

基于冗余备份的协作感知数据传输方法研究

王寅贺, 李彦, 牛德智

(空军工程大学 理学院, 陕西 西安 710051)

摘要:为了进一步提高频谱的利用率,增强协作频谱感知的实用性和准确性是十分必要的。对协作频谱感知的关键技术中可靠的数据传输方式加以改进,通过冗余数据多路径的方法增加数据传输过程中的可靠性和实时性。这样可将各感知节点的数据准确的,可靠的,实时的传输到中心节点,使中心节点做出精准快速的判决。文中仿真结果证明了该方法的可行性,并且一定程度上克服了干扰和噪声等因素对数据传输过程中的影响,对协作频谱检测技术的实际应用打下了基础。

关键词:认知无线电;协作频谱感知;可靠性传输;多路径

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.06.08

中图分类号: TN915.05 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)06-0038-04

近年来随着新的无线电技术的飞速发展,人们愈发感到了频谱资源的匮乏。为了在现有的频谱资源中提高对其的使用率,提出了认知无线电(Cognitive Radio, CR)的概念^[1]。而对空闲频谱的感知技术更是成为了研究的热点。当前,频谱感知的方法大概可以归为 2 类:一类是基于本地的频谱检测,如能量检测,匹配滤波器检测,循环平稳特征检测等^[2-3];另一类则是多节点的协作频谱检测技术^[4-6]。由于多个用户可以彼此协作,从而提高了频谱感知的可靠性。

在协作感知中,如何进行数据的传输是一个重要的问题。例如发生森林火灾、煤矿的瓦斯泄露、军事战场上在大功率干扰的电子环境下保持己方的通信畅通等,这都要求到将各 CR 节点的判决信息可以准确的,可靠的,实时的传到中心节点,从而使中心节点对各判决信息做出精确快速的决策。可以说可靠的数据传输将直接影响到协作频谱感知的性能,对整个系统的实用性,准确性等方面起着决定性作用。

当前大部分的文献^[4-6]通常都会假设信道是非常完美的,因此各 CR 节点的感知数据均会准确无误地传输到中心节点。然而,在实际生活中,各个节点的通信受到随机衰落、干扰和噪声的影响,很可能造成数据的丢失。因此本文提出利用冗余数据传输^[7]来保证数据传输的可靠性。

1 基于冗余备份的数据传输方法

冗余备份的数据传输方法主要包括多路径^[9]和重传^[10]2 种。多路径方法是 CR 节点和中心节点间建立多路径,让数据信息同时延多条路径进行传输,以此来增加数据传输的可靠性。重传方法则是在单一的路径上,将数据信息进行反复或者多份的传输,从而有效地减少数据的丢失,进而使数据能成功地传输到目的地。

可以采样时间段内的传输速率与链路容量之比来分析 2 种方法的链路利用率,见式(1)^[11]。链路的利用率越高,算法性能越好。

* 收稿日期:2010-02-24

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(SJ08F12);陕西省电子信息系统系统集成重点实验室基金资助项目(200908A);航空科学基金资助项目(20090196004)

作者简介:王寅贺(1986-),男,山西侯马人,硕士生,主要从事认知无线电系统研究;E-mail:wat_0214@163.com

李彦(1963-),男,北京人,教授,主要从事通信与信息系统等研究。

$$B_n(n, i) = \frac{B_T(n, i)/T_i}{B_N} \quad (1)$$

式中: $B_n(n, i)$ 表示第 n 条链路在第 i 个采样时间段的链路利用率; $B_T(n, i)$ 是第 i 个采样时间段内第 n 条链路传输的数据总量; T_i 是采样时间段的长度; B_N 是第 n 条链路的链路带宽。图 1 给出了多路径方法和重传方法的链路利用率与时间的关系。

由图 1 可以明显看出,多路径的方法比重传方法的链路利用率要高些。而且重传方法又增加了信道的竞争,在一定情况下,不但不能达到预期的效果,反而会导致数据信息的丢失,因此多路径的鲁棒性更好。

多路径又有不相交多路径法和缠绕路径法 2 种,其中不相交多路径法的主要意思其所构建的所有路径间没有共享的节点或者链路,因此任意节点的失效都不会产生数据信息的丢失。缠绕多路径法,因为其存在共享节点或链路,所以任意共享节点的失效都可能直接影响到多条路径。2 种算法的有效性可以数据的延迟来度量,延迟越小,性能则越好。即以数据包发送和到达之间的间隔来计算^[11]。计算公式为:

$$R(n) = T_R(n) - T_S(n) \quad (2)$$

式中: $R(n)$ 是第 n 个包的延迟; $T_R(n)$ 是第 n 个包收到的时间; $T_S(n)$ 是第 n 个包发送的时间。

更进一步,可以定义以 2 个连续的包之间的不同间隔来计算数据的延迟抖动:

$$J(n) = [T_R(n) - T_R(n-1)] - [T_S(n) - T_S(n-1)] \quad (3)$$

图 2 给出了 2 种方法节点密度固定时,系统数据传输量与传输延迟抖动关系。

在图 2 中,可以明显看到缠绕路径法的延迟抖动远远大于不相交多路径法。由于本文所研究协同频谱感知对检测的可靠性和实时性等因素要求较高,所以本文采用不相交多路径的作为基于冗余备份的数据传输方法。

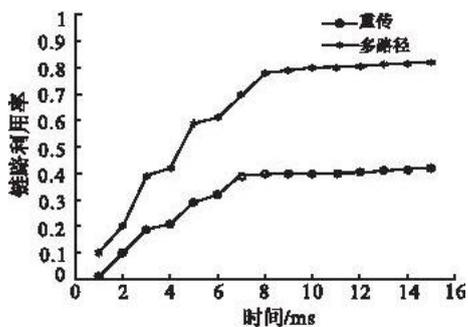


图 1 链路利用率与时间的关系
Fig. 1 Relation between using rate of chain path and time

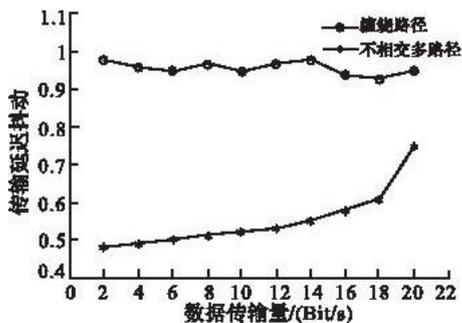


图 2 数据传输量与传输延迟抖动关系
Fig. 2 Relation between quantities of data transmission and transmission delay flutter

2 冗余备份的数据传输系统性能分析

在认知无线网络的所有 CR 节点中,其路径的长度是一定的,设路径的平均跳步是 i ,链路传输中的平均失效率是 e_r ,那么任意一条路径所成功的传输可靠性就是 $(1 - e_r)^i$,如果要达到预期的可靠性 r ,则每个数据信息至少需要的路径数 N 就得满足:

$$(1 - (1 - e_r)^i)^N \leq 1 - r \quad (4)$$

将其整理成为一个关于 N 的式子:

$$N = \frac{\lg(1 - r)}{\lg(1 - (1 - e_r)^i)} \quad (5)$$

值得注意的是这里所指的多路径并不一定就是物理存在的,因为一部分的路径会转发多份的数据信息副本,从而承担起多条路径的作用。另外,在实际的网络中,随着信道状况的变化,路径的数量和长度都会发生变化。因此 CR 节点必须通过改变路径的数量,才可以满足中心节点所需数据的可靠性和实时性。

由此给出相关的定义和符号,从而建立多路径的模型。将认知无线网络看成一个有向图 $G = (V, E)$ 。 V 表示 CR 节点的集合, E 则表示各感知节点间的链路集合。

定义 1 期望可靠性:CR 节点产生的数据信息被成功的传输到中心节点的概率,用 r 表示。

定义 2 给定节点 x, y , 对 $\langle x, y \rangle$ 和 $\langle y, x \rangle$ 表示有序的从 x 到 y 和 y 到 x 的 2 种不同的单向链路, $\langle x, y \rangle, \langle y, x \rangle \in E$, 链路用 e 表示。

定义 3 链路传输中的失效率:给定链路 $e: \langle x, y \rangle$, 由于链路失效导致了从节点 x 所传输的数据信息到节点 y 失败的概率,用 $\text{error}(x, y)$ 或者 $\text{error}(e)$ 来表示。

定义 4 CR 节点, 中心节点:在认知无线网络 C 中, CR 节点为产生用户的感知源, 中心节点为数据信息所送达的目的地。在网络 C 中, CR 节点用 S_c 表示, 中心节点用 D_c 表示。

定义 5 路径:在认知无线网络 C 中, 假设路径是由头尾相连的有向链路组成的, 用 $q: (e_1, e_2, \dots, e_i)$ 所表示, 且满足 $\text{head}(e_1) \in S_c \wedge \text{end}(e_i) \in D_c \wedge \text{end}(e_k) = \text{head}(e_{k+1}), k = 1, 2, \dots, i - 1$, 其中 $\text{head}(e_k)$ 表示链路 e_k 的开始点, $\text{end}(e_k)$ 表示链路 e_k 的终结点。网络 C 中的所有路径的集合用 Q 表示。

设有 K 个 CR 节点向中心节点发送判决结果。中心节点通过数据融合“或”运算得到判决结果, 当所有节点的判决结果都为 H_0 时, 中心节点将认定该频段空闲, 否则认为该频段正被占用。因此, 协作频谱感知的漏检概率 Q_m 和虚警概率 Q_f 分别为:

$$Q_m = P_r(H_0 | H_1) = \prod_{z=1}^k P_{m,z} \quad (6)$$

$$Q_f = P_r(H_1 | H_0) = 1 - P_r(H_0 | H_0) = 1 - \prod_{z=1}^k (1 - P_{f,z}) \quad (7)$$

式中 $P_{m,z}$ 和 $P_{f,z}$ 分别表示第 z 个 CR 节点的漏检概率和虚警概率。如果信道受到各种因素的影响, 不能进行可靠的数据传输, 这时假设 $P_{e,z}$ 为第 z 个 CR 节点在传输过程中出错的概率。那么此时协作频谱感知的漏检概率和虚警概率分别为:

$$Q_m = \prod_{z=1}^k [P_{m,z}(1 - P_{e,z}) + (1 - P_{m,z})P_{e,z}] \quad (8)$$

$$Q_f = 1 - \prod_{z=1}^k [(1 - P_{f,z})(1 - P_{e,z}) + P_{f,z}P_{e,z}] \quad (9)$$

进而可以给出 Q_f 的下限:

$$Q_f \geq \overline{Q_f} \leq \lim_{P_e \rightarrow 0} Q_f = 1 - (1 - P_e)^k \approx KP_e \quad (10)$$

3 仿真与分析

鉴于上面所述, 下面仿真均采用 Rayleigh 信道, 平均信噪比分别是 5 dB 和 20 dB, 协作频谱各节点的感知均使用能量检测法。在信道可靠时和不可靠时, 根据式(6) - (10) 分别就虚警概率和漏检概率做出比较, 见图 3、图 4。

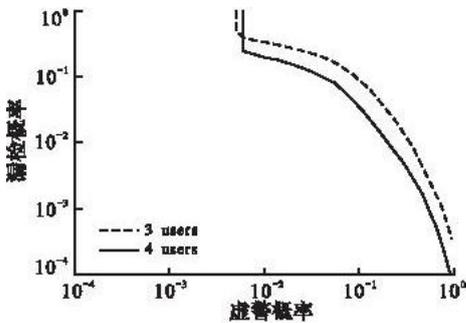


图 3 不可靠数据传输时, 协作感知的漏检概率和虚警概率的关系

Fig. 3 Relation between probability of miss and probability of false alarm of cooperation sensing in the case of reliable data transmission

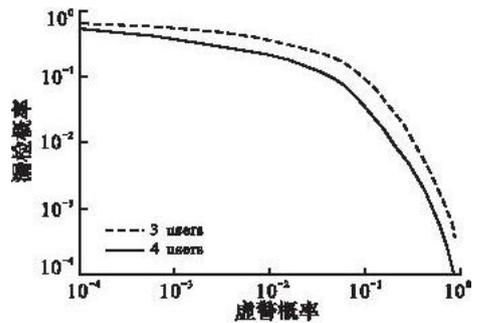


图 4 可靠数据传输时, 协作感知的漏检概率和虚警概率的关系

Fig. 4 Relation between probability of miss and probability of false alarm of cooperation sensing in the case of unreliable data transmission

通过仿真可以明显看到,图3中的2条曲线都存在垂直突变,这就是所谓的“虚警概率墙”,而造成“虚警概率墙”主要的因素就是传输中出错概率,参与协作的CR节点数越多,“虚警概率墙”也就越大。所以,此时协作感知无法达到预期的感知效果。而图4通过采用冗余数据多路径的方法,在虚警概率一定的条件下,随着协作用户数量的增加,漏检概率在明显的减小,因此可以将用户数量看成是协作感知的分集增益,由于各独立用户彼此间的协作,从而达到感知分集增益的效果。即使对于离主用户较远的CR用户或受障碍物干扰的用户通常很难将检测数据准确的发送回中心节点,但是通过离主用户较近的中继节点的协作,即可完成数据传输。此外,虽然有时候部分用户无法感知主用户信号,但是并不会影响到最后的检测结果。因此,通过冗余数据多路径的方法,可以使数据在传输过程中更加的准确和可靠,从而增强了协作频谱感知的实用性和准确性。

4 结束语

本文针对目前现有认知无线网络的协作频谱感知的数据传输技术的不足,提出了通过冗余数据多路径传输的方法,初步解决了数据传输过程中数据丢失的问题。但是今后仍有大量工作需要改进和完成,例如如何筛选一些不满足条件的用户,从而减少协作用户的数量达到更好的检测性能等。同时有些理论和关键技术还有待进一步提高。

参考文献:

- [1] Mitola J, Maquire G J. Cognitive Radios: Making Software Radios More Personal[J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4):13-18.
- [2] Cabric D, Mishra S M, Bordersen R W, et al. Implementation Issues in Spectrum for Sensing Cognitive Radios[J]. Signals Systems and Computers Conference Record of the Thirty-eighth Asilomar Conference, 2004, 1:772-776.
- [3] Haykin S. Cognitive Radio: Brain-empowered Wireless Communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2):201-220.
- [4] Simeone O, Gambini J. Cooperation and Cognitive Radio[C]//IEEE International Conference on Communication. Glasgow: IEEE Press, 2007:6511-6515.
- [5] LIANG Yingchang. Optimization for Cooperative Sensing in Cognitive Radio Network[C]//Wireless Communications and Networking Conference. Kowloon: IEEE Press, 2007:27-32.
- [6] MA Jun, ZHAO Guodong, LI YE. Soft Combination and Detection for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks[J]. IEEE Transactions, 2008, 11(9):4502-4507.
- [7] MA Jun, LI Ye. Soft Combination and Detection for Cooperative Sensing in Cognitive Radio Networks[J]. Global Telecommunications Conference. Washington, DC: IEEE Press, 2007:3139-3143.
- [8] 张志东. 无线传感器网络通信协议研究[D]. 天津:天津大学, 2007.
ZHANG Zhidong. Research and Implement the Communication Protocols in the Wireless Sensor Networks[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007. (in Chinese)
- [9] Shah R C, Rabaey J M. Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks[J]. IEEE Wireless Communication and Networking Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2002:350-355.
- [10] He T, Stankovic J. SPEED: A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks[J]. 23rd International Conference on Distributed Computing Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2003:46-55.
- [11] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
SUN Limin, LI Jianzhong, CHEN Yu, et al. Wireless Sensor Networks[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)

(下转第51页)