

感知无线云网络中基于传输时间的节能优化方案^{*}

田 鸿¹, 朱征宇²

(1. 重庆人文科技学院, 重庆 401524; 2. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400030)

摘 要: 在感知无线云网络中, 针对感知用户数据传输时发生冲突造成能量浪费问题, 给出了一种移动云计算辅助下基于感知数据传输时间优化的终端节能方案。通过云平台强大的计算处理能力对感知用户业务量进行统计分析, 并导出了不可靠检测区域; 在此基础上, 采用感知用户不可靠检测概率为目标函数, 使不可靠检测概率最小的同时, 计算出感知用户最佳的数据传输时间, 并根据业务量对感知用户的传输时间进行自适应调整, 实现对感知用户的宏观调控, 从而节约系统中感知终端的能耗。仿真结果表明, 该方案使得感知用户的碰撞概率降低, 提高了感知用户数据传输可靠性, 并降低了由于数据碰撞造成的终端能耗。

关键词: 感知网络; 云计算; 传输时间; 节能优化

中图分类号: TN915.07

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2017)11-3408-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2017.11.046

Energy-saving based on data transmission time of cognitive users with cloud computing aided in cognitive networks

Tian Hong¹, Zhu Zhengyu²

(1. Chongqing College of Humanities, Science & Technology, Chongqing 401524, China; 2. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In cognitive cloud radio networks, to solve the energy dissipation problem caused by the collision between cognitive users when they transport data in the cognitive radio cloud network, this paper proposed an energy-saving scheme for the mobile terminal based on optimizing the data transmission time of cognitive users. Making use of the powerful ability of processing data by cloud, the cognitive wireless cloud analyzed the throughput of cognitive users and detects unreliable detection area. Further, it calculated the best data transmission time and adjusts the transmission time of cognitive users based on the throughput while ensuring the unreliable detection probability minimum. By optimizing the transmission time, the system saves energy for the cognitive terminal. The simulation results indicate that the proposed scheme reduces the collision probability of cognitive users and improves the reliability of data transmission.

Key words: cognitive radio; cloud computing; transmission time; energy saving

0 引言

能够有效利用频谱的感知无线电技术现今已逐渐成为研究热点。感知无线电指的是未授权的感知用户(即次用户, secondary user, SU)在不干扰有执照的用户(即主用户, primary user, PU)的前提下, 能够暂时借用主用户暂未使用的信道资源, 即与主用户共享频谱资源。一个感知用户既要使用频谱检测算法来搜索空闲频段, 同时为了避免对主用户和其他已经接入该频段的感知用户造成干扰, 感知用户又要对感知网络(cognitive radio networks, CRN)中感知用户的业务量进行准确地统计^[1,2]。在分布式无中心的CRN中, 由于感知用户之间缺少协作, 感知用户频段检测结果通常不准确, 从而造成在数据传输时发生碰撞问题, 现有文献对此研究甚少^[3]。

文献[4,5]给出了当多个SU检测同一PU频段时SU之间相互干扰的模型, 推导出了SU之间数据发生碰撞的概率; 同时, 提出了一种基于云平台辅助下的感知基础架构, 通过SU将自己的活动状态反馈给云平台, 云平台对SU活动状态和

PU信道的使用状态进行估计, 将计算结果反馈给SU, 给SU的频谱检测提供可靠的依据, 从而降低SU之间数据的碰撞概率。文献[6]给出了多个SU检测同一PU信道的检测模型, 分析了该模型下能量检测(energy detect, ED)的统计判决量, 推导出了SU的理论检测概率; 根据CR的工作原理, 推导出了传统ED的最小采样时间(minimum sampling time, MST); 基于MST, 本文推导出了该模型下SU数据传输的不可靠概率和可靠数据吞吐量的理论表达式; 同时通过跨层协作, 提出一种改进的分布式MAC协议, 很好地提高了该模型下SU的检测性能, SU的数据吞吐量也因此提高。由于云计算的迅速发展, 文献[7]提出了一个新的感知无线通信系统概念: 感知无线云, 该系统包含大量的无线接入网络和网络终端, 利用云计算强大的信息处理能力, 能够在通信信道确定的条件下更加有效地利用频谱资源。随着CWC概念的提出, 人们开始逐渐利用云计算从感知频谱接入、资源信息利用、快速重新配置等各方面优化感知无线电技术^[8]。在分布式无中心的感知无线网络中难以做到有效地减少感知用户之间的数据冲突, 基于云计算

收稿日期: 2016-08-08; 修回日期: 2016-10-11 基金项目: 重庆市物联网产业共性关键技术创新主题专项项目(cstc2015zdcy-ztxx40007)

作者简介: 田鸿(1972-), 女, 重庆酉阳人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为计算机网络、智能信息处理(970772755@qq.com); 朱征宇(1959-), 男, 重庆人, 教授, 博士, 主要研究方向为Web智能检索、智能交通、数据库技术。

辅助的感知无线云,利用云计算的数据分析能力来预估主用户的行为,统计分析用户业务量,并控制次用户的行为。而云计算的可扩展性、巨大的存储空间以及强大的计算能力,使得感知网络中的频谱感知以及资源调度能更有效地实现^[9~11]。因此基于云计算辅助的感知云网络能及时高效地调整感知用户的行为,代替感知用户进行复杂的计算,有效降低了感知用户的碰撞概率,从而推进感知无线电的应用。

本文利用云计算强大的数据分析能力来解决感知无线云中存在的次用户在数据传输时的冲突造成浪费能量的问题。在基于移动云计算平台的辅助下,对感知网络中所有用户(包括主用户和感知用户)的业务量进行统计分析,并导出了不可靠检测区域;在此基础上,提出了一个感知用户不可靠检测概率的目标函数,使不可靠检测概率最小的同时,计算出感知用户的最佳数据传输时间,将信息反馈给感知用户,这样根据业务量对次用户的传输时间进行自适应调整,使次用户的不可靠检测概率降低,从而降低了次用户的碰撞概率,并相应提高了感知用户的数据吞吐量,从而达到降低终端能耗的目标,且改进后方案的传输延迟对服务质量的影响可以忽略不计。

1 系统模型

本文研究采用的系统模型为文献[1]中的基于云计算辅助的感知无线网络模型,即前文提到的感知无线网络云,如图 1 所示。

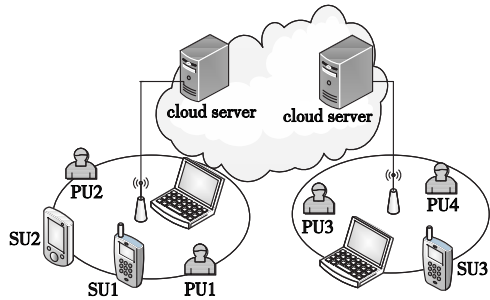


图1 感知云计算网络模型

该模型中包含有云服务器(cloud server, CS)、感知网络接入点(access point, AP)、感知网络中的主用户(PU)以及次用户(SU)。其中云服务器用于分析计算主用户、次用户的位置信息,主用户信道空闲时间以及次用户到达率。假设系统有 N 个正交的数据信道和一个控制信道。对于每一个数据信道,云服务器能够识别主用户的位置。本文主要目的是在不干扰主用户的情况下提高次用户的传输成功率,减小次用户的碰撞概率,从而达到降低能耗的目标。由于云服务器的支持,每一个次用户获得信道信息和主用户的数据都不需要执行复杂的计算。图 2 所示为多个 SU 用户接入无线信道时的系统模型。

在图 2 中, t_0 表示信道 i 中主用户(PU)离开; t_1 表示次用户 1(CR1)在信道 i 上开始感知,其中 W_1 为其感知时间, X_1 为第一次传输时间, X'_1 为第二次传输时间; t_2 表示次用户 2(CR2)在信道 i 上开始感知;其中 W_2 为感知时间, $t_{1,2} = t_2 - t_1$ 为 CR1 和 CR2 到达时间差; t_3 表示 CR1 第一次传输时间结束; t_4 表示 CR2 感知时间结束; t_5 表示次用户 3(CR3)在信道 i 上开始感知,其中 W_3 为感知时间, $t_{1,3} = t_3 - t_1$ 为 CR1 和 CR3 到达时间差; t_6 表示 CR1 第二次感知时间结束; t_7 表示 CR3 感知时间结束; t_8 表示 CR1 第二次传输时间结束,离开信道 i ; t_9 表

示 PU 到达,其中 Z 为主用户离开的时间。

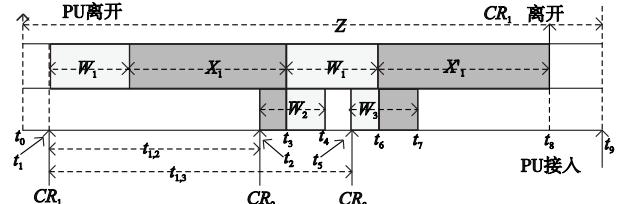


图2 系统模型

2 不可靠区域分析

感知用户传输过程中有一个可靠检测的区域,本章先分析数据传输过程中不可靠检测的区域。图 2 中, CR1 在 t_1 开始检测 PU 信道,在 $t_1 + W_1$ 时刻开始传输自己的数据。CR2 在 t_2 时刻开始检测 PU 信道,显然,此时的 PU 信道由 CR1 占用。在 CR2 的检测周期中,前一部分(t_2, t_3)含有用户信号,后一部分(t_3, t_4)没有用户信号。CR3 在 t_5 时刻开始检测 PU 信道,此时 CR3 的检测周期中,前一部分(t_5, t_6)没有用户信号,后一部分(t_6, t_7)含有用户信号。根据能量检测的统计量公式:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x(i)|^2 \quad (1)$$

其中: $x(i)$ 是 SU 的接收信号; N 表示样点数。因此相应的能量统计判决表达式为

$$\begin{aligned} T_{CR2} &= \sum_{i=1}^d (s_i + n_i)^2 + \sum_{i=d+1}^I n_i^2 \\ T_{CR3} &= \sum_{i=1}^{I-a} n_i^2 + \sum_{i=I-a+1}^I (s_i + n_i)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中: s_i 为 PU 信号采样样本, n_i 为高斯白噪声信号采样样本。 I 为能量检测器采样点的总数,在数值上为 2 倍的时带乘积,即 $I = T_{\text{sens}} \times B$,其中 T_{sens} 指次用户的感知时间, B 为频带带宽。 d 和 a 表示两种情况下,对 PU 信号采样的数目,在数值上

$$\begin{aligned} d &= 2(t_3 - t_2) \times B = 2\tau_{CR2} \times B \\ a &= 2(t_7 - t_6) \times B = 2\tau_{CR3} \times B \end{aligned} \quad (3)$$

其中: τ_{CR2}, τ_{CR3} 分别表示次用户 CR2、CR3 对用户数据的采样时间。当 I 较大时,由中心极限定理可以得到统计判决量近似服从正态分布,即

$$\begin{aligned} T_{CR2} | CR_1 = 1 &\sim N(I + d\gamma, 2I + 4d\gamma) \\ T_{CR3} | CR_1 = 1 &\sim N(I + a\gamma, 2I + 4a\gamma) \end{aligned} \quad (4)$$

从而得到 CR2 和 CR3 的检测概率为

$$\begin{aligned} P_{d,CR3} &= P_r(T_{CR3} > \eta | CR_1 = 1) = Q\left(\frac{\eta - I - a\gamma}{\sqrt{2I + 4a\gamma}}\right) \\ P_{d,CR2} &= P_r(T_{CR2} > \eta | CR_1 = 1) = Q\left(\frac{\eta - I - d\gamma}{\sqrt{2I + 4d\gamma}}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

其中: $CR_1 = 1$ 表示信道被 CR1 占用, η 为能量检测的判决门限; $d\gamma, a\gamma$ 分别为两种情况下感知用户接收到的主用户信号的信噪比; $Q(\cdot)$ 为标准高斯互补累积分布函数。设 P_d^{DES} 为感知网络的目标检测概率,要使 CR2 和 CR3 可靠地检测出 CR1 的信号,感知系统的约束条件为

$$P_{d,CR2} \geq P_d^{\text{DES}}; P_{d,CR3} \geq P_d^{\text{DES}} \quad (6)$$

由式(6)可以计算出满足可靠检测的 d 和 a 的最小值,即 $\min(d)$ 和 $\min(a)$ 的值,将式(5)分别带入式(6)可得:

$$Q\left(\frac{\eta - I - \min(d)\gamma}{\sqrt{2I + 4\min(d)\gamma}}\right) = P_d^{\text{DES}} = Q\left(\frac{\eta - I - \min(a)\gamma}{\sqrt{2I + 4\min(a)\gamma}}\right) \quad (7)$$

由此可得两者在数值上应该相等,即 $\min(d) = \min(a)$ 。

文献[6]给出了式(6)约束条件下,能量检测器所需要的

最小采样时间 τ_0 为

$$\tau_0 = \frac{1}{4B\gamma^2} \times (-2I\gamma - 2\eta\gamma - 4\gamma[Q^{-1}(P_d^{\text{DES}})]^2 + \sqrt{|2I\gamma - 2\eta\gamma - 4\gamma[Q^{-1}(P_d^{\text{DES}})]^2 - 4\gamma^2\{\eta^2 + I^2 - 2I\eta - 2I[Q^{-1}(P_d^{\text{DES}})]^2\}}) \quad (8)$$

其中: γ 为感知用户接收到的主用户信号的信噪比, B 为信号带宽。从式(6)的约束条件可以得 $\min(d) = \min(a)$, 根据 $d = 2\tau_{CR2} \times B$, $a = 2\tau_{CR3} \times B$ 可以得出 $\tau_{CR2} = \tau_{CR3}$, 所以基于 MST 可靠检测的临界值为次用户的感知时间, 并等于能量检测器的最小采样时间, 即 $\tau_{CR2} = \tau_{CR3} = \tau_0$, 转换为用户达到时间间隔问题, 可以解释成如下可靠检测问题:

CR2 能检测到 CR1 信号的条件是: $t_{1,2} \leq W_1 + X_1 - \tau_0$ 。CR3 能检测到 CR1 信号的条件是: $t_{1,3} \geq 2W_1 + X_1 - (W_3 - \tau_0)$ 。从而可以得到感知用户不能可靠检测到 CR1 信号的时间区间为: $t \in (t_{1,2}, t_{1,3})$, 即 $t \in (W_1 + X_1 - \tau_0, 2W_1 + X_1 - (W_3 - \tau_0))$ 。

即感知用户在此区间范围内不能可靠地检测出信道中是否存在用户信号。假设网络中次用户的到达时间间隔 $t_{1,2}$ 和 $t_{1,3}$ 满足指数分布 $\exp(\lambda)$: $f(t) = \lambda e^{-\lambda t} > 0$, 其中 λ 为用户的业务量。相应的累积分布函数(cumulative distribution function, CDF)表达式为: $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ 。从而可以得到感知用户不能可靠检测 CR1 信号的概率 $P_{un} = F(t_{1,3}) - F(t_{1,2})$, 即:

$$P_{un} = F(2W_1 + X_1 - (W_3 - \tau_0)) - F(W_1 + X_1 - \tau_0) = 1 - e^{-\lambda(2W_1 + X_1 - (W_3 - \tau_0))} - (1 - e^{-\lambda(W_1 + X_1 - \tau_0)}) = e^{-\lambda(W_1 + X_1 - \tau_0)} - e^{-\lambda(2W_1 + X_1 - (W_3 - \tau_0))} \quad (9)$$

P_{un} 即感知用户的不可靠检测概率, 即感知用户不能可靠检测出信道中是否存在用户信号的概率。为使 P_{un} 达到最小, 记为 $\min P_{un}$, 下面通过云平台对 X_1 和 X'_1 的调整, 使得概率 P_{un} 最小。

3 自适应传输时间

为了提高感知用户的数据吞吐量, 同时又不干扰主用户造成干扰, 本文通过云平台辅助, 满足目标函数 $\min P_{un}$ 。具体的实现方案, 是通过云平台对感知网络中所有主用户和感知用户的业务量 λ 进行统计, 然后进行数据处理分析, 计算出合适的 X_1 和 X'_1 , 将信息反馈给感知用户, 感知用户根据系统计算的传输时间再进行数据传输:

$$\begin{cases} \text{if } \lambda_L \leq \lambda \leq \lambda_H & \text{adjust } X_1 \uparrow \Delta \& X'_1 \downarrow \Delta \\ \text{else} & \text{no change} \end{cases} \quad (10)$$

其中: λ_L 和 λ_H 分别表示最低和最高的用户业务量; Δ 表示系统可调整的时间参数; $\uparrow \Delta$ 和 $\downarrow \Delta$ 分别表示对时间参数向上调整和向下调整。

3.1 用户业务量的计算

根据式(10), 感知用户到达的时间间隔期望为: $E(t) = 1/\lambda$ 。显然, λ 越大, 说明感知网络中业务强度越大, 对应的 $E(t)$ 越小。同理, λ 越小, 对应的 $E(t)$ 越大。

下面先求出 λ_H 。假设要求解 λ_H , 感知用户 CRi 与 CR1 到达时间差 $t_{i,1} > t_{1,2}$ 的概率 $P_r(t_{i,1}, t_{1,2})$ 小于一个门限值 P_{thre} (其中 $t_{i,1} = t_i - t_1$)。为此, λ_H 的求解可以转换为如下优化问题:

$$\lambda_H = \arg \min_{\lambda} P_{\text{thre}} | P_r(t_{i,1} > t_{1,2}) = P_{\text{thre}} | \quad (11)$$

显然 $t_{i,1} \sim \exp(\lambda)$, 为此式(11)中:

$$P_r(t_{i,1} > t_{1,2}) = 1 - P_r(t_{i,1} < t_{1,2}) = 1 - F(t_{1,2}) =$$

$$1 - (1 - e^{-\lambda t_{1,2}}) = e^{-\lambda t_{1,2}} \quad (12)$$

所以由式(11)(12)可以推出: $\lambda_H = -(\ln P_{\text{thre}}/t_{1,2})$

同理, 关于 λ_L 的优化函数为 $\lambda_L = \arg \min_{\lambda} P_{\text{thre}} | P_r(t_{i,1} < t_{1,3}) = P_{\text{thre}} |$, 从而可以求得 λ_L : $\lambda_L = -(\ln(1 - P_{\text{thre}})/t_{1,3})$ 。

现有文献中一般都假设感知系统的数据传输时间是固定的, 也即 $X_1 = X'_1 = X$ 。同时带入 $t_{1,2}$ 和 $t_{1,3}$, 最终为

$$\lambda_H = -\frac{\ln P_{\text{thre}}}{W_1 + X - \tau_0}, \lambda_L = -\frac{\ln(1 - P_{\text{thre}})}{2W_1 + X - (W_3 - \tau_0)} \quad (13)$$

3.2 可调整的时间参数 Δ 的求解

由式(11), 调整 X_1 和 X'_1 , 在临界可靠检测的条件下, 图 2 中 $t_{1,2}$ 和 $t_{1,3}$ 分别为

$$\begin{cases} \text{if } \lambda_L \leq \lambda \leq \lambda_H \\ t_{1,2} = W_1 + X_1 + \Delta - \tau_0 \\ t_{1,3} = 2W_1 + X_1 + \Delta - (W_3 - \tau_0) \end{cases} \quad (14)$$

其中 $t_{1,2}$ 应该满足 $P_r(t_{i,1} > t_{1,2}) \leq P_{\text{thre}}$, 即:

$$P_r(t_{i,1} > t_{1,2}) = 1 - P_r(t_{i,1} < t_{1,2}) = 1 - (1 - e^{-\lambda(W_1 + X_1 + \Delta - \tau_0)}) = e^{-\lambda(W_1 + X_1 + \Delta - \tau_0)} \leq P_{\text{thre}} \quad (15)$$

可以解出相应可调整的时间参数 Δ 为

$$\Delta \geq -\frac{\ln(P_{\text{thre}})}{\lambda} + \tau_0 - W_1 - X_1 \quad (16)$$

将上式带入式(9), 可得改进之后的不可靠检测概率为

$$\begin{cases} \text{if } \lambda_L \leq \lambda \leq \lambda_H \\ P_{\text{coll}} = e^{-\lambda(W_1 + X_1 + \Delta - \tau_0)} - e^{-\lambda(2W_1 + X_1 + \Delta - (W_3 - \tau_0))} \end{cases} \quad (17)$$

3.3 延迟分析

相比原传输方案, 改进之后的传输过程对 SU 数据传输造成的延迟有如下几个部分:

a) SU 将自己的活动状态上报给云平台的数据传播延迟 D_i ;

b) 云平台对数据进行分析处理的延迟 D_{h1} ;

c) 云平台将分析结果反馈给 SU 的数据传播延迟 D_i , 只要 SU 的地理位置没有太大变化, 理论上该延迟和 a) 相同;

d) SU 根据云平台反馈的结果, 对数据传输进行调整的处理延迟 D_{h2} 。

云平台在处理 SU 发送给它的的海数据时, 是一种后台数据处理方式; SU 对数据的自适应调节就是简单地通过式(18)来处理, 复杂度为 $O(1)$ 。以当今云平台计算、手机和存储能力, 相对于传播延迟, 数据处理延迟可以忽略不计。因此, SU 数据传输延迟可表示为

$$\text{Delay} = 2D_i + D_{h1} + D_{h2} \approx 2D_i \quad (18)$$

3.4 节能分析

根据对感知用户传输时间的优化, 对感知终端能耗进行分析。感知终端发送、接收信号都需要消耗能量。此外感知终端还需要感知空闲频谱而消耗更多的能量。本文通过对感知用户传输时间的优化, 降低了碰撞概率, 碰撞事件发生的次数减少, 意味着因碰撞而产生的能量消耗得到了节约, 从而达到节能的目的, 并延长终端的电池寿命。

设网络中的用户到达服从泊松分布^[11], 那么用户之间到达网络的时间间隔服从指数分布 $f(\tau) = \lambda e^{-\lambda \tau}$, $\tau > 0$, 其中 λ 为用户业务量。所以原方案在数据传输时发生碰撞的平均概率为

$$P_{\text{coll}} = \int_{t_{1,2}}^{t_{1,3}} [1 - P_d] f(\tau) d\tau =$$

$$\int_{\frac{W_1+X_1}{W_1+X_1+\Delta}-\tau_0}^{2\frac{W_1+X_1}{W_1+X_1+\Delta}-(W_3-\tau_0)} \left[1 - \left(\frac{\eta-I-I\gamma}{\sqrt{2I+4I\gamma}} \right) \right] \lambda e^{-\lambda\tau} d\tau \quad (19)$$

其中: P_d 为检测概率; τ_0 为最小采样时间; $t_{1,2}$ 和 $t_{1,3}$ 表示感知用户 CR2 和 CR3 与 CR1 的到达时间差, 可以通过式(14)计算得出。而改进后的平均碰撞概率为

$$P_{col2} = \int_{t_{1,2}}^{t_{1,3}} [1 - P_d] f(\tau) d\tau = \int_{\frac{W_1+X_1+\Delta}{W_1+X_1+\Delta}-\tau_0}^{2\frac{W_1+X_1+\Delta}{W_1+X_1+\Delta}-(W_3-\tau_0)} \left[1 - \frac{\eta-I-I\gamma}{\sqrt{2I+4I\gamma}} \right] \lambda e^{-\lambda\tau} d\tau \quad (20)$$

根据式(19)可得出, 改进前因为发生碰撞而浪费的能量为

$$E_1 = (T_{frame} - T_{sens}) \times R \times P_{col1} \times E_0 = (T_{frame} - T_{sens}) \times R \times E_0 \times \int_{\frac{W_1+X_1}{W_1+X_1+\Delta}-\tau_0}^{2\frac{W_1+X_1}{W_1+X_1+\Delta}-(W_3-\tau_0)} \left[1 - \frac{\eta-I-I\gamma}{\sqrt{2I+4I\gamma}} \right] \lambda e^{-\lambda\tau} d\tau \quad (21)$$

其中: T_{frame} 和 T_{sens} 分别表示感知数据帧长和感知时间长度, R 表示感知终端的传输速率, E_0 表示感知用户端发送和接收时消耗的能量。则改进后的方案中因为碰撞而消耗的能量为

$$E_2 = (T_{frame} - T_{sens}) \times R \times P_{col2} \times E_0 + E_{cloud} = (T_{frame} - T_{sens}) \times R \times E_0 \times \int_{\frac{W_1+X_1+\Delta}{W_1+X_1+\Delta}-\tau_0}^{2\frac{W_1+X_1+\Delta}{W_1+X_1+\Delta}-(W_3-\tau_0)} \left[1 - \frac{\eta-I-I\gamma}{\sqrt{2I+4I\gamma}} \right] \lambda e^{-\lambda\tau} d\tau + E_{cloud} \quad (22)$$

其中: E_{cloud} 为感知用户与云平台之间传输数据时消耗的能量。

4 仿真结果与分析

设用户信号采用 BPSK 调制, 工作在电视频谱频段, 载波频率为 500 MHz, 信号带宽为 0.15 MHz。CR 的目标虚警概率 P_f^{DES} 为 0.1, P_{thre} 为 0.1, SU 的检测时间为 1 ms, 用户到达网络服从泊松分布。传输速率 R 设为 0.1 Mbps, 感知用户端发送和接收时消耗的能量 E_0 为 50 nJ/bit^[9], 假设感知用户向云平台发送的状态信息为 1 bit。仿真时采用的改进前方案为文献[9]中方案, 即将传输时间假设为一个定值, 而本文采用改进后的方案, 即自适应传输时间方案。设定不同 SU 业务量强度 λ_a 分别为 30, 80, 图 3 给出了改进前后 SU 不可靠数据传输概率随着 SU 目标检测概率的变化图。从图 3 中可以看出, 随着 P_d^{DES} 提高, CRN 中不可靠检测概率也相应提高; SNR 较低的场景, SU 的不可靠数据传输概率较高; 本文提出方案的用户数据不可靠传输概率要小于改进前 SU 的不可靠数据传输概率。

图 4 给出了延迟随距离变化的曲线。相比改进前, 本文提出的自适应时间传输方案对 SU 数据传输带来了额外延迟。从图 4 中可以看出, SU 通过接入点接入云平台网络中。假设每个接入点的辐射范围为 1 km 左右, 如果 SU 处于云平台 1 km 的范围之内, 额外数据传输延迟时间很小(微秒级), 对 SU 的数据传输带来的影响不大。由于本文方案在不可靠检测概率和吞吐量等性能方面有明显优势, 所以, 这点很小的延迟牺牲是值得的。图 5 给出了感知用户改进前后的能量消耗比较。从图 5 可以看出, 随着帧长和目标检测概率的增大, 感知用户消耗的能量越多。而改进后方案的能量消耗明显低于改进前, 并且随着帧长和检测概率的增加, 改进后的方案为感知用户节约的能量越多, 本文仿真的为单个感知用户的能耗比较, 当感知无线云系统中感知用户越多, 则节约的能耗也会越多。

5 结束语

在感知无线云网络中, 本文针对感知无线网络中次用户数据传输时的冲突造成能量浪费的问题, 提出了一种移动云计算辅助下基于感知用户数据传输时间优化的终端节能方案。

根据感知网络中主用户以及次用户的业务量, 对次用户的传输时间进行了自适应调整, 使次用户的不可靠检测概率降低, 从而使次用户的碰撞概率降低, 从而达到终端节能的目的。

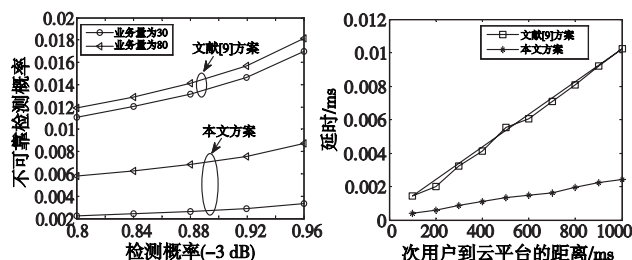


图3 不可靠检测概率对比 (SNR=-3 dB)

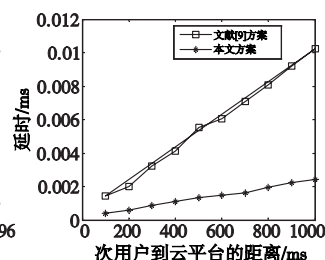


图4 SU数据传输延迟比较

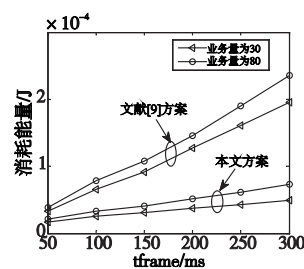


图5 感知用户的能耗比较

参考文献:

- [1] 王翔, 潘郁. 基于云计算的协同技术创新平台[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(15): 57-60.
- [2] 唐小丽. 基于融合算法的协作频谱感知技术研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2014.
- [3] Anamalamudi S, Jin Minglu. Energy-efficient hybrid CCC-based MAC protocol for cognitive radio Ad hoc networks[J]. IEEE Systems Journal, 2016, 10(1): 358-369.
- [4] Salameh H B, Dhainat M F, Al-Hajji A, et al. A two-level cluster-based cognitive radio sensor network: system architecture, hardware design, and distributed protocols[C]//IEEE International Conference on Tempe Cloud Engineering. 2015: 287-292.
- [5] Pan Miao, Li Pan, Song Yang, et al. When spectrum meets clouds: optimal session based spectrum trading under spectrum uncertainty[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32(3): 615-627.
- [6] Cai Wei, Chen Min, Zhou Conghui. Resource management for cognitive cloud gaming[C]//IEEE International Conference on Communications. 2014: 3456-3461.
- [7] Harada H, Murakami, Ishizu K, et al. A software defined cognitive radio system: cognitive wireless cloud[C]//IEEE Global Telecommunications Conference. 2007: 294-299.
- [8] Satyanarayanan M, Schuster R, Ebling M, et al. An open ecosystem for mobile-cloud convergence[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(3): 63-70.
- [9] Kangas M, Glisic S. Resource harvesting in cognitive wireless computing networks with mobile clouds: performance limits[J]. IEEE Trans on Cognitive Communications and Networking, 2015, 1(3): 318-334.
- [10] Reddy S, Cushman I, Rawat D B, et al. Securing real-time opportunistic spectrum access in cognitive networks against malicious secondary users[C]//IEEE Globecom Workshops. 2015: 1-6.
- [11] Cordeschi N, Amendola D, Baccarelli E. Reliable adaptive resource management for cognitive cloud vehicular networks[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2015, 64(6): 2528-2537.