

a 学院	信息与通信工程学院	专业	通信工程	班级	2014211118
学生姓名	李孟辉	学号	2014210506	班内序号	04
设计（论文题目）		认知无线电系统组网研究			
		Research on cognitive radio adhoc networking technology			

## 研究背景与研究现状综述

随着无线接入设备的便捷化与无线通信技术本身的快速发展，21 世纪以来的无线接入设备进入了爆炸式增长阶段。虽然无线接入设备可以无限制作但是无线频谱资源始终是有限的，两者之间的矛盾也随着无线通信技术的加速发展与当下大数据时代数据量的激增而愈发严重。而且随着无限局域网的发展，越来越多的用户使用无线局域网的方式接入，与专门分配给无线电视，广播业务的、不允许其他业务使用的频段不同，这些频段都是非授权频段。这就导致了授权频段使用效率低下而使得整个频谱资源的利用率下降，然而自由频段却是十分拥挤，无形之中浪费了大量的频谱资源。

为了解决频谱资源利用率低的问题，联邦通信委员会(FCC)提出了新的频谱管理和分配策略，动态频谱接入（Dynamic Spectrum Access，DSA）技术也受到了广泛的认可与重视，认知无线电技术也被认为是解决这个问题最有前景的技术。

认知无线网络是认知无线电与自组织网络的结合，各个次用户可以通过频谱感知寻找频谱空穴（处于授权频段），由于主用户（授权用户）活动的多样性，次用户需要在侦测到主用户活动时进行跳频避开主用户业务，同时维持次用户间通信的进行，因此认知无线电的组网成为了研究的重点，也是解决认知无线电实际应用的节点。

实现认知无线电的自组网需要经过节点交汇，拓扑建立，信道选择，路由选择，信息传输几个阶段。

### 1. 节点交汇与拓扑建立

传统的认知网络使用中心控制结构，依靠控制中心，例如基站，基站可以辅助认知无线电设备发现临近的用户与接入节点，不断的更新临近用户的信息，在本地网中以无线自组网的方式建立与接收节点的通信路径，能够通过基站建立与其它本地网接收节点的单点与多点通信。这种方法虽然不需要认知无线电终端清楚网络拓扑与其他用户的详细信息，但是并不具备移动有效的功能架构而且对于控制中心的要求高，整个网络受制于控制中心的地理位置。

认知的网络的节点交汇是使用公共控制信道完成组网的初始化，次用户的信道交汇分为盲信道交汇策略（跳频交汇）以及有辅助信道交汇[16]，前者又可以分为四类[6]

#### 1. 基于面向接收者的交汇策略

在传统多信道无线网络中，选定一个通信控制信道时如果要求多个节点同时进行通信几乎所有的节点数据都无法正确接收，所以研究者以有限信道为背景提出了一类就接收者导向或以接收者为中心的传输策略解决信道交汇问题。接收者导向传输（receiver-directed transmission, RDT）[1]

提出每个用户部署一个静默信道，当不进行传输时始终维持在这个调制信道频率点等待接收，当需要发送数据时发送节点（假设已知接收节点的静默信道频率）将会将传输信道调制到接收节点的静默频段完成节点间的交汇。在文献[2]中基于多信道通信提出了一个新的链路层协议。为了增加每个节点的吞吐量，链路层协议要求每个认知无线电用户配备两类接口来同时完成发送与接收，其中一个接口（fixed）维持 RDT 的静默信道完成接收而其他的接口（switchable）可以同时进行调频完成发送。

但是 RDT 首先需要解决的问题便是如何确保其他邻居节点知道节点的静默信道消息，文献[2][4]中提出每个节点间隔 5s 在每个信道上发送 HELLO 数据包，此数据包包含节点固定使用的信道以及它当前的邻居表（neighbor table），节点接收到邻居节点发送的 HELLO 数据包后更新自己的邻居表，这样可以确保信道使用表（channel usage list）中包含两跳需要的使用信息，从而确保使用的信道分散到所有可用频道上，避免由于信道过于接近导致的节点间干扰。不过这种广播协调方法要求节点在所有信道上发送 HELLO 信息包，效率十分低下。所以在文献[3]中提出了一个新的静默信道认知方法：（Accessible Channel-based Selection，ACS）。文献中舍弃直接存储邻居节点的静默通道，而是存储邻居节点的可用信道（set of accessible channels, SAC），由于不同邻居节点的位置或者运行模式，邻居节点的 SAC 很大可能是不同的，每个节点都拥有存储 SAC 信息的数据库，数据库的单元由时间戳和 SAC 信息构成，根据时间戳的前后更新自己的 SAC 数据库，当发送节点与接受节点互换 SAC 信息后，更新 SAC 数据库，以自己的 ID 在 SAC 中进行随机算法决定自己的静默信道，如果节点 i 要向节点 j 发送信息，如果在节点 j 的 SAC 信息不为空的时候，代入节点 j 的 ID 作为随机算法种子进行随机进程，求出 j 的静默信道后调频尝试连接。这种受控制的随机算法，得益于实时性极高的数据库同步增大了信道交汇得成功概率。文献[5]中提出了一种信道交汇算法 ROP

（rendezvous with near-optimal performance）与优化版 FROP（fast rendezvous with near-optimal performance）来完成多点间最优交汇性能与最大网络吞吐量。假设每个节点已知可用信道数量以及邻居节点总数，发送节点利用随机算法生成一个序列表示所有邻居节点的状态：1. 被动状态，在静默信道监听 2. 主动状态，准备调频进入另一个接收节点的静默信道，次随机算法保证所有节点状态的对半分布即序列的和为总节点数的 1/2，之后的算法同文献[3]，不过增加时槽 t 作为第二个随机种子。如果遇到多个主动节点同时选择一个被动节点，那么将会在所有的主动节点中选择一个作为发送节点，例如选择一个 ID 最大的节点，而其他节点通过此信道接收到占用状态信息之后则会重新进入选择被动节点的状态；当主动节点发现被动节点并非想要的接收节点时同样也会进入重选状态；当发现被动节点信道存在流量时，同样进入重新选择状态，即不管发生什么，都会使主动节点回归原始状态，当选择了所有的被动节点还尚未完成传输时，停止选择过程。通过重复迭代使得每一个发送端对应一个接收端，整个网络的吞吐量达到最大，拥塞性能最高。以上的算法解决了网络中的多节点交汇的问题，但是单根天线依然无法同时维持两种行为的进行，所以依然面临着盲问题的困扰。

## 2. 基于信号处理策略

区别于其他盲信道交汇策略，基于信号处理策略并不放弃使用公共控制信道，但是区别于分配大量的频带资源给公共控制信道的有辅助的信道交汇策略，此方法并不会降低公共控制信道频带范围的频带利用率。目前，将 CR 与超带宽（Ultra-wideband, UWB）技术结合已经成为了热门的研究方向[7]。文献[8]中论证了 UWB 在实际环境中结合 CR 技术的可行性，文献[9]初步论述了通过 UWB 建立 CCC，方法依然是通过广播 HELLO 的信息发送自身的 ID，地理位置等信息完成节点的交汇，并且提出了在此方案下的拓扑发现与建成数据链路的方案，证明了使用 UWB 可以在百米范围上实现良好的链路连接，并具有优良的传输码率，不过 UWB 性能会受到窄带传输的干扰。文献[8]提出了一个解决窄带干扰的方案，验证了一定条件下在可见视野范围内实现 IR-UWB 是可行的，在同一个认知无线电技术站安装并存 UWB 与 NC-OFDM 技术，在窄带频域仅使用 NC-OFDM 可以有限减轻极窄带传输的干扰。

不连续的正交频分复用（NC-OFDM）得益于子载波的不连续性，可以在主用户使用频段将与之重叠的子载波置零，对应的调制方法即在常规的 OFDM 调制的 IFFT 与 FFT 端将某些抽头置零，从而不影响主用户使用授权频段，同时也具有常规的 OFDM 频谱效率高，抗多径干扰的特点。文献[10]中提出了 NC-OFDM 的交汇策略，去除掉主用户的使用频率即禁用子载波，在每个子载波上发送脉冲信号，通过类似 HELLO 机制传输必要的本地信息，若接收到节点之间脉冲信号则将 CCC 信道调频到相应信道上进行组网与控制信息传输。由于无线信号的传播并非只有视距内传播，还有多种复杂地形与环境下的传播，OFDM 信号在复杂环境下必然会发生相位，幅度与频率失真，所以接收机必须考虑信道的状态才能进行正确接收，此时信道估计是此策略的重要内容。根据信道估计资源不同，OFDM 信道估计可以分为：基于判决的信道估计，导频辅助信道估计（pilot symbol assisted modulation, PSAM），盲或半盲信道估计，其中的 PSAM 信道估计最为成熟且易于工程实现。文献[11]中提出了适用于 NC-OFDM 的压缩感知的信道测量方案（CS），相比于禁用某几个子载波与不同宽度的窄带干扰下可以获得更高的信道估计性能。文献[12]介绍了单天线 PASM 方法下的导频图像设计方案与两种导频信息估计算法：LS 与 MMSE 的原理与优缺点，并提出了 LS 算法中对低精度 LS 估计器结果的降噪处理方法：块平均降噪，时间遗忘降噪与修正 IDFT 变换域降噪[13]，在获得导频信息条件下，通过二维维纳滤波算法或者一维内插算法获得完整的信道估计。为了最大程度的提高信道容量，文献中提出了 MIMO NC-OFDM 系统，并给出了相关导频图像设计，IDFT 变换域降噪与信道估计算法的仿真性能。不过文献中需要插入大量导频信息以至于浪费了很多频谱资源，而且在系统异步的情况下系统性能会下降，这与实际使用环境是不相符的。

出于自私的角度考虑，大部分的主用户肯定是想要使用最少的信号功率完成与通信站的交互，NC-OFDM 在对主用户进行频谱感知时候，次用户会因为距离不同等因素的影响感知到不同的可用信道，由于两者的可用信道不同，会使得多次向不可用信道发送消息浪费功率，而不能像 UWB 中 SAC 算法一样确定两者的取值范围，我认为这也是 NC-OFDM 的问题吧。

### 3. 基于信道跳变序列策略

CH-BASED 策略是目前最为火热的研究方向，因为认知无线电设备本身具有

优秀的调频能力，制定调频序列“像”是解决交汇问题最为直接简单的方案。文献[14-15]提出了通过信道跳频 Slotted Seeded Channel Hopping (SSCH)，文献[16]提出了调频扩频技术 (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) 实现 CR 的信道交汇。SSCH 要求调频通信实现：1. 节点跳频到相应信道并进行数据包的传送 2. 在信道中传送自身的邻居表以及地理信息等重要信息 3. 依据接受到的数据包更新邻居表。SSCH 将同时传送的信息分布在不同的正交频带内，极大的增加了网络的流量。

文献[14]中介绍了基于信道跳变序列则是分为两类：同步信道跳变序列策略与异步信道跳变序列策略。

异步信道跳变序列策略。文献[14]中介绍了认知无线网络中基于信道跳频序列的异步交汇算法，将其中的信道跳频序列的产生方法分为三类：伪随机 (pseudorandom)、基于排列 (permutation-based) 和基于 Quorum 方法

基于伪随机 (pseudorandom)

1. 随机算法：随机算法：每个节点在  $M$  个可用信道上调频，那么两个节点成功交汇的概率为  $1/M^2 * M = 1/M$ 。但是考虑到纯随机算法会导致长时间的交汇尝试，所以应该采用可控制的伪随机算法进行交汇。文献[16]考虑了一种基于素数的步进序列进行调频 (MC)，假设  $M$  为节点总数， $N$  为小于  $M$  的素数，选择步长  $K$ ，每次已步长调频，得益于素数的模特点，如果时间超过  $2N$  则重置此过程。后续针对 MC 的优化算法 MMC 减少了 MTTR， $N$  可以在  $[M, 2M]$  之间随机选择一个素数，超过  $2N^2$  重置此过程，步长则是随机选取。

不过这两种算法并不能完全避免出现  $MTTR=\infty$  的问题，性能可能出现比较纯随机还要差的情况。

2. 基于 jump-stay 算法：文献[17]中首次提出了 Jump-Stay 算法，其基本思想是：每个用户都分为跳跃模式 (jump pattern) 与保持模式 (stay pattern)，在跳跃模式下用户进行调频而在保持模式下保持跟随状态不惊醒调频，CH 序列正是通过包含着这两种模式的循环 (JSHopping 函数) 产生。文献中原始算法描述如下：

1: Input:  $M, P, r_0, i_0, t$

Output: channel  $c$

$t=t \% 3P$ ;

IF ( $t < 2P$ )  $i=(i_0+tr_0-1) \% P+1$ ; //jump pattern

ELSE  $i=r_0$ ; //stay pattern

END

IF ( $i > M$ )  $i=i \% M+1$ ; END //remapping

RETURN  $c=i$ ;

输入  $M$  (可用信道总数)， $P$  (不小于  $M$  的素数)， $i_0$  (每一段信道跳频序列的初始信道标号)， $r_0$  (步长)，当  $t < 2p$  时，则  $i=(i_0+tr_0-1) \% P+1$ ， $t > 2p$

时保持 stay 即维持在  $r_0$  频道上，当  $t > M$  则  $i=i \% M+1$  重新进入之前的运算，输出的 channel  $c$  即为所求。在此基础之上针对对称与不对称 (每个节点感知到的可用信道情况) 设计 JS-SM 与 JS-AM, 作者验证了算法的仿真

结果都要优于 MC 与 MMC 在相同条件下的性能。在 2017 年 Zifan Li 针对 JS 算法进行了优化与扩展[18], Li 提出了增强算法 (Enhanced Jump-Stay, EJS), Random Enhanced Jump-Stay (REJS), Extended Enhanced Jump-Stay (EEJSa) (算法在对称条件下性能较差), Extended Random Enhanced Jump-Stay (EREJSa), Enhanced Jump-Stay to Channel n (EJSn), 作者通过仿真比对了以上的五种算法, 验证了在对称以及不对称的情况下 REJS 都具有更加优良的性能, 并且具有 JS 的除去 MTTR 上限不存在的问题的功能, 弥补了 EJS 在不对称情况下性能较差的问题。

基于排列 (permutation-based)

1. 文献[16]提出了 Generated Orthogonal Sequence-Based Algorithm, GOS, 具体算法是将 M 个可用信道进行排列组合, 每个组合都重复 M+1 次, 算法可以保证在对称式网络中两个 CR 用户在  $M*(M+1)$  时隙内完成交汇。

2. 文献[19]提出了利用 triangular numbers 与循环移位序列相结合的 CRSEQ 模型。其中  $T_n = n*(n+1)/2$  (n 为整数), 循环移位序列 SEQ 具有  $k$ -shift-trendezvous 属性, 算法的详细构造过程: 构造一个循环移位序列, 同上文中假设所有节点统一可用通道数量为 M, 选择不比 M 小的最小素数 N, 构造一个  $N*(3N-1)$  的序列, 计算每个子序列  $S_i$  对应的 triangular numbers, 每个序列的元素由

$$ai =$$

$$z \bmod N + 1, \text{ for } 0 \leq y < 2N - 1, x \bmod N + 1, \text{ for } 2N - 1 \leq y < 3N - 1$$

$$z = (x(x+1)*2 + y) \bmod N, x = i/(3N-1)$$

$$y = i \bmod (3N - 1)$$

$$0 \leq i < N(3N - 1)$$

进行计算, 算法在没有时间槽同步的状况下最大 TTR 为  $N*(3N-1)$ , 保证了 CRSEQ 策略的 ETTR 与 MTTR。

不过此算法同样也会出现  $TTR=\infty$  的情况, 算法假设  $N \geq 2$ , 在  $N=2$  的情况下, 如果两个节点的差距为  $10-2*2=6$  的时候, 永远无法完成信道交汇, 此

情况下  $TTR=\infty$ 。在 N 比较大的条件下, 构成的序列长度  $(3N - 1)$  同样会增长且总体元素数目是以  $N^2$  的幂函数形式增长, 在可用信道数目较多的环境下, 构成的信道长度过长会增大交汇时延。

3. 文献[20]介绍了 BALANCED INCOMPLETE BLOCK DESIGN 在 ad hoc 网络中的模型, 算法思想是: 将 v 的不同对象排列成 b 块, 每个块包含确切的 k 个不同的对象, 每个对象发生在完全不同的 r 块, 每一对不同的对象发生在  $\lambda$  个不同的块里, 这 5 个参数 v, b, r, k,  $\lambda$  满足:

$$bk = vr$$

$$r(k - 1) = \lambda (v - 1)$$

使用此方法对应的握手机制是双方各自发送 Request to Send (RTS) 以及 Clear to Send (CTS) 完成交汇, 在发生异步的条件下会出现下图中的情

况:

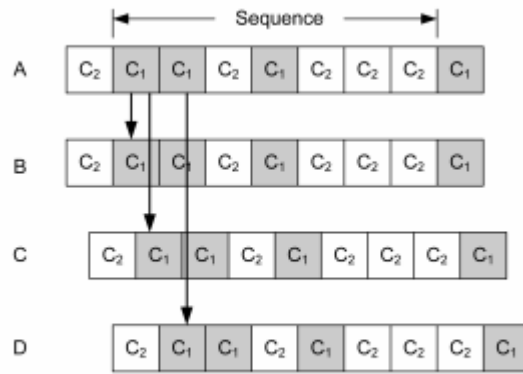


Fig. 2. Asynchronous BIBD Example

即使有细微的异步也可以保障完成信道交汇。文献中讨论了在单序列与多序列的条件下此协议都可以成功完成交汇并且可以公平分配负载，同时与 triangular numbers 算法类似，两者的序列都具有循环移位性质，所以可以保证 TTR 的有限上限需求。

不过此算法同样还是需要构建很长的序列，这增大了交汇时延与设备的硬件要求，而在多序列的条件下也有可能发生错误匹配的状况，这涉及到了如何识别正确的发送方与接收方的问题。

4. 2017 年 Xuesong Jonathan Tan 提出了 UDDS-ACH 序列构造方法，使得 MCTTR 接近 CRSEQ 与 MACH 这两种经典序列，并且在非同步的条件下获得了更优秀的吞吐量。

基于 Quorum

Quorum 系统的基本定义：定义一个集合  $U = \{1, 2, \dots, N\}$  中含有  $n$  个元素，Quorum 系统  $S$  是  $U$  的一系列非空集合且满足  $p \cap q$  不为空集， $\forall p, q \in S$ . 其中的每个  $p$  是一个 Quorum。

文献[21]提出了一个不需要全局时钟同步的异步 QCH 系统。分析和仿真结果表明，这种跳跃方案在各种网络条件下优于现有的方案。构造方法如下：

Input:  $N, k, R = \{h_0, h_1\}$ ,  $U = \mathbb{Z}_k$ , and two cyclic quorum systems  $S$  and  $S_0$  over  $U$ .

Output:  $Q$ .

1:  $Q = \emptyset$ .

2: for  $j = 0$  to  $(|S| - 1)$  do

3:     for  $i = 0$  to  $(k - 1)$  do

4:         if  $i \in B_j$  then

5:              $u_i = h_0$ .

6:         else if  $i \in B_{0j}$  then

7:              $u_i = h_1$ .

8:         else

9:              $u_i = h$  randomly chosen from  $\{0, \dots, N - 1\} \setminus \{h_0, h_1\}$

```

10:      end if
11:    end for
12:  Q = Q ∪ u.
13: end for

```

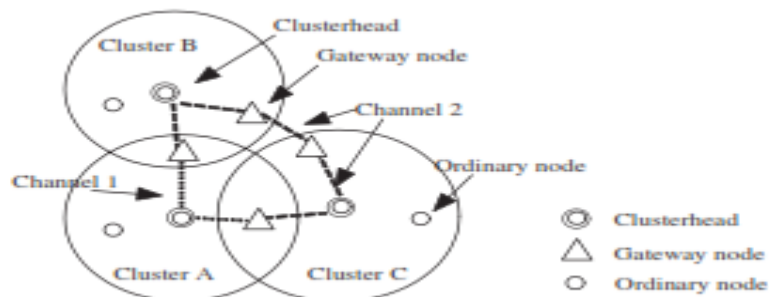
生成序列同样具有循环移位封闭性质，因此适合在异步网络上使用，得益于 Quorum, A-QCH 的 MTTR 与 ETTR 具有良好的性能。

基于调频序列的信道交汇策略可以使信道交汇在有限时间内尝试所有经过人工计算后的信道，规模有限而且 TTR 有穷，不过再增加效率依然难以实现直接调频到相同信道进行通信。这种信道交汇策略比较适合在一些动态性不高的环境中使用，在多点通信的情况下，如果认知无线网络内部的节点数目较多，主用户活动十分活跃，地理位置与功率等条件变化频率过高，每次进行信息交汇时需要不断更新邻居表以及可用信道信息，即使是在系统不复杂的条件下也会出现显著的时间开销，这对一些实时性要求较高的网络具有不利影响，而且从安全性方面考虑，由于每个信道序列都是人为的算法加上实时信息为种子计算而成，所以若是算法被知晓，那么整个无线网络都能被实时监测。虽然是目前研究的热门方向，不过优秀的交汇算法的数目不多而且针对物理层的安全策略十分稀少，这都是目前需要解决的问题，如果可以将跳频序列根据传输概率分配到不同的用户端，或者有实时策略从而每个用户不进行全序列运算有可能也是解决方案。而且已经有文献指出基于分组策略可以获得比调频序列更好的性能。

#### 4. 基于分簇/分组策略

##### 分簇策略

分簇是无线网络最常用的以分层结构组织邻居范围内用户的方法，一个纯粹的分布式控制方案，如载波感应多重存取/避碰(CSMA/CA)可能不起作用，因此将集群的概念引入网络。一个节点在一个通道上形成一个集群，并邀请相邻的节点共享同一个通道来加入它的集群。为了方便起见，集群的控制通道称为该集群的主通道。形成集群的节点成为集群头，负责集群内通道访问控制和集群间通信，由它选择簇内所有次用户共有的可用信道作为实现簇内协调的交汇信道。通过协商集群之间的网关节点，集群可以连接到一个大型网络中。网关节点是一个集群的成员，它能够到达其他集群的成员。总体结构如图：



A, B, C 三个簇可以通过 gateway node 节点实现互联[21]。

##### 簇（集群）的形成

节点的主机集群是节点所属的集群；节点的相邻集群是节点不属于的集群，

但它的成员有一跳邻居;集群中所有成员的所有邻居集群称为集群的邻居集群。

假设在一个 CRN 动态变化较慢,环境相对稳定的条件下,节点间互相交换邻居信息,初始阶段节点可能知道一跳的部分邻居节点的信息,随着节点逐渐地根据所提出的邻居发现算法收集到更多的邻居信息,集群被重构并连接到一个更可靠的网络结构中。文献[21]中介绍了实现此策略的 MAC 层协议。对于每个集群,通道访问时间被划分为一个超级帧序列。每个超帧包括 5 个主要周期,它包含集群的时间同步、控制和资源分配信息。它被分成若干固定长度的小时间。集群中的每个成员占用一个小槽,并使用它来广播其标识和一跳邻居列表。邻居列表中的条目包括邻居的标识和它的通道列表。这将会产生一个邻居的主通道在集群列表,通过它,节点可以确定如何到达邻居集群,之后便是数据通道建立,在此期间,如果传输会话使用不同的信道,则允许并行传输。在数据周期之后,集群成员将使用集群内随机访问周期(random access period, RAP)来交换控制消息。结束这个超级帧之后,不会持续进行控制信息交换,而是进入一个频谱黑洞检测区段,每个节点开始频谱感知寻找频谱黑洞。

簇的形成过程:当节点想要加入网络时,它首先检测可用的通道。然后,它扫描其中一个频道,在一定的时间内,在那个频道上等待信标。该节点从最低的频带通道开始扫描过程,该信道被称为最低信道。等待扫描的间隔需要大于超帧的时间,这样可以保证肯定可以获得信标。扫描间隔分为三个情况:没有消息到来;收到信标;收到邻居信息但是没有获得信标。第一种情况下该节点变为簇头,第二种情况下节点申请加入集群,该集群的簇头为它分配一个时间槽,如果时间槽不够则拒绝该请求。此时该节点将会重置最低信道扫描过程,寻找其他的集群以加入,如果所有集群都满了则将自己作为簇头;第三种情况下说明该节点拥有邻居集群,节点此后记录邻居信息,并通过相应的邻居集群的公共 RAP 尝试与该邻居交换邻居信息。在此之后,它将继续在下一个可用通道上进行扫描。如果节点在遍历所有通道后无法找到满足情况 1 和 2 的通道,那么它将在随机选择的情况下启动自己的集群。通过此过程形成多个簇。簇之间利用自己的 RAP 交换信息来完成大网络的建设。

分簇策略对簇内的同步要求较高,如果簇内同步出错将会使得信息交换效率低下,而且单跳的结构会由于簇头的随机产生导致管理开销的增加,而且安全新方面,由于是成簇的交换,交汇信道被主用户占用后将会导致重置控制进程,产生巨大的开销,所以仍需要解决安全性问题。

#### 分组策略

文献[22]提出了分组策略,通过邻居发现算法获得邻居可用信道列表与邻居得邻居可用信道列表信息,根据相似算法形成协调组,组内使用一个统一的信道进行控制信息以及数据的交换,此信道的产生需要不断的投票迭代,即每个用户广播自己投票的最大连通性的信道,并不断根据收到的邻居投票信息更改自己的最大连通性信道。

文献[23]中提出了基于分组的多节点交汇方法,类似于跳频序列策略,用户根据概率执行主跳频模式与从跳频模式,描述了在分组网下拓扑发现算法。分簇和分组方式同样依赖广播信息,在多个信道扫描信标或者邻居信息都会浪费功率与时间,而且分组方式使用的是不同的交汇信道,组与组



的信息传递也是需要解决的问题。

以上这些策略为解决两个节点到多个节点之间的信道交汇问题提供了解决方案。盲信道交汇策略优点在于每个数据都是在两个节点之间的认知信道中传输，但是需要以双方在调频的条件下建立认知信道，这无疑会同时增加系统的复杂性与硬件成本。后者从本就有限的频谱资源中分配控制信道频率是与认知无线电精神相违背的但也拥有者更低的复杂度。

目前的多节点则是点对点盲信道交汇策略的整合，通过用户端的信道列表或智能同步选择公共的控制信道频率，实时完成多节点的组网。不过依赖 CCC 的信道需要次用户有着良好的频谱信息，意味着每个认知无线电终端需要具备完整的认知无线电功能，增加了硬件要求。

## 2. 路由选择

由于认知无线电系统可根据周围环境的变化动态地进行频率的选择，而频率的改变通常需要上层协议如路由协议等进行相应调整。

文献[24]提出了基于本地频谱知识的最小通道开关路由协议(MCSR)，SU 节点使用公共控制通道来传输 RREQ 和 RREP 包，以及 PU-UC(PU 通道更新)和 RERR(路由错误)，分别作为路由发现和维护的一部分。当 SU 需要对目的 SU 发送数据时，则会广播 RREQ 包，包中包含路径信息与首选 PU 通道信息，当目的 SU 收到 RREQ 包之后就会根据接受到的路径节点来计算权值，使用相同首选 PU 信道的相邻节点路径权值为 0，其他则为 1（通过减少路径上节点的调频尽可能减少路径时延），选择一条权值和最小的路径作为传输路径，然后发送包含 RREQ 包中的路径节点与首选 PU 信道的 RREP 包，在接收到 RREP 包之后开始进行数据传送。传送过程中如果由于 PU 的活动造成信道的改变，并且在路径上没有公共的首选 PU 通道时，则会由上游节点通知源节点路由已经断开发 RERR 错误信息。

文献[25]中引入了评价认知无线网络下的路由性能的因素：

1. 路径上的节点数目
2. 当因为主用户活动导致信道不可用会导致数据包被废弃，所以应该考虑信道不可用的频率

根据这两个新的指标文献中提出了两种新的路由协议

Routing based on minimum latency:通过获得的拓扑信息来权衡由于节点上下游的交汇信道不同而造成的跳频时延与路径跳数之间的关系从而获得最小的时延即有效性。

Routing based on frequency of channel switches over links:每个节点维护自己的信道通路时间的均值，从而获得各个信道的可用概率。每个节点都选择可用概率最高的信道传输从而获得最高的可靠性，不过由于这样做会导致跳数的增加而且没有考虑跳频时间，所以降低了传输的有效性。以上两个路由协议需要结合使用。

由于认知无线电的路由研究还处于初级阶段，目前研究成果对路由研究场景的假设各异，并且缺乏通用的性能评价指标体系，这在一定程度上妨碍了研究成果的横向比较和交流。

## 参考文献

- [1]. NACHUM SHACHAM , PETER J. B. KING. Architectures and Performance of Multichannel Multihop Packet Radio Networks .IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS

IN COMMUNICATIONS, VOL. SAC-5, NO. 6, JULY 1987 :1013-1024

[2]. Pradeep Kyasanur , Nitin H. Vaidya. Routing and Link-layer Protocols for Multi-Channel Multi-Interface Ad Hoc Wireless Networks . Mobile Computing and Communications Review, Volume 1, Number 2 . January 2006 :1-13

[3]. Chunsheng Xin, Xiaojun Cao. A Cognitive Radio Network Architecture without Control Channel, GLOBECOM 2009 - 2009 IEEE Global Telecommunications Conference, 30 Nov.-4 Dec. 2009:1-6

[4]. 刘玉涛. 认知无线电中的原始用户检测. 哈尔滨大学电子与信息工程学院: 2007

[5]. ChunSheng Xin, Min Song ,Liangping Ma , Chien-Chung Shen. ROP: Near-Optimal Rendezvous for Dynamic Spectrum Access Networks. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 62, NO. 7, SEPTEMBER 2013:3383-3391

[6]. 刘权,赵光胜,王晓东,周兴铭. 认知无线网络信道交汇研究综述. Journal of Software,2014,25(3):606-630

[7]. 郭彩丽,张天魁,曾志民,冯春燕. 认知无线电关键技术及应用的研究现状. 电信科学 2006 年第 8 期,2006.8:50-55

[8]. Michael Doring, Anatolij Zubow ,Adam Wolisz. Feasibility Study on Application of Impulse-UWB for Control Channel in Cognitive Radio Networks, 2015 IEEE 16th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM). 14-17 June 2015:1-6

[9]. Ahmed Masri, Carla-Fabiana Chiasserini, Alberto Perotti, Control Information Exchange through UWB in Cognitive Radio Networks, 2010 5th International Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC). May 2010:111-116

[10]. Chin-Jung Liu, Pei Huang, Li Xiao, Efficient NC-OFDM-based Control Channel Establishment in Cognitive Radio Networks, 2016 IEEE 13th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. Oct. 2016: 28 – 36

[11]. 何雪云, 宋荣方,周克琴. 认知无线电 NC-OFDM 系统中基于压缩感知的信道估计新方法.通信学报第 32 卷第 11 期. 2011 年 11 月:86-94

[12]. 张世昌 . 认知无线电系统中的 NC-OFDM 信道估计技术研究. 电子科技大学:2009

[13]. 王军, 李洪宇, 张世昌, 李少谦. 基于修正变换域降噪的 NC-OFDM 信道估计算法. 电子科技大学学报第 38 卷第 5 期,2009 年 9 月

[14]. 孔得凯 吴克宇 韩方景 韩方剑. 认知无线网络中基于信道跳频序列的异步交汇算法研究,计算机工程与科学第 36 卷第 10 期,2014 年 10 月:1873-1879

[15]. Victor Bahl, Ranveer Chandra, John Dunagan. SSCH: Slotted Seeded Channel Hopping For Capacity Improvement in IEEE 802.11 Ad Hoc Wireless Networks, MobiCom Philadelphia, Pennsylvania, USA, Sept. 26-Oct. 1, 2004:1-15

[16]. Nick C. Theis; Ryan W. Thomas; Luiz A. DaSilva. IEEE Transactions on Mobile Computing Volume: 10, Issue: 2. 25 March 2010:216-227

[17]. Z. Lin, H. Liu, X. Chu and Y. W. Leung, "Jump-stay based channel-hopping algorithm with guaranteed rendezvous for cognitive radio networks," 2011 Proceedings IEEE INFOCOM, Shanghai, 2011, pp. 2444-2452.

[18]. Z. Li and D. J. Thunte, "Extensions and improvements of jump-stay rendezvous algorithms for Cognitive Radios," 2017 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNeT), Avignon, 2017, pp. 1-8.

[19]. J. Shin, D. Yang and C. Kim, "A Channel Rendezvous Scheme for Cognitive Radio

<p>Networks," in IEEE Communications Letters, vol. 14, no. 10, pp. 954-956, October 2010.</p> <p>[20]. M. Altamimi, K. Naik and X. Shen, "Parallel Link Rendezvous in Ad Hoc Cognitive Radio Networks," 2010 IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2010, Miami, FL, 2010, pp. 1-6.</p> <p>[21]. T. Chen, H. Zhang, G. M. Maggio and I. Chlamtac, "CogMesh: A Cluster-Based Cognitive Radio Network," 2007 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Dublin, 2007, pp. 168-178.</p> <p>[22]. Jun Zhao, Haitao Zheng and Guang-Hua Yang, "Distributed coordination in dynamic spectrum allocation networks," First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005., Baltimore, MD, USA, 2005, pp. 259-268.</p> <p>[23].洪一诺.认知无线电自组网中多点组网的算法优化与实现.北京邮电大学信息与通信工程学院:2017</p> <p>[24]. N. Meghanathan and M. Fanuel, "A Minimum Channel Switch Routing Protocol for Cognitive Radio Ad Hoc Networks," 2015 12th International Conference on Information Technology - New Generations, Las Vegas, NV, 2015, pp. 280-285.</p> <p>[25]. S. Krishnamurthy, M. Thoppian, S. Venkatesan and R. Prakash, "Control channel based MAC-layer configuration, routing and situation awareness for cognitive radio networks," MILCOM 2005 - 2005 IEEE Military Communications Conference, Atlantic City, NJ, 2005, pp. 455-460 Vol. 1.</p>			
<h3>研究内容与拟解决的主要问题</h3> <p>此次毕设主要解决的问题是基于盲信道交汇分组策略下如何实现认知无线电用户的信道交汇与组网，由于目前的热门信道交汇研究方向是基于跳频序列策略的组网，对于分组策略的研究还较少，而且也有论文指出分组策略在特定环境下性能优于调频序列策略，分组策略对于多用户的通信解决有着天然的优势，而且跳频策略如何根据不同环境选择不同的算法定制不同的序列依然没有得到有效解决，所以选择使用分组策略进行实验仿真。参考分簇方法给出认知自组网的组网策略及协议设计，给出相关性能分析。</p>			
<h3>研究方法初步方案</h3> <p>了解前沿技术中关于分组策略的研究，分析论文中相关的算法，协议，策略等内容，学习协议设计与改善，完成设计的仿真与性能分析。</p>			
<h3>研究工作的进度安排</h3> <p>1、2017 年 12 月-2018 年 3 月，文献阅读与综述报告完成；</p> <p>2、2018 年 3 月-2018 年 5 月，完成认知无线自组网建模与仿真分析。</p> <p>3、2018 年 5 月-2018 年 6 月，完成论文撰写</p>			
指导教师签字		日期	年 月 日