



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107623533 B

(45)授权公告日 2019.10.25

(21)申请号 201710749767.8

(22)申请日 2017.08.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107623533 A

(43)申请公布日 2018.01.23

(73)专利权人 西安电子科技大学
地址 710071 陕西省西安市太白南路2号西
安电子科技大学

(72)发明人 齐小刚 高蓉 刘立芳 张权

(74)专利代理机构 西安长和专利代理有限公司
61227

代理人 黄伟洪

(51)Int.Cl.

H04B 1/713(2011.01)

H04B 17/391(2015.01)

(56)对比文件

CN 106559860 A,2017.04.05,
CN 1367901 A,2002.09.04,
CN 102256261 A,2011.11.23,
KR 20160074915 A,2016.06.29,
CN 106604321 A,2017.04.26,
屈晓旭.“抗干扰抗截获差分跳频技术研究”.《华中科技大学博士学位论文》.2010,第59-72页.

审查员 廖小丽

权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

一种动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法

(57)摘要

本发明属于认知无线网络技术领域,公开了一种动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法,所述动态环境下的公平性信道跳频方法FCH_A算法利用信道交会用户的ID信息,获得用户的ID信息之后利用Jenkins哈希函数将该ID哈希为一个不大于n的数;FCH_S利用Joseph环来生成信道搜索的步长;利用Markov过程构造了信道的动态模型,保证协议的公平性。本发明对FCH_S和FCH_A的公平性和交会时间进行了仿真模拟,算法中所有信道被选择为交会信道的概率相等,明显优于现有的算法。



1. 一种动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法,其特征在于,所述动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法包括:用户对网络中信道进行编号,得到信道的状态向量;FCH_A算法利用交会用户的ID信息,获得用户的ID信息,利用Jenkins哈希函数将ID哈希为一个不大于n的数i,在状态向量中跳频搜索第一个编号大于i的可利用信道;FCH_S算法利用Joseph环来生成信道搜索的步长r;用户每次跳频搜索信道编号大于jose(n,r,t)的第一个可利用信道,直到用户交会成功;

所述FCH_S算法包括:

输入:n,r;

(1) $t=1$, SU_A 和 SU_B 利用 SU_B 的ID信息,通过Jenkins哈希函数得到一个大于1小于n的整数start;

(2) $jose(n,r,t) = \begin{cases} start & t=1 \\ jose(n,r,t-1) + (r-1)\%(n-(t+1)) & t>1 \end{cases}$; n表示网络可利用信道个数, r

表示搜索步长, t表示时间;

(3) SU_A 选择序号大于jose(n,r,t)的第一个可利用信道 a^* , $a^* = \min\{a | A'_a = 1; jose(n,r,t) \leq a \leq n\}$, A'_a 表示t时刻 SU_A 可利用信道状态为1的所有信道集合; SU_B 同样选择序号大于jose(n,r,t)的第一个可利用信道 b^* , $b^* = \min\{b | A'_b = 1; jose(n,r,t) \leq b \leq n\}$, A'_b 表示t时刻 SU_B 可利用信道状态为1的所有信道集合;

(4) 如果 $a^*=b^*$,则交会成功;否则返回(2);

输出: a^* ;

所述FCH_A算法包括:

输入n,r;

(1) $t=1$, SU_A 和 SU_B 利用 SU_B 的ID信息,通过Jenkins哈希函数得到一个大于1小于n的整数start;

(2) SU_A 选择序号大于start的第一个可利用信道 a^* , $a^* = \min\{a | A'_a = 1; start \leq a \leq n\}$, 如果不存在大于start的可利用信道则从序号1开始选择第一个可利用信道;

(3) SU_B 同样选择序号大于start的第一个可利用信道 b^* , $b^* = \min\{b | A'_b = 1; start \leq b \leq n\}$; 如果不存在大于start的可利用信道则从序号1开始选择第一个可利用信道;

(4) 如果 $a^*=b^*$,则交会成功;否则返回(2);

输出: a^* ;

所述FCH_S利用Joseph环来生成信道搜索的步长r:

$jose(n,r,t) = jose(n,r,t-1) + (r-1)\%(n-(t+1))$ $jose(n,r,1) = 1$.

2. 如权利要求1所述动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法,其特征在于,所述FCH_A算法,选择接受者的ID信息通过Jenkins哈希产生一个1到n的均匀分布的整数start,

编号i被选择为start的概率为 $\frac{1}{n}$,所有信道的可利用率p对于特定给定用户是相同的,信道i

被访问的概率为 $\frac{1}{n} \cdot p + \frac{1}{n} \cdot (1-p) \cdot p + \frac{1}{n} \cdot (1-p)^2 \cdot p + \dots + \frac{1}{n} \cdot (1-p)^{n-1} \cdot p = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \cdot (1-p)^{i-1} \cdot p = \frac{1-(1-p)^n}{n}$,

信道*i*被访问的概率是一个关于网络规模和信道可利用概率的函数和信道编号没关系,所有信道被访问的概率相等,每个信道被选定为交会信道的概率相等, $\forall i, j \in n, i \neq j$, 有 $P_i = P_j$;

所述FCH_S算法利用Jenkins哈希产生了一个随机数start,通过Joseph环产生一个序列,序列保证*n*个时间内所有编号遍历一次,所有序号选择相同步长*r*按照Joseph过程产生的,序号对于每个信道编号是公平的;FCH_S算法在序列的基础上选择访问大于序号的第一个可利用信道, $\forall i, j \in n, i \neq j$, 有 $P_i = P_j$ 。

3. 如权利要求1所述动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法,其特征在于,所述Jenkins哈希函数将ID哈希为一个不大于*n*的数,哈希后的得到的数在1到*n*中服从均匀分布。

4. 如权利要求1所述动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法,其特征在于,每个信道都处于以下两个状态其中的一个:空闲,状态1,被占用,状态0;状态之间的转换都遵循一个连续时间状态空间为 $S = \{0, 1\}$ 的马尔可夫链; $a_{i,j}^m$ 表示信道*m*从状态*i*转移到状态*j*的概率, ρ_i^m 表示信道*m*离开状态*i*的概率, $\rho_i^m = \sum_{j \neq i} a_{i,j}^m$; 用 $A^m = [a_{i,j}^m]$ 表示信道*m*的状态转移矩阵, P_t^m 的第*i*行*j*列元素为 $p_t^m(i, j)$ 表示信道*m*在*t*时刻从状态*i*转移至状态*j*的概率,并且 $P_t^m = e^{tA^m}$ 。

一种动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法

技术领域

[0001] 本发明属于认知无线网络技术领域,尤其涉及一种动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法。

背景技术

[0002] 随着无线设备的普及,无线设备数量的日益增加,导致非授权用户频谱资源的不足,因此拥塞、延迟、可靠性低等一系列问题随之出现。与此同时授权用户的频谱资源并没有充分地利用。为了解决这一问题,美国联邦通信委员会提出了认知无线电技术,采用动态频谱接入。认知无线网络 (CRN) 由授权的主用户 (PU) 和非授权的次级用户 (SU) 组成,核心思想是将闲置的主用户 (PU) 频谱资源合理地分配给次级用户 (SU),解决次级网络中的一系列问题。在认知无线网络 (CRN) 中,每个次级用户 (SU) 都配备一个或多个无线设备发射器来感知频谱空洞。当次级用户 (SU) 通信时,首先需要感知频谱,在频谱上定位邻居节点然后建立通信链路;两个用户在同一个信道上相遇的过程被称为交会。认知无线网络中次级用户信道的可利用性是随着时间和空间变化的,而且在分布式系统中,用户没有其它用户的信道状态信息。目前不同的网络提供了信道交会算法,使用最多是利用可控的公用信道 (CCC) 和多信道跳频技术 (CH)。当网络中存在固定的公用信道 (CCC) (一个一直不被主用户 (PU) 用户占用的频谱空洞) 时,发送者和接受者在公用信道 (CCC) 上进行协商,然后寻找一个共同的信道来建立链路。当选择的信道被主用户 (PU) 占用或者信号干扰过大时,发送者和接受者会返回公用信道 (CCC) 重新协商,重新建立链路进而继续传递信息。当网络中存在这种比较理想的信道时,基于公用信道 (CCC) 的信道约会算法是一个相对有效且易于控制的方法,但是该方法由于单一的控制信道也存在饱和问题和拥塞攻击问题,并且在认知无线网络中,由于动态频谱感知的环境每个次级用户要求在不同的信道上进行交会,获得一个稳定的公用信道几乎是不可能的。当网络中的公用信道 (CCC) 受到干扰或者网络中不存在公用信道 (CCC) 时,多信道跳频技术 (CH) 技术可以克服公用信道 (CCC) 的一些问题。CH 算法是每个次级用户 (SU) 用户按照一个特殊的信道调频序列进行搜索,在次级用户 (SU) 的可利用信道中利用多信道跳频技术 (CH) 序列不断地跳频搜索直到实现信道交会。目前存在的大量的信道跳频算法可以大致通过以下两个因素分类:时间同步的和异步的,同步的算法是指用户同时开始信道搜索,然而要求分布式认知无线网络 (CRN) 中的用户同时开始信道搜索是不太实际的。因此更倾向于假设网络是异步的模型异质的和同质,在同质模型中假设每个用户的频谱感知能力是相同的并且具有相同的感知半径。同质模型又包含对称的和非对称模型,对称模型是指所有用户可以利用的信道是一样的,反之是非对称模型。然而异质模型中的用户具有不同的感知能力和感知半径,因此更偏向于假设网络是异质的。在认知无线网络 (CRN) 中,每个次级用户 (SU) 可以监视自身附近的信道的当前的可用性。由于主用户 (PU) 的动态地接入和退出,次级用户 (SU) 的可利用信道具有如下特征 (1) 空间差异,不同地理位置的 SUs 可能有不同的可利用信道。(2) 时间差异,次级用户 (SU) 的信道的可利用性可能会随着时间的变化而改变。目前存在的认知无线网络信道交会的文献中,假设用户

在频谱感知阶段够的可利用信道的状态是固定的。但是在实际中,授权频谱的可利用状态是随着授权用户的活动动态变化的。例如主用户主用户可以随意地在电视信道中交换,在TV信道中收回相应的不同的授权信道。由于主用户(PU)用户有较高的优先级,如果主用户(PU)要求利用授权信道,次级用户(SU)用户需要立马释放该信道,哪怕次级用户(SU)用户正在利用该信道通信。因此次级用户(SU)用户感知的可利用信道应该随着时间变化。

[0003] 综上所述,现有技术存在的问题是:信道交会是认知无线网络中的一个重要过程,目前的信道交会算法中都假设用户有自己的可利用信道集合,信道的可利用性具有时变性,用户信道可利用性在信道交会和建立链路的过程中是不变的是不切实际;预测信道的可利用性又是考虑信道时变性面临的待解决的难题;此外,信道可利用性的预测在频谱分配、拓扑构建等方面同样存在需求,精准的信道可利用性预测可以很大程度上提高频谱资源的利用率,利于构建更稳定的无线网络。

发明内容

[0004] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法。

[0005] 本发明是这样实现的,一种动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法所述动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法包括:所有用户对网络中所有信道进行编号,且用户的编号都是一致的,进而得到信道的状态向量;FCH_A算法利用交会用户的ID信息,获得用户的ID信息之后利用Jenkins哈希函数将ID哈希为一个不大于n的数i,进一步在状态向量中跳频搜索第一个编号大于i的可利用信道,如果交会成功则停止算法,否则利用Markov对信道的可利用性进行更新,继续跳频搜索第一个编号大于i的可利用信道,直到交会成功;FCH_S算法和FCH_A相似,不同的是FCH_S利用Joseph环来生成信道搜索的步长r。用户每次跳频搜索信道编号大于jose(n,r,t)的第一个可利用信道,直到用户交会成功;Markov过程对信道的动态性进行建模,Jenkins哈希函数和Joseph环使得所有信道被访问的概率相同,保证协议的公平性。

[0006] 进一步,所述FCH_S算法包括:

[0007] 输入:n,r;

[0008] (1) $t=1$, SU_A 和 SU_B 利用 SU_B 的ID信息,通过Jenkins哈希函数得到一个大于1小于n的整数start;

[0009] (2) $jose(n,r,t) = \begin{cases} start & t=1 \\ jose(n,r,t-1) + (r-1)\%(n-(t+1)) & t>1 \end{cases}$;

[0010] (3) SU_A 选择序号大于jose(n,r,t)的第一个可利用信道 $a^* a^* = \min\{a | A_a^i = 1; jose(n,r,t) \leq a \leq n\}$,

SU_B 同样选择序号大于jose(n,r,t)的第一个可利用信道 $b^* b^* = \min\{b | A_b^i = 1; jose(n,r,t) \leq b \leq n\}$;

[0011] (4) 如果 $a^*=b^*$,则交会成功;否则返回(2);

[0012] 输出: a^* 。

[0013] 进一步,所述F FCH_A算法包括:

[0014] 输入n,r;

[0015] (1) $t=1$, SU_A 和 SU_B 利用 SU_B 的ID信息,通过Jenkins哈希函数得到一个大于1小于n

的整数start;

[0016] (2) SU_A 选择序号大于start的第一个可利用信道 $a^* a^* = \min \{a | A_a^t = 1; start \leq a \leq n\}$, 如果不存在大于start的可利用信道则从序号1开始选择第一个可利用信道;

[0017] (3) SU_B 同样选择序号大于start的第一个可利用信道 $b^* b^* = \min \{b | A_b^t = 1; start \leq b \leq n\}$; 如果不存在大于start的可利用信道则从序号1开始选择第一个可利用信道;

[0018] (4) 如果 $a^* = b^*$, 则交会成功; 否则返回 (2);

[0019] 输出: a^* 。

[0020] 进一步, 所述FCH_A, 选择接受者的ID信息通过Jenkins哈希产生一个1到n的均匀分布的整数start, 编号i被选择为start的概率为 $\frac{1}{n}$, 所有信道的可利用率p对于特定给定用户是相同的, 信道i被访问的概率为 $\frac{1}{n} \cdot p + \frac{1}{n} \cdot (1-p) \cdot p + \frac{1}{n} \cdot (1-p)^2 \cdot p + \dots + \frac{1}{n} \cdot (1-p)^{n-1} \cdot p = \sum_{t=1}^n \frac{1}{n} (1-p)^{t-1} \cdot p = \frac{1-(1-p)^n}{n}$,

信道i被访问的概率是一个关于网络规模和信道可利用概率的函数和信道编号没关系, 所有信道被访问的概率相等, 每个信道被选定为交会信道的概率相等, $\forall i, j \in n, i \neq j$, 有 $P_i = P_j$;

[0021] 所述FCH_S利用Jenkins哈希产生了一个随机数start, 通过Joseph环产生一个序列, 序列保证n个时间内所有编号遍历一次, 所有序号选择相同步长r按照Joseph过程产生的, 序号对于每个信道编号是公平的; FCH_S算法在序列的基础上选择访问大于序号的第一个可利用信道, $\forall i, j \in n, i \neq j$, 有 $P_i = P_j$ 。

[0022] 进一步, 所述Jenkins哈希函数将ID哈希为一个不大于n的数, 哈希后的得到的数在1到n中服从均匀分布。

[0023] 进一步, 所述FCH_S利用Joseph环来生成信道搜索的步长r:

[0024] $jose(n, r, t) = jose(n, r, t-1) + (r-1) \% (n - (t+1))$ $jose(n, r, 1) = 1$ 。

[0025] 进一步, 所述信道动态模型的每个信道都处于以下两个状态其中的一个: 空闲, 状态1, 被占用, 状态0; 状态之间的转换都遵循一个连续时间状态空间为 $S = \{0, 1\}$ 的马尔可夫链; $a_{i,j}^m$ 表示信道m从状态i转移到状态j的概率, ρ_i^m 表示信道m离开状态i的概率, $\rho_i^m = \sum_{j \neq i} a_{i,j}^m$; 用 $A^m = [a_{i,j}^m]$ 表示信道m的状态转移矩阵, P_t^m 的第i行j列元素为 $p_t^m(i, j)$ 表示信道m在t时刻从状态i转移至状态j的概率, 并且 $P_t^m = e^{tA^m}$ 。

[0026] 本发明的优点及积极效果为: 利用Markov过程, Jenkins哈希函数和Joseph环等概念得到信道状态是动态变化的公平性信道跳频协议; 考虑了时间同步和时间异步两种网络模型。利用Markov过程构造了信道的动态模型, 由于Jenkins哈希函数和Joseph环的特殊性, 保证了协议的公平性。假设用户A和用户B进行交会, 其信道可利用率分别为 p_a 和 p_b , 证明了FCH_S和FCH_A交会时间分别为 $\frac{1}{p_a p_b}$, $\frac{1}{p_a} + \frac{1}{p_b} - 1$; 通过仿真结果表明FCH_S和FCH_A算法明显优越于H. Tan和HHCH对于信道的空间差异问题。

附图说明

[0027] 图1是本发明实施例提供的动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法流程图。

- [0028] 图2是本发明实施例提供的交会信道统计图；
- [0029] 图中：(a) 时间异步网络；(b) 时间同步网络。
- [0030] 图3是本发明实施例提供的信道交会时间比较图；
- [0031] 图中：(a) ETTR；(b) MTTR。
- [0032] 图4是本发明实施例提供的异步网络中信道可利用概率对交会时间的影响示意图；
- [0033] 图中：(a) 时间同步；(b) 时间异步。

具体实施方式

[0034] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0035] 下面结合附图对本发明的应用原理作详细的描述。

[0036] 如图1所示，本发明实施例提供的动态环境下的认知无线网络公平性信道跳频方法包括以下步骤：

[0037] S101：FCH_A算法利用信道交会用户的ID信息，获得用户的ID信息之后利用Jenkins哈希函数可以将该ID哈希为一个不大于n的数；FCH_S利用Joseph环来生成信道搜索的步长；

[0038] S102：利用Markov过程构造了信道的动态模型，保证协议的公平性。

[0039] 下面结合附图对本发明的应用原理作进一步的描述。

[0040] 1、网络模型，考虑两个用户 SU_A 和 SU_B 的信道交会问题，假设网络中共有n个信道，其ID依次从1到n。一个二进制向量 $\mathbf{A}^t = \{A_1^t, A_2^t, \dots, A_n^t\}$ 表示 SU_A 的t时刻所有信道的可利用状态，如果信道i在t时刻是可利用的，则 $A_i^t = 1$ ，反之 $A_i^t = 0$ 。向量 \mathbf{B}^t 是 SU_B 相应t时刻的信道可利用状态。通过频谱感知过程， SU_A 和 SU_B 知道自身的可利用信道的状态信息。在分布式网络中， SU_A 和 SU_B 只知道自身的信道可利用状态信息，并不知道对方的信道可利用状态信息。

[0041] 网络环境为动态环境，用户的信道状态信息是随着时间的变化而变化。此外假设 SU_A 和 SU_B 之间至少存在一个公共可利用信道，否则两用户永远不会实现信道交会。在每个时间片，每个用户将尝试访问一个信道一次。

[0042] 假设任一时间片，信道i对于用户 SU_A 和 SU_B 是可以利用的概率分别为 p_a 和 p_b 。也就是对于 SU_A ，在没有以前时间片信道可用状态信息的情况下 $\Pr[A_i^t = 1] = p_a$ 。有用 t_a 和 t_b 分别表示 SU_A 和 SU_B 的本地时间，用 δ 表示两用户的时间差，约定当 SU_A 和 SU_B 都开始跳频搜索时开始计算信道交会所需要的时间，不失一般性假设 $t_a = t_b + \delta$ ，当 SU_B 在时刻t实现交会，此时信道交会的时间为t，表示为 $T(\delta)$ 。因此最大交会时间(MTTR)可以表示为：

$$[0043] \quad MTTR(A, B) = \max_{\forall \delta} \min T(\delta);$$

[0044] 平均交会时间(ETTR)可以表示为：

$$[0045] \quad ETTR(A, B) = E[\min T(\delta)];$$

[0046] 信道交会的公平性用信道被用户访问的概率 P_i 来衡量即 $\forall i, j \in n, i \neq j$, 有 $P_i = P_j$ 。信

道交会问题可以表示为： $\forall \delta, t, \exists i \leq n, s.t. A_i^t = B_i^t = 1$ 。

[0047] 2、Jenkins哈希函数

[0048] FCH_A算法在执行过程中利用了信道交会用户的ID信息。该ID信息是算法与目前存在的时间异步的算法(比如JS算法或者ACH算法)合作或者通过发送在初始阶段发送hello包获得。在获得了用户的ID信息之后利用Jenkins哈希函数可以将该ID哈希为一个不大于n的数。由于Jenkins哈希的特殊性,哈希后的得到的数在1到n中服从均匀分布。

[0049] 3、Joseph环

[0050] Joseph是一个数学的应用问题,为了避免Tan的信道使用不公平的问题,FCH_S利用Joseph环来生成信道搜索的步长r,具体规则如下:

[0051] $jose(n, r, t) = jose(n, r, t-1) + (r-1) \% (n - (t+1))$ $jose(n, r, 1) = 1$;

[0052] 利用约瑟夫环生成序列的具体实例,其中 $n=4, r=2$ 。通过该方法生成的序列为{1, 3, 2, 4}。约瑟夫循环过程可以保证所有编号在n个时间内都可以遍历一次。

[0053] 4、Markov过程

[0054] 本发明使用的信道模型是简化提出的信道动态模型。假设每个信道都处于以下两个状态其中的一个:空闲(状态1),被占用(状态0)。状态之间的转换都遵循一个连续时间状态空间为 $S = \{0, 1\}$ 的马尔可夫链(CTMC)。 $a_{i,j}^m$ 表示信道m从状态i转移到状态j的概率, ρ_i^m 表示信道m离开状态i的概率,也就是 $\rho_i^m = \sum_{j \neq i} a_{i,j}^m$ 。用 $A^m = [a_{i,j}^m]$ 表示信道m的状态转移矩阵, P_t^m 的第i行j列元素为 $p_i^m(i, j)$ 表示信道m在t时刻从状态i转移至状态j的概率,并且 $P_t^m = e^{tA^m}$ 。

[0055] 5、信道交会协议

[0056] 在动态环境下异质认知无线网络的同步信道交会算法(FCH_S)和时间异步信道交会算法(FCH_A)。FCH_S和FCH_A分别利用了Joseph生成的序列和Jenkins哈希函数来保证交会信道的公平性,

[0057] 5.1 FCH_S

算法 1: FCH_S	
	输入: n, r
	1 $t=1$, SU_A 和 SU_B 利用 SU_B 的 ID 信息, 通过 Jenkins 哈希函数得到一个大于 1 小于 n 的整数 $start$;
[0058]	2 $jose(n, r, t) = \begin{cases} start & t = 1 \\ jose(n, r, t-1) + (r-1)\%(n - (t+1)) & t > 1; \end{cases}$
	3 SU_A 选择序号大于 $jose(n, r, t)$ 的第一个可利用信道 $a^* = \min\{a A_a^t = 1; jose(n, r, t) \leq a \leq n\}$, SU_B 同样选择序号大于 $jose(n, r, t)$ 的第一个可利用信道 $b^* = \min\{b A_b^t = 1; jose(n, r, t) \leq b \leq n\}$;
	4 如果 $a^* = b^*$, 则交会成功; 否则返回 step2.
	输出: a^*

[0059] 算法1假设用户 SU_A 给 SU_B 发送消息,两用户利用 SU_B 的ID信息通过Jenkins哈希函数得到大于1小于n的整数start。由于Jenkins哈希的特殊性,start服从1到n的均匀分布。进而利用Joseph生成序列{ $jose(n, r, 1), jose(n, r, 2), \dots, jose(n, r, t), \dots$ },两用户每次都搜索信道序号大于 $jose(n, r, t)$ 的第一个数。比如用户 SU_A 在t时刻信道状态向量为 $A^t = [1,$

0,0,1],假设信道状态向量此时不会发生改变,生成的Joseph序列为{1,3,2,4},则用户在第一个时间片搜索序列号大于等于1的第一个可利用信道1,第二个时间片搜索序列号大于等于3的第一个信道,以此类推,用户最终的搜索序列为{1,4,4,4}。接下来分析FCH_S的相应性能。

[0060] 定理一:在异步的认知无线网络环境下,FCH_S的平均交会时间 $ETTR = \frac{1}{p_a p_b}$ 。

[0061] 证明:T=1时,存在 $A_{jose(n,r,1)}^t = 1$ 且 $B_{jose(n,r,1)}^t = 1$ 有 $\Pr(T=1) = p_a p_b$;

[0062] T=2时,存在 $A_{jose(n,r,2)}^t = 1$ $B_{jose(n,r,2)}^t = 1$ 且 $A_{jose(n,r,1)}^t$ $B_{jose(n,r,1)}^t$ 不同时为1,有 $\Pr(T=2) = p_a p_b (1-p_a p_b)$;

[0063] T=3时,存在 $A_{jose(n,r,3)}^t = 1$ $B_{jose(n,r,3)}^t = 1$ 且 $A_{jose(n,r,1)}^t$ $B_{jose(n,r,1)}^t$ 不同时为1, $A_{jose(n,r,2)}^t$ $B_{jose(n,r,2)}^t$ 不同时为1,有 $\Pr(T=2) = p_a p_b (1-p_a p_b)^2$;

[0064] ...

[0065] T=j(j>1)时, $\Pr(T=j) = p_a p_b (1-p_a p_b)^{j-1}$ 。

[0066] 对其求期望 $E[T] = \sum_{j=1}^{\infty} j \cdot p_a p_b (1-p_a p_b)^{j-1} = p_a p_b \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^N j \cdot (1-p_a p_b)^{j-1} = \frac{1}{p_a p_b}$ 。

[0067] 得证。

[0068] 5.2 FCH_A

算法 2: FCH_A

输入: n, r

- 1 $t=1$, SU_A 和 SU_B 利用 SU_B 的 ID 信息,通过 Jenkins 哈希函数得到一个大于 1 小于 n 的整数 $start$;
 - 2 SU_A 选择序号大于 $start$ 的第一个可利用信道 a^* $a^* = \min\{a | A_a^t = 1; start \leq a \leq n\}$, 如果不存在大于 $start$ 的可利用信道则从序号 1 开始选择第一个可利用信道;
 SU_B 同样选择序号大于 $start$ 的第一个可利用信道 b^* $b^* = \min\{b | A_b^t = 1; start \leq b \leq n\}$; 如果不存在大于 $start$ 的可利用信道则从序号 1 开始选择第一个可利用信道;
 - 3 如果 $a^* = b^*$, 则交会成功; 否则返回 step2.
-
- 输出: a^*
-

[0070] 由算法2可以看出,用户在搜索的过程中不需要时间同步的条件。同时该算法对于网络中信道可利用状态信息不变时是不适用,当交会用户大于 $start$ 的第一个可利用信道不相同同时交会将不会实现。

[0071] 对于 SU_A 选择信道 i 当且仅当 $i \geq start$ 且信道 $\{start, start+1, \dots, i-1\}$ 的可状态为0,信道 i 的状态为1,又因为 $start$ 的产生是一个0到 n 的均匀分布,故而用户 SU_A 选择信道 i 的概率为 $p_a (1-p_a)^{i-start} | i \geq start$ 。用户 SU_A, SU_B 在信道 i 上实现交会的概率为 $p_a p_b (1-p_a)^{i-start} (1-p_b)^{i-start} | i \geq start$, SU_A, SU_B 在时刻 t 实现交会的概率为 $\sum_{i=start}^{n+start} p_a p_b (1-p_a)^{i-start} (1-p_b)^{i-start}$ 。

[0072] 定理 2: 在异步的认知无线网络环境下, FCH_A 的平均交会时间

$$ETTR = \frac{1}{p_a} + \frac{1}{p_b} - 1。$$

[0073] 证明： SU_A, SU_B 在时刻 t 实现交会的概率为：

$$\Pr(T=1) = \sum_{i=start}^{n+start} p_a p_b (1-p_a)^{i-start} (1-p_b)^{i-start} = \sum_{i=1}^n p_a p_b (1-p_a)^{i-1} (1-p_b)^{i-1}$$

$$\begin{aligned} [0074] \quad &= p_a p_b \sum_{i=1}^n [(1-p_a)(1-p_b)]^{i-1} \\ &= p_a p_b \frac{1}{1-(1-p_a)(1-p_b)} = \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b} \end{aligned} ;$$

[0075] 类似于定理一：

$$[0076] \quad T=1 \text{ 时, 有 } \Pr(T=1) = \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b} ;$$

$$[0077] \quad T=2 \text{ 时, 有 } \Pr(T=2) = \left(1 - \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b}\right) \cdot \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b} ;$$

$$[0078] \quad T=3 \text{ 时, 有 } \Pr(T=3) = \left(1 - \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b}\right)^2 \cdot \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b} ;$$

[0079] ...

$$[0080] \quad T=j \text{ 时, 有 } \Pr(T=j) = \left(1 - \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b}\right)^{j-1} \cdot \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b} .$$

[0081] 对 T 求期望有：

$$\begin{aligned} [0082] \quad E[T] &= \sum_{j=1}^{\infty} j \left(1 - \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b}\right)^{j-1} \cdot \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b} \\ &= \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b} \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^N j \cdot \left(1 - \frac{p_a p_b}{p_a + p_b + p_a p_b}\right)^{j-1} \\ &= \frac{1}{p_a} + \frac{1}{p_b} - 1 \end{aligned} ;$$

[0083] 故得证。

[0084] 5.3公平性分析

[0085] 对于FCH_A,选择接受者的ID信息通过Jenkins哈希产生一个1到 n 的均匀分布的整数 $start$,编号 i 被选择为 $start$ 的概率为 $\frac{1}{n}$,假设所有信道的可利用率 p 对于特定给定用户是相同的,因此

该信道 i 被访问的概率为 $\frac{1}{n} \cdot p + \frac{1}{n} \cdot (1-p) \cdot p + \frac{1}{n} \cdot (1-p)^2 \cdot p + \dots + \frac{1}{n} \cdot (1-p)^{n-1} \cdot p = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (1-p)^{i-1} \cdot p = \frac{1-(1-p)^n}{n}$,

信道 i 被访问的概率是一个关于网络规模和信道可利用概率的函数和信道编号没关系,因此所有信道被访问的概率相等,故而每个信道被选定为交会信道的概率相等,即 $\forall i, j \in n, i \neq j, \text{ 有 } P_i = P_j$ 。

[0086] 对于FCH_S同样利用Jenkins哈希产生了一个随机数 $start$,进而通过Joseph环产生一个序列,该序列保证 n 个时间内所有编号都可以遍历一次,由于产生的 $start$ 是随机的且公平的,所有序号都是选择相同步长 r 按照Joseph过程产生的,故而该序号对于每个信道编号是公平的。FCH_S算法进而在该序列的基础上选择访问大于序号的第一个可利用信道,

该过程和FCH_A相似,因此可以推断FCH_A同样存在: $\forall i, j \in n, i \neq j$, 有 $P_i = P_j$ 。

[0087] 下面结合仿真对本发明的应用效果作详细的描述。

[0088] 利用MATLAB仿真工具对FCH_S和FCH_A进行仿真并和算法H.Tan和算法HHCH进行比较。H.Tan算法分别为时间同步和时间异步网络提供了信道跳频算法,HHCH只有时间同步的信道交会算法。假设用户SU_A和SU_B的信道可利用率是相等的,有 $p_a = p_b = p$ 。仿真可以从以下三个方面考虑:(a)固定信道可利用率(p)和网络中信道总个数(N),统计各个信道的被选择为交会信道的次数(F_i);(b)固定p,改变N;(c)固定N,改变p。对于每个p的值(或者N的值),仿真结果都是通过1000独立运行统计得到的平均值。

[0089] (a)固定N,p,改变 F_i

[0090] 仿真参数设定为: $p=0.75, N=50$ 。图2(a)和图2(b)分别为时间异步和时间同步网络模型下的信道编号1到50被选定为交会信道的次数,可以看出本发明提出的算法明显优越于H.Tan。H.Tan的算法不论是在时间同步还是时间异步网络中其交会信道只选择编号小(小于5)的信道,编号大于5的信道被选择的次数为0,这明显不符合实际情况。FCH_S和FCH_A中所有信道被选择的概率相等($P_i=1/n$)。

[0091] (b)固定N,改变p

[0092] 仿真参数设定为 $p=0.75, N$ 从20增大到50。图3(a)给出了不同算法不同网络模型下平均交会时间(ETTR)的比较。可以看出所有算法的ETTR都在一个水平上浮动,并且不论在时间同步还是时间异步模型中,FCH算法都有较好的性能。在时间同步网络中,FCH_S的ETTR在1.2左右浮动,其余算法在1.4和2.4上浮动。FCH_S的交会时间小于H.Tan和HHCH算法。在时间异步网络中,FCH_A的平均交会时间在1.4左右,H.Tan的平均交会时间在2.0左右浮动同样大于FCH_A。图3(b)给出了不同算法在不同网络模型下的最大交会时间(MTTR)的比较图,其变化趋势和图3(a)相似。其原因是因为FCH_S和FCH_A有相同的信道列表并且在每个时间片都会选取特定的信道。

[0093] (c)固定N,改变p

[0094] 仿真参数设定为: $N=50, p$ 的值从0.2增大到0.9。图4(a)和图4(b)分别给出了在不同p下FCH_S和FCH_A平均交会时间的变化。可以发现信道交会时间(ETTR和MTTR)随着 p_a 的增大而减小。图中的理论值是通过定理一和定理二计算得到的,真实值是通过仿真结果得到的。

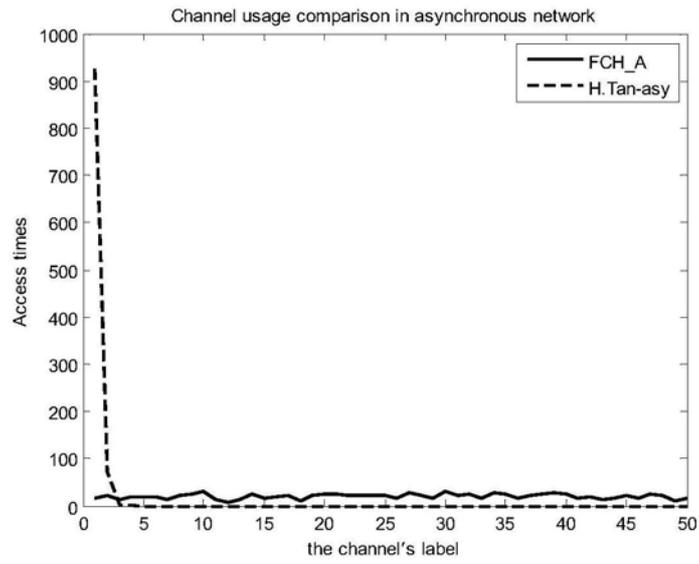
[0095] 本发明在考虑认知无线网络信道时间差异和空间差异的条件下,利用Joseph环和Jenkins哈希函数分别对时间同步和时间异步的网络模型设计了一种公平的信道跳频协议FCH_S,FCH_A。通过分析证明了FCH_S的平均交会时间为 $\frac{1}{p_a p_b}$,FCH_A的平均交会时间为

$\frac{1}{p_a} + \frac{1}{p_b} - 1$,最后利用仿真工具对FCH_S和FCH_A的公平性和交会时间进行了仿真模拟,本发明提出的算法中所有信道被选择为交会信道的概率相等,明显优于现有的算法。

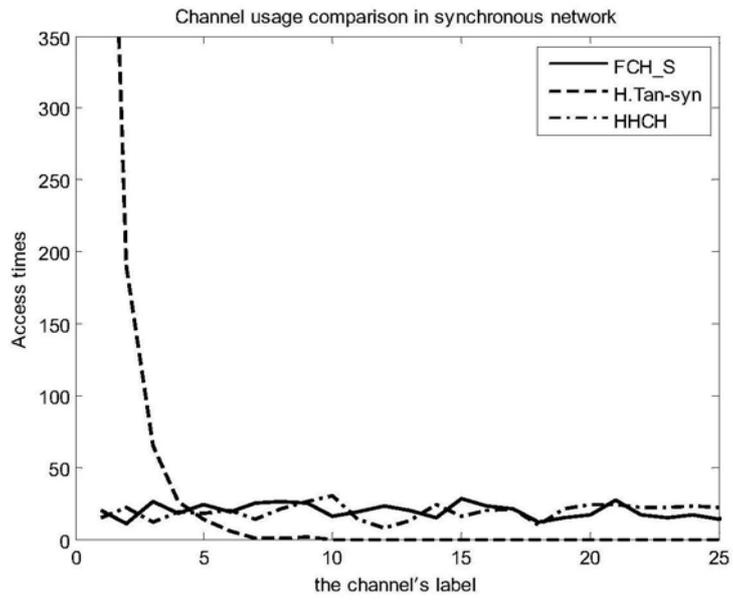
[0096] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



图1

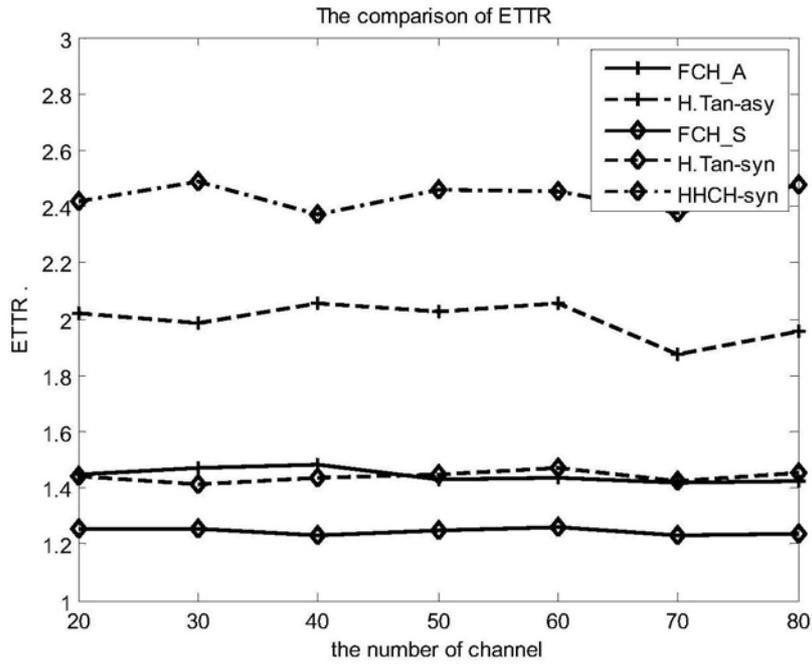


(a)

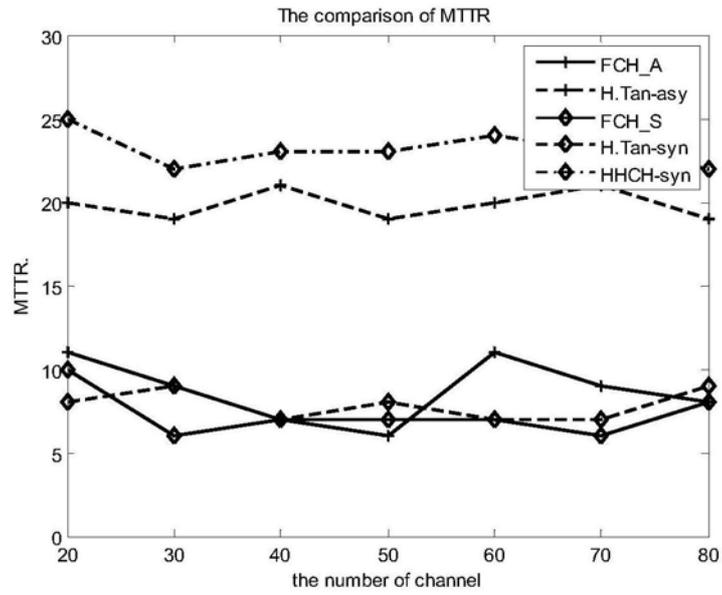


(b)

图2

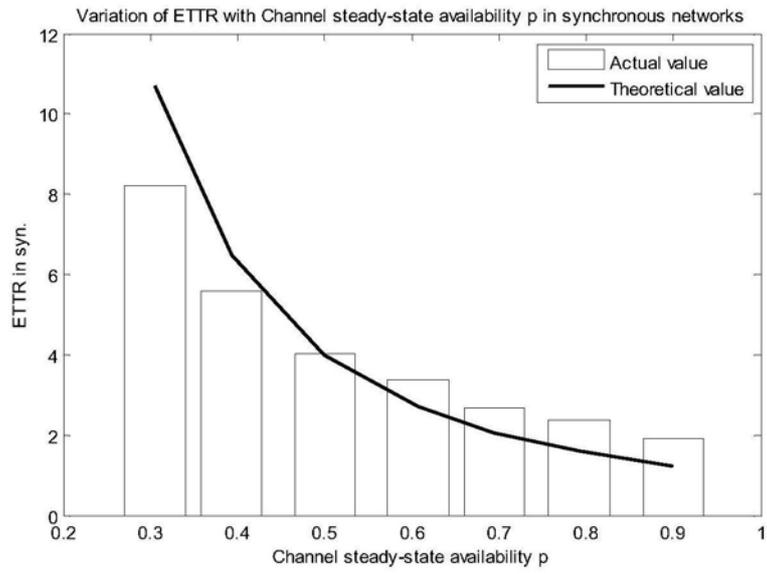


(a)

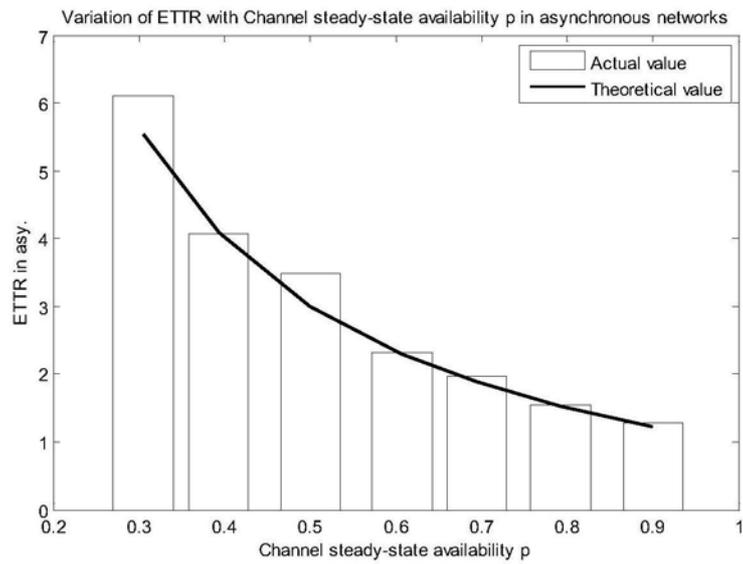


(b)

图3



(a)



(b)

图4