管早在 20 世纪 70 年代在多跳领域就已经进行着一些研究, 但是这些研究很少致力于多跳网络的 QoS 提供。原因是多跳网络的 QoS 支持被认为是复杂性太高。不可预测的移动性、看似随机变化的业务流模式、不可靠的无线信道、计算复杂度以及其它的一些不利影响都是持这种观点的原因。然而一些研究人员已经试图应付多跳网络的 QoS 挑战。这个领域最有意思而且最有前途的研究集中在利用某种时隙 TDMA (时分多址) 类型的 MAC (介质访问控制) 结构为基础。

下面将描述针对多跳网络提供无冲突信道、允许在源节点和宿节点之间建立 QoS 路由的最新技术。这类的协议通常称为 QoS 路由选择协议。与通常的路由选择协议不同, QoS 路由选择不仅要求找到从信源到信宿的路由, 而且该路由还要满足端到端的 QoS 要求, 通常这些要求以带宽及/或延时给出, 例如为了支持实时多媒体通信。最新的 QoS 路由选择协议也许可以分成两个不同的组, 此后称为独立信道接

入和路由选择方案以及综合信道接入和路由选择方案。在前一组中，路由选择和信道分配的任务分成两个不同算法，即先找到路由，然后进行信道分配，而第二组则采取或多或少的综合式方式进行信道分配和路由选择。

为了更好地理解现有技术的 QoS 路由选择方案，先简单回顾一下组网的 OSI（开放系统互连）模型可能比较有用。OSI 模型包括七个不同的协议层：物理层（1）、链路层（2）、网络层（3）、传输层（4）、会话层（5）、表示层（6）以及应用层（7）。物理层有关组网的物理方面，例如传输介质、传输设备以及数据信号，有时它不被看作是协议层。但是为了简单起见，所有层都称为协议层。具体地，链路层在通信设备之间建立和维护链路并控制对网络介质的接入。网络层的主要功能包括交换、路由选择和网关服务。传输层负责在不同设备的服务之间传递帧。会话层进行对话控制以及会话管理。表示层负责数据的表示，而应用层则关心网络的服务提供并为接入网络提供应用程序接口。

#### 独立信道接入和路由选择方案

独立 QoS 路由选择协议使用普通的 QoS 测度，而且不关心特定的 MAC 层，也就是第 2 层。为了能够保证 QoS 要求得到满足，这些协议必须用提供无冲突接入信道的 MAC 协议来加强。

#### INSIGNIA

INSIGNIA [1] 是一种基于 IP 端到端的带内信令框架，在 ad-hoc 网络中提供 QoS。带内信令意味着每个分组要携带建立预留所需要的所有信息。QoS 机制与所使用的 ad-hoc 路由选择协议（参考，例如 [2] 或 [3]）以及链路层技术无关，尽管最后接收的 QoS 非常依赖于这些特性。该框架的操作可以按如下描述：从源到宿的路由通过层 3 上的 ad-hoc 路由选择协议发现。由于每个分组都携带预约必需带宽的必要信息，一旦建立起导向最快预约的路由，数据分组就可以开始遍历该路由。当从源到宿的路由上的节点从一个流中接收到一个没有预约容量的分组时（通过字头中的一个比特指示），如果可能的话它就预约所请求的容量。

#### 基于入场券的探索

在 INSIGNIA 情况下，基于入场券探索（TBP）[4] 是一种纯层 3

协议，因为所有信令都在这一层上执行，而且它需要层 2 (MAC) 的支持来决定应该接受还是拒绝预约。但是 TBP 是纯 ad-hoc 路由选择协议。在参考 [4] 中，其主要目的是将源到宿之间可行路由的搜索限制在一部分网络中，而不是象 ad-hoc 路由选择协议中常见的全网泛搜索。更特殊地，它们只要搜索从源到宿很少一部分路径，而不是进行昂贵的耗尽式搜索。这是通过发入场券实现的。入场券是搜索一条路径的许可，因此所搜索的最大路径数受到入场券数目的限制。当从源到宿路径上的中间节点收到一张入场券时，它必需决定该入场券应该转发到哪个 (些) 节点。为了完成这个任务，该节点使用状态信息引导有限的分组沿着最佳路由走。使用距离矢量协议收集这个状态信息，其中包括端到端延时、带宽以及代价。

#### 无冲突规划算法的例子

在 [6] 中，Nelson 和 Kleinrock 介绍了空间 TDMA (STDMA) 的概念，其中的时隙 (TS) 是空间复用的。这个工作可以认为是其它所有的目的在于提供无冲突规划的规划算法的鼻祖。其思想是确定无干扰 (或无冲突) 链路组。其前提是网络是稳定的，如果网络实际上变化很快，那么需要重新计算这些组。优选地选出这些组，使网络中的每个节点都能至少发送一次。然后对 TDMA 帧中的每个时隙指定一组可以彼此不干扰地发送的链路 (传输组)。随后每个 STDMA 帧重复相同的规划。

[8] 和 [9] 中提出的方案可以看作是 STDMA 的直接产物。在关于 STDMA 的前期工作中，网络图的连通性用于确定是否出现干扰。这种方法没有捕获网络中的总干扰。相反，在 [8] 和 [9] 的方案中，STDMA 规划的产生是基于每条链路的 SIR 值。

STDMA 及其产物都是离线或者集中式计算传输组的。在 ad-hoc 网络中，这不是一种明智的方法。在 [7] 中简单提出了一种称为无冲突基于拓扑结构的信道接入规划或 CTMA 的特殊的层 2 方案，它能够确保分布而且无冲突的操作。

#### “综合式”信道接入及路由选择方案

“综合式”的 QoS 路由选择算法基于如下假设：ad hoc 网络可以模型化为一个图，所有算法都是按需协议，也就是路由搜索只在高层协议请求了路由之后才进行。此外，常规的综合式 QoS 路由选择算

法通常假设使用 TDMA、固定发射功率以及全向天线。在图中，如果两个节点能够彼此直接通信就称为邻居，在图模型中用一条链路连接这两个节点来表示。如果两个节点之间的距离没有超过某个预定值它们就是连接的，也就是在没有其它节点的外部干扰情况下可以无错地接收分组。也假设了只有邻居才能彼此干扰。在模型化为图的多跳分组无线网中，传输干扰通常被模型化为两种方式，此后称为原干扰和次干扰。假设节点在单个时隙中做一件以上的事，这样会出现原干扰，例如在同一时隙中发并且收。当转到特定发射机 T 的接收机 R 在另一个不是面向 R 发送的发射机的范围之内时，在 R 处与 T 的发送干扰，这样就出现了次干扰。使用图模型时，足以防止 R 的所有邻居在与 T 相同的时隙发送，这样就避免了次干扰。在下面描述各种综合式 QoS 路由选择协议时，按照它们考虑干扰的程度不同对其进行分类—无干扰信道、只考虑原干扰以及考虑原和次干扰，因为这一点非常影响协议的设计方式。

大多数 ad hoc 路由选择协议都只关心 ad hoc 网络中两个节点之间最短路径路由的存在，而不保证其质量。正如前面描述的，ad hoc QoS 路由选择协议的目的是建立从源节点到宿节点能够满足一些要求的路径/信道，这些要求有关能够支持实时多媒体通信的带宽及/或延时。为了做到这一点，常规的综合式 QoS 路由选择协议通常在搜索从源到宿的路由时考虑链路上的带宽。然后通过组成路径的链路上预约时隙来实现带宽的要求。与通常的 ad-hoc 路由选择协议比较，这种方法的主要好处是可以满足 QoS 要求。与完全独立的 QoS 路由选择协议比较，这就意味着可以用较好的网络利用率实现 QoS 的提供。

在这种环境中计算可用带宽，象有线网络那样简单地计算沿着路径的链路的最小带宽是不正确的。其原因是可用带宽是在相邻节点中共享的。一个简单的只考虑原干扰的例子如下：假设节点 A 要通过节点 B 与节点 C 通信。A 与 B 通信的可用空闲时隙是 1、2、3 和 4，B 到 C 之间的链路相同。如果这是个有线（或者无干扰信道）网络，可用容量将是 4 个时隙，而在这种情况下容量则是 2 个时隙。其原因是链路 A 到 B 以及 B 到 C 上的公共空闲时隙的交集不是空集而且节点不能在同一时隙中既发送又接收。此外，假设从 A 到 B 以及 B 到 C 通信的可用空闲时隙分别是 1、2、3 和 4 以及 3 和 4。如果时隙 1 和 2 为

从 A 到 B 的通信保留，时隙 3 和 4 为从 B 到 C 的通信，那么从 A 到 C 的可用带宽就是 2。相反，如果时隙 3 和 4 为从 A 到 B 的通信保留，那么将意味着从 B 到 C 之间不能通信，这种情况下从 A 到 C 的可用带宽为 0。能够强调这种问题并解决它的协议此后将被称为能够进行最佳规划。在这种路径带宽计算过程中包含了两个问题。第一个问题是站 B（这里假设 B 负责从 A 到 B 链路容量的预约）如何知道两条相邻链路的共同空闲时隙组，第二个问题是如何在邻居中共享这个信息。为了解决这些问题，各站必需彼此交换一些消息。

#### 无干扰信道

参考 [16] 描述了一种根据 [4] 中提出的基于入场券方法的多路径 QoS 路由选择协议。“多路径”的意思是指这种情况：从源到宿的预约容量可以分成多个子路径，每个服务于原来请求容量的一部分。但是，该文假设一种非常理想的模型，其中的链路带宽可以与相邻链路无关地确定。为了支持这种假设，假定每个主机有多个可以彼此独立工作的收发机而且每条链路都赋予了一个与两跳以内的邻居不同的码子以避免冲突。两跳以内的邻居就是邻居的邻居——在上面的例子中 A 和 C 就是两跳以内的邻居。

#### 只考虑原干扰

在 [12]、[13] 和 [15] 中做了比无干扰信道宽松一些的假设，假设是一种 CDMA 基于 TDMA 的信道模型，意味着链路上一个时隙的使用只依赖于它相邻链路的状态（即它们只考虑原干扰）。这三篇参考文献的焦点是计算从源到宿路径上的可用带宽，但是它们收集所需信息的方法是不同的。

现在简单描述一下 [12] 和 [13] 的一般操作。当收到 RREQ (Resource REQuest 资源请求) 时，计算从源到这个节点的带宽。带宽可以用最优方式计算，因为在计算可用带宽之前已经与邻居交换了有关可用空闲时隙的信息，而且 RREQ 消息包括了在从源到宿路径上以前链路所使用的时隙。如果其结果不能满足 QoS 要求就丢弃 RREQ。可以想到信宿将接收到多个 RREQ，每个都指示了一条唯一可行的从源到宿的路径。信宿将选出一条路径并发出 RREP (Route REPLY 路由应答) 消息。由于 RREP 消息遍历回到信源，沿着该路径的每个节点都保留了先前计算的那些空闲时隙。

在[5]中,提出了一种 IEEE 802.11 网络中的 QoS 路由选择协议,利用的就是上面描述的带宽计算算法。

在[15]中,没有逐跳地计算可用带宽,每个 RREQ 分组纪录从源到宿所有的链路状态信息。因此信宿就能够计算从源到宿的最佳路径并沿着所选的路径发出 RREP 消息。多路径路由选择的选项也在该参考文献中提出而且很容易实现,因为信宿有从源到宿所有可用路径的所有信息。[15]中建议的算法目标是流网络;也就是支持多个不同的流。信宿负责确定从源开始满足带宽要求的流网络。尽管这种解决方案有可能提供最佳路由的闭式解、干扰忽略不计,但是它也对宿节点造成了巨大的计算负担。

原和次干扰都考虑

基于簇 (cluster)

在[10]、[11]、[14]和[18]所描述的基于簇的网络中,一个节点可以是簇首、网关或只是一个普通节点。一旦节点被选为簇首,所有它的邻居都属于同一簇。属于两个或多个簇的节点起网关的作用。使用 CDMA 划分簇,对不同的簇指定不同的码序列,在簇内再进行 TDMA。通过这样做,他们声称次干扰只需在簇内考虑,因为假设簇间的干扰都是忽略不计的。为了在簇内传播可用时隙的信息,每个节点周期性地发送“空闲时隙”消息,其中包含它的时隙预约状态。由于簇首可以听到簇内所有其它节点,它对簇内的预约状态就有完整的了解。由于簇首以及簇内的所有节点都被迫发送“空闲时隙”消息,所有节点最终都会知道整个簇内的时隙预约。这就简化了可用带宽的计算。可用带宽计算以及信令则是逐跳地在每个节点上独立实现。

[18]中建议的方案实际上不是一个综合式的方法。相反,所建议的是分级的方案——首先在节点(链路)级以及流一级上进行容量分配(这两个步骤都假设固定的路由选择),然后使用 Bellman-Ford 算法的发布版进行最终的路由选择。假设每个节点分配的时隙都用某种机制指定给时间帧的恰当部分,但是不考虑 MAC 层。此外,要求一个中央实体收集所有信息,进行计算、然后发布最终结果,也就是这是一个中心式的方法。

在下面提到的参考[17]和[19]中,假设了一种普通的 TDMA/时隙结构,因此该协议必须针对网内的所有节点既考虑原干扰也考虑次干

扰。

Liao

[17]中提出的方案要求一个节点首先必须知道它自己附近的部分图(这意味着节点必须知道它的邻居以及邻居的邻居(通常称为2跳邻居)是如何互连的)。此外,节点也必须完全了解它的邻居正在接收和发送的时隙(注意知道该节点是否空闲是不够的)。对它的2跳邻居也是如此。为了产生这些数据结构,主机需要周期性地向它的邻居广播这个信息,而且这些邻居必须再将它广播到他们的邻居。有了这个信息就可以执行路由选择和时隙分配。规则是(其它大多数论文也是这样):如果两个节点共同表示一个时隙是空闲的才能分配该时隙,正在发送的节点不干扰它的任何邻居。注意这种方案不能计算最佳的路径带宽。

Zhu

[19]中提出的方案类似一些只考虑原干扰的方法,但是不能最佳地计算可用带宽。考虑到不在从源到宿路径上的其它节点的次干扰,它没有说明一个节点是如何知道允许在哪些时隙上发送的。只说明了它的工作是MAC层上基本的时隙分配协议,目的是确定节点如何彼此协商,保证时隙分配给相应的发射机而且其邻居不要妨碍这些时隙。

另外的现有技术方案

在[20]中,如果两个节点之间的距离没有超过某个预定值,即分组可以在没有来自其它节点的外部干扰情况下无错地接收,这样就认为他们是相连的,藉此建立了一个图模型。使用了一个比较理想的次干扰模型。两个或多个站可以在同一个时隙发送,只要所有接收节点中的信干比(SIR)超过某个门限。路由选择判决基于源-宿对之间最少的跳连接而做出的。给定网络的拓扑结构(用图模型来描述),通过网络广播一个分组并计算所访问的节点数可以知道跳数和可能的路径数。在源宿对之间找到了跳数相等的多条路径时,使用以前的时隙分配以及相对的业务流负载作为判决准则,这样可以实现网络的负载平衡。这样做就不太容易出现阻塞而且可以增加通过量。简单地说,一个五步的算法可以描述如下。第一步,使用图模型得到网络拓扑结构。然后,考虑到可用的容量,使用路由选择判决产生链路之间

的平衡业务流。既然这个路由选择判决需要每条链路的容量，那么在这个步骤中认为链路容量是相等的。第三步，可以使用任意的无冲突规划算法，例如[8]中的那个，产生规划方案。之后，再次进行路由选择判决（第四步），但是这次是基于规划方案给出的实际容量。最后一步，选择对整个网络产生最大通过量的路由选择判决（步骤二或四）。参考[20]实际上是基于顺序的、因此是独立的路由选择以及规划/预约。同样应该指出的是这种方案需要集中式的路径以及资源分配判决。

参考[21-22]与网络层的路由选择问题无关，而是更关注自适应无线通信的问题，其物理层和MAC层的参数由基站控制器自适应地修改。

#### 与现有技术解决方案有关的问题

独立的信道接入和路由选择方案通常都是远非最佳的。其原因简单而言就是分配路由和信道资源已经被细划分为两个更简单的问题。此外，独立的方案通常是以离线以及集中式地确定路径和资源分配为前提。这就意味着它们在移动性处理上相对较差，因为必须收集并处理信息、然后将所得的结果发布到有关的节点。

尽管对某种形式的“综合式”信道接入和路由选择已经提出一些好的意见，但是重要的无线传播方面被完全忽略了。因此，这些算法的有用性值得质疑。例如，在几篇论文中都使用过于简单的假设：节点使用正交码，因此发射节点不与任何接收节点相干扰。这种假设不仅是不正确的，因为实际上由于诸如时延扩散等原因码子不会完美地正交，因此会带来有害的干扰；而且这种假设也没有充分利用宝贵的资源。信号的正交性是带宽（BW）扩展的结果，而且以更高的速率发送数据才可能更好地利用带宽。常规的“综合式”信道接入和路由选择方案中建议的路径和资源分配过程也是非常简单的，有时可能会建议实际上不可行的路由。

#### 发明内容

本发明克服了现有技术装置中的这些以及其它的缺陷。

改善通信网中可用资源的利用率是本发明的原则性目标。

发明的另一个目标是在诸如无线多跳网络之类的通信网中提供对QoS鲁棒而且有效的支持机制。在这方面，希望充分利用网络潜力，

同时确保服务的质量。

发明的另一个目标是为每个单独的连接提供基本上无干扰或无冲突的通信，至少在给定的一个网络子网中实现。

发明的又一个目标是在诸如无线多跳网络之类的通信网中提供改进的建立连接的方法以及相应的控制系统。

发明的还有一个目标是在诸如无线多跳网络之类的通信网中提供改进的确定连接的方法以及相应的控制系统。

发明的又一目标是在诸如无线多跳网络之类的通信网中提供改进的连接许可控制的方法以及相应的控制系统。

发明的又一目标是提供具有多个网络节点的通信网，至少一个节点包括改进的确定连接的装置。

发明的又一目标是找到控制确定恰当连接参数时所带来的计算复杂度的方法。

本发明基本上建议，通过针对至少三个协议层上的连接参数综合优化单个目标函数，而得到网络几个协议层上功能跨层综合为单个统一的机制。

优选地，所包括的协议层有网络层、链路层和物理层。尽管应该理解到在综合优化中也可以使用其它的协议层。在优化中也可以使用三个以上的协议层，例如考虑三个最底层时结合应用层的自适应应用。实际上，本发明统一的方法部分上或完全地消除了分层表示的需要。与其让几个独立的优化算法或多或少独立地在不同的协议层上执行，不如进行一个单个的统一优化。

在一个发明的优选实施例中，通过在综合优化中使用包括路径、信道及一个或多个物理层/链路参数在内的连接参数，路由选择、信道接入、物理层功能以及可选的许可控制都综合为一种单个、统一的机制。在这种情况下，每个连接最后都由至少一个三元组来定义，其中包括所选的路径、所选的信道以及一个或多个物理层/链路参数。

为了提供无冲突或无干扰的通信，优化受到一个或多个约束的限制，这些约束的设计针对现有连接和所请求的连接确保实际上无冲突的通信。

在综合优化中结合物理层连接参数并在一个或多个与干扰有关的约束下执行该优化，干扰的问题也就可以仔细地考虑到在诸如无线

多跳网络之类的网络中提供 QoS 的统一方法中。这就意味着可以确定连接参数以保证基本上无干扰的链路,这些链路也包括所请求连接的链路在内。

实际上,目标函数可以包括诸如链路发射功率、延时、局部负载、电池功率以及链路容限等术语在内。物理层参数一般定义了链路操作并且包括一个或多个物理链路参数,例如发射功率、调制参数、带宽、数据率、纠错参数以及诸如此类。其它物理链路参数包括发射侧、接收侧或两侧的多入多出(MIMO)、自适应天线(AA)以及其它多天线配置参数。

综合式优化最好是通过试探式算法。例如连接参数可以在本地搜索过程中确定。在这个方面,使用嵌套算法被证明是有用的,每个嵌套层代表一个网络协议层。

在发明的一个特殊实施例中,算法作用的范围是可选的,以便针对给定的可接受计算复杂度水平提供最佳性能。

集中式实现是唯一的预定单元根据请求确定连接,除此之外,也可以将优化算法分散到网络的多个网络节点中,使用 RREQ(Resource REQuest 资源请求)和 RREP(Route REply 路由应答)信令传递所需的信息。在分布式情况下,对于给定的连接请求,优化算法可以在有关网络节点中逐节点地执行,或者使用通过网络转发的 RREQ 中整理的信息完全在信宿节点中执行。

所考虑的网络主要是无线(射频、光等)多跳网络,但是本发明也可以用于其它网络,例如由无线和有线技术混合构成的多址接入网络。

应该理解的是“信道”这个术语包括时隙、频带、正交码、或任意其它的正交信道或组合,甚至包括非时隙的信道。

总而言之,本发明关心的是在诸如无线多跳网络这类的通信网中提供 QoS,而且在确保使用低复杂度的路径搜索算法的同时致力于有效地利用无线介质。所建议的算法不限于固定节点的静止情况,而是在某些情况下能够处理低或中等移动性。

发明提供如下优点:

高网络利用率;

有效的 QoS 支持和提供,包括有保证的时延和通过量;

实际上无冲突的通信；  
给定性能增益及优化解法的合并复杂度情况下具有低计算复杂度；  
计算复杂度的灵活控制；  
当目标函数中使用了发射功率时可以降低功耗；  
当目标函数中使用了时延时可以降低端到端时延；  
分布式和集中式实现都是可行的；而且  
能够选择接近最短的路径，或者在非常低负载情况下选择实际上的最短路径。

在阅读如下对发明实施例的描述时将会理解本发明提供的其它优点。

#### 附图的简要描述

结合所带的附图参考如下描述将会对本发明及其进一步的目标和优点得到最好的理解，其中：

图 1 是说明根据现有技术的路由选择和信道接入方案的示意图；

图 2 是说明根据本发明的统一方法的示意图；

图 3 是示范无线多跳网络的示意图；

图 4 是连接建立、拒绝及断开的流程图；

图 5 说明在示范无线多跳网络中初级连接路径建立所用的符号。

图 6 说明在示范无线多跳网络中特定节点对和信道的初级连接路径建立；

图 7-12 是说明在给定网络中提供 QoS 的所发明的统一机制操作例子的示意图；以及

图 13 是说明对应于图 12 例子的所有激活接收机所得到的 CIR CDF 图的示意图；以及

图 14 是实施了根据本发明的 CFPR 算法的一个网络节点的示意图；

图 15 是说明非时隙信道预约例子的示意图。

#### 发明实施例的详细描述

为了更好地理解本发明，首先将参考图 1 概括一下现有技术的路由选择和信道接入方案。在常规的路由选择和信道接入方案中，每个协议层通常都关联了自己的独立算法 A1、A2、A3。有时摘要数据可

以从低层向高层发送以便提供某种形式的“软的”或顺序的跨层综合。来自低层的摘要数据简单地传递到高层，为高层算法所使用，没有对低层的反馈用于自适应。例如，有关链路带宽的摘要数据可以从链路层 L2 传递到网络层 L3 的路由选择算法 A3。然后路由选择算法可以使用该带宽信息，例如如果带宽太低就改变路径分配。这种方法使用几个独立算法，每个算法关心自己的目标函数，代表了相对简单的跨层综合形式，即使可以产生可行的路径也只能提供次最佳的结果，从综合式信道接入和路由选择的常规方案的仔细分析中也可以看出，它们都是只在两个协议层上操作，而且常常完全忽略了干扰的问题，因此只提供次最佳路由并且不能利用网络全部的潜能。

参考[23-25]都是美国专利申请出版物，在本发明申请所依据的美国临时专利申请 No. 60/358,370 的提交日期之后发表。

参考[23]描述了基于从链路层传递的链路质量测量对 ad-hoc 组网进行路由选择。

参考[24]描述了考虑时变无线传输特性、基于最小失真或最小功率准则进行信道自适应资源分配的蜂窝网络。

参考[25]描述了使用介质提取单元将链路层管理与网路层管理综合。根据变化的环境因子修改各种传输参数，而且这种修改改变了可用的链路带宽，链路带宽再用于网络层业务流管理。

参考[23-25]只代表了“软”跨层综合的各种不同形式，当摘要数据从低层传递到高层时只涉及最多两个协议层。

正如图 2 示意说明的那样，本发明建议一种统一的算法，针对至少三个协议层上的连接参数综合优化单个目标函数，优选地包括层 L1、L2、L3，因此提供了路由选择、信道分配和物理链路参数自适应的真正综合式的、统一的方法。与或多或少独立执行的单独优化算法不同，根据本发明执行的是单个的统一优化。正如前面提到的，本发明的统一方法实际上可以消除分层表示的需要，尽管这样并不意味着阻止图 2 中虚线框所代表的其它可选功能仍然驻留在网络层 L3、链路层 L2 以及物理层 L1 中。这些功能可以或可以不与根据本发明的统一算法协作。

现在参照特定的通信网络描述本发明，也就是无线（射频、光等）多跳网络。但是应该理解的是发明不限于此，而是可以应用于其它的

网络，例如以无线和有线技术混合构成的多址接入网络。

### 基本原则和网络概述

正如上面提到的，本发明主要是代表网络中几个协议层上功能的真正跨层综合，因此提供了一种统一的方法在多跳网络中提供 QoS。在根据本发明的统一方法中，通过针对网络内至少三个协议层上的连接参数对给定的目标函数综合优化，从而最优地确定连接。

为了更好地理解本发明，以示范无线多跳网络的简单概述开始将是比较有用的。图 3 是说明一些重要概念的示范无线多跳网络的示意图。假设我们有一个包括多个节点的网络。该网络在无线介质上操作，传输可能是会互相干扰的。该网络中两个节点之间发送的业务流称为一个流。这种流中数据的发送者称为源节点，接收者称为宿节点。在每一时刻，网络都传输零个、一个或多个业务流。每个流在一条连接（在经典组网中也称为线路）中传输。为了简单起见，图 3 中只表示了单个连接。当然实际上可能存在几个同时的连接。

从源节点到宿节点的连接由多个连接参数定义，其中包括路径以及沿着该路径的信道参数和物理层参数。从源到宿也有几条不同的路径。每条路径由一组链路构成，而且两个相邻节点  $i$  和  $j$  之间的每条链路可以使用几个不同的通信信道和物理链路参数设置。一条路径可以由节点的标识来表征。

物理层参数，也称为物理链路参数，可以与沿着路径的每个节点的发射侧关联以及/或与接收侧关联。例如发送的物理链路参数可以包括发射功率、调制等等。接收的链路参数可以包括天线阵列的调谐。不同信道上的通信假设是完全正交的，因此彼此不会干扰。在中继节点上从一个信道变到另一个称为信道切换。一条连接通常具有最高数据率限制，而且一个流可以使用一部分可用数据率或全部带宽。彼此能够直接通信的节点通常称为邻居。显然，“直接通信”这个术语可以有几种定义。优选地，在一个节点直接通信范围内的条件是：当发送站使用所允许的最大发射功率而且没有干扰站存在时，接收端的平均信噪比（SNR）超过预定电平。

我们希望的是确定在某种意义上最佳的连接参数。为了能够以界限分明的方式讨论最佳，引入了目标函数  $f$ 。通常，目标函数  $f$  是仔细选择的而且令其与路径、信道和物理层参数这类的连接参数有关。

尽管物理层/链路参数一般构成了目标函数的一部分，但是其它的非物理层/链路参数，例如局部负载或残余电池量等也可以结合到目标函数中。然后针对有关的连接参数优化目标函数，这样就联合确定了连接的最佳连接参数。参数这个术语既代表这种可变的参数，也代表相应的参数值，正如技术人员很容易理解的那样。

当构成最优化问题时，可能使用以下符号：

$\Omega$  表示网络（或者所考虑的一部分网络）中的所有节点

$M$  表示所有的正交信道集合

$\psi$  表示一个或多个物理层参数，因此针对多个物理层参数可以是多维的，每个这样的可变参数具有一个定义空间，参数在其中可以假定取连续或者离散的值。

在最优化目标函数  $f$  时，使用来自上面集合  $\Omega$ 、 $M$ 、 $\psi$  的输入参数，得到定义连接的实际连接参数，包括路径、信道和物理层参数：

$R$  定义源和宿之间的实际节点：

$$R = \arg \left\{ \underset{\Omega}{\text{opt}} \{f\} \right\}$$

$S_u$  定义节点  $u$  用于传输的信道集合：

$$S_u = \arg \left\{ \underset{M(u)}{\text{opt}} \{f\} \right\},$$

这里  $M(u)$  是节点  $u$  的最佳信道集合，节点  $u$  属于路径  $R$ ，除宿节点以外。

$T_{u,v}$  定义节点  $u$  在信道  $v$  上的参数值集合，而且可以包括发送及/或接收参数，除了源节点（只有发送参数）和宿节点（只有接收参数）以外。

$$T_{u,v} = \arg \left\{ \underset{\substack{\psi(u,v) \\ v \in M(u)}}{\text{opt}} \{f\} \right\},$$

这里  $\psi(u,v)$  是节点  $u$  针对信道  $v$  的最佳参数集合，而且  $v$  属于  $M(u)$ ，节点  $u$  属于路径  $R$ 。

单个目标函数针对路径、信道以及物理层参数优化的事实实际上使网络层上路由选择、链路层上信道分配以及物理层功能真正跨层综

合为单个的统一机制。

当受到恰当设计的约束限制时,本发明建议的跨层优化产生具有一个或多个连接的网络,其连接的分配方式使得每个单独的流可以保证基本上无冲突的通信。实际上,完全无冲突的通信是不可能的。但是,无冲突实际上可以定义为保持任何相关的性能测度低于某个目标值或在预定的目标间隔内,这些性能测度例如 PER (Packet Error Ratio 误分组比)、CIR (Carrier-to-Interference Ratio 载干比)、SNR (Signal-to-Noise Ratio 信噪比)之类。举例而言,无冲突通信可以定义为只要干扰以及其它有害无线效应所产生的分组丢失保持任意小就认为实现了无冲突通信。

这种跨层综合的最优化解法在计算上是非常复杂的。例如,在诸如 TDMA 或 FDMA 这类多址接入方案中只选择路径和信道,众所周知就是所谓的 NP 完整性的问题(运行时间是非多项式的,即通常表示为指数型的,以输入大小为单位)。结合附加的功能,例如物理链路参数优化之类,会使问题更加复杂。

总的策略是基于每个流管理 QoS 的提供和许可控制,类似于已经描述的常规综合化路由选择和信道接入方案。但是,这里也要考虑几个附加的革新的方面。

现在参考图 4 的流程图描述总的策略。当在网络中根据建立请求 (S1) 建立第一个流时,应该选择某种意义上最佳的连接。优选地,要包括选择路径、信道和一组物理链路参数,使连接是无冲突的(即,不受自己的发送影响)并最优化预定的量度 (S2)。通过使用有关是否找到了可行路径的信息可以进行连接许可控制 (S3)。如果找到了可行路径,就建立连接 (S4) 并发送数据 (S5)。对于所建立的每个附加流,重复该过程,但是也要以很高概率确保新连接不会引起冲突或受到来自现有连接的冲突。由于优化所受的约束,所请求的连接不能建立的情况下,该流就不被允许进入网络 (S6)。在这种情况下用户的动作不是本发明的主要焦点,但是通常会带来以较低的 QoS 要求(例如,如果支持的话降低数据率)重新启动连接的建立或者将建立推迟到网络负载变低之后的时刻。另一个选择是在建立阶段信宿能够获得最大可用的 QoS 信息。然后这个信息可以转发到信源,用于新建立过程的指导。如果信源允许,信宿也可以保留一条不完全满足最佳

QoS 要求的路径。

在遇到流释放请求 (S7) 时, 结束数据发送 (S8)。当流被终结时, 相应的网络资源和无线介质被释放 (S9), 这样就在介质中留出空间并在需要时增加建立新连接的概率。

在确定连接的过程中, 物理层参数的优选要留出足够的容限以便维持可靠的操作, 同时要确保现有连接以及新连接的最初部分不受干扰。优选地, 物理层参数是物理链路参数, 为每条链路选择合适的发射及/或接收参数。因此, 发射及/或接收参数的自适应可能影响路径的选取。反之, 路径选取也会影响发射及接收参数的自适应。

所以连接最好是在请求的时候按需建立, 同时明智地选择所有连接参数, 例如 {路径、信道和物理链路参数} 以确保无干扰或无冲突的链路, 包括初级连接自己的链路串在内。换言之, 在发明的这个实施例中我们处理的是带路径、信道和链路参数选择的事件驱动的连接建立。

网络中也支持各种数据率以及能够标定数据率的机制。一个重要的优点是有效的资源利用, 这可以解释为对任意给定的负载减少阻塞的概率。

根据所选的目标函数, 优化可以最小化或最大化。在发明优选的实施例中, 优化的总目标是 minimized 目标代价函数。

通过试探式算法进行优化是很有利的, 例如通过在本地搜索过程中确定连接参数。更具体地, 目标函数问题可以公式化为节点所特定的目标函数的连接。使用嵌套算法证明也是很有用的。

现在参考目标为最小化代价的优化算法描述本发明。

路径、信道和链路参数确定的算法举例

其想法是以源节点为根用未决连接的初级路径生成一个方向树。一旦算法稳定了, 连接源和宿节点的路由就选定了。因此算法包括一个搜索过程, 在给定集合中, 从指定的源节点开始, 根据如下一般称为 CFPR (无冲突路径路由选择) 的算法为每个节点  $i$  寻找最低代价  $K_i$ 。

$$K_i = \min_{j \in N(i)} \left\{ \min_{m \in \{1, \dots, M\}} \left\{ \min_{\psi} \{ \kappa_i(j, m, \psi) + K(j) \} \right\} \right\}$$

$$K_{Source ID} = constant$$

这里  $i \neq SourceID$ ,  $N(i)$  是节点  $i$  的当前邻居集合, 节点  $i$  是网络内所有节点  $\Omega$  的集合,  $j$  是属于  $N(i)$  的邻居节点,  $m$  是总共  $M$  个正交信道集合中的一个或多个信道集合,  $\psi$  是一个或多个物理层参数,  $\kappa_i(j, m, \psi)$  是从节点  $j$  到节点  $i$  的代价, 项  $K(j)$  是从源节点到节点  $j$  的累积代价。针对每个信道和某个 (些) 物理链路参数为代价  $\kappa_i(j, m, \psi)$  设置一个值。  $K_{SourceID}$  是源节点处的初始代价, 假定是一个常数值, 一般设为零。集合  $N(i)$  是节点  $i$  当前邻居的可选集合, 而且不必包括所有邻居。

信道集合  $m$  可以包括一个或多个信道, 根据请求的带宽而定。对于窄带连接, 单个信道可能就足够了。对于宽带连接, 可能需要几个信道。

由于写节点标号, 例如  $i$  和  $j$  是通常接受的方法, 因此我们用下标简单地将  $\kappa_i(j, m, \psi)$  表示为  $\kappa_{ji}(m, \psi)$ ,  $K(j)$  表示为  $K_j$ 。有了这种表示, 目标是从源节点找到最小代价  $K_i$  的 CFPR 算法可以概括如下:

$$K_i = \min_{j \in N(i)} \left\{ \min_{m \in \{1, \dots, M\}} \left\{ \min_{\psi} \left\{ \kappa_{ji}(m, \psi) + K_j \right\} \right\} \right\}$$

$$K_{SourceID} = constant$$

公式中的每个嵌套层大致代表一个协议层。最里面的自变量调节物理层参数, 例如发射功率。因此  $\kappa_{ji}$  通常是依赖于物理层参数 ( $\psi$ ) 所设定的值的一个代价, 但是其它非物理层因子也可以结合进来。例如这样的因子可以是局部负载或者甚至是残余电池量。下一级选择是为每个单个邻居选择最佳信道集合 ( $m$ )。这代表信道接入或 MAC 层。第三层提供邻居的选择, 因此是路由选择层中选择路径。

通常, 优化可以完全集中在唯一的预定单元中, 只要所需信息是已知的或者可以收集到执行单元。但是, 也可以将算法分散到多个网络节点中, 优选是多跳网络内的所有网络节点。在分布式情况下, 详细的实现与提供完整信息还是只有本地信息有关。在后者情况下, 算法可以在有关网络节点中逐节点地执行, 最好是使用 RREQ 和 RREP 信令交换所需的信息, 正如后面更详细描述的那样。另一方面, 如果所需信息沿路整理到信宿节点, CFPR 算法以及相应的许可控制过程就可以根据整理的信息完全在信宿节点中执行。

上面定义的 CFPR 算法特别适合分布式实现，优化算法分散到多个网络节点中，而且在参与的网络节点中逐节点地连续执行。这通常意味着本地搜索过程在每个节点  $i$  中执行，在所选的邻居集合  $N(i)$  中对所有节点  $j$  计算从节点  $j$  到节点  $i$  的代价  $\kappa_{ji}(m, \psi)$ ，而且根据这个计算以及从每个邻居节点  $j$  接收的  $K_j$  信息确定从源节点到每个节点  $i$  的最小代价  $K_i$ 。搜索过程逐节点继续下去，直到相应节点的整个树都被搜索过。

注意 CFPR 算法表现出与 Bellman Ford 最短路径算法的一些相似性。但是，存在着一些不同之处。CFPR 算法一般是多维的（信道），它提供了对物理链路参数、信道和路径的综合优化，保证无冲突而且提供接近最短的路径。在低负荷情况下，路径选取通常是实际的最短路径。图 5 尝试图示化与 CFPR 算法结合使用的一些术语和符号。

现在，当要建立新路径时希望考虑现有连接的链路并避免与它们干扰。类似地，也希望确定现有连接的链路不与新连接中的链路干扰。因此有用的方法是将节点分成四组，此时重点只放在两个节点上，即节点  $i$  和  $j$ 。前两组只是认为要接收的节点，即节点  $i$ ，以及认为要发送的节点，即节点  $j$ 。第三组是节点  $j$  的邻居组  $N(j)$ ，但是不包括节点  $i$ 。这组内的节点标为  $u$ 。第四组包括节点  $i$  的邻居组  $N(i)$ ，但是不包括节点  $j$ 。这组内的节点标为  $v$ 。通常，邻居组有大致相同的节点集合。

如上所示，任何合适的代价函数都可以用于优化，而且所选一个（多个）物理连接参数的类型可以根据优化的具体目标不同而变化。但是为了更好地理解，现在将描述的是包括物理链路参数的示意性的优化例子。

#### 包括发射功率之类的物理链路参数的优化举例

根据发明的优选实施例，选择节点  $j$  的发射功率保证参与节点有足够的接收容限  $\gamma$ ，可以确保无冲突发生。对于节点  $i$  的接收，节点  $j$  应该使用的发射功率  $P_j(m)$  要保证产生的接收功率  $C_i(m)$  超过集合  $N(i) \setminus \{j\}$  内节点  $v$ （或者  $\Omega$  中的其它节点也可以用于计算）所产生的并且在节点  $i$  以衰减因子  $\gamma_M$  能看到的干扰电平。类似地，节点  $j$  应该使用的发射功率  $P_j(m)$  要保证至少比集合  $N(j) \setminus \{i\}$  内任意节点  $u$  处的接收功率  $C_u(m)$  小一个接收因子  $\gamma_R$ 。此处假设信道增益矩阵  $G(m)$  是已知的，

而且有了它就可以将接收和发射功率彼此关联。此外，噪声电平  $W$  使用因子  $\gamma_W$  以保证通常是干扰受限而不是噪声受限的。

一个必须满足的附加而且重要的条件是节点  $j$  不应干扰它到源节点的初级路由上的那些链路。  $R$  表示沿着初级路由连接到节点  $j$  的节点集合，  $r$  标出  $R$  内的节点。最后，接收机噪声电平设为  $W$ 。

节点  $j$  最大允许和最小要求的发射功率现在定义如下：

$$\hat{P}_{\max j}(m) = \min \left\{ \min_{u \in N(j) \setminus \{i\}} \left\{ \frac{C_u(m)}{\gamma_m \cdot G_{ju}(m)} \right\}, \min_{r \in R} \left\{ \frac{\hat{C}_r(m)}{\gamma_m \cdot G_{jr}(m)} \right\} \right\}$$

$$\hat{P}_{\min j}(m) = \frac{1}{G_{ji}(m)} \cdot \left( \gamma_W \cdot W + \gamma_R \cdot \left( \sum_{v \in N(i) \setminus \{j\}} P_v(m) \cdot G_{vi}(m) + \sum_{r \in R} \hat{P}_r(m) \cdot G_{ri}(m) \right) \right)$$

这里，  $\hat{P}_r(m)$  和  $\hat{C}_r(m)$  分别表示针对集合  $R$  中的节点估计的（或比较初级的）发射和接收功率。  $P_v(m)$  和  $C_u(m)$  则分别表示已经建立业务流的节点的发射和接收功率。然后，当算法收敛时，将选出连接源和宿的初级路径并作为活动路径建立起来直到超过有效期。所有发射功率和接收功率电平将会更新以便反映最新建立的连接。

这里要注意的是  $\hat{P}_{\max j}(m)$  的公式不能保证在现有链路接收节点处产生的 CIR 不会恶化到某个 CIR 电平之下。相反它表示了一种简化，只要衰减容限  $\gamma_M >$  接收容限  $\gamma_R$ ，CIR 就不太可能显著降到  $\gamma_R$  以下。后面将描述选择  $\hat{P}_{\max j}(m)$  以保证 CIR 不会降低到所需的 CIR 电平之下的情况。

由于一些信道不用于发射或接收，算法的公式需要将发射功率设为 0，接收功率设为  $\infty$ 。实际上，当进行代价计算时不需要考虑这样的信道，因此可以跳过它们。

$\kappa_{ji}$  合理的代价量度是链路发射功率。这种量度选择对整个路径上所用的累积发射功率最小化。这样对降低电池消耗很有好处，但是它也降低了系统的干扰电平，以便留出空间容纳新的连接。因此系统可以在较高网络负荷下操作。该量度的选择是：

$$\kappa_{ji}(m) = \begin{cases} \hat{P}_{\min j}(m) + C(\hat{P}_{\max j}(m) - \hat{P}_{\min j}(m)), & \text{if } \hat{P}_{\min j}(m) \leq \hat{P}_{\max j}(m) \\ \infty, & \text{if } \hat{P}_{\min j}(m) > \hat{P}_{\max j}(m) \end{cases}$$

这里的  $C$  是在 0 到 1 间隔内选择的常数。意味着  $\kappa_{ji}$  受到  $\hat{P}_{\min j}(m)$  和

$\hat{P}_{\max j}(m)$ 的限制。 $C=0$ 时,  $\kappa_{ji}$ 等于 $\hat{P}_{\min j}(m)$ 。 $C=1$ 时,  $\kappa_{ji}$ 等于 $\hat{P}_{\max j}(m)$ 。设代价为 $\infty$ 的原因是代价 $\kappa_{ji}(m)$ 只有在可行的时候才能设一个有用的值。

为了正确和快速收敛, 无论何时 $K_i = \infty$ , 节点 $i$ 都应该丢弃从信源引出的初级路径, 并设相应的发射功率为0, 相应的接收功率为 $\infty$ 。在初级路径上包含节点 $i$ 的任何节点应该重复这个过程。

图6表示一条初级路径, 从节点3(源节点)的ch 2出发→节点6, 信道切换ch 2 → ch 3, 节点6的ch 3→节点 $j$ 。所示的情况反映了节点 $i$ 和节点 $j$ 是否能在ch 1上通信的测试。这使得节点 $j$ 进行信道切换ch 3→ch 1是必要的, 并保证了节点 $j$ 不会干扰诸如信道1上的节点1和2。类似地, 也保证了节点 $j$ 可以以足够的功率发送, 以便在来自ch 1的节点4和5的干扰下与节点 $i$ 通信。

上述过程运行直到路径和信道都不再变化。然后当建立新连接时, 数据就可以开始流动。一段时间后不在需要该连接时, 就去掉它。只要连接存在时间与节点的移动以及/或信道的变化相比较短, 就可以支持低移动性。

甚至当不可能进行动态功率调整时该算法仍然有效。在这种情况下, 物理链路自适应是在以固定链路发射功率 $P_{\text{fix}}$ (ON)发射还是根本不发射(OFF)之间选择。优选地, 链路发射功率设为 $P_{\text{fix}}$ 只要 $P_{\text{fix}}$ 是在 $\hat{P}_{\min j}(m)$ 和 $\hat{P}_{\max j}(m)$ 之间的间隔中, 否则链路发射功率设为零。

为了帮助读者理解发明的基本概念以及CFPR算法, 现在参考图7-13描述CFPR算法操作的例子, 这些图描述了具有36个节点的网络, 分布在正方形的区域之中并使用14个时隙(TS)。每个节点用一个未填充的圆表示。源节点用圆圈内的黑星表示, 宿节点用灰色星表示。每个节点有一个ID, 写在节点的右侧。节点之间的连接用不同灰度的链路表示, 其灰度代表TS号码。TS号码也放链路旁边的括号中, 处于链路所互连的节点中间一半的位置。

图7表示了一棵ID为5的以源为根的树。它所表示的是, 当CFPR算法产生由路径、信道和自适应链路参数组成的初级连接时第一个流的连接建立阶段。在这个CFPR算法的特定实现中, 如果存在同样好的时隙总是选择最小的TS号。这就是为什么时隙号码是从源节点按

顺序分配的。

图 8 表示 ID 为 31、到宿节点的所选路径。因此，所有其它的初级路径都被丢弃，只有源宿对之间 CFPR 最佳的一个保留下来。

当要建立第二个流及其连接时，可以直观地看出要选择不会有害地干扰现有连接以及不受现有连接干扰的那些链路。在图 9 中，节点 ID 7 是信源，节点 ID 30 是信宿。

当第二个连接建立之后，注意到 TS 1、13、12、2 和 3 已经被复用。此外，在节点 22 和 23 之间同时使用了两个时隙。图 10 说明了第一和第二个流所产生的路径和信道。

最后，在图 11 和 12 中描述了第三个流及其有关连接的建立。

应该注意到图 7-12 只表示了连接的建立，没有释放。尽管如此，后者是无关紧要的，因此可以省略。

在上面的例子中， $\gamma_M=8\text{dB}$ ， $\gamma_R=5\text{dB}$ ， $\gamma_W=8\text{dB}$ 。所有激活接收机所得到的 CIR CDF 在图 13 中表示。

尽管从源到宿无冲突的资源或通道令人自然地想起线路交换连接，但是应该理解只有虚电路才能利用这些无冲突的资源。在这种情况下，链路的容量通常是在多个连接之间共享的。通常需要在每个节点中使用规划方案才能将协商的容量给予每个连接。

#### 附加/可选问题

##### 信道行为和容限的评论

在视线 (LOS) 情况下，例如屋顶网络中常见的情况，信道是相对稳定的。因此，各个容限  $\gamma$  可以相对较小。但是，当信道强度波动的时间尺度大于分组持续时间或交织深度时，容限  $\gamma$  应该选为能够确保对现有或自己的连接干扰不会引起主要问题的足够容限。

##### 代价方向性

注意到在给出的公式中可以交换  $K_{ij}$  下标  $i$  和  $j$  的顺序，这样所考虑的就是从节点  $i$  到节点  $j$  的代价，而不是相反方向。因此，所确定的不是自源节点的代价，而是到源节点的代价。在这种情况下，指定源节点是宿节点更确切。

由于优选算法是试探式的，因此它并不总是提供可得最小代价量度的路径。一种处理这个问题的方法是确定路径两次——第一次以信源为根，第二次以信宿为根。因此需要使用一种考虑流从源导向宿的

量度:

$$K_{Destination} = \min \left\{ K_{Destination}^{From\ source}, K_{Source}^{to\ destination} \right\}$$

复杂性

为了降低复杂性,可以采用多种方法。首先邻居  $N(i)$  的合理个数应该选为能够确保合理程度的网络连接性。6-10 个邻居的值应该就足够了。可以限制搜索合适的连接路径的区域。一种实现方法是搜索源和宿之间最短路径附近的一定距离或跳数。这样必须在搜索之前建立最短路径,而且要通知该路径附近的节点它们属于搜索区域。注意到搜索区域的其它选项也是可能的。一种对搜索区域的明智限制包括考虑离信源近的那些邻居。确定节点离信源近的一种方法是在应用 CFPR 算法之前运行普通的最短路径算法作为第一步骤。如果 CFPR 算法使用发射功率作为量度,那么使用类似的量度,例如自信源的累积路径损耗之类,应该是合理的。正如前面指出的,当设值为 0 或者  $\infty$  时上面计算中的很多项都可以去掉。

合理路由的产生

试探式算法所产生的路由不一定都看起来合理。例如,在高负荷下的信道缺乏可能导致路径走出一条曲折很大的线路。如果认为这是个主要问题的话,至少有三种机制可以或多或少地解决它。首先,利用负载控制,就不太容易出现信道耗尽。只要在 CFPR 算法中使用同样的量度,这样就可以提供接近最短路径的路由。第二种方法用限制路由搜索的范围来提供,正如上面复杂性章节下所描述的那样。实现它的一种方法是使用到信源的 Bellman-Ford 代价较小的邻居。

基于 CIR 限制的最大允许发射功率

不采用将发射功率限制到现有链路任意接收机部分的接收功率以下容限为  $\gamma$  的水平,另一种条件是限制发射功率使现有链路任意接收机部分的 CIR 不小于 CIR 门限  $\Gamma_M$ 。最大允许的发射功率是:

$$\hat{P}_{\max_j}(m) = \min \left\{ \begin{array}{l} \min_{u \in N(j) \setminus \{i\}} \left\{ \frac{C_u(m) - \Gamma_M \cdot (I_u(m) + \hat{I}_u(m) + W)}{\Gamma_M \cdot G_{ju}(m)} \right\}, \\ \min_{r \in R} \left\{ \frac{\hat{C}_r(m) - \Gamma_M \cdot (I_r(m) + \hat{I}_r(m) + W)}{\Gamma_M \cdot G_{jr}(m)} \right\} \end{array} \right\}$$

这里现有链路或初级路径的每个接收机部分都受到干扰电平  $I(m)$

的影响,  $\hat{I}_x(m)$  是从初级路径上的节点到节点  $x$  的预计干扰。这就对所承受的 CIR 电平设置了较低的界限。其结果是拒绝业务流, 而不是允许现有链路的 CIR 电平掉到 CIR 门限  $\Gamma_M$  之下。

### CIR 平衡

当在优化过程中确定了发射功率电平时, 实际上可能会出现实际的 CIR 电平偏离所期望的 CIR 电平。对网络中的发射功率电平进行常规的 CIR 平衡可以对此进行补偿, 或者分布或者集中式地进行。换句话说, 一旦新连接已经建立, 就可以平衡发射电平, 在网络中得到所期望的 CIR 电平 (或其它的 QoS 测度)。

或者, 特别是集中式的情况下, 使用 CIR 平衡作为 CAC 阶段的额外步骤。在 CIR 平衡失败的情况下, 拒绝连接。因此注意到图 13 中的 CIR CDF 是一个阶跃函数。这种特定方法的好处是整体性能得到改善。

### 算法更深范围的扩展

因为 CFPR 的基本操作有可能确定了不合适的信道, 因此让我们更进一步, 现在描述基本 CFPR 算法的扩展。作为例子, 假设节点  $k$ 、 $j$  和  $i$  的信道 1+2、1+2、1 分别是空闲的,  $k$  和  $i$  不是邻居, 而  $j$  是  $k$  和  $i$  的邻居。如果节点  $j$  选择使用信道 1 离开节点  $k$ , 原因是它比信道 2 的代价低, 那么导致节点  $j$  和  $i$  不可能产生一条链路。显然, 在  $k$  和  $j$  之间分配信道 2、从  $j$  到  $i$  使用信道 1 是比较明智的。

这里所处理的方法是让节点  $i$  决定从  $k$  到  $j$  的链路特性 (例如, 信道和链路参数), 受从  $j$  到  $i$  可以产生链路的限制。因此, 节点  $i$  同时搜索两条链路的最低代价组合。但是, 尽管已经确定了两条兼容的链路, 只保持最接近信源的链路。在随后的步骤中, 当另一个节点搜索到最好的链路组合时, 它可以决定使用节点  $j$  到  $i$  之间的链路, 但是丢弃从  $i$  到它本身的链路。忽略离源节点最远的链路这个规则的例外是信宿站, 它确定了两条最后的链路, 但是不丢弃两条链路中的任意一个。

在基本的 CFPR 算法中, 一次只考虑一条链路。在这个 CFPR 算法版本中, 则是一次考虑两条连续的链路。这里引入范围的概念是为了表示算法作用的远近程度。基本 CFPR 的范围=1, 这个版本的 CFPR 的范围=2。范围可以扩展到任意一个较大的值, 但是当存在很多节点

和信道时可能会带来复杂性的激增。

#### 较高数据率支持

由于不同的应用可能对数据率有不同的要求,因此重要的是提供对不同数据率的某种支持。可以使用两种方法改变端到端的通过量。第一种方法,选择容限 $\gamma_R$ 以及 $\gamma_M$ 和 $\gamma_W$ 支持由码率和信号星座图组成的链路模式。简单而言,不同速率可以通过规定不同的 CIR 要求(请求对应于某个数据率的 CIR)来处理。通常信号星座图可以从 2-BPSK 变化到 64-QAM。在发射功率  $P_{min}$  和  $P_{max}$  的条件设置中最好也要考虑它。第二种方法,建立多条路径并且联合使用它们,以提供所需的数据率。也可以合并使用两种方法。

#### 应用层综合

正如前面提到的,在优化中可以使用其它的协议层以及三个以上的协议层。例如,应用层可以包括在优化中,最好是与最低三个协议层结合。例如,应用层可以容纳自适应应用,能够在不同数据率下操作,但是要保持有关的应用质量并与所用的数据率兼容。很多基于视频及语音的应用是能够使用多种数据率的自适应应用的很好例子。更具体地,当尝试建立新连接时,针对多种数据率要求(由应用层给出)进行目标函数(或算法)的优化。正如前面指出的,例如通过在节点之间联合使用多个信道(例如多个时隙)、通过链路自适应(信号星座图和前向纠错编码速率的各种组合)或者二者结合可以支持各种数据率。在所述四层功能的综合优化中,要在给定的约束下评估允许速率范围的可行性。在发明的示范实施例中,每个优化步骤上,任何希望的但是不可行的高数据率都从进一步的优化步骤中去掉。

应用层也可以用于与三个最低协议层中的两个一起综合优化。

#### 扩展到自适应天线和 MIMO 的算法

算法可以扩展到结合自适应天线和 MIMO 通信。在自适应天线的情况下,当最小化发射功率时选择接收和发射天线的天线权重之类的物理层参数。约束这个条件可以不干扰正在进行的业务流并确保所期望的接收机具有足够的质量(信号与干扰及噪声之比)。

当部署了足够多的天线(以自适应天线阵的形式)并且可以实现高方向性时,干扰就不再是网络的限制因素。相反,信道资源将限制网络可以实现的负载。在极端情况下,即干扰可以完全忽略,就采用

另一个优化准则，尝试最小化跳数。也可以在每个节点增加平衡空闲资源的约束，以便提高每次找到空闲路径的可能性。

MIMO 以类似方式操作，做法是选择包括发射机和接收机 MIMO 权重在内的链路参数。参数的选择受到最小化链路发射功率的约束同时也要满足所需的 MIMO 链路通过量。

#### 实现方面

通常，优化算法以及相应的连接许可控制 (CAC) 过程可以用硬件、软件、固件或它们任何适当的组合来实现，例如使用微处理器技术、数字信号处理或 ASIC (应用专用集成电路) 技术。举例而言，算法可以用计算机系统执行的软件来实现。该软件可以用几乎任何类型的计算机语言编写，例如 C、C++、Java，甚至特殊的专用语言。在基于软件的实现中，算法有效地映射到软件程序中，通过计算机系统的执行而确定连接并处理许可控制。尽管如此，CFPR 算法以及相应的 CAC 过程最好是或多或少地用硬件来实现，使用 ASIC 或其它亚微细粒的电路技术。

图 14 是一个网络节点的示意图，其中实现了根据本发明的 CFPR 算法。图 14 只表示了与本发明有关的那些网络节点单元。网络节点 100 包括控制系统 110 和通用无线发射/接收单元 120，后者具有基带处理模块 121 和射频 (RF) 模块 122。控制系统 110 优选地包括连接许可控制 (CAC) 单元 112 以及路由选择单元 114，并包括存储网络信息的数据库 116。路由选择单元 114 包括通过路由表 115 对业务流路由选择的功能。在这个特定实施例中，CFPR 单元 113 在 CAC 单元 112 中实现，在可能的情况下确定一组连接参数。CFPR 单元 113 从数据库 116 及/或直接从节点之间的控制信令中获取现有连接以及初级连接自己的链路串的有关信息，并用适当的目标函数执行 CFPR 算法。配置 CAC 单元 112，以便根据 CFPR 算法的执行结果进行 CAC 判决。如果在考虑了给定的 QoS 要求之后，CFPR 单元 113 没有确定可行的连接参数组，CAC 单元 112 就拒绝该连接建立请求。相反，如果 CFPR 算法产生了一组可行的连接参数，就建立请求的连接。这个任务的实现通常是在路由选择单元 116 中用新连接参数更新路由表 115，并使用“泛滥式”、生成树转发、源路由选择或任何其它常规的机制将该连接参数转发到有关的网络节点。现在主要关心的是集中式的实现。

但是下面将讨论有关分布式实现的实现情况。

### CFPR 的按需实现

CFPR 可以用分布式方法实现。正如前面提到的，利用按需路由选择的\*\*概念可以做到。尽管按需路由选择可以从一些最新方案中了解到，但是这里对传统的按需路由选择方法做了几个修改。

第一个问题是网络中的每个 (Resource Request 资源请求) RREQ 不仅带来了沿着初级路由的节点列表，也规定了资源分配的\*\*细节。例如，初级连接的每个接收时隙可以关联于一个接收功率电平。在使用基于 CIR 限制的最大允许发射功率情况下，也可以包括噪声和干扰电平。

传递这个信息的原因是确保时隙和发射功率分配不干扰初级连接上分配的资源。因此，初级连接中资源的发射功率电平也随着 RREQ 散布。其原因是节点  $i$  应该能够确定沿着初级连接的任何节点是否干扰节点  $i$  的接收。

初级连接的列表 (节点 IDs) 以及有关的信息——例如所用信道、可能使用的发射功率、可能获得的接收功率 (以及受到的干扰)——可以限制到某个固定的长度。当列表满的时候则按照 FIFO 的方式工作。这样做的理由是我们不想浪费资源发送无用的信息。显然，初级列表中的节点与节点  $i$  距离足够远时其重要性也就不高了，而且不会受到节点  $i$  干扰的损害或者干扰节点  $i$ 。

RREQ 中也传递一个用于代价量度的域，这不是简单的跳数量度。前面讨论的一个特定量度是基于发射功率的，可以给出沿着路由的累积发射功率电平。

当宿节点接收到 RREQ 时，根据 CFPR 算法的分布执行选择一条最低代价路径并用 RREP 应答，该应答沿着所选的路径中继回到源节点。RREP 最好是用足够高的功率在较大区域中实际上无冲突的信道上发送，这样相邻节点才能侦听到该 RREP 信息。侦听到 RREP 信息的节点随后更新它们的资源分配数据库。RREQ 和 RREP 的协议细节是现有技术所已知的，因此不再讨论。

每个 RREQ 和 RREP 这类的控制消息也结合了所用的发射功率，这样接收节点就可以确定路径损耗。当在平均路径增益意义上信道或多或少可逆时，这样做就有意义了。在非可逆情况下，其它众所周知

的估计信道增益的方法也可以使用。

上面描述的降低复杂度的方案可以与按需路由选择判决结合使用。

最后, RREQ 可以根据带宽要求指示所需的容限  $\gamma_R$  以及  $\gamma_M$  和  $\gamma_W$ , 或者期望的链路模式或二者兼有。类似地, RREP 通知有关的连接参数, 例如发射功率、接收功率、期望容限、有关时隙(信道)等等。

#### 按需操作的复杂性降低

带有多个初级路径的完整树结构的构建带来不必要的处理, 因为最终只有一条路径会被使用。这一节建议了另一种版本的按需操作, 适合减轻不必要的冗余路径处理。

假设源节点对在哪里能找到宿节点有大致的想法。例如, 这可以通过主动式最短路径协议给出, 例如更新很慢的 DSDV, 已知是先验的(即, 固定节点)或甚至是按需的。现在可以沿着最短路径或者沿着遵循最短路径的一个区域将 RREQ 发往信宿。这样 RREQ 就收集了沿着最短路径的现有连接的链路信息。这个信息包含 CFPR 算法随后计算连接所需的同样信息, 例如所用的信道、所用的发射功率、得到的接收功率等等。当宿节点收到 RREQ 时, 它通过 CFPR 算法及其衍生物处理 RREQ 收集的信息。注意到 RREQ 可以包含对单个连接所不能支持的带宽的请求。在这种情况下, 宿节点可以为一个流确定多个连接。随后, 一个(或多个) RREP 被发回以便保留资源。RREP 则会包含节点 ID、将要用的信道以及链路参数(例如发射功率)。

这种方法的好处是计算只在宿节点执行, 而且 RREQ 的泛滥是有限的。由于在转发 RREQ 过程中不进行计算, RREQ 将会很快地通过网络。另一个好处是宿节点可以确保没有环路、可以前向和反向运行 CFPR 算法(正如结合代价方向性所示的那样)、并且可以实现任意的(供应商专用的)算法。

缺点是路由很长时, RREQ 中包含的信息可能非常多。解决这个问题的一种方法是, 在信源和信宿之间结合中间的终结点, 例如每 20 个节点左右放一个。

当然, 前面也描述过可以在带有有限节点组的有限区域上使用基于树的方法。

算法扩展到非时隙信道接入

CFPR 算法可以扩展到结合信道接入技术, 该技术不是依赖于将介质分成相等大小的带有可预测边界的信道。这种信道接入方案的例子是 802.11 DCF 协议。注意到 DCF 的当前操作不允许在将来重复分配资源。

在这种情况下, 代价 $K_{ij}$ 可包括延时, 可能与发射功率结合。每个节点尝试在预定大小的分组传输进行中或之后找到一个发射窗口。链路速率可以自适应, 以便压缩数据分组传输的时间。假定在任何可能的时候都使用最大链路速率, 在确保接收高于干扰加噪声一个因子 $\gamma$ 的同时可以自适应(最小化)发射功率。图 15 说明如何在不同链路上使用各种链路速率。这样就产生了不同的发送分组持续时间, 所谓传输持续延时。有效地确定路由、介质访问延时以及链路层参数(例如链路速率及/或发射功率), 以便确保针对现有连接以及初级连接自己的链路串实现基本上无干扰的通信。

通过为每个节点恰当地选择发射时刻延时以及链路速率(影响传输延时), 就可以最小化从源到宿的整个端到端传输延时。一旦使用了最快链路模式, 就可以尽可能地降低链路发射功率, 同时还要满足该链路模式的 CIR 要求。这实际上意味着延时和发射功率可以合并到目标函数中, 最好是以加权的方式。如果更重要的是最小化网络延时(或者发射功率), 那么只要简单地增加相应的权重系数。

上面描述的实施例只是作为例子给出的, 应该理解到本发明不限于此。保持所揭示的基本基础原则以及这里的权利要求的前提下做进一步的修正、改变以及提高都在本发明的范围和精神之内。

### 参考文献

- [1] S. Lee and A. T. Campbell, "INSIGNIA : In-band signaling support for QoS in mobile ad hoc networks (INSIGNIA: 移动 ad hoc 网络内对 QoS 的带内信令支持)", in Proc. Of the 5th Intl. Workshop on Mobile Multimedia Communication, 1999.
- [2] C. Perkins, E. M. Royer and S. R. Das, "Ad hoc on-demand distance vector routing (Ad hoc 按需距离矢量路由选择)", in Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-06. txt, 2000 年 7 月.
- [3] D. Johnson and D. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks (ad hoc 无线网络动态源路由选择)", in Mobile Computing, Kluwer Academic Publ. , 1996.
- [4] S. Chen and K. Nahrstedt, "Distributed Quality-of-Service in ad hoc networks (ad hoc 网络分布式服务质量)", IEEE JSAC, SAC-17 (8), 1999.
- [5] C. R. Lin, "Multimedia transport in multihop wireless networks (多跳无线网络中多媒体传输)", in IEEE Proc. -Commun., vol. 145, No. 5, 1998 年 10 月.
- [6] R. Nelson and L. Kleinrock, "Spatial TDMA: A collision free multihop channel access protocol (无冲突的多跳信道接入协议)", "IEEE Trans. Commun. , vol. COM-33, no. 9, pp. 934--944, 1985 年 9 月.
- [7] Lichun Bao and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Collision-Free Topology-Dependent Channel Access Scheduling (无冲突的根据拓扑结构的信道接入规划)", Gronkvist, J., "Traffic Controlled Spatial TDMA in multihop radio networks", PIMRC 98, 1998 年 10 月.
- [9] Grönkvist, J. , "Assignment Methods for Spatial Reuse TDMA (空间复用 TDMA 的分配方法)" MobiCom 00, Boston, MA, 2000 年 8 月.
- [10] Y. -C. Hsu and T. -C. Tsai, "Bandwidth Routing in Multihop Packet Radio Environment (多跳分组无线环境中的带宽路由选择)

", in Proceedings of the 3rd International Mobile Computing Workshop, 1997年3月.

[11] Y. -C. Hsu, T. -C. Tsai and Y. -D. Lin, "QoS Routing in Multihop Packet Radio Environment (多跳分组无线环境中的 QoS 路由选择)", in IEEE International Symposium on Computer Communications, Athens, Greece, 1998年6月.

[12] C. -R. Lin and J. -S. Liu, "QoS Routing in Ad hoc Wireless Networks (Ad hoc 无线网络的 QoS 路由选择)", in IEEE JSAC, SAC-17(8), 1999.

[13] C. -R. Lin. "On-Demand QoS Routing in Multihop Mobile Networks (多跳移动网络中按需 QoS 路由选择)", in Proc. of IEEE INFOCOM, 2001.

[14] T. -W. Chen, J. -T. Tsai and M. Gerla, "QoS Routing Performance in Multihop, Multimedia, Wireless Networks (多跳、多媒体、无线网络中的 QoS 路由选择性能)", in Proc. of IEEE ICUPC, 1997.

[15] Y. -S. Chen et al. , "On-Demand, Link-State, Multi-Path QoS Routing in a Wireless Mobile Ad-Hoc Network (无线移动 Ad-Hoc 网络的按需、链路状态、多路径 QoS 路由选择)", 将在 IEEE European Wireless 2002 上出现: 2月26-28日, Florence, Italy (之前在互联网上提供).

[16] W. -H. Liao et al. , "A Multi-Path QoS Routing Protocol in a Wireless Mobile Ad Hoc Network (无线移动 Ad Hoc 网络中的多路径 QoS 路由选择协议)", IEEE Int'l Conf. on Networking (ICN), Vol. 2, pp.158-167, 2001.

[17] W. -H. Liao, Y. -C. Tseng and K. -P. Shih, "A TDMA Based Bandwidth Reservation Protocol for QoS Routing in a Wireless Mobile Ad Hoc Network (无线移动 Ad Hoc 网络中用于 QoS 路由选择的基于 TDMA 的带宽预约协议)", 将出现在 ICC, 2002 (之前在互联网上提供).

[18] A. Michail, "Routing and Scheduling Algorithms in Resource-limited Wireless Multi-hop Networks (资源受限的无

线多跳网络中路由选择以及规划算法)", PhD 论文, University of Maryland, College Park, 2000.

[19] C. Zhu, "Medium Access Control and Quality-of-Service Routing for Mobile Ad Hoc Networks (移动 Ad Hoc 网络的介质访问控制及服务质量路由选择)", PhD 论文, University of Maryland, College Park, 2001.

[20] M. Sanchez, J. Zander, "Reuse Adaptive Routing for Multihop Packet Radio Networks (多跳分组无线网的复用自适应路由选择)", 通过 the Radio Communication Systems group of KTH Royal Institute of Technology, Stockholm 主持的 the Industrial Partnership Program 发表。

[21] 国际专利申请, 国际公开号 WO 02/05493 A2, 2002 年 1 月 17 日。

[22] 国际专利申请, 国际公开号 WO 01/50669 A1, 2001 年 7 月 12 日。

[23] 美国专利申请, 公开号 US 2002/0049561A1, 2002 年 4 月 25 日。

[24] 美国专利申请, 公开号 US 2002/0054578A1, 2002 年 5 月 9 日。

[25] 美国专利申请, 公开号 US2002/0075869A1, 2002 年 6 月 20 日。

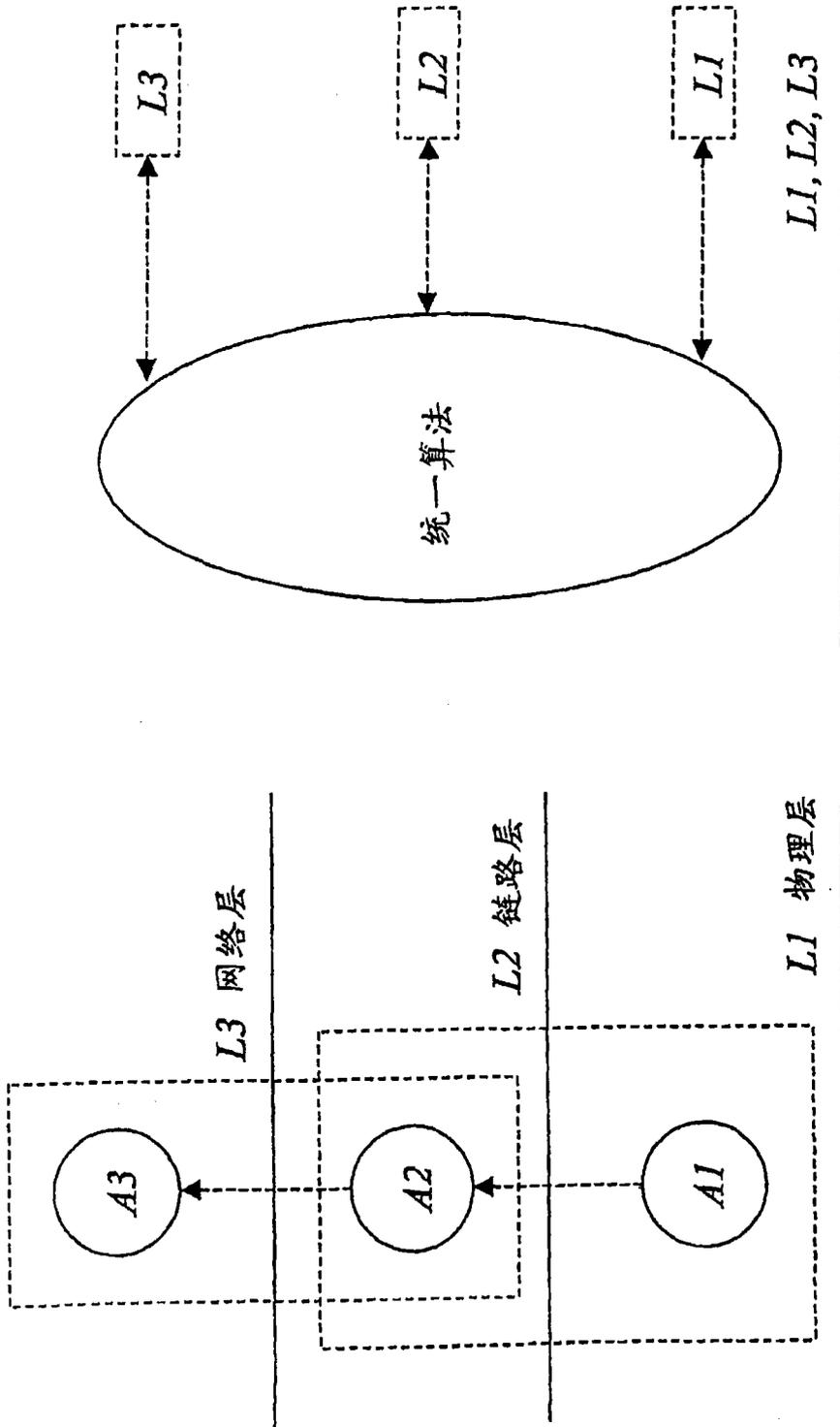


图 1  
(现有技术)

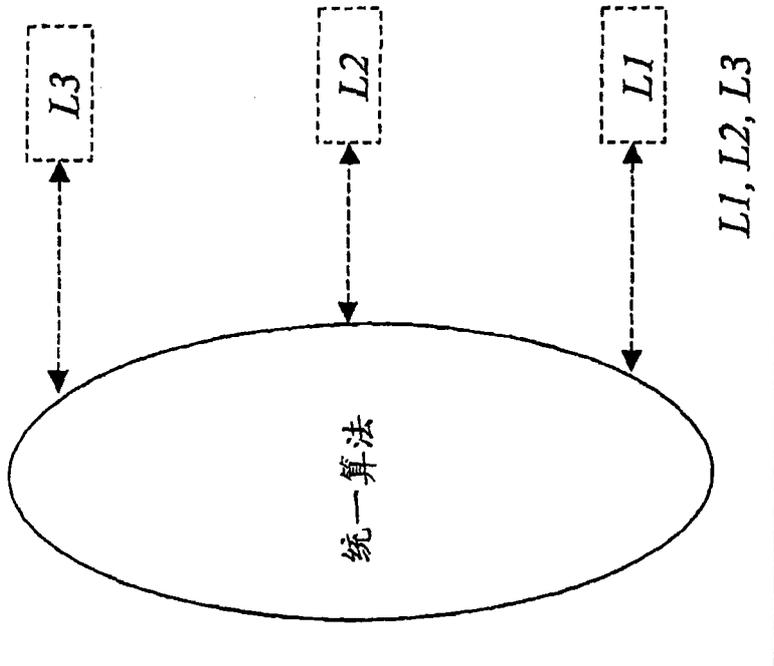


图 2

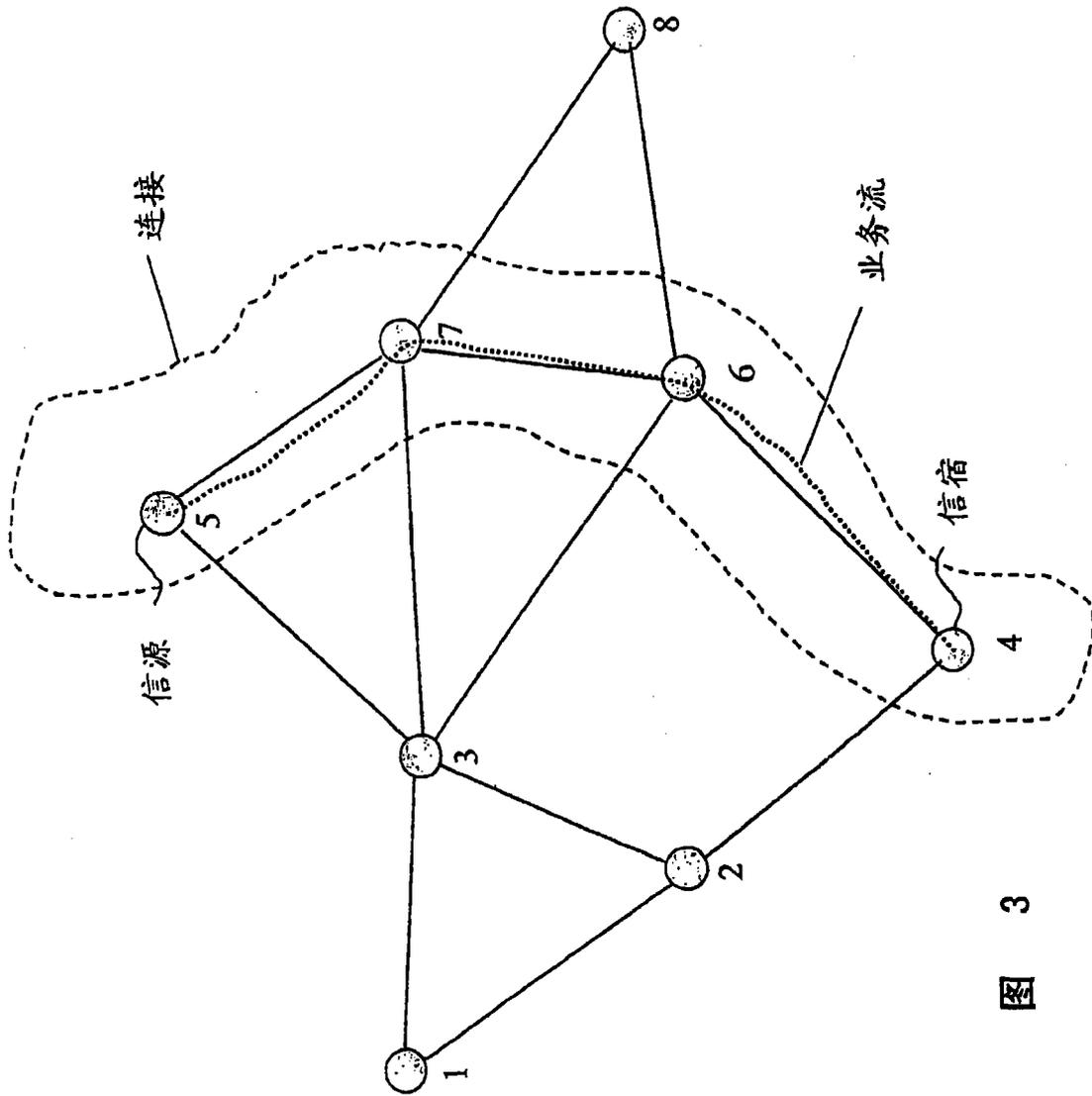


图 3

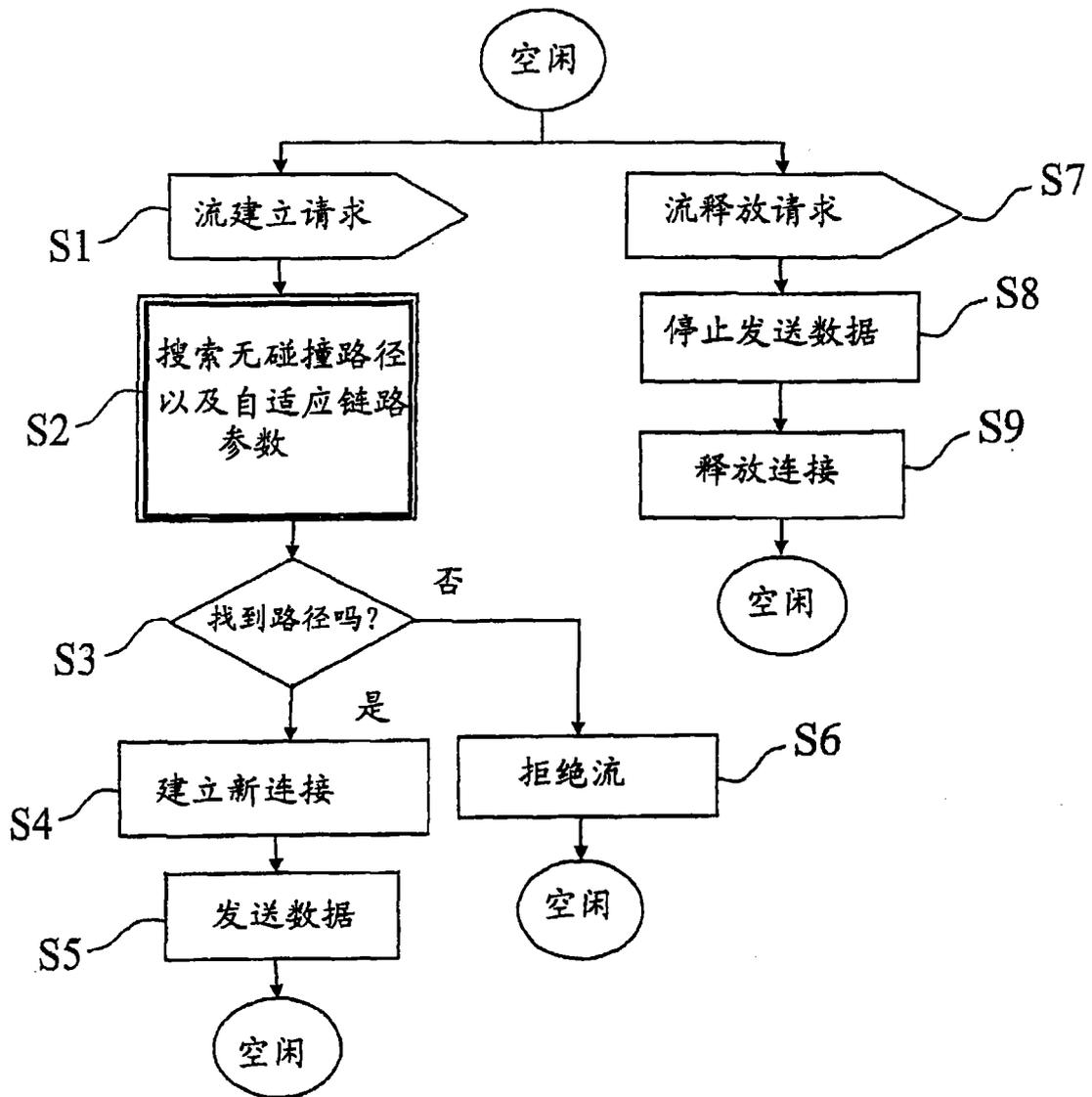


图 4

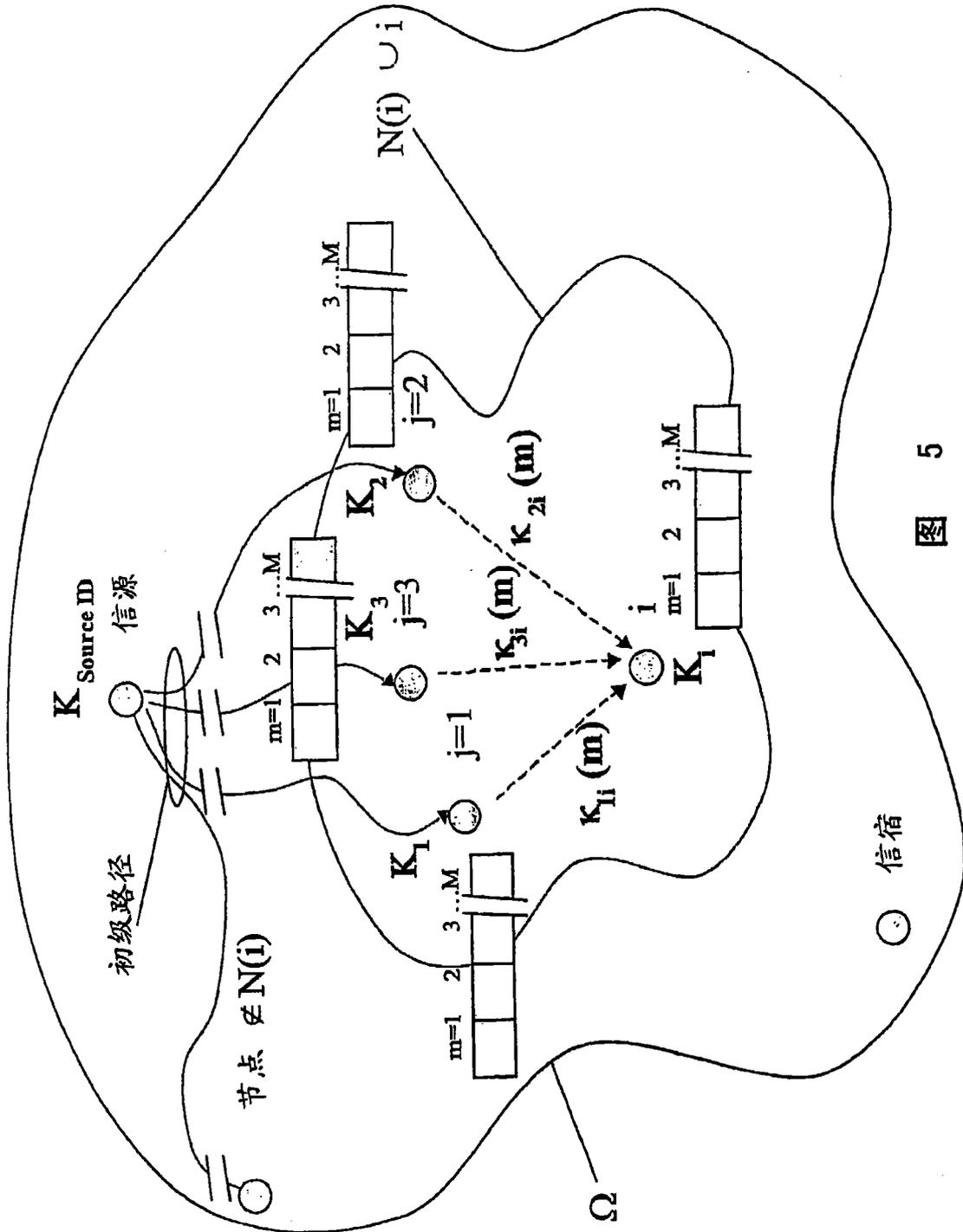


图 5

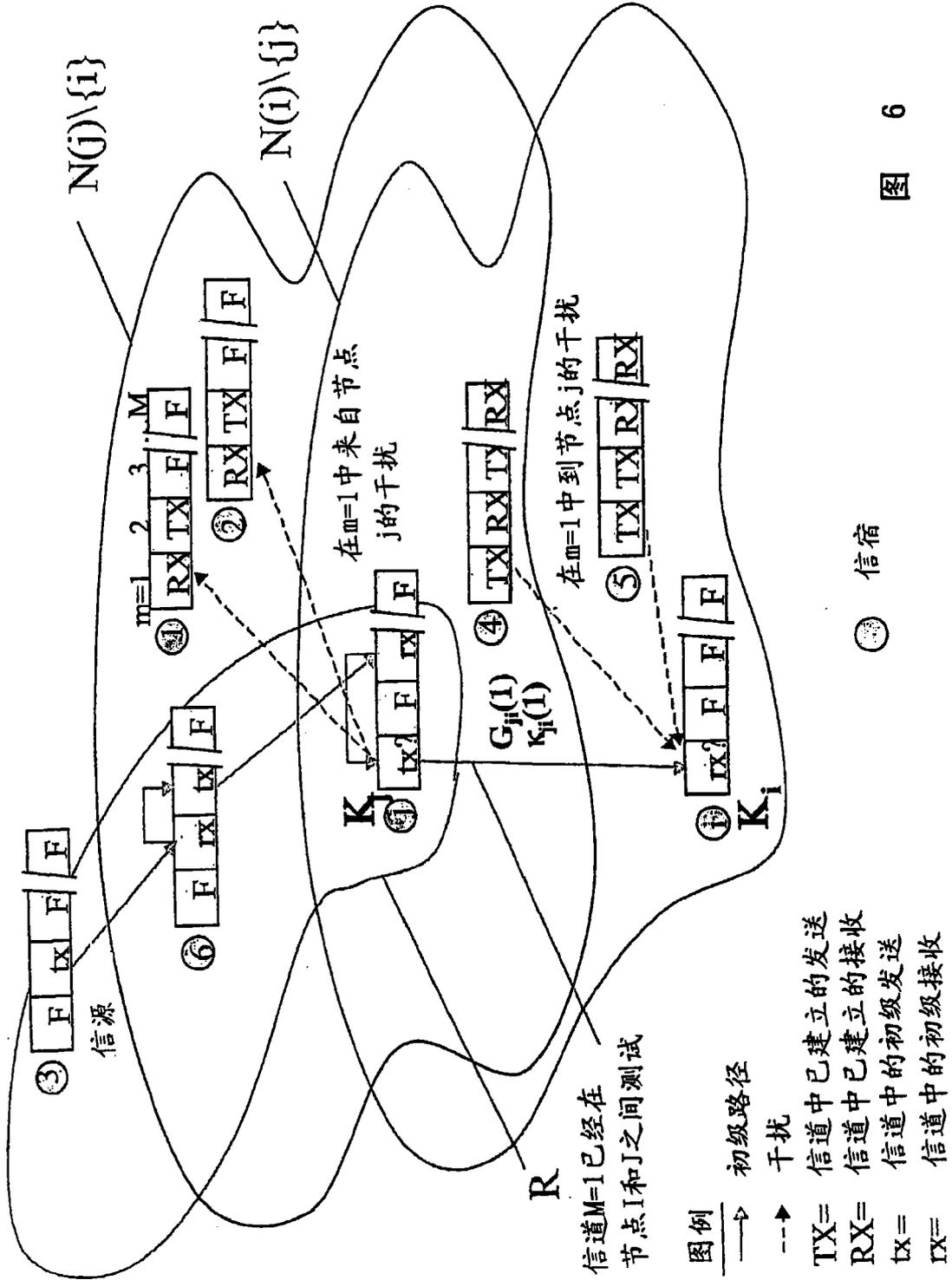


图 6

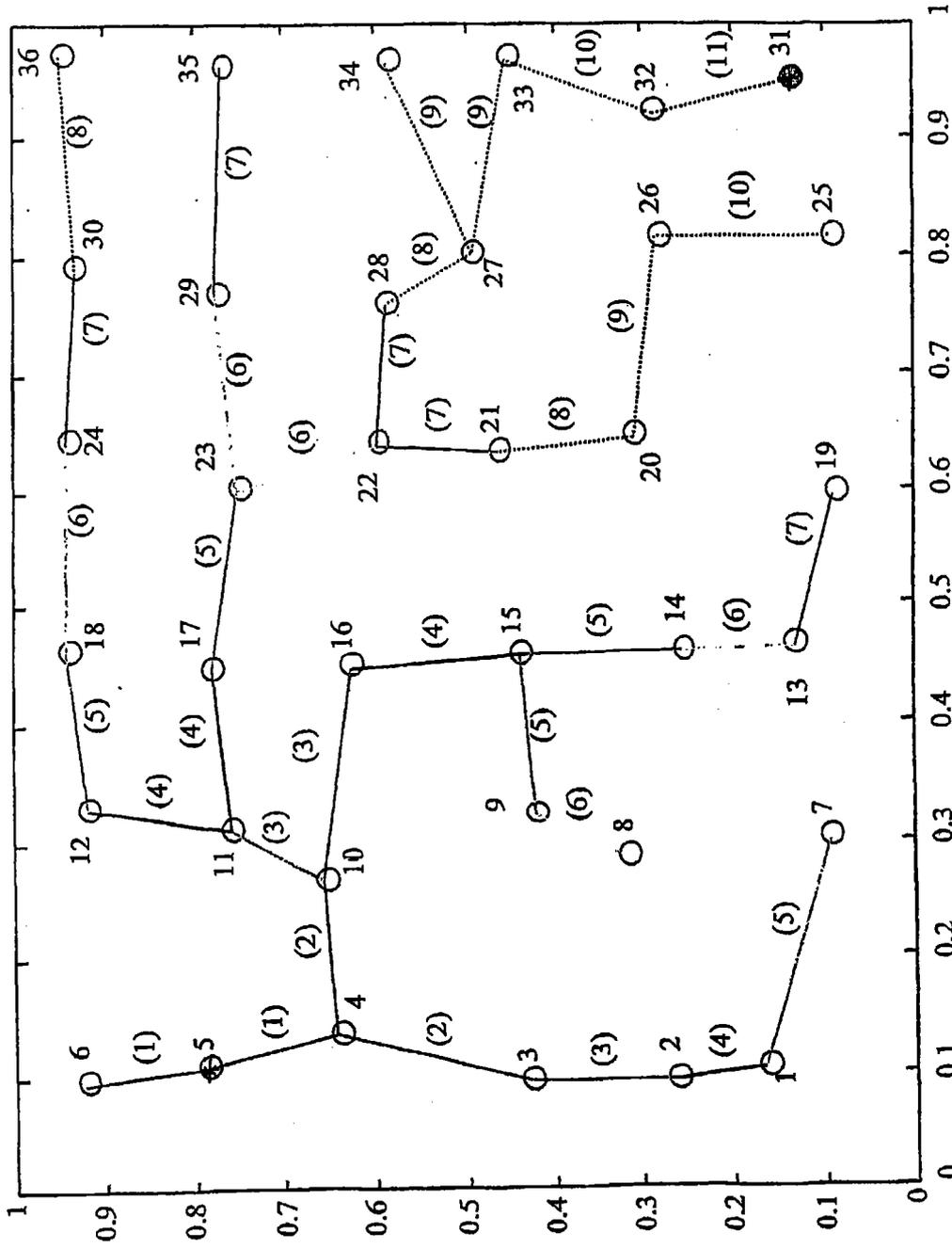


图 7

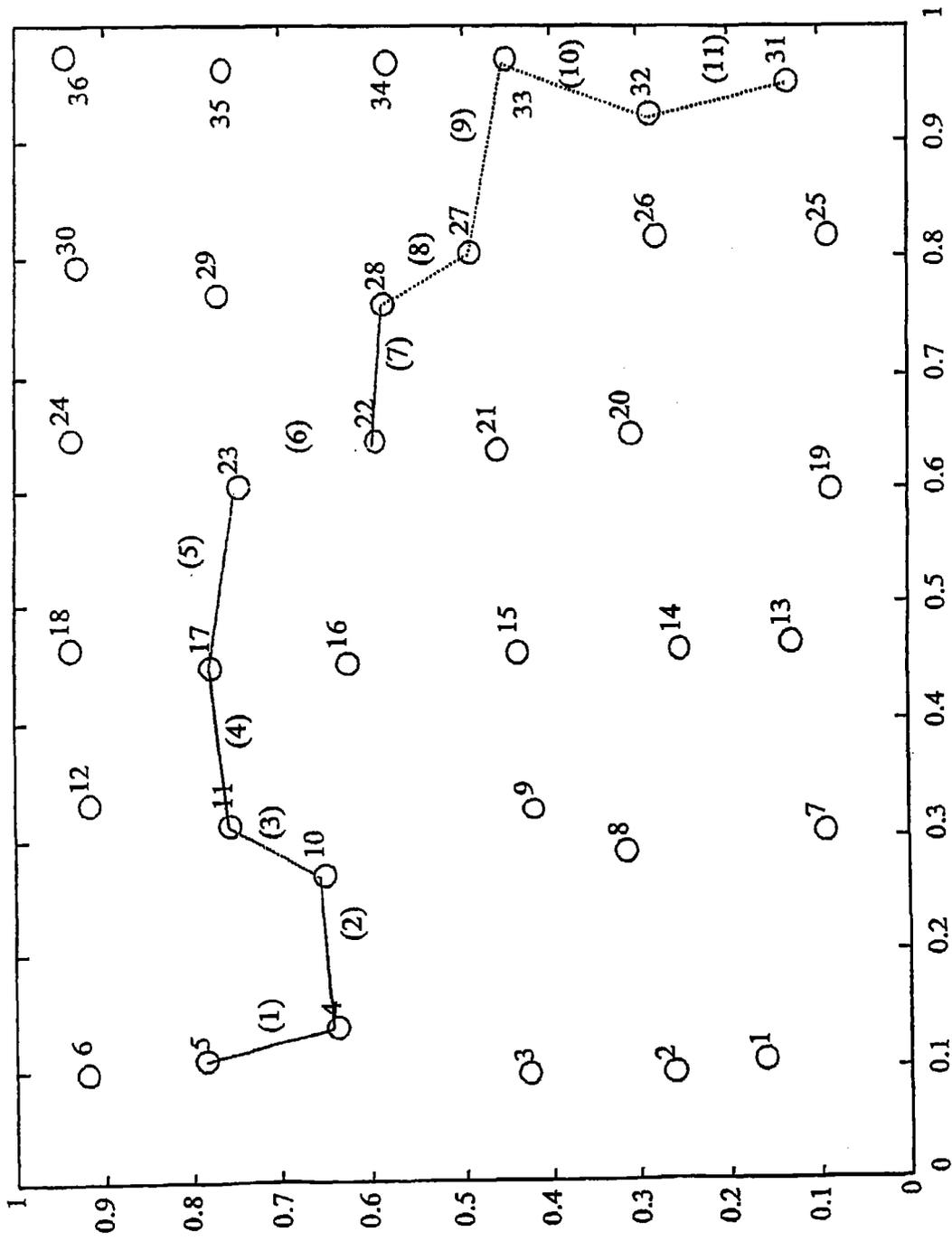


图 8



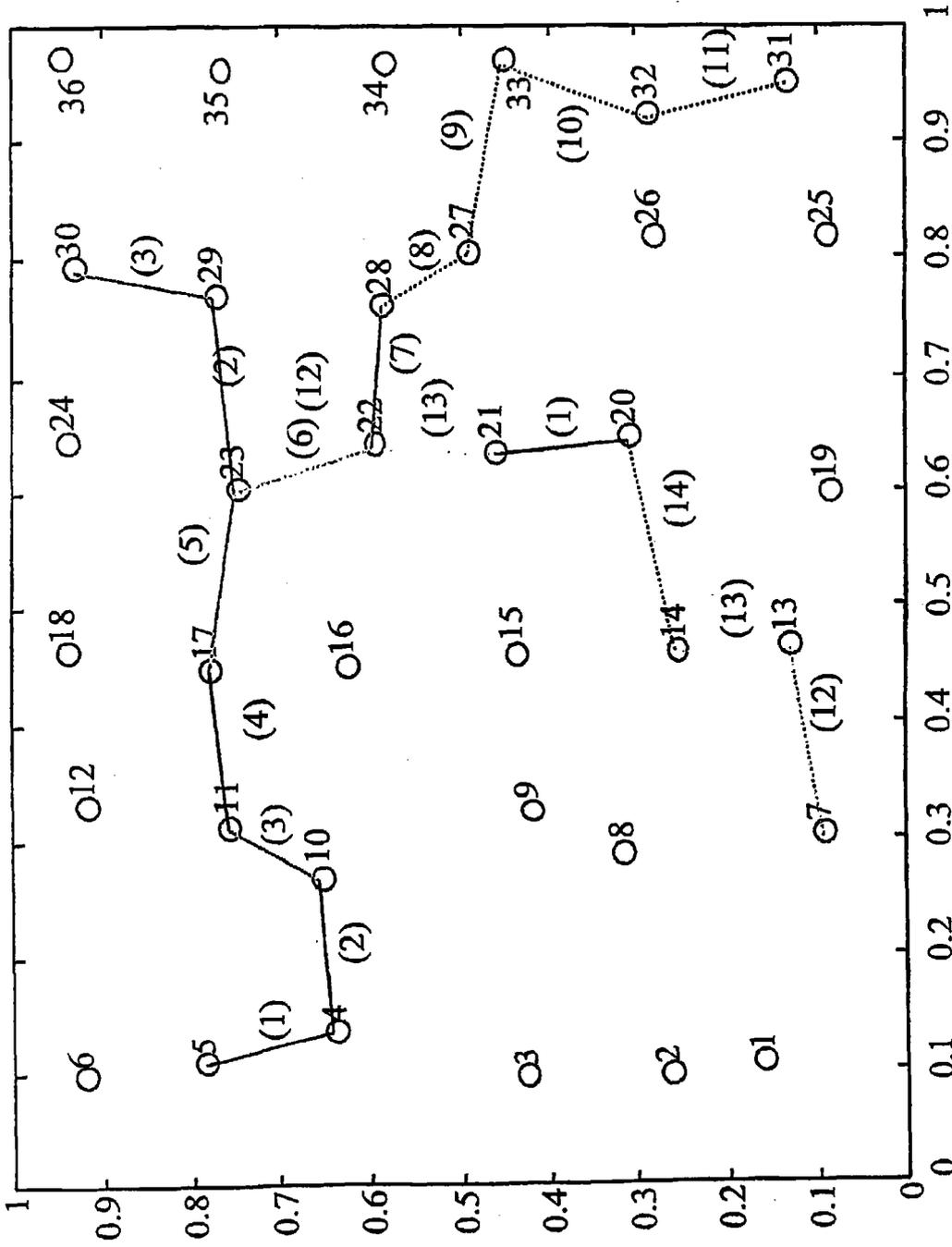


图 10



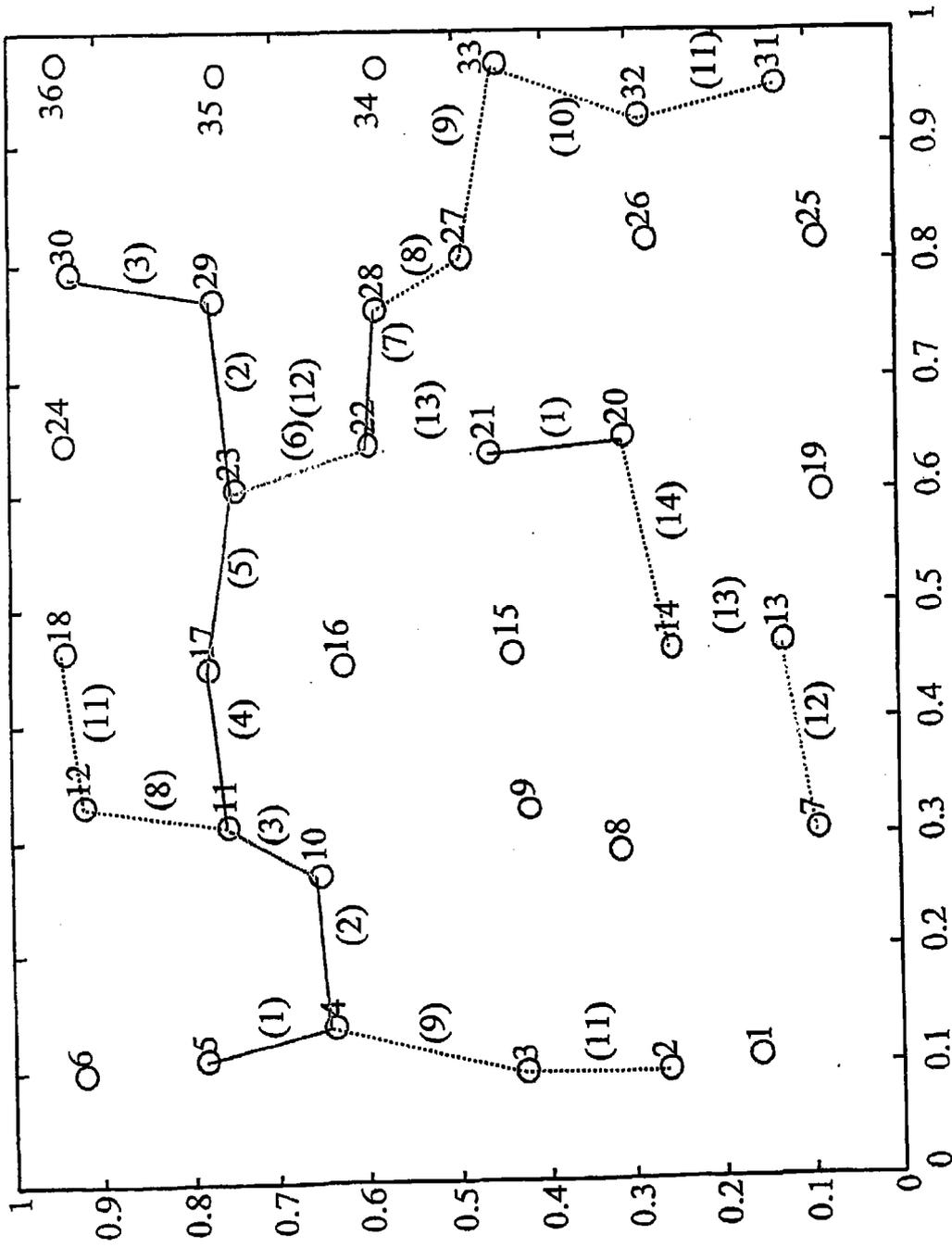


图 12

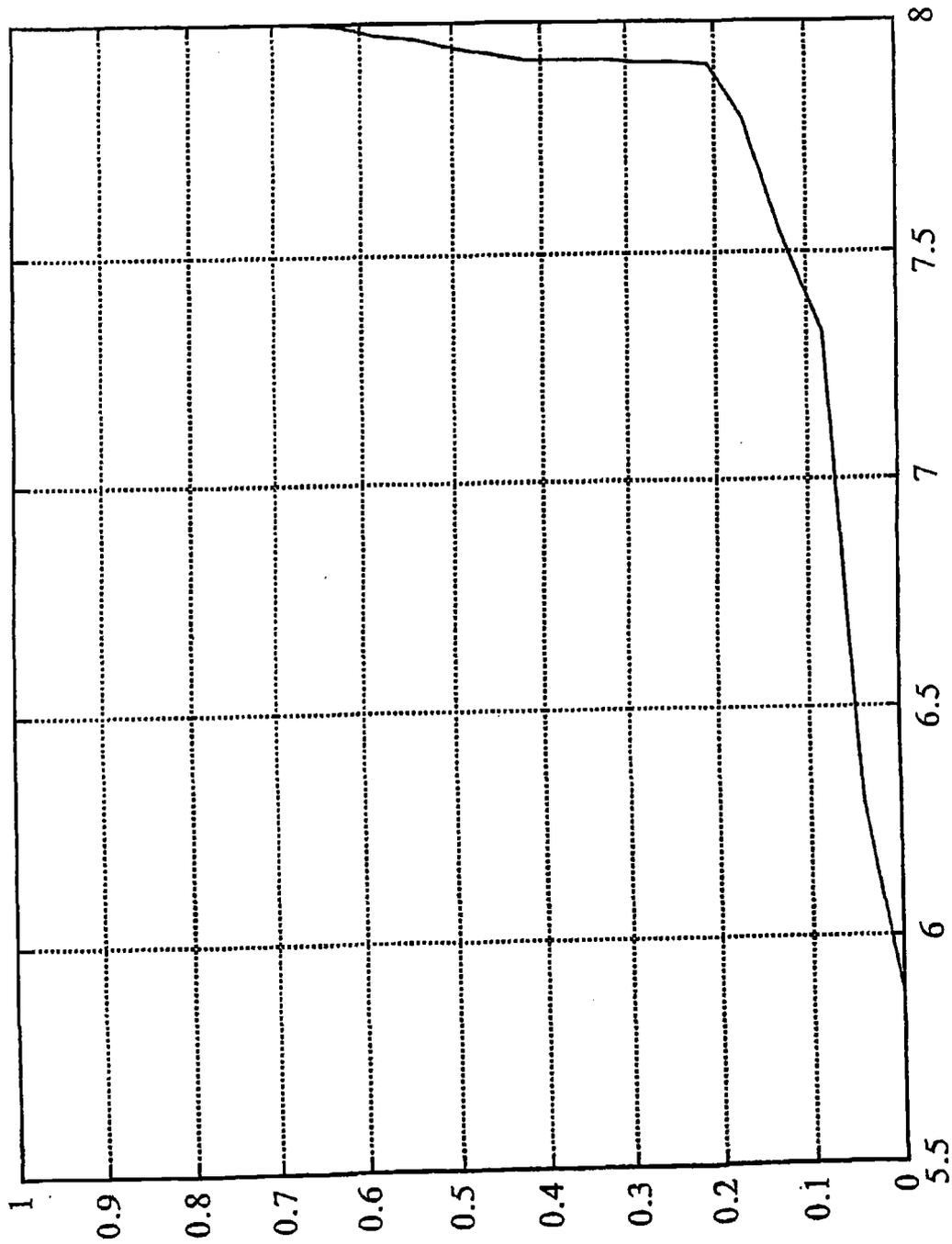


图 13

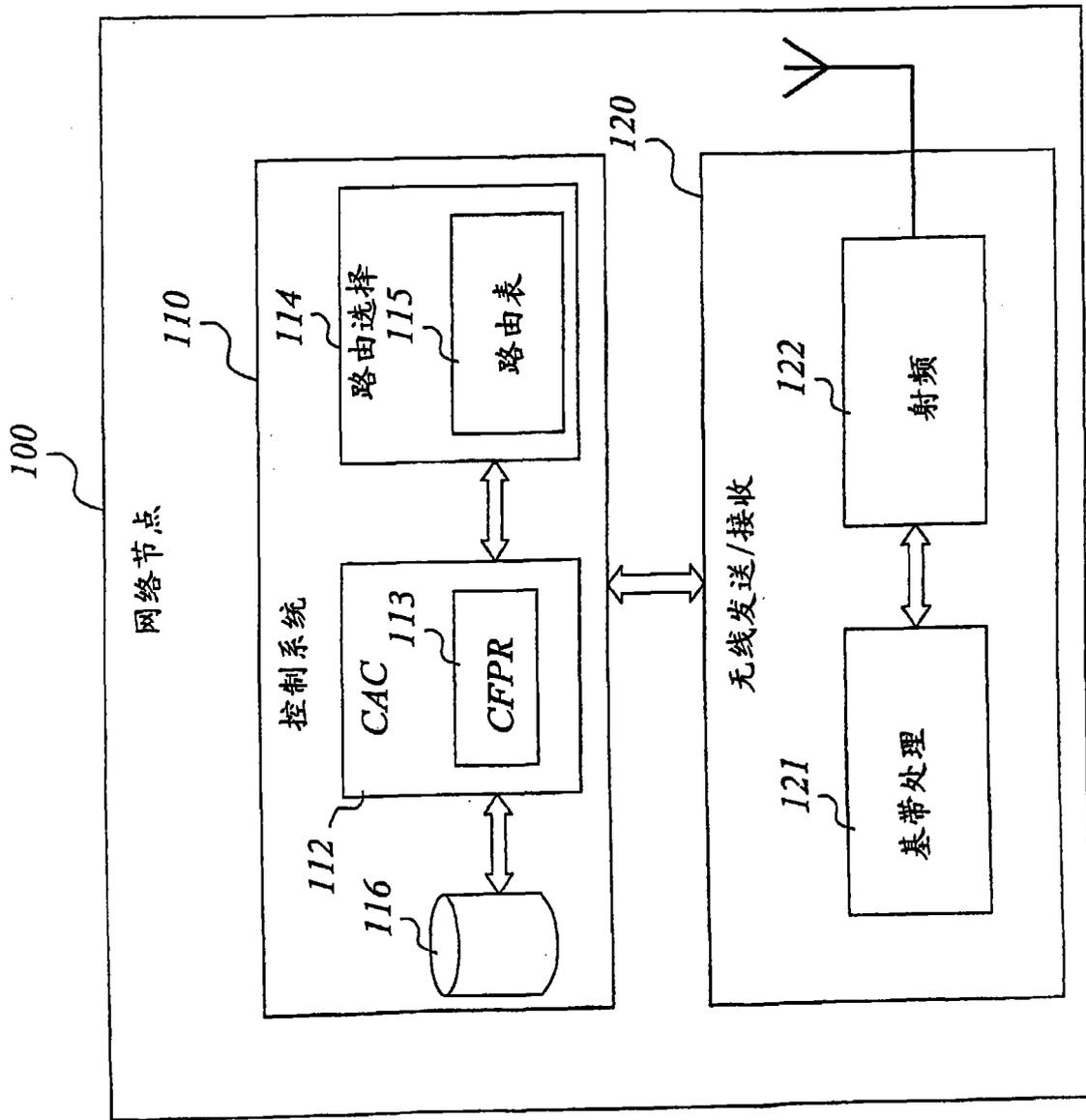


图 14

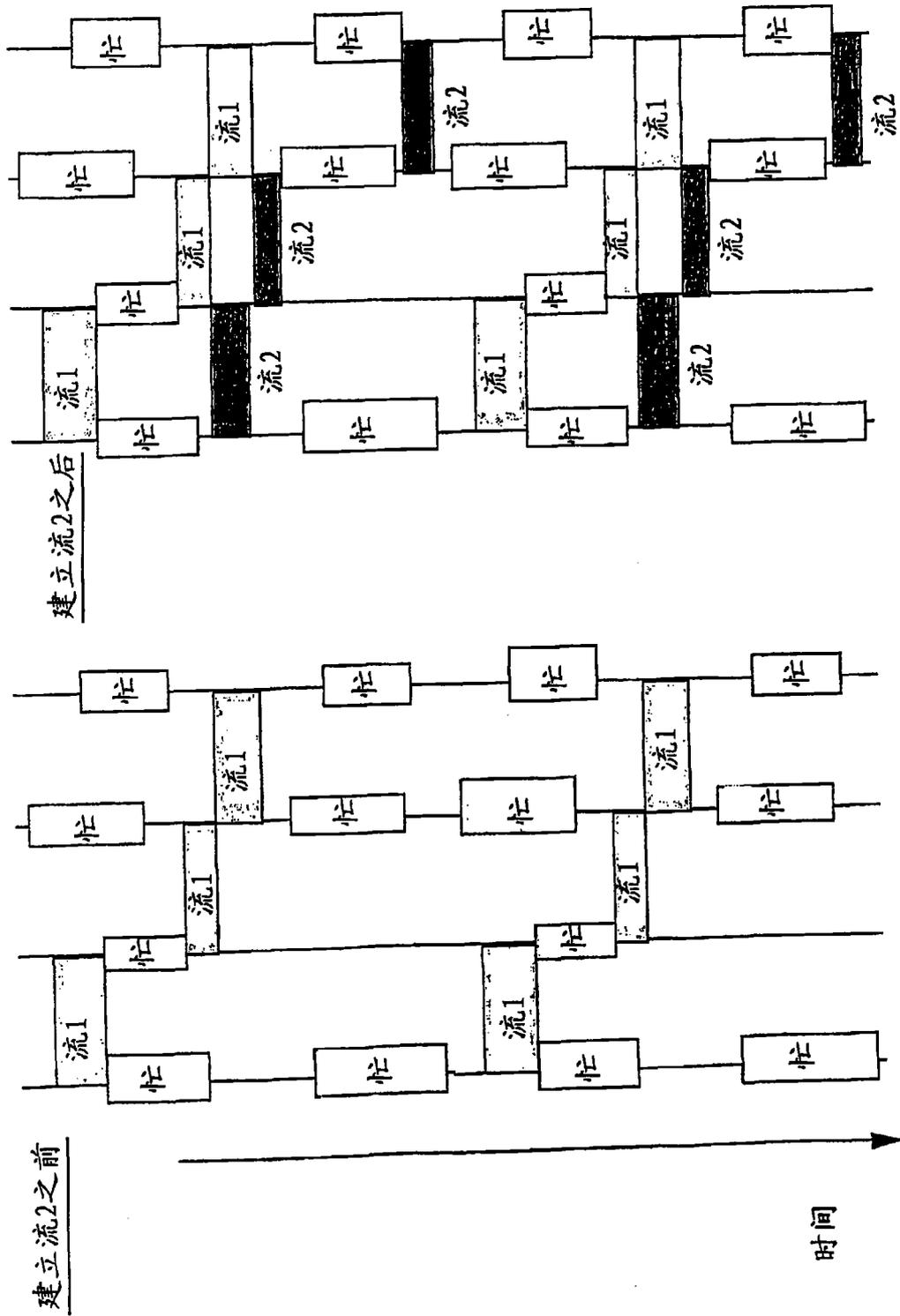


图 15