

文章编号: 1672-2892(2012)02-0133-05

感知无线电 ad hoc 网络基于干扰的路由

狄佳茜, 倪卫明

(复旦大学 通信科学与工程系, 上海 200433)

摘 要: 感知无线电技术作为一种新兴技术, 通过时间和空间维度上的频谱空洞的利用能很好地提高频谱利用率。感知无线电的路由不同于传统的路由度量, 因为次用户从时间和空间上都不能对主用户造成干扰。在感知无线电 ad hoc 网络环境下, 选取了干扰作为路由的度量, 并将干扰分为系统内干扰(次用户自身之间的干扰)和系统间干扰(次用户对主用户的干扰)。在已有的 ad hoc 网络干扰路由协议的基础上对于干扰权重做出改进, 并提出新的基于系统间路由干扰(对主用户干扰最小化)和基于联合系统内和系统间干扰的路由协议。仿真结果表明, 该干扰模型符合感知无线电移动 ad hoc 网络的特性。

关键词: 感知无线电; 移动 ad hoc 网络; 系统内干扰; 系统间干扰; 路由协议

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

Interference-based routing in cognitive ad hoc networks

DI Jia-xi, NI Wei-ming

(Department of Communication Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Cognitive radio can improve the spectrum utilization by making use of spectrum holes in time and space dimension. The routing protocol in cognitive radio is different from traditional routing protocols as the secondary users can not interfere with the primary users both in time and space. In cognitive ad hoc networks, interference is chosen as routing metric, and it is divided into intra-system interference and inter system interference. Based on existing ad hoc interference routing protocol, its interference weights are improved, and new routing protocols are proposed in order to minimize inter system interference and the joint interference of intra-system and inter system. The simulation result shows that the proposed routing protocols are proved to well capture the route performance in the context of cognitive ad hoc networks.

Key words: cognitive radio; mobile ad hoc network; intra-system interference; inter system interference; routing protocol

感知无线电是一种无线电系统,它能够自动地检测周围的环境情况,智能地调整系统的参数以适应环境变化,在不对授权用户造成干扰的条件下从空间、频率、时间多维地利用空闲频谱资源进行通信^[1-4]。授权用户(主用户)具有高频谱接入权和使用权,而具有感知无线电功能的非授权用户(二级用户、感知用户、次用户)可以在对授权用户不造成干扰的情况下接入频段,从而提高频谱利用率。

目前在感知无线电方面的研究主要集中于感知检测技术和功率控制技术,对路由方面的研究较少。在感知无线电中,要保证不对主用户造成干扰,路由的选择要考虑干扰的影响,尽量避免对主用户干扰大的节点,而传统的基于最短路径的路由明显不合适。在文献[5]中采用自动重发请求的空时分组码(Space-Time Block Code distributed Automatic Request for repetition),用节点重新发送数据来代替路由技术,每个节点通过载波感知周围无线环境来避免干扰区域。在文献[6]中使用基于容量的路由(capacity-based routing)代替传统的基于跳数的路由(最短路径路由),通过将路径转移到网络的边沿从而减少整体的干扰,获得更好的发信容量。这 2 种方法没有考虑次用户的干扰程度。在文献[7]中提出的干扰程度路由(Interference lever routing)考虑了 2 种形式的干扰: "Inconvenience"和"Disturbance",分别为受到其他节点的干扰和对其他节点的干扰,但是只考虑了干扰范围内的节点数量,没有考虑位置和功率等。文献[8]综合考虑了无线 mesh 网流量控制、路由选择、分时和机会频谱接入

收稿日期: 2010-09-02; 修回日期: 2011-09-22

基金项目: "863" 国家高科技研究发展计划资助项目(2011AA100701)

来使对主用户的干扰最小。本文分析了在感知 ad hoc 网络环境下路由度量需要考虑的因素,选取干扰作为路由的度量准则,在此基础上考虑了系统内干扰(次用户自身之间的干扰)和系统间干扰(次用户对主用户的干扰),推导出多个新的路由准则。

1 系统模型

1.1 Overlay 和 underlay

基于接入技术的频谱共享,次用户主要有 2 种接入方式: overlay 模式和 underlay 模式。在 overlay 模式下,次用户伺机接入频谱空洞,使用主用户暂时不使用的频段。在 underlay 模式下,次用户和主用户同时使用相同的频段,主用户将使用同一频段的次用户视为噪声,这种方式能够使用授权频段,因此频谱利用率相对较高。在本文中考虑 underlay 模式下次用户的路由。

1.2 干扰温度

在干扰温度机制中,干扰温度用来表征次用户在共享频段内对主用户接收器产生的干扰功率和主用户接收机处系统噪声功率之和^[4]。“干扰温度门限”是由主用户系统能够正常工作的最坏信噪比决定,保证主用户正常运行。次用户作为干扰,一旦累计超过干扰温度门限,就选择不同的发射频率,如果没有可用的频率,则停止发射,直到有可用的频率,才允许发射。干扰温度的模型可以写为:

$$T_1(f_c, B) = \frac{P_1(f_c, B)}{kB} \quad (1)$$

式中: $P_1(f_c, B)$ 是在带宽为 B 的频带内, f_c 处的平均干扰功率; k 是波尔兹曼常数, $k=1.38 \times 10^{-23}$ J/K; 干扰温度的单位为 K。

1.3 系统模型

假设系统由一个主用户节点和 K 个次用户节点组成,次用户以 underlay 的频谱共享模式接入网络,和主用户共享同一频段。每个节点既可以发送数据,也可以接收数据。设主用户的发射功率为 Q ,次用户 $i(i \in [1, K])$ 的发射功率为 P_i 。设 g_{ij}^{sp} 表示第 i 个次用户发送节点到第 j 个主用户接收节点之间的信道增益, g_{ij}^{ss} 表示第 i 个次用户发送节点到第 j 个次用户接收节点之间的信道增益。目的是选择一条路由使干扰最小。

2 基于干扰的路由

2.1 干扰

移动 ad hoc 信道共享方式为多跳共享,即一个节点的发送活动,只有其感知范围内的相邻节点可以侦听到,而此范围之外的其他节点则觉察不到。这一特征一方面提高了信道的空间复用率,使得处于不同感知范围内的节点可以同时进行传输活动;另一方面由于不同信源的信号在同一时间、同一地域的叠加而引入了干扰。干扰的存在,将严重影响信号的接收质量,增加数据碰撞发生的概率,导致冲突重传的增加,引起信道资源的无序争用和浪费,使得网络吞吐量下降,容量减少,能量消耗加剧,数据传输时延增大,网络寿命缩短等。节点在某个时刻,它的无线装置所能感知到的所有信号的功率之和,除了它需要接收的信号功率之外,就是该节点此刻所受的干扰值。

2.2 基于干扰的路由

传统的路由算法^[9-10]通常基于最小跳、最短路径、最大吞吐量和最小时延等,而在感知无线电中,由于要考虑到不能对主用户造成干扰,上述准则可能不是最佳路由,必须考虑干扰来选择一条最佳路径。

在感知无线电下的 ad hoc 网络中干扰包括 2 个方面,一是 ad hoc 次用户自身的干扰(系统内干扰);二是次用户对主用户的干扰(系统间干扰)。在这里目的是使得干扰最小化。

2.2.1 系统内干扰最小化路由

在文献[11]中 Burkhart M 认为邻居数目与节点干扰有很大关系,并把节点通信范围内的邻居节点总数作为干扰值。在文献[12]中考虑了距离的邻居数干扰路由,将节点干扰区域分为 3 个小区域,引入权值体现不同距离范围内的节点其干扰大小的不同。

设干扰半径为 R_i , 直接考虑干扰范围内邻居节点对该节点的干扰, 节点 i 在它的干扰范围内受到的干扰值为:

$$D_i = \sum_{k \in R_i} P_k g_{ki}^{SS} \quad (2)$$

式中 g_{ki}^{SS} 表示干扰半径为 R_i 内的邻居节点 k 对节点 i 的信道增益。

在文献[12]中提出平均链路干扰感知路由, 在源到目的节点间的若干条可能路径中, 选择平均链路干扰值最小的路径, 来避开潜在干扰较大的区域, 降低了信号间产生冲突的几率。

根据节点干扰范围内的邻居数目及邻居位置信息得到了网络中每个感知节点的系统内干扰值 D_i 。据此可以得到链路 $e(i,j)$ 的干扰值 $D(e)$, 为简单起见, 令 $D(e) = (D_i + D_j)/2$, 其中 D_i, D_j 分别为感知节点 i, j 的系统内干扰值。对于网络中 1 条从节点 u_0 到 u_n 的多跳路径 $P: u_0 e_1 u_1 e_2 u_2 L u_{n-1} e_n u_n$, 其中 e_1, e_2, L, e_n 分别表示链路 $(u_0, u_1), (u_1, u_2), L, (u_{n-1}, u_n)$, 由此可以得到该多跳路径干扰值的计算公式:

$$D(P) = D(e_1) + D(e_2) + L + D(e_n) = \frac{D(u_0) + D(u_1)}{2} + \frac{D(u_1) + D(u_2)}{2} + L + \frac{D(u_{n-1}) + D(u_n)}{2} = \frac{D(u_0)}{2} + D(u_1) + D(u_2) + L + D(u_{n-1}) + \frac{D(u_n)}{2} \quad (3)$$

系统内干扰的最小化路由的目标是 $\min D(P)$ 。

2.2.2 系统间干扰最小化路由

本文提出一种基于新的路由机制——基于对主用户干扰的路由协议。在该协议中, 在源节点到目的节点的若干条可能路径中, 选择对主用户干扰最小的那条, 从而避开主用户的干扰区域。

根据主用户接收节点干扰范围内的次用户的数目和位置, 得到网络中每个次用户对主用户的干扰值 I_i 。 I_i 可以表示为:

$$I_i = P_i g_{ip}^{SP} \quad (4)$$

式中: P_i 是次用户 i 的发射功率; g_{ip}^{SP} 表示次用户 i 到主用户的信道增益。

对于网络中 1 条从节点 u_0 到节点 u_n 的多跳路径 $P(u_0, u_n)$, 它对主用户的干扰值计算公式为:

$$I(P) = I(u_0) + I(u_1) + L + I(u_{n-1}) \quad (5)$$

系统间干扰的最小化路由的目标是 $\min I(P)$ 。

2.2.3 基于系统内和系统间联合干扰最小化路由

在感知无线电 ad hoc 网络中同时存在系统内干扰(ad hoc 次用户间的干扰)和系统间干扰(次用户对主用户的干扰)。 $D(u_i)$ 表示系统内次用户 u_i 受到干扰范围内邻居节点的干扰, $I(u_i)$ 表示次用户 u_i 对主用户的干扰, 由于在感知无线电 underlay 频谱共享机制下, 次用户和主用户共享相同的频段, 必须保证次用户对主用户的干扰不能大于主用户能承受的干扰阈值, 因此在这里提出一种新的路由机制使得系统内和系统间联合干扰最小化, 即在满足系统间干扰小于干扰阈值的条件下, 使得系统内干扰最小化。

$$\begin{cases} \min D(P) \\ s.t. I(P) \leq I_{\text{threshold}} \end{cases} \quad (6)$$

式中 $I_{\text{threshold}}$ 表示主用户所能承受的最大干扰值。

2.3 实现

在感知无线电 ad hoc 网络干扰的路由协议基于源动态路由(Dynamic Source Routing, DSR)协议^[13], 它的路由机制也分为路由发现和路由维护。假设每个次用户知道主用户的地理位置和自身的地理位置, 由此计算出对主用户的干扰值 I 。每个次用户也知道自己干扰区域所覆盖的节点的数量和位置, 并由此计算出该节点受到邻居节点的干扰值 D 。即使节点发送移动或者其他原因导致网络拓扑发送改变, 也可以及时检测到, 并及时更新各节点的干扰值。

当源节点想要发送数据时, 检查路由表中有没有到目的节点的路由, 如果没有, 即产生路由请求分组(Routing Request, RREQ), 并广播该分组。该路由请求包中包括分组序列号、源节点、目的节点、系统内干扰值 D_0 、系统间干扰值 I_0 , $S \rightarrow * < RREQ, s_{0,n}, 0, n, D_0, I_0 >$ 。中继节点收到路由请求分组后, 查看之前的路由请求分组中是否有序列号相同的请求, 如果有, 丢弃该路由请求; 如果没有, 把自己受邻居节点的干扰值和对主用户的干扰值加进去, 并广播该数据包: $v_i \rightarrow * < RREQ, s_{0,n}, 0, n, D_0, I_0, 1, D_1, I_1, L, i, D_i, I_i >$ 。

目的节点: 收集所有信息形成带权图 G , 根据要求选择最小系统内干扰, 或最小系统间干扰, 或最小联合干扰值, 并发起 ROUTE REPLY, 沿着反向路径发送回源节点。

在上述路由算法中, 路径的选择不是基于最小跳数或最短路径, 而是考虑感知无线电基于对主用户的干扰和次用户自身的干扰, 选择干扰最小化的路由, 避开干扰较大的区域。

3 仿真

仿真模型: 50 个节点随机分布在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域内, 节点的通信范围为 30 m 。为了简化起见, 假设主用户位于原点 $(0,0)$, 次用户源节点和目标节点分别位于 $(0,100)$ 和 $(100,0)$ 。假设次用户的发射功率相同, 信道增益使用简单的路径损耗模型 $g = G/d^2$ 。则系统内干扰和系统间干扰可以简化为 $D_i = G \sum_{k \in R_i} d_{ki}^{-2}$, $I_i = Gd_{ip}^{-2}$ 。其中 d_{ki} 表示次用户 i 到干扰范围内邻居节点 k 的距离, d_{ip} 表示次用户 i 到主用户的距离。

首先比较了最短路径(Shortest Path, SP)路由、最小系统内干扰路径(lowest intra-system interference)、最小系统间干扰路径(lowest inter-system interference)和最小联合干扰路径, 仿真结果如图 1 所示, 最短路径路由 SP 只考虑源节点到目的节点的最短路径; 最小系统内干扰路径只考虑受邻居节点的干扰, 所以选择的路径上节点的干扰范围内的邻居节点越少越好; 最小系统间干扰只考虑对主用户的干扰, 所以路径的选择离主用户越远越好; 最小联合干扰路径综合考虑了对主用户的干扰和受邻居节点的干扰, 在满足对主用户的干扰小于干扰阈值的条件下, 选择 1 条系统内干扰最小的路由。

接下来取次用户数量从 50~100 个(每次的节点位置随机产生), 分别仿真基于干扰的路由和最短路径路由对主用户的干扰值和次用户链路干扰值。仿真结果如图 2、图 3 所示。图 2 中, 在对主用户的干扰阈值的限制下, 系统间干扰最小路由和联合干扰最小路由对主用户的干扰都远小于最短路径路由。图 3 中, 系统内干扰最小路由和联合干扰最小路由相比于最短路径路由, 链路的干扰值更小。由此, 提出的基于干扰的路由相较于传统的最短路径路由, 系统内干扰和系统间干扰都更小, 符合感知无线电的特性, 获得更好的性能。

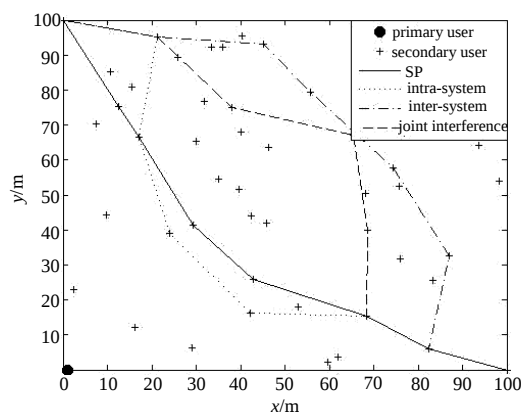


Fig.1 Router under 4 different conditions

图 1 4 种方案的路由选择

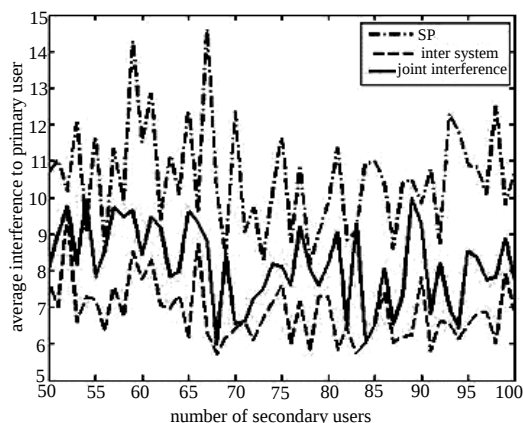


Fig.2 Average interference to primary user under 3 approaches

图 2 3 种方案下对主用户的平均干扰

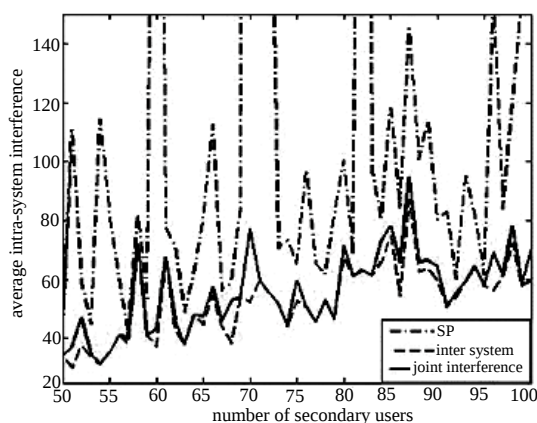


Fig.3 Average intra-system interference under 3 approaches

图 3 3 种方案下路由链路干扰值

4 结论

本文在感知无线电 ad hoc 网络环境下, 选取了干扰作为路由的度量, 并将干扰分为系统内干扰(ad hoc 用户自身之间的干扰)和系统间干扰(次用户对主用户的干扰)。在已有的 ad hoc 网络干扰路由协议的基础上对干扰权重做出改进, 并提出新的基于系统间路由的干扰(对主用户干扰最小化)以及基于联合系统内和系统间的干扰。仿真显示该干扰模型相比于传统最短路径路由, 系统内干扰和系统间干扰都更小, 符合感知无线电移动 ad hoc 网

络的特性,获得更好的性能。

参考文献:

- [1] 谢显中. 感知无线电技术及其应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.
- [2] 王英伦,李磊民,黄玉清,等. 基于本体的认知无线电知识表示与推理[J]. 信息与电子工程, 2010,8(6):747-751.
- [3] Mitola J, Maguire G Q. Cognitive radio: making software radios more personal[J]. IEEE Personal Communications, 1999,6(4): 13-18.
- [4] Haykin S. Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005,23(2):201-220.
- [5] Takeo Fujii. Ad-hoc Cognitive Radio-Development to Frequency Sharing System by using Multi-hop Network[C]// New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks. Baltimore, MD, USA: [s.n.], 2005:589-592.
- [6] Liu Yiming, David Grace. Improving Capacity for Wireless Ad Hoc Communications Using Cognitive Routing[C]// Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communication. [S.l.]: IEEE, 2008:1-6.
- [7] Bo Han, Grace D. Using Cognitive Interference Routing to Avoid Congested Areas in Wireless Ad Hoc Networks[C]// Computer Communication and Networks. San Francisco, CA: [s.n.], 2009:1-6.
- [8] Zhou Yuan, Ju Bin Song, Zhu Han. Interference Minimization Routing and Scheduling in Cognitive Radio Wireless Mesh Networks[C]// Wireless Communication and Networking Conference. Sydney, NSW: [s.n.], 2010:1-6.
- [9] Baumann R, Heimlicher S. A survey on routing metrics[R]. Switzerland: Computer Engineering and Networks Laboratory ETH-Zentrum, 2007.
- [10] Pioro M, Medhi D. Routing, flow and capacity design in communication and computer networks[M]. [S.l.]: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2004.
- [11] Burkhart M, Rickenbach P, Wattenhofer R, et al. Does topology control reduce interference?[D]. NY, USA: Proc of ACM MobiHoc, 2004.
- [12] 陈林星, 曾曦. 移动 ad hoc 网络——自组织分组无线网络技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [13] 刘琼. 移动 ad hoc 网络干扰路由协议的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.

作者简介:



狄佳茜(1987-), 女, 江苏省常州市人, 硕士, 主要研究方向为无线通信、感知无线电、路由. email: 09210720090@fudan.edu.cn.

倪卫明(1970-), 男, 上海市人, 副教授, 研究方向为信号处理、编码、无线通信、无线网络.