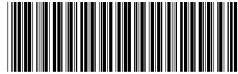


(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101938805 A

(43) 申请公布日 2011.01.05

(21) 申请号 201010282611.1

(22) 申请日 2010.09.16

(71) 申请人 北京邮电大学

地址 100876 北京市海淀区西土城路 10 号
北京邮电大学

(72) 发明人 刘元安 刘凯明 翟临博 唐碧华
谢刚 高锦春 李莉 黎淑兰

(51) Int. Cl.

H04W 40/02(2009.01)

H04B 17/00(2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 1 页

(54) 发明名称

认知无线电网络中基于树的路由选择方法

(57) 摘要

本发明提出了一种认知无线电网络中基于频谱树的路由选择方法。在分布式自组织网络中，次要（非授权）用户根据对授权信道的感知结果，基于信道利用率最低的授权信道形成频谱树。在树的形成过程中，以多棵用户节点较少的频谱树代替一颗用户节点较多的频谱树，使众多用户节点分布于多棵树，有效降低了每棵树的根节点负载。根据形成的频谱树以及基于最小时延的路由度量标准，建立起路由以完成次要用户间的通信。

1. 认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其具体步骤是:

第一步骤:建立基于空闲信道的频谱树

次要用户根据对授权信道的感知结果,基于信道利用率最低的空闲授权信道建立频谱树。每棵频谱树占用一个空闲信道,有唯一的根节点,根节点记录这棵树上的所有子节点用户信息。在树的建立过程中,以多个根节点来发起形成多棵频谱树,这样众多节点被分布在多棵频谱树上,缓解了根节点的压力。

第二步骤:选择通信路径的方法

当次要用户间需要通信时,源节点发送路由请求给所在树的根节点,根节点收到路由请求后,查找目的节点所在的频谱树。将查询结果回应给源节点。源节点收到后,根据下式选择传输时延最小的路径作为通信路径。

$$D = \sum_{i=1}^m (d_i + t_i) + n D_{switch} \quad (1)$$

其中:D 表示源节点到目的节点的总时延,

d_i 表示数据包经过某条链路 i 上的传输时延(由包长和链路速率决定),

t_i 表示数据包经过某个节点转发到某条链路 i 前的排队时延,

D_{switch} 表示信道切换的时延,

n 表示整条路径上信道切换的次数,

m 表示源节点到目的节点的跳数。

第三步骤:保持通信路径的方法

当次要用户间的通信路径建立后,开始数据传输。如果在次要用户数据传输过程中授权用户占用信道,将发生冲突,次要用户的通信路径断裂,要立刻停止数据的传输,将转入步骤一,重新选择总时延最短的通信路径。

2. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所述对建立基于空闲信道的频谱树的步骤 1 中,频谱树的建立是通过交互控制信息来实现的。

3. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所述对建立基于空闲信道的频谱树的步骤 1 中,选择监听到最多空闲信道或者信道利用率最低的次要用户作为初始根节点。

4. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所述对建立基于空闲信道的频谱树的步骤 1 中,由最初唯一的初始根节点,产生多个根节点,以发起形成多棵频谱树。

5. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所述对建立基于空闲信道的频谱树的步骤 1 中,非根节点用户选择最先收到的根节点“通告信息”中的根节点作为自己的根节点。

6. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所述对建立基于空闲信道的频谱树的步骤 1 中,频谱树建立后,只有当非根节点用户感知到当前的空闲信道数大于根节点感知到的空闲信道数,而且大于预先设定的门限时,才重新发起形成频谱树。

7. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所

述选择通信路径的方法的步骤 2 中,当目的节点在源节点保存的到根节点的“树枝”上时,源节点无需建立路由,根据树枝上的路径直接与目的节点通信。

8. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所述选择通信路径的方法的步骤 2 中,目的节点在源节点的根维护的另一棵频谱树上时,源节点数据将通过自身根节点转发给目的节点。

9. 根据权利要求 1 所述的认知无线电网络中基于树的路由选择方法,其特征在于,所述选择通信路径的方法的步骤 2 中,目的节点在其他根节点维护的另一棵频谱树上时,源节点数据将通过其他根节点转发给目的节点。

认知无线电网络中基于树的路由选择方法

技术领域

[0001] 本发明属于一种无线网络通信技术领域的路由选择方法,特别是一种基于树的认知无线电路由选择方法,通过对多个授权信道的检测结果,基于选定的空闲授权信道行成频谱树,根据频谱树和最小的时延来选择路由的方法。

背景技术

[0002] 随着无线通信业务的快速增长,可用的频谱资源变得越来越稀缺。为此,人们采用诸如链路自适应、多天线、多用户检测等先进的无线通信技术来努力提高频谱使用效率,同时却发现全球授权频段,尤其是信号传播特性较好的较低频段的频谱利用率却很低。

[0003] 以美国为例,美国联邦通信委员会 (Federal Communications Commission, FCC) 的大量研究报告说明:频谱的利用情况极不平衡,一些非授权频段占用得非常拥挤,而有些授权频段则经常空闲。因此,能够对不可再生的频谱资源实现再利用的频谱共享技术近几年受到人们的广泛关注。现有的频谱共享技术,如工业、科学和医用 (Industrial Scientific and Medical, ISM) 频段非授权接入、工作于 3-10GHz 频段的超宽带 (Ultra-Wide Band, UWB) 系统与传统窄带系统共存等技术通常应用于固定频段的共享或受限于发送功率的短距离通信。这些技术在提高频谱利用率的同时却增加了干扰,限制了通信系统的容量和灵活性。认知无线电技术 (Cognitive Radio, CR) 正是针对无线通信领域资源越来越紧缺的事实以及无线系统性能亟待提高的需求,力图从本质上解决问题而提出的。

[0004] 认知无线电也称感知无线电,是近几年兴起的无线通信技术,它能够感知当前通信环境中所有的频谱使用机会。换句话说,通过重组无线网络系统框架,使得认知无线网络具有智能化辨识与改变频谱使用机会的能力。认知无线电从理论上说允许在时间、频率以及空间上进行多维的频带复用,这将大大降低迫于频段和带宽而对无线技术发展所带来的限制,与以往将特定的频率分配到特定用途上有很大不同。种种迹象表明,认知无线网络具有极高频谱使用效率,其相关技术代表着未来发展的方向,已成为在国际上颇受关注的研究课题。例如,美国政府对 CR 的研究相当重视,FCC 于 2003 年就提出在电视频段 (北美为 54-862MHz) 内使用 CR 技术。IEEE 于 2004 年成立 802.22 工作组,专门研究在不干扰现存电视频段的情况下如何充分利用该频段进行无线通信,制定其物理层和媒体接入控制协议。我国对 CR 技术的研究比起欧美稍晚一些,因此,根据我国频谱分配和应用的特点,加速对 CR 技术的研究,使我国在这方面拥有自主知识产权,对于推动我国智能化无线网络的发展是很有意义的。

[0005] 在多跳的认知无线电网络中,次要用户可利用的空闲频谱是动态变化的,因此认知无线电网络中的路由协议将面对很多挑战:首先,由于次要用户可利用的空闲授权信道会随着授权用户的使用而动态变化,因此,路由的建立需要和空闲信道的选择紧密结合起来;其次,除了用户的移动性可能造成路由失效外,伴随着授权用户对某个空闲信道的使用,正在使用此空闲授权信道的次要用户需要迅速放弃此授权信道,这也将导致路由的失

效。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种将认知无线电网络中频谱分配和路由选择结合起来,使非授权用户检测并利用空闲的授权频谱,旨在减少次要用户间的通信时延的基于频谱树的路由选择方法。达到既满足次要用户能合理利用授权频谱通信,又不干扰授权用户正常使用授权频谱的目的。

[0007] 本发明的具体步骤是:

[0008] 第一步骤:建立基于空闲信道的频谱树

[0009] 次要用户根据对授权信道的感知结果,基于信道利用率(即该信道被授权用户使用的概率)最低的空闲授权信道建立频谱树。每棵频谱树对应一个空闲信道,有唯一的根节点,根节点记录这棵树上的所有子节点用户信息。为了缓解根节点的压力,将次要用户节点就分布在多棵频谱树上,每棵树上的子节点用户数目就会减少,根节点就只需要记录少量的子节点用户信息。频谱树的建立是通过在公用频段交互控制信息来实现的。

[0010] 开始时,每个次要用户根据自身维护的授权信道状态列表,建立一个节点空闲信道列表。这个列表记录当前的空闲信道及其利用率,以及本用户是否为根节点(以1表示是,0表示否,开始时设定为1,即假设自己是根节点),是否为交叉节点(以1表示是,0表示否,开始时设定为0,即假设自己不是交叉节点)。各个用户将当前的空闲信道及其利用率封装入“根节点发起信息”,通过传统无线接口向外广播一次。当次要用户收到其他用户发来的“根节点发起信息”后,分两个步骤处理。

[0011] 步骤(一):首先将收到“信息”与自身维护的授权信道状态列表进行对比:

[0012] (a) 如果收到的“信息”中的空闲信道总数小于自身维护的授权信道列表中的空闲信道总数,则判断收到“信息”中的空闲信道是否均包含在自身感知到的空闲信道中:

[0013] 是,则确认自己是交叉节点,并将对应的节点空闲信道表中的交叉节点字段置为“1”;否,则不做处理。

[0014] (b) 如果收到的“信息”中的空闲信道总数不低于自身维护的授权信道列表中的空闲信道总数,则不做处理。

[0015] 此步骤的目的是判断节点是否是交叉节点。本步骤完成后,进行第二个步骤。

[0016] 步骤(二):将收到“信息”与自身维护的节点空闲信道列表进行对比:

[0017] (a) 如果收到“信息”中的空闲信道数小于当前节点空闲信道表中的空闲信道数,则直接丢弃。

[0018] (b) 如果相等,则判断收到的“信息”中的空闲信道与节点空闲信道列表中的空闲信道是否相同:

[0019] 是,则对比收到的“信息”中的信道利用率与自身感知到的信道利用率:如果收到的“信息”中的信道利用率不高于自身的感知结果,则直接丢弃;如果高于自身的感知结果,则确定自己不是根节点,将对应的根节点字段置为“0”,并将收到的“信息”填入自己的“节点空闲信道列表”,此后再将收到的“信息”向外广播;

[0020] 否,则直接丢弃。

[0021] (c) 如果收到“信息”中的空闲信道数大于当前节点空闲信道表中的空闲信道数,

则判断维护的节点空闲信道列表中的空闲信道是否均包含在发来的“信息”中：

[0022] 是，则确定自己不是根节点，将对应的根节点字段置为“0”，并将收到的“信息”填入自己的节点空闲信道列表，再将收到的“信息”向外广播；

[0023] 否，则直接丢弃。

[0024] 此步骤中，节点空闲信道列表将随着收到的“根节点发起信息”而发生变化，可以有效防止当某个节点重复收到同一个“根节点发起信息”时，对周围邻居的再次广播。本步骤的目的是判断节点是否是根节点。

[0025] 经过“根节点发起信息”的不断扩散，整个过程收敛完成后，感知到最大空闲信道数或者最小信道利用率的次要用户成为初始根节点。

[0026] 根节点确定后，通过传统无线接口向外广播“根节点通告”。其邻居用户收到后，认为自己是根节点的子节点，根据自身维护的授权信道状态列表，从中选择利用率最低的信道，回应自身的标识号以及选定的信道给根节点，同时将自己的标识号以及根节点到本节点的代价函数添加到“根节点通告”中，继续向邻居节点广播修改后的“根节点通告”。该节点的邻居节点收到此通告后，记录此条到达根节点的路径，沿此路径向根节点回应自己的标识号以及选定的信道，并把自己的标识号以及根节点到本节点的代价函数添加到“通告”中，继续广播，直到所有的节点都收到通告，记录下到达根节点的路径，并将自己的标识号回应给根节点，频谱树就形成了。在频谱树形成的过程中，可能出现下列情况：

[0027] (a) 当一个用户收到从不同邻居而来的具有相同根节点的多个“通告”后，选择到达根节点的代价函数最小的邻居作为自己的上级节点。

[0028] (b) 当一个用户收到来自不同根节点的“根节点通告”，则选择先收到的“通告”中的根节点作为自己的根节点，对后收到的“通告”直接丢弃。

[0029] (c) 当根节点收到来自其他根节点的“根节点通告”，则直接丢弃。

[0030] 频谱树形成后，处于频谱树上的非根节点，在频谱树建立后如果感知到当前的空闲信道数大于根节点的感知结果，并不立刻发起形成新的树。只有大于设定的门限 TH 时，才向外广播自己的信息，发起形成新的频谱树。目的是防止频繁的更换根节点，降低形成频谱树的开销。

[0031] 由于一个根节点可能维护不止一棵频谱树，因此，在一个周期内，同时维护多棵频谱树的根节点，要按照次序依次在各个频谱树对应的空闲信道轮询工作，以防止了频繁的频谱切换带来的开销。

[0032] 第二步骤：选择通信路径的方法

[0033] 基于频谱树的路由建立过程通过以下几个控制信息分组实现，即路由发起分组、根节点响应分组、路由请求分组和路由应答分组。其中根节点响应分组包含“根节点标识号”字段和“是否跨信道”字段，表示源节点到目的节点的路径是否需要信道切换，以“0”表示不跨信道，“1”表示跨信道；路由请求分组包含“代价函数”字段。

[0034] 源节点有数据向目的节点发送时，先看目的节点是否在源节点保存的到根节点的路径上（各个节点到根节点的路径在形成频谱树的过程中获取）。如果目的节点在此条路径，则源节点不用寻路，直接沿此路径向目的节点发送数据。如果目的节点不在此条路径，则源节点要建立到达目的节点的路由，过程如下：

[0035] 源节点根据形成树的过程中保存的到达根节点的路径，通过自身所在的频谱树对

应的空闲信道向自己的根节点发送路由发起分组，根节点收到后，检查目的节点是否在自己维护的子节点集中：

[0036] （一）目的节点在根节点维护的节点集中

[0037] （1）如果目的节点和源节点在同一棵频谱树，则根节点向源节点回复根节点响应分组，将“是否跨信道”字段设为 0。

[0038] 源节点收到后，发现目的节点与自己在同一棵频谱树，于是通过该频谱树所在的空闲信道向目的节点发送路由请求分组，中间节点计算代价函数，即将累计时延填入“代价函数”字段，目的节点收到后，选择代价函数最小的那条路径，并回应路由应答分组。源节点收到后，路由建立完成。

[0039] （2）如果目的节点和源节点在不同的频谱树，则根节点向源节点回应根节点响应分组，将“是否跨信道”字段设为 1。

[0040] 源节点收到后，发现目的节点在自己的根节点维护的另一棵频谱树中。于是源节点根据此前保存的到达根节点的路径，将数据发送到根节点。根节点收到后，调整自己的频率到目的节点所在的信道，根据自己保存的到达目的节点的路径，将数据传给目的端。

[0041] （二）目的节点不在根节点维护的节点集中

[0042] 根节点与其他的根节点进行交互，查询目的节点是否在其他的根节点维护的子节点集中，并看源节点和目的节点间是否需要跨信道。

[0043] （1）如果源节点和目的节点间不需要跨信道，源节点所在树的根节点向源节点回应根节点响应分组，将“根节点标识号”字段设为目的节点所在树的根节点，“是否跨信道”字段设为 0。

[0044] 源节点收到后，发现目的节点虽然在另一个根节点维护的频谱树中，但是不需要跨信道就能建立路由。于是通过源节点频谱树所在的空闲信道向目的节点发送路由请求分组，中间节点计算代价函数，即将累计时延填入“代价函数”字段，目的节点收到后，选择代价函数最小的那条路径，并回应路由应答分组。源节点收到后，路由建立完成。

[0045] （2）如果源节点和目的节点间需要跨信道，源节点所在树的根节点向源节点回应根节点响应分组，将“根节点标识号”字段设为目的节点所在树的根节点，“是否跨信道”字段设为 1。

[0046] 源节点收到后，发现目的节点在另一个根节点维护的频谱树中，而且需要跨信道才能建立路由。于是通过源节点频谱树所在的空闲信道向目的节点所在树的根节点发送路由请求分组，中间节点计算代价函数，即将累计时延填入“代价函数”字段，目的节点所在树的根节点收到后，选择代价函数最小的那条路径，并回应路由应答分组。源节点收到后，路由建立完成。

[0047] 第三步骤：保持通信路径的方法

[0048] 当次要用户间的通信路径建立后，开始数据传输。如果在次要用户数据传输过程中授权用户占用信道，将发生冲突，次要用户的通信路径断裂，要立刻停止数据的传输，重新选择总时延最短的通信路径。

附图说明

[0049] 附图为本发明路由发现过程流程图。

具体实施方式

[0050] 下面结合附图及试例对本发明作进一步的描述,但该实施例不应理解为对本发明的限制。

[0051] 1 建立基于空闲信道的频谱树

[0052] 开始时,每个次要用户根据自身维护的授权信道状态列表,建立一个节点空闲信道列表,。这个列表记录当前的空闲信道及其利用率,以及本用户是否为根节点(以1表示是,0表示否,开始时设定为1,即假设自己是根节点),是否为交叉节点(以1表示是,0表示否,开始时设定为0,即假设自己不是交叉节点)。各个用户将当前的空闲信道及其利用率封装入“根节点发起信息”,通过传统无线接口向外广播一次。“根节点发起信息”格式为 $\langle N, x_1, V(x_1), x_2, V(x_2), \dots, x_N, V(x_N) \rangle$,其中N表示本用户感知到的空闲信道总数, x_1, x_2, \dots, x_N 表示各个空闲信道的序号, $V(x_1), \dots, V(x_N)$ 表示各个空闲信道对应的利用率。

[0053] 当次要用户 j_1 收到用户 j_2 发来的“根节点发起信息”后,分两个步骤处理。

[0054] 步骤(一):首先将收到“信息”与自身维护的授权信道状态列表进行对比:

[0055] (a) 如果收到的“信息”中的空闲信道总数 $N(j_2)$ 小于自身维护的授权信道列表中的空闲信道总数,则判断收到“信息”中的空闲信道是否均包含在 j_1 自身感知到的空闲信道中:

[0056] 是,则确认自己是交叉节点,并将对应的节点空闲信道表中的交叉节点字段置为“1”;否,则不做处理。

[0057] (b) 如果收到的“信息”中的空闲信道总数 $N(j_2)$ 不低于自身维护的授权信道列表中的空闲信道总数,则不做处理。

[0058] 此步骤的目的是判断节点是否是交叉节点。本步骤完成后,进行第二个步骤。

[0059] 步骤(二):将收到“信息”与自身维护的节点空闲信道列表进行对比:

[0060] (a) 如果收到“信息”中的空闲信道数 $N(j_2)$ 小于当前节点空闲信道表中的空闲信道数 $N(j_1)$,则直接丢弃。

[0061] (b) 如果 $N(j_2) = N(j_1)$,则判断收到的“信息”中的空闲信道与 j_1 的节点空闲信道列表中的空闲信道是否相同:

[0062] 是,则对比收到的“信息”中的信道利用率与自身感知到的信道利用率:如果收到的“信息”中的信道利用率不高于自身的感知结果,则直接丢弃;如果高于自身的感知结果,则确定自己不是根节点,将对应的根节点字段置为“0”,并将收到的“信息”填入自己的“节点空闲信道列表”,此后再将收到的“信息”向外广播;

[0063] 否,则直接丢弃。

[0064] (c) 如果 $N(j_2) > N(j_1)$,则判断 j_1 维护的节点空闲信道列表中的空闲信道是否均包含在 j_2 发来的“信息”中:

[0065] 是,则确定自己不是根节点,将对应的根节点字段置为“0”,并将收到的“信息”填入自己的节点空闲信道列表,再将收到的“信息”向外广播;

[0066] 否,则直接丢弃。

[0067] 此步骤中,节点空闲信道列表将随着收到的“根节点发起信息”而发生变化,可以有效防止当某个节点重复收到同一个“根节点发起信息”时,对周围邻居的再次广播。本步

骤的目的是判断节点是否是根节点。

[0068] 经过“根节点发起信息”的不断扩散，整个过程收敛完成后，感知到最大空闲信道数或者最小信道利用率的次要用户成为初始根节点。

[0069] 初始根节点确定后，广播自身的 ID，收到该信息的交叉节点认为自己也是根节点，将自己维护的节点空闲信道列表中的根节点字段置为“1”，并广播自己的 ID。这样，所有的交叉节点都确认自己是根节点，同时获取其他交叉节点的 ID。这个过程从一个初始根节点，得到了多个根节点，目的是由多个根节点发起形成多棵树，次要用户得以分布于多棵树，每棵树上的节点数量会减少。当业务量较大时，减轻了各个根节点的压力，有利于负载均衡，降低了端到端的时延。

[0070] 根节点确定后，通过传统无线接口向外广播“根节点通告”，格式为 $\langle ID_{root}, N, x_1, x_2, \dots, x_N \rangle$ ，其中 ID_{root} 是根节点的标识号， x_1, \dots, x_N 表示各个空闲信道的序号。其邻居用户收到后，认为自己是根节点的子节点，根据自身维护的授权信道状态列表，从 x_1, \dots, x_N 中选择利用率最低的信道序号，回应自身的标识号 ID_j 以及选定的信道 x_i 给根节点，格式为 $\langle x_i, ID_j \rangle$ ，同时将自己的 ID_j 以及根节点到本节点的代价函数 D_j 添加到“根节点通告”中，继续向邻居节点广播修改后的“根节点通告”，格式为 $\langle ID_{root}, x_i, ID_j, D_j \rangle$ ，直到所有的节点都收到通告，记录下到达根节点的路径，并将自己的 ID 回应给根节点，频谱树就形成了。

[0071] 2. 选择通信路径的方法

[0072] 源节点有数据向目的节点发送时，先看目的节点是否在源节点保存的到根节点的路径上（各个节点到根节点的路径在形成频谱树的过程中获取）。如果目的节点在此条路径，则源节点不用寻路，直接沿此路径向目的节点发送数据。如果目的节点不在此条路径，则源节点要建立到达目的节点的路由，过程如下：

[0073] 源节点根据形成树的过程中保存的到达根节点的路径，通过自身所在的频谱树对应的空闲信道向自己的根节点发送路由发起分组，即 \langle 源节点 ID, 目的节点 ID, 根节点 ID \rangle ，根节点收到后，检查目的节点是否在自己维护的子节点集中：

[0074] （一）目的节点在根节点维护的节点集中

[0075] （1）如果目的节点和源节点在同一棵频谱树，则根节点向源节点回复根节点响应分组，即 $\langle S(\text{源节点 ID}), D(\text{目的节点 ID}), R1(\text{根节点 ID}), 0(\text{表示不跨信道}) \rangle$ 。

[0076] 源节点收到后，发现目的节点与自己在同一棵频谱树，于是通过该频谱树所在的空闲信道向目的节点发送路由请求分组，中间节点计算代价函数，即将累计时延填入“代价函数”字段，目的节点收到后，选择代价函数最小的那条路径，并回应路由应答分组。源节点收到后，路由建立完成。

[0077] （2）如果目的节点和源节点在不同的频谱树，则根节点向源节点回应根节点响应分组，即 $\langle S(\text{源端 ID}), D(\text{目的端 ID}), R1(\text{根节点 ID}), 1(\text{表示跨信道}) \rangle$ 。

[0078] 源节点收到后，发现目的节点在自己的根节点维护的另一棵频谱树中。于是源节点根据此前保存的到达根节点的路径，将数据发送到根节点。根节点收到后，调整自己的频率到目的节点所在的信道，根据自己保存的到达目的节点的路径，将数据传给目的端。

[0079] （二）目的节点不在根节点维护的节点集中

[0080] 根节点与其他的根节点进行交互，查询目的节点是否在其他的根节点维护的子节点集中，并看源节点和目的节点间是否需要跨信道。

[0081] (1) 如果源节点和目的节点间不需要跨信道, 源节点所在树的根节点 R1 向源节点回应根节点响应分组, 即 $\langle S(\text{源端 ID}), D1(\text{目的端 ID}), R2(\text{根节点 ID}), 0(\text{不跨信道}) \rangle$, 注意其中的根节点为目的节点所在树的根节点 R2。

[0082] 源节点收到后, 发现目的节点虽然在另一个根节点维护的频谱树中, 但是不需要跨信道就能建立路由。于是通过源节点频谱树所在的空闲信道向目的节点发送路由请求分组, 中间节点计算代价函数, 即将累计时延填入“代价函数”字段, 目的节点收到后, 选择代价函数最小的那条路径, 并回应路由应答分组。源节点收到后, 路由建立完成。

[0083] (2) 如果源节点和目的节点间需要跨信道, 源节点所在树的根节点向源节点回应根节点响应分组, 即 $\langle S(\text{源端 ID}), D2(\text{目的端 ID}), R2(\text{根节点 ID}), 1(\text{跨信道}) \rangle$, 注意其中的根节点为目的节点所在树的根节点。

[0084] 源节点收到后, 发现目的节点在另一个根节点维护的频谱树中, 而且需要跨信道才能建立路由。于是通过源节点频谱树所在的空闲信道向目的节点所在树的根节点 R2 发送路由请求分组, 中间节点计算代价函数, 即将累计时延填入“代价函数”字段, 目的节点所在树的根节点 R2 收到后, 选择代价函数最小的那条路径, 并回应路由应答分组。源节点收到后, 到达 R2 的路由建立完成。此后, 源节点将数据传输给 R2。

[0085] 目的节点所在树的根节点 R2 收到数据后, 根据自己保存的到达目的节点的路径, 将数据传给目的端。

[0086] 3 保持通信路径的方法

[0087] 当次要用户间的通信路径建立后, 开始数据传输。如果在次要用户数据传输过程中授权用户占用信道, 将发生冲突, 次要用户的通信路径断裂, 要立刻停止数据的传输, 重新选择总时延最短的通信路径。

[0088] 本说明书中未作详细描述的内容术语本领域专业技术人员公知的现有技术。

