



CRN 中基于公平性的数据采集算法研究

王晓明¹, 张剑康²

(1. 莱芜职业技术学院信息工程系 莱芜 271100; 2. 郑州大学信息工程学院 郑州 450001)

摘要: 研究了认知无线网络的分布式数据采集问题。首先讨论了 SU 的合适载波侦听范围(PCR)。以此 PCR 为基础, 一个 SU 可以成功地发送数据且不对 PU 和其他 SU 造成干扰。然后, 提出了一种兼顾公平性的异步分布式数据采集(ADDC)算法。ADDC 算法以分布式策略把快照数据收集到基站, 且没有任何时间同步要求。与集中式和同步式算法相比, ADDC 算法的可拓展性和实用性更强。全面的仿真实验结果表明, ADDC 算法的数据采集效率更高, 数据采集时延更低。

关键词: 认知无线网络; 数据采集; 分布式算法; 公平性; 时延; 容量

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.11.014

Research on Data Gathering Algorithm Based on Fairness in Cognitive Radio Network

Wang Xiaoming¹, Zhang Jiankang²

(1. Department of Information Engineering, Laiwu Vocational and Technical College, Laiwu 271100, China;

2. Information Engineering College, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The distributed data collection problem for CRN was studied, which has not been addressed before. First, the proper carrier-sensing range(PCR) for SU was studied. By working with this PCR, a SU can successfully conduct data transmission without disturbing the activities of PU and other SU. Subsequently, based on the PCR, an asynchronous distributed data collection (ADDC) algorithm with fairness consideration for CRN was proposed. ADDC collects data of a snapshot to the base station in a distributed manner without any time synchronization requirement. The algorithm is scalable and more practical compared with centralized and synchronized algorithms. The comprehensive theoretical analysis shows that ADDC is order-optimal in terms of delay and capacity, as long as SU has a positive probability to access the spectrum. Finally, extensive simulation results indicate that ADDC can effectively finish a data collection task and significantly reduce data collection delay.

Key words: cognitive radio network, data collection, distributed algorithm, fairness, delay, capacity

1 引言

无线频谱是无线网络最为珍贵的资源之一。随着无线网络的迅速发展, 基于免费(未认证)频谱的通信越来越拥挤。相反, 根据美国联邦通讯委员会(FCC)发布的报告, 分配给认证用户的频谱使用率随时间和地域不同, 范围为

15%~85%, 效率很低。于是, 出现了一种新的通信模式, 即认知无线网络(CRN), 使得配备了认知无线电的用户可以感知并学习通信环境, 进而用概率方式进一步利用当前已经分配(认证)的频谱且不对认证用户造成严重干扰^[1]。

在 CRN 通信模式下, 次级网络与主级网络共存, 次级网络由配备了认知无线电的次级用户(SU)构成, 主级网络

由主级用户 (PU, 即认证用户) 构成。SU 以概率方式感知并学习频谱, 与 PU 共享相同的空间、时间、频谱。对一个 SU 来说, 当有数据需要传输时, 它便开始感知通信环境。如果存在一个频谱机会, 也就是说 SU 传输数据, 不会对任何 PU 造成严重干扰且该次数据传输的干扰范围在任何主级发射器干扰范围之外, 那么, SU 便可发起一次数据传输。在 SU 传输数据期间, 如果 PU 开始发射/传输数据, 那么 SU 必须迅速地交出正在占用的频谱, 以保证该次数据传输没有对 PU 造成干扰。

人们已经对 CRN 的多个课题进行了大量研究, 比如频谱感知^[2]、频谱管理^[3]、认知路由^[4]等。无论是对无线网络, 还是对 CRN, 数据采集均是个常规而又重要的课题, 因为通过数据采集可以收集到整个网络的数据。然而, 人们对 CRN 的数据采集, 尤其是异步 CRN 的分布式数据采集问题, 研究不多。研究异步 CRN 的分布式数据采集算法, 主要有以下 4 个难点。

- SU 数据传输不得对 PU 造成严重干扰。因此, 如何保证次级网络以分布式方法避免对主级网络造成干扰是一个难点。
- 集中式算法可以做出全面最优决策。然而, 分布式算法只利用局部网络信息而做出全局最优解, 难度很大。因此, 如何设计出有效的 CRN 分布式数据采集是另一个难点。
- 在异步 CRN 中, 由于缺少时间同步, 导致数据冲突、干扰和重传现象频发, 进而导致容量下降, 数据流公平性降低。因此, 如何克服未进行时间同步而引发的各种问题同时兼顾公平是另一个难点。
- 如何从理论角度分析本文数据采集算法的性能, 同时获得相应的时延界限, 也是难点之一。

为了解决这些难点, 本文提出一种不需时间同步的 CRN 分布式数据采集算法。首先, 研究 SU 的合适载波感知范围 (PCR)。利用 PCR 和重启 (RS) 模式 (在重启模式中, 只要信号满足信号—干扰比 (SIR) 阈值, 那么接收器就将接收该信号), 如果在 SU 的 PCR 内没有活跃的 PU 和 SU, 则该 SU 便可以成功发送数据且不对 PU 造成严重干扰。鉴于这些约束, 提出一种基于连通支配集 (CDS) 的数据采集算法, 称为 CRN 异步式分布数据采集 (ADDC) 算法。通过理论分析证明, 只要 SU 访问频谱的概率为正, 则 ADDC 算法在时延和容量方面的性能便可达到阶数最优。通过全面的仿真实验验证了 ADDC 算法的性能。仿真实验结果证

明, ADDC 算法可以有效地将所有数据报文发送到基站并且大大降低数据采集时延。

2 相关工作

数据采集问题在无线传感器网络中已经被广泛研究, 但是迄今为止, 人们对于认知无线网络中的数据采集问题的研究相对较少。参考文献[5]针对信道衰落单跳认知无线网络环境, 提出了一种基于随机线性编码的多信道 batch 数据采集与传输方案, 即基于编码的一种数据重传替代传输方案, 该方案所需要的 ACK 消息较少, 可使其对反馈信道的依赖性更低。理论分析和仿真结果表明, 该方案能够显著减少 batch 传输时延, 并有助于更好地理解设计认知无线网络中的机会路由。参考文献[6]考虑频谱接入过程中数据传输中断对认知网络性能影响的问题, 提出了一种新的基于传输中断概率的频谱感知与数据采集模型, 联合优化频谱感知和数据采集两个阶段, 将问题建模为主用户的干扰量约束条件下的非凸优化问题, 以最大化认知网络吞吐量为目标联合优化感知时间、传输速率, 并通过数值计算方法对其进行求解与仿真。数值分析表明, 引入传输中断概率后, 在满足上述约束条件的同时, 在保护主用户和认知网络吞吐量、传输时延之间有了更好的权衡。

另外, 参考文献[7]提出了一种基于放大转发的双中继协作数据采集方案, 并对所提方案次用户的无冲突传输时间及误比特率进行了详细的理论分析。蒙特卡洛仿真结果表明, 双中继协作传输策略能在单中继协作传输的基础上进一步增加次用户的无冲突传输时间并减小误比特率, 双中继协作传输显著地提高了系统的传输性能。参考文献[8]针对软件无线电台接收机工作流程的特点与要求, 在 Windows XP 环境下开发了中频信号实时数据采集软件。该软件采用操作系统提供的事件内核对象作为线程同步机制, 协调线程间操作的正确次序和对共享资源的正确访问。与使用单线程相比, 多线程编程技术可以保障数据采集的实时性和效率。该软件设计灵活、方便、易于维护, 可以提高开发效率。参考文献[9]讨论认知无线电的核心技术之一的中频数字化处理技术, 分析其工作原理并利用 ICS-554 设计出一套高速数据采集系统, 仿真实验结果与分析表明, 该系统的数据采集精度高、时延低, 能够满足多数用户的实时性数据处理需求。

然而总的来说, 以上的数据采集方案还存在着一定的



缺陷:首先,CRN 往往是大规模分布式无线系统,现有的数据采集系统获得网络运行实时数据的难度较大、成本太高,有些情况下甚至根本无法实现。其次,CRN 的部署环境可能不断变化,部分当前 SU 可能会离开网络,一些新的 SU 可能会随时加入网络,现有的数据采集算法还无法立刻适应这些网络变化,因此大大影响了数据采集的质量。鉴于此,本文在已有研究工作的基础上,提出了一种异步分布式数据采集算法,并通过仿真实验验证了本文算法的有效性。

3 系统模型

在本文中,考虑如下情况:次级网络由 n 个 SU 构成,主级网络由 N 个 PU 构成,两级网络共存于 $A=c_0n$ 区域上,且共享相同的时间、空间和频谱。

(1) 主级网络

主级网络由 N 个独立同分布的 PU 构成,表示为 $S_1, S_2, \dots, S_N$ 。定义 $V_p = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ 。为了保证次级网络能够得到一定的频谱机会,假设主级网络满足局部有限属性,即 $N/A < \infty$ 。这个假设是合理的,否则次级网络可能根本没有机会访问频谱。PU 的最大传输范围为 R ,所有 PU 的功率均为 P_p 。

网络时间被分隙,时间隙的长度为 τ 。使用一种通用的概率模型来描述 PU 的数据传输活动。在特定的一个时间隙内,每个 PU 以概率 p_t 发射数据(作为一个发射机)。总体来说,已知主级网络的行为服从泊松分布或均匀分布等概率分布后,便可相应确定 p_t 。

(2) 次级网络

次级网络由 $n > N$ 个单无线电 SU(表示为 $s_1, s_2, \dots, s_n$)和一个单无线电基站(汇点)(表示为 s_b)构成。所有 SU 和基站独立同分布。SU 的最大传输半径为 r 。因此,次级网络可以建模为 $G_s = (V_s, E_s)$,其中 $V_s = \{s_b, s_1, s_2, \dots, s_n\}$, E_s 是由 V_s 中所有 SU 形成的所有链路构成的链路集合。假设 G_s 图是连通图。所有 SU 有相同的工作功率 P_s 。请注意,对 $\forall s_i, s_j \in V_s$,即使 s_i 和 s_j 间有一条链路,如图 1 所示,也不表明 s_i 可以成功地把数据发往 s_j 。除了像传统的无线网络那样可能遭到其他 SU 的无线干扰,还有两种情况会导致数据传输失败:来自 s_i 的数据传输可能会对 PU 的接收行为造成干扰,例如图 1 中的 S_1 ; s_j 的数据接收行为可能会被 PU 的传输行为干扰,如图 1 中的 S_2 。因此,为了在两个 SU 间进行数据传输,必须要有频谱机会。

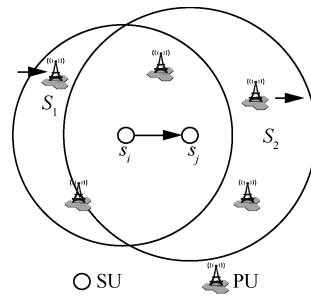


图 1 s_i 和 s_j 间通信示意

现在正式地将数据采集任务定义如下:在时间隙 t ,次级网络的每个 SU 生成一个大小为 B 的数据报文。SU 在时间 t 生成的所有 n 个数据报文的集合称为一个快照。不经过数据聚集过程而将快照的所有 n 个数据报文采集到基站上,称为一次数据采集任务。数据采集时延是指完成一项数据采集任务所消耗的时间。数据采集容量是指在数据采集过程中,基站的数据平均接收速率。

(3) 干扰模型

假设主级网络和次级网络的可用频谱带宽为 $W=B/\tau$ 。因此,数据采集容量的上限为 W ,因为基站在一个时隙内最多接收一个报文。在本文中,考虑物理干扰模型。在时间 t ,假设 $S_p^t(S_s^t)$ 表示向其他 PU(SU) 发送数据的所有 PU(SU) 集合。对 $\forall S_i \in S_p^t$,假设它的预期接收方为 S_j 。于是,只有 S_j 相对 S_i 的 SIR 满足如下等式, S_j 才能在时间 t 成功接收到 S_i 的数据:

$$\frac{P_p D(S_i, S_j)^{-\alpha}}{\sum_{S_k \in S_p^t, S_k \neq S_i} P_p D(S_k, S_j)^{-\alpha} + \sum_{S_k \in S_s^t} P_s D(S_k, S_j)^{-\alpha}} \geq \eta_p \quad (1)$$

其中, $D(\cdot, \cdot)$ 是两个节点间的欧氏距离, $\alpha > 2$ 是路径损耗指数, η_p 是主级网络的 SIR 阈值。类似地,对 $\forall s_i \in S_p^t$,假设它的预期接收方为 s_j 。于是,只有 s_j 相对 s_i 的 SIR 满足如下等式, s_j 才能在时间 t 成功接收到 s_i 的数据:

$$\frac{P_s D(s_i, s_j)^{-\alpha}}{\sum_{S_k \in S_p^t} P_p D(S_k, s_j)^{-\alpha} + \sum_{S_k \in S_s^t, S_k \neq s_i} P_s D(S_k, s_j)^{-\alpha}} \geq \eta_s \quad (2)$$

其中, η_s 是次级网络的 SIR 阈值。

在第 4 节中,将首先构建一个基于 CDS 的数据采集树作为数据采集的路由结构。然后,将获得 SU 的合适载波感知范围(PCR)。基于 PCR,提出一种异步分布式数据采集算法。ADDC 算法可以保证 PU 的活动不被干扰。此外,还可以保证同时发射数据的 SU 不受干扰。最后,理论分析了

ADDC 算法的性能。

4 分布式数据采集

4.1 数据采集树

ADDC 算法利用基于 CDS 的数据采集树作为路由结构。对图 G_s , 其支配树 (DS) 是 V_s 的一个子集 U , 于是对 $\forall s_i \in V_s$, 要么 $s_i \in U$, 要么 s_i 与 U 中某个节点相邻。如果 G_s 对 U 的导出子图连通, 则 U 称为连通支配集。

本文使用参考文献[10]中的方法构建基于 CDS 的数据采集树。以图 2 中的次级网络为例, 构建过程可以分为 3 步。 s_b 为是基站, 黑色节点是支配节点, 灰色节点是连接节点, 白色节点是受支配节点。首先, 从基站 s_b 开始进行宽度优先搜索 (BFS), 确定 G_s 的极大独立集 (MIS) D 。MIS 中的节点称为支配节点 (很明显, 基站也是一个支配节点)。如图 2(b) 所示, 所有黑色节点集合就是图 2(a) 次级网络支配节点集 D 。其次, 寻找由连接器节点构成的集合 C , 将 D 中的支配节点连接起来, 形成一个 CDS。例如, 图 2(c) 中, 灰色节点集合就是连接器节点集合。最后, $V_s \setminus (C \cup D)$ 中的节点即受支配节点。通过为单跳范围内的每个受支配节点选择一个支配节点作为其母节点, 便可以构建一个基于 CDS 的数据采集树, 如图 2(d) 所示。

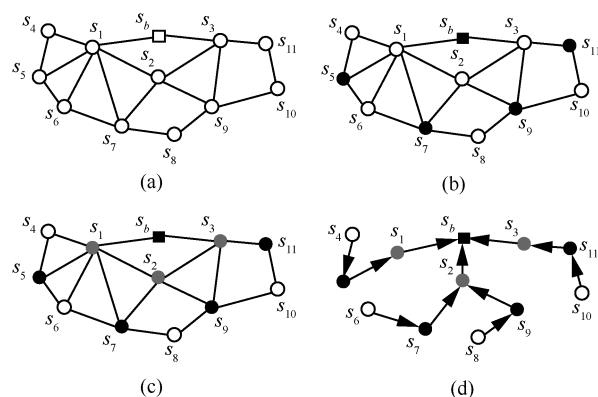


图 2 基于 CDS 的数据采集树构建

4.2 合适载波感知范围

在本文分布式数据采集算法中, 所有的 SU 必须要利用载波来感知频谱, 以获得频谱机会。因此, 需要研究如何设置载波感知范围才能实现如下目的:

- 次级网络不对主级网络的活动造成严重干扰;
- 同时发送数据的所有 SU 不受到干扰;
- 载波感知范围尽量小, 以便 SU 可以获得更多的频谱机会。

定义 1 (并行集) 如果 C 中的所有节点在一个时隙内可以同时发射数据并且发射成功, 则称集合为 C 并行集。

并行集的定义表明, 集合 C 中所有 SU 都有频谱机会, C 中所有 SU 和 PU 不受干扰。

定义 2 (R -集) 对 $R > 0$, 如果 $\forall u, v \in C, u \neq v$ 时, 有 $D(u, v) \geq R$, 则称 $C = \{u: u \in V_p \cup V_s\}$ 是一个 R -集。

定义 3 (合适载波感知范围) 如果所有的 R -集都是并行集, 则称 R 为一个 PCR。

现在, 获得了 SU 的 PCR 条件。为此, 还有两个约束。第一个约束是保证 SU 不会对主级网络造成严重干扰, 这一点在引理 1 中阐述。第二个约束是, 同时发射数据的所有 SU 不受干扰, 具体见引理 2。

引理 1 设 $C = \{u: u \in V_p \cup V_s\}$ 是任意 R -集。假设 C 中所有节点同时发射数据。于是, 为了保证 SU 不对 PU 造成严重干扰, PCR 必须满足如下条件:

$$R \geq \left(1 + \alpha \sqrt{\frac{c_2 \eta_p}{c_1}}\right) R \quad (3)$$

$$\text{其中, } c_1 = \frac{P_p}{\max\{P_p, P_s\}}, c_2 = 6 + 6 \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^\alpha \left(\frac{1}{\alpha - 2} - 1\right).$$

引理 2 $C = \{u: u \in V_p \cup V_s\}$ 是任意 R -集。假设 C 中所有节点同时发射数据。于是, 为了保证 $C \cap V_s$ 中所有 SU 可以成功发射数据 (即 $C \cap V_s$ 中每个 SU 均有频谱机会, 且所有 SU 无干扰发射数据), 必须有:

$$R \geq \left(1 + \alpha \sqrt{\frac{c_2 \eta_p}{c_1}}\right) r \quad (4)$$

$$\text{其中, } c_3 = \frac{P_s}{\max\{P_p, P_s\}}.$$

设:

$$\kappa = \max \left\{ \left(1 + \alpha \sqrt{\frac{c_2 \eta_p}{c_1}}\right) \frac{R}{r}, 1 + \alpha \sqrt{\frac{c_2 \eta_p}{c_3}} \right\} \quad (5)$$

根据引理 1 和引理 2, 如果设置 PCR 为 $R = \kappa r$, 则任意 R -集均为并行集。因此, 在下文中设置 $R = \kappa r$ 。在图 3 进一步给出了不同情况时的 PCR 值。其中, 默认设置为: $P_p = 10$, $R = 12$, $\eta_p = 10$ dB, $P_s = 10$, $r = 10$, $\eta_s = 10$ dB, $\alpha = 4$ 。从图 3 可以看出, $\alpha = 3.0$ 时的 PCR 值大于 $\alpha = 4.0$ 时。这是因为路径损耗指数越大, 发射机对其他正在进行的数据传输造成的干扰越小。此外, R 是关于 P_p, P_s, η_p, η_s 的非减函数。这一点从引理 1 和引理 2 中也可以看出。

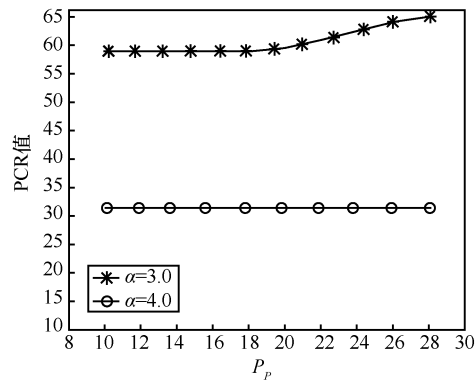
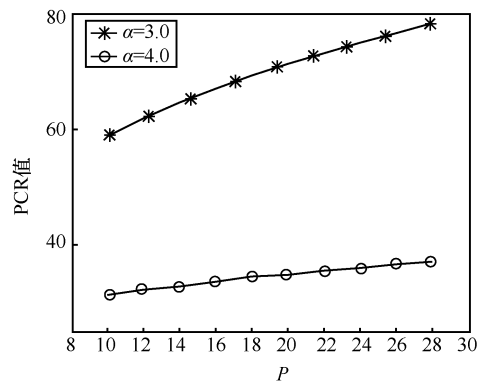
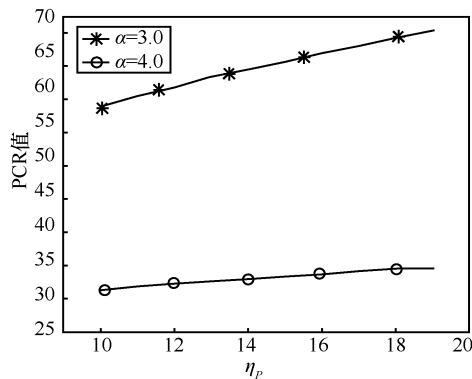
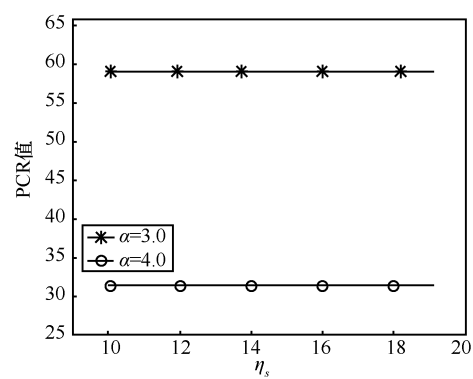
(a) PCR与 P_p (b) PCR与 P_s (c) PCR与 η_p (d) PCR与 η_s

图3 PCR值

4.3 数据采集算法

基于构建的数据采集树和 PCR R , 提出 ADDC 算法 (算法 1)。在该算法中, τ_c 是竞争窗口的时间长度且 $\tau_c < \tau$ 。假设在各自 PCR 内的 SU 所配备的退避计时器不会在完全相同的时间到期 (同时倒数计秒引发的冲突可以通过指数退避机制解决; 在该机制中, 每个 SU 的发射概率根据网络业务动态调整^[11])。

在本文算法中, 每个 SU 在第 (1) 行将载波感知范围设为 R 。在第 (2)~(12) 行, 描述了一个数据报文的传输过程。在第 (3) 行, 设置了 s_i 的退避计时器。因此, s_i 可以感知频谱 (第 (5) 行)。如果频谱忙碌, s_i 停止倒计时 (第 (6)~(7) 行)。否则, s_i 的退避计时器继续倒计时 (第 (8)~(9) 行)。如果退避计时器到期, 当频谱机会出现时 (第 (11) 行), s_i 进行数据传输。由于假设了在各自 PCR 内的 SU 的计时器不会同时到期, 所以第 (11) 行可以执行完毕且不会受到干扰。为了兼顾公平性, 也就是说避免 s_i 始终占用频谱, 设置 s_i 在发送完当前报文后等待 $\tau_c - t_i$ 时间 (第 (12) 行)。

ADDC 算法步骤如下。

算法 1: ADDC 算法

输入: 基于 CDS 的数据采集树、 R

输出: 分布式数据采集规划

- (1) $s_i (1 \leq i \leq n)$ 将其载波感知范围设为 $R = \kappa r$;
- (2) while s_i 需要传输数据时 do
- (3) s_i 均匀随机地设置一个数值 $t_i \in (0, \tau_c]$ 作为其退避计时器;
- (4) while 退避计时器没有过期 do
- (5) s_i 利用 R , 持续感知频谱;
- (6) if 在一个时隙内, 有一个 PU 或 SU 在其 PCR 内传输数据, 也就是
- (7) s_i 没有获得频谱或者可能对其他活跃 SU 造成干扰 then
- s_i 冻结其退避计时器 (停止计时过程) 直到频谱空闲;
- (8) if 频谱空闲 then
- (9) s_i 的退避计时器继续倒计时;
- (10) if 退避计时器过期 then
- (11) 当出现频谱机会时, s_i 向其母节点发送一个报文;
- (12) s_i 在其开始另一项传输任务前等待时间 $\tau_c - t_i$;

5 仿真和分析

本节通过仿真来验证 ADDC 算法的性能。在所有仿真中,假设次级网络由 n 个 SU、一个基站及包括 N 个 PU 的主级网络构成。两个网络在面积为 A 的区域上服从独立同分布。所有的 SU 和 PU 共享相同的时间、空间和频谱,且 SU 不得对 PU 造成严重干扰。假设网络时间分为多个时隙,每个时隙的长度为 1 ms。在一个时隙中,每个 PU 以概率 p_i 发起一次数据传输,或者以概率 $1-p_i$ 保持安静。此外,数据

报文的传输时间(不管是由 PU 生成还是由 SU 生成)小于 1 ms。对于其他系统参数,比如 A 、 α 、 N 、 P_p 、 R 、 η_p 、 p_i 、 n 、 P_s 、 r 、 η_s 等(与上文定义相同),将在每组仿真中分别明确,如图 4 所示,其中,默认设置为: $A=250 \times 250$, $\alpha=4$, $N=400$, $P_p=10$, $R=10$, $\eta_p=8$ dB, $p_i=0.3$, $n=2\,000$, $P_s=10$, $r=10$, $\eta_s=8$ dB。

在仿真中,用 ADDC 算法来表示本文提出的 CRN 异步分布式数据采集算法。在 ADDC 算法中,竞争窗口 τ_w 假设为 0.5 ms。目前还没有其他 CRN 数据采集算法,于是将 ADDC 算法与最近出现的 CRN 路由算法 Coolest^[12](做了必

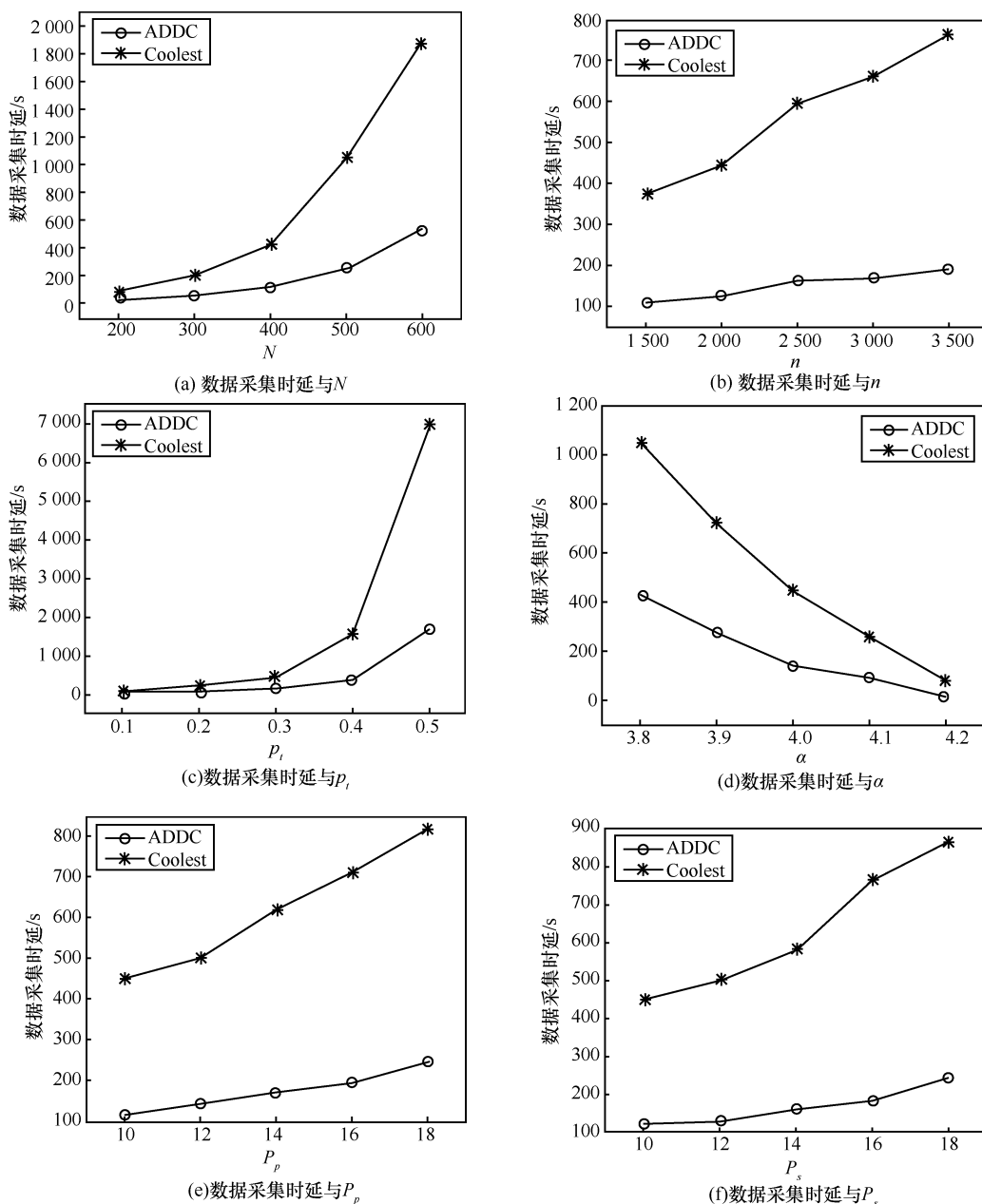


图 4 ADDC 算法和 Coolest 算法的数据采集时延



要的修改)做比较。在 Coolest 算法中,PU 在传输数据时偏向使用最均衡的路径或者频谱利用率最低的路径。为了完成一次数据采集任务,假设次级网络每个 SU 将会生成一个数据报文传输给基站。在下文中,每组仿真重复 10 次,结果取均值。

5.1 数据采集时延与网络规模(N 和 n)

在图 4(a)和图 4(b)中分别给出了 CRN 中 PU 和 SU 数量发生变化时,ADDC 算法和 Coolest 算法数据采集时延的变化情况。从图 4(a)和图 4(b)中可以看出,当 PU 的数量 N 和 SU 的数量 n 增加时,ADDC 算法和 Coolest 的数据采集时延均会增加。这是因为:PU 数量越多,主级网络的数据传输活动越多(默认 $p_t=0.3$),这就着 SU 必须要等待更长时间才能获得一个频谱机会;当 n 增加时,数据采集任务的流量增加,也就是说,次级网络的数据通信更加拥挤。于是,数据采集时延增加。ADDC 算法的性能要优于 Coolest 算法。这是因为 ADDC 算法既采取分布式数据采集方式,又兼顾公平性,降低了数据积累效应,使得尽可能多的 SU 可以同时发射数据。另一方面,Coolest 算法中 PU 更青睐均衡度高或者频谱利用率低的路径,许多 SU 可能会选择同样的路径,这将恶化数据积累效应。从图 4(a)和图 4(b)中,还可以看出,图 4(a)中的增长趋势要快于图 4(b)。这表明,数据总体采集时延主要取决于频谱机会的等待时间。平均来说,相比 Coolest 算法,ADDC 算法的时延分别下降 266%和 282%。

5.2 数据采集时延与 p_t, α

图 4(c)给出了概率 p_t (PU 在一个时隙内发起一次数据传输的概率)对 ADDC 和 Coolest 两种算法数据采集时延的影响。从图中可以看出,当 p_t 增加时,ADDC 算法和 Coolest 算法的数据采集时延均快速上升。这是因为, p_t 增加时,主级网络的活动变多,SU 的频谱机会快速下降。图 4(d)给出了路径损耗指数 α 对 ADDC 和 Coolest 两种算法数据采集时延的影响。当 α 增加时,发射机对其他正在进行的数据传输任务造成的干扰将会下降。因此,SU 将会有更多的频谱机会,更多的 SU 可以并发传输且没有干扰。于是,ADDC 和 Coolest 两种算法的时延下降。从图 4(c)和图 4(d)还可以看出,ADDC 算法的性能优于 Coolest 算法。平均来说,在图 4(c)和图 4(d)中,ADDC 算法的数据采集任务完成时间分别比 Coolest 算法少 314%和 171%。

5.3 数据采集时延与发射功率(P_p 和 P_s)

图 4(e)和图 4(f)给出了 P_p (PU 的功率)和 P_s (SU 的功

率)对 ADDC 和 Coolest 两种算法性能的影响。从图 4(e)和图 4(f)中可以看出,当 P_p 和 P_s 增加时,ADDC 和 Coolest 的数据采集时延均会上升。这是因为,工作功率增加时,对其他传输的干扰也将增加,频谱机会下降,可以并发传输的 SU 数量下降。此外,ADDC 算法完成数据采集任务的时间要快于 Coolest 算法,具体原因同上文。平均来说,在图 4(e)和图 4(f)中,ADDC 算法的数据采集任务完成时间分别比 Coolest 算法少 260%和 273%。

6 结束语

认知无线网络提供了一种新的很有潜力的通信模式。在这种模式中,SU 可以按一定概率访问空闲的认证频谱,且不会对 PU 的通信造成干扰。在本文中,研究了异步 CRN 的分布式数据采集问题。首先,讨论了如何确定 SU 的合适载波感知范围。然后,基于获得的 PCR,提出了一种兼顾公平的 CRN 异步分布式数据采集(ADDC)算法。通过理论分析,证明了 ADDC 算法可以实现阶数最优的时延和容量,ADDC 算法具有很强的可拓展性和实用性。最后,仿真结果表明,ADDC 算法完成数据采集任务的效率更高、时延更低。下一步工作的重点是研究认知无线网络中基于压缩感知的数据采集算法,以保证数据采集的可靠性。

参考文献

- 1 于洋,谭学治.基于信道分类和自适应调制编码的认知无线电决策引擎.电子与信息学报,2014,36(2):371~376
- 2 于笃发,邵建华,聂梦雅等.基于动态阈值的可信度加权协作频谱感知.计算机应用研究,2014,31(2):511~514
- 3 张士兵,张国栋,包志华.认知无线网络中基于代理的动态频谱交易算法.通信学报,2013,34(3):119~125
- 4 谢小民,王兴伟,温占考等.一种面向认知网络的 QoS 路由协议.计算机学报,2013(9)
- 5 郑长亮.认知无线网络路由及传输关键技术的研究.北京邮电大学博士学位论文,2013
- 6 高昊民,赵海峰,梁晓等.基于传输中断概率的认知无线电系统性能分析.电信科学,2013,29(10):114~118
- 7 陈建白,郑宝玉,褚御芝等.认知无线网络中次用户的一种协作传输策略.信号处理,2013,28(10):1432~1438
- 8 张志民,欧建平,皇甫堪.软件无线电台实时数据采集软件设计.计算机工程,2010,36(7):33~35
- 9 骆丽娜,马华山,杨万全.一种软件无线电中的中频高速数据采集系统的实现.四川大学学报:自然科学版,2007,44(5):1033~1036