

主用户链路深度衰落下的认知网络中继^①

刘 琪^{②*} 周 正* 王树彬*

(* 北京邮电大学信息与通信工程学院无线网络实验室 北京 100876)

(** 工业和信息化部电信研究院规划设计所 北京 100037)

摘 要 针对主用户链路经历深度衰落而发生通信中断的问题,提出了一种认知网络对主用户进行“透明”中继的方案。在不改变主用户通信协议的前提下,该方案首先感知主用户的状态,以判断其是否需要中继服务。当主用户通信发生中断时,认知网络利用从用户的能量检测器选出一个最优的节点解码转发主用户信号。从中断概率角度证明了这种最优单节点中继具有与多节点中继相同的空间分集作用,能够提高主用户平均传输效率,有较大的中继信道容量。通过仿真分析,验证了其分集效果和传输效率的提升。

关键词 认知网络中继, 解码转发, 最优中继节点选择, 空间分集

0 引 言

认知无线电(cognitive radio, CR)和协作(cooperation)是现代无线通信的两个研究热点^[1,2]。CR 凭借其动态频谱接入能力利用一些空闲的频谱资源。已成立的 IEEE802.22 无线区域网(wireless region area network, WRAN)工作组就采用 CR 技术复用 54MHz 到 862MHz 频段。对于 CR 系统有两种用户:主用户和从用户。主用户是频段的授权用户,而从用户(认知节点)只有探测到主用户空闲时才能使用该频段。随着 CR 物理层技术研究的深入,一些文献开始研究认知网络链路层和路由层的相关问题^[3,4]。协作作为一种提高系统通信速率和质量的技术,已受到国内外研究者的广泛关注,例如协作网络路由问题^[5]。基本的协作通信协议包括放大转发(amplify and forward, AF),解码转发(decode and forward, DF)和编码协作(coded cooperation, CC)。采用 AF 协议的中继节点直接放大转发收到的信号,而采用 DF 协议的中继节点需要解码收到的信息后再次转发。常见的 CC 是利用分布式空时编码(distributed time-space code, DTSC)的多中继节点协作^[6]。CR 与协作结合的应用有多种形式^[7,8]。最直接的应用就是从用户间的协作,已有一些文献讨论了这方面的问题,例如利用协作通信的频谱感知^[9]。而主用

户和从用户之间的协作是一种新的应用形式。从用户为主用户提供中继服务,而主用户保证一段时间内从用户对频段的独占使用。由于这两种网络的非对等性,从用户为主用户提供的中继需要考虑多方面因素。文献[10]分析了从用户利用多个空闲频谱为主用户提供中继服务的性能。文献[11]分析了基于数据包队列模型的认知用户中继性能。

当主用户链路经历深度衰落时,如果不采用分集技术,通信将发生中断。如果采用协作策略,从用户可以中继主用户信号。但主用户和从用户是两种异构的网络,主用户具有频段的合法使用权。两种网络的非对等性会导致认知网络的中继是一种“尽力而为”的服务,理想的情况是主用户不需要修改自身的协议就能接受认知网络中继^[11]。现有的协作通信协议,无论 AF、DF 协议还是 DTSC 协作,都存在一些限制:首先中继节点采用半双工的工作模式,源节点(主用户)需要配合中继节点完成转发。其次,当存在多个中继节点转发时,需要采用多个正交信道(时分或频分等方式)传输信息,接收端利用最大比合并等方式处理从正交信道接收到的信号。如果认知网络直接应用这些协作方案,主用户必须对本身协议做较大修改来支持中继。认知网络需要提供一种“透明的”的中继服务。考虑到这种情况,本文给出了一种认知网络为一对主用户提供“透明”中继的方案——当从用户感知到主用户中断时,从认知

① 863 计划(2009AA01Z262),国家自然科学基金(60772021)和教育部博士点基金(20060013008, 20070013029)资助项目。

② 男,1981 年生,博士生;研究方向:认知无线电,协作通信;联系人, E-mail: liuqi2010@126.com
(收稿日期:2009-01-14)

网络中选择一个最优的中继节点解码转发主用户信号。该方案与文献[12]中的选择协作类似,但应用场景和具体实现都不相同。认知网络的中继服务对于主用户来说是“透明的”,其解码转发解决了主用户通信中断的问题,而且具有空间分集的效果。认知网络中继提高了主用户的平均传输效率,具有较高的中继信道容量。最优节点的选择利用从用户的能量检测器实现。

1 认知网络的中继模型

1.1 中继场景和主用户媒体接入控制(MAC)协议

认知网络中继场景如图 1 所示,假设存在一对主用户:发射机 s 和接收机 d 。 m 个认知用户 $c_1, c_2, \dots, c_m$ 随机分布在发射机 s 和接收机 d 之间。本文主要考虑主用户与认知网络相对静止状态下的协作。

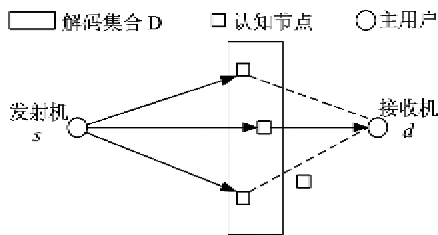


图 1 认知网络的中继场景

在只有一对主用户情况下,可以采用比较简单的 MAC 协议。本文假设主用户采用 802.11 标准的基本接入方式^[13],即“数据-确认”的 MAC 模型,如图 2 所示。假设在一个时隙 T_c 内,主用户 s 与 d 间的信道增益恒定。考虑到支持中继服务的需要,时隙 T_c 分为 n 个子时隙 T_s 。在每个 T_s 内发射机 s 向接收机 d 发送数据信号, d 正确解码后回复 ACK 确认信号。 s 接收到 ACK 后发送下一个数据信号。当 s 与 d 的直达链路经历深度衰落时,接收机 d 无法正确接收 s 的信号,就不会回复 ACK。 s 没有收到 ACK 将停止发送随后的数据信号。经过 T_c 时间后 s 再次开始发送数据信号,等待 d 的 ACK。当主用户 T_c 时隙内出现通信中断时,认知网络开始进行中继服务。

认知网络在主用户直达链路中断时才进行中继服务,这与普通协作通信场景不同,一般协作通信都假设存在直达链路。本文不考虑 ACK 信号传送错误的情况。

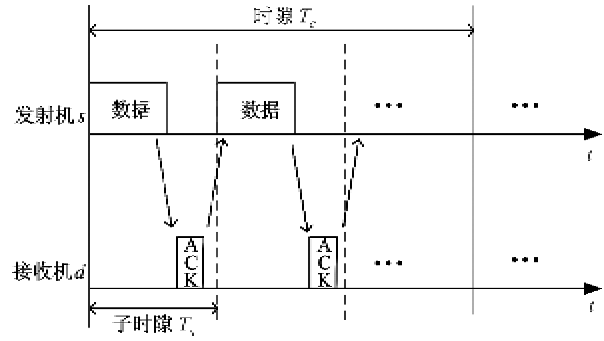


图 2 主用户 MAC 协议模型

1.2 中继模型

针对图 1 的中继场景,假设任意用户 i 和 j 间的信道为独立平坦 Rayleigh 信道,信道增益在 T_c 时间内保持不变(块衰落信道)。主用户码簿正常工作的要求速率为 R ,所有信道均双向对称。

每个认知节点 c_k 接收到主用户发射机 s 的信号表示为

$$y_{c_k} = h_{sc_k} x_s + n_{sc_k} \quad (1)$$

其中 x_s 是发射机 s 的发射信号。主用户接收机 d 接收到中继节点 r 的信号表示为

$$y_d = h_{rd} y_r + n_{rd} \quad (2)$$

其中 y_r 是中继节点 r 转发的信号, n_{sc_k} 和 n_{rd} 分别是信道噪声,定义为独立零均值高斯随机变量,功率谱密度为 N_0 。 h_{sc_k} 和 h_{rd} 为信道增益,定义为独立的零均值高斯随机变量,方差分别为 $1/\delta_{sc_k}$ 和 $1/\delta_{rd}$,所以 $|h_{ij}|^2$ 服从参数为 δ_{ij} 的指数分布,其中 i, j 分别为 s, c_k 或 r, d 。假设主用户和中继节点的离散信号平均发送功率限制为 P ,认知节点 c_k 和主用户接收机 d 接收信号的信噪比表示为

$$\gamma_{sc_k} = \frac{|h_{sc_k}|^2 P}{N_0} = \text{SNR} \cdot |h_{sc_k}|^2$$

$$\gamma_{rd} = \frac{|h_{rd}|^2 P}{N_0} = \text{SNR} \cdot |h_{rd}|^2$$

其中 $\text{SNR} = P/N_0$ 。在随后的分析中 SNR 均表示未经信道衰落的信号信噪比。

2 认知网络的中继方案

本文的认知网络采用 IEEE 802.22 建议^[14],由一个控制中心(control unit, CU)和多个认知节点组成。认知节点的全向天线既可以感知主用户信号,也可以转发信号。假设认知网络的控制中心 CU 可通过独立控制信道与各认知节点通信,接入协议可

以采用载波侦听冲突检测方式,其具体讨论不属于本文范围。认知网络对主用户的中继服务有三个阶段,分别是主用户状态感知,最优节点选择和解码转发。其状态转移关系如图 3 所示。

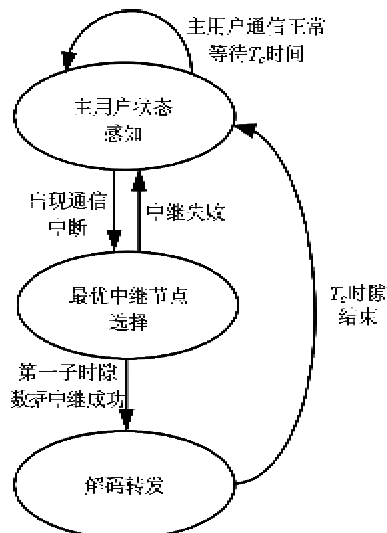


图 3 认知网络中继服务的状态转移框图

2.1 主用户状态感知

主用户状态感知是为了检测是否需要认知网络的中继服务。在第一个子时隙 T_s 内,所有的 m 个认知节点监听解码主用户 s 的数据信号,根据信号的校验信息,能够正确解码主用户信息的认知节点形成一个解码集合 D ,继续监听 d 的 ACK 信号。如果 D 中任一认知节点监听到 ACK,说明 s 与 d 可以正常通信,该节点通过独立控制信道通知 CU 不需要认知网络的中继。认知网络经过 T_c 时间后再感知主用户。

如果在 T_s 时间内没有认知节点报告监听到 ACK, CU 控制认知网络进入到最优中继节点选择阶段。对于任何一个认知节点 $c_k \in D$,发射机 s 到 c_k 的信道容量必须大于要求速率 R , 即

$$\log(1 + |h_{sc_k}|^2 SNR) \geq R \quad (3)$$

2.2 最优中继节点选择

最优中继节点选择就是要从解码集合 D 中选择一个最优的节点 r 转发信号。选择的标准是中继节点 r 与主用户接收机 d 间的信道增益 $|h_{rd}|^2$ 最大。本文利用能量检测器(energy detector, ED)实现最优节点选择。ED 是一种简单有效的频谱感知技术,通过积分的方法计算目标频段内的信号能量^[15],从用户一般利用它探测主用户的存在。

最优中继节点选择的具体实现过程是:CU 控制解码集合 D 中所有认知节点同时转发接收到的 s

信号,随后利用能量检测器检测 d 的 ACK 信号。如果 d 无法正确接收信号,则不回复 ACK, D 中认知节点 ED 的检测值均低于信号存在门限值,即没有检测到 ACK,说明认知中继也无法成功转发信号,认知网络返回主用户状态感知阶段。如果 d 正确接收了转发的信号,以功率 P 回复 ACK,根据信道对称性,至少有一个认知节点会接收到 ACK,而 s 接收不到 ACK。 D 中的认知节点将大于信号存在门限的 ED 检测值通过独立控制信道传送给 CU, CU 从中选择出检测值最大的认知节点作为最优中继节点 $r = \arg \max_{c_k \in D} |h_{c_k d}|^2$ 。

ED 简化了信道增益估计的过程,由于信道是块衰落的,检测过程中信道增益固定。在 ACK 信号功率和噪声平均功率确定的情况下,接收信噪比的高低反映了信道增益的大小,信噪比越高,ED 输出值越大。

2.3 中继转发

进入中继转发阶段,选出的最优中继节点 r 转发主用户信号。由于是块衰落信道,可以保证在时隙 T_c 的随后时间内中继节点 r 的最优特性。本文采用解码转发作为信号处理方式。通过之前的选择过程,中继节点 r 已经解码转发了 s 的第一个子时隙信息,并感知了 d 的 ACK。假设 ACK 信号结构已知, r 会向 s 发送 ACK 信号。当 s 接收到 ACK 后,发送第二个子时隙的数据信号。中继节点 r 解码转发 s 的信号,监听 d 的 ACK 信号,如果 d 回复 ACK, r 向 s 发送 ACK 信号完成第二个子时隙的通信,进入第三个子时隙的通信。依次完成随后子时隙的中继。经过时间 T_c 后,中继节点 r 停止对主用户网络的中继服务, CU 控制认知网络进入主用户状态感知阶段。

中继方案中只有一个认知节点 r 参与 T_c 时隙内的主用户信号转发,由于 s 与 d 间不存在直达链路,对于 s, r 相当于 d ; 对于 d, r 相当于 s 。在不考虑安全因素的情况下, s 和 d 没有“意识”到 r 的存在。主用户接收机 d 只接收到一个转发信号,不需要做多路信号处理。该中继方案的最大优势在于保证主用户协议不变,提供透明的中继服务。

3 中继性能

3.1 主用户平均传输效率

根据图 2 所示,假设主用户每个子时隙内传输

数据信号时长为 T_{data} , ACK 信号时长为 T_{ACK} 。由于传输时延相对于信号时长较小,可以忽略。在存在直达链路情况下(无认知网络中继),完成一次传输的子时隙时长 $T_s = T_{\text{data}} + T_{\text{ACK}}$ 。定义主用户直达状态下传输效率为时隙 T_c 内用于传送有效数据的时间比例,即

$$\alpha_{\text{direct}} = \frac{T_{\text{data}}}{T_c} \cdot \frac{T_c}{T_s} = \frac{T_{\text{data}}}{T_s} \quad (4)$$

当直达链路经历深度衰落发生中断时,如果没有认知网络中继,传输效率为 0。如果存在认知网络中继。对于第一个子时隙,假设由于主用户状态感知及最优节点选择引入的时延为 T_{select} ,认知节点解码转发时延为 T_r ,则第一个子时隙的时长 $T_{s1} = T_{\text{data}} + T_{\text{ACK}} + T_{\text{select}} + T_r$ 。进入第二个子时隙后,由于已经选择出了最优中继节点 r ,不存在时延 T_{select} ,子时隙时长变为 $T'_s = T_{\text{data}} + T_{\text{ACK}} + T_r$ 。与直达链路相比,每个子时隙加入了额外的时延消耗。在 T_c 一定的条件下,中继子时隙个数减少,中继条件下主用户传输效率为

$$\alpha_{\text{relay}} = \frac{T_{\text{data}}}{T_c} \cdot \left(\frac{T_c - T_{s1}}{T'_s} + 1 \right) \quad (5)$$

与(4)相比,由于引入额外处理时延,中继服务的传输效率要低于直达链路传输效率。

主用户 s 与 d 间信道增益 $|h_{sd}|^2$ 服从参数为 δ_{sd} 的指数分布。当直达链路经历深度衰落,信道互信息低于主用户码簿要求速率 R 时发生中断。直达链路中断概率^[6]为

$$\begin{aligned} P_{\text{sd-out}} &= \Pr[|h_{sd}|^2 < \frac{2^R - 1}{\text{SNR}}] \\ &= 1 - \exp\left[-\delta_{sd} \frac{2^R - 1}{\text{SNR}}\right] \end{aligned} \quad (6)$$

根据式(6),在没有认知网络中继条件下,主用户的平均传输效率为

$$\bar{\alpha} = (1 - P_{\text{sd-out}}) \cdot \alpha_{\text{direct}} \quad (7)$$

当存在认知网络中继并成功转发主用户信号,主用户平均传输效率变为

$$\bar{\alpha}_{CR} = (1 - P_{\text{SD-out}}) \cdot \alpha_{\text{direct}} + P_{\text{SD-out}} \cdot \alpha_{\text{relay}} \quad (8)$$

对比式(7)和(8),显然有 $\bar{\alpha} \leq \bar{\alpha}_{CR}$ 。尽管认知网络中继服务的传输效率低于直达链路,但它提高了主用户的平均传输效率。

3.2 中继服务的中断概率

当中继信道互信息 I 低于主用户码簿要求速率 R 时,中继服务发生中断。中断概率定义为

$$P_{\text{out}} = \Pr[I < R]$$

在选择最优中继节点过程中,解码集合 D 是一个随

机集合。中断概率可以表示为

$$\Pr[I < R] = \sum_D \Pr[D] \Pr[I < R | D] \quad (9)$$

$\Pr[D]$ 为解码集合概率。参考文献[11]的推导,认知节点 c_k 属于解码集合的概率为

$$\Pr[c_k \in D] = \exp\left[-\delta_{sc_k} \frac{2^R - 1}{\text{SNR}}\right]$$

假设每个认知节点关于属于解码集合 D 的判决相互独立,而且各信道相互独立,则有

$$\begin{aligned} \Pr[D] &= \prod_{c_k \in D} \exp\left[-\delta_{sc_k} \frac{2^R - 1}{\text{SNR}}\right] \\ &\times \prod_{c_k \notin D} (1 - \exp\left[-\delta_{sc_k} \frac{2^R - 1}{\text{SNR}}\right]) \end{aligned} \quad (10)$$

在高 SNR 条件下,利用 $\Pr[c_k \in D] \sim 1$ 和 $1 - \Pr[c_k \in D] \propto 1/\text{SNR}$ 的关系简化(10)得到

$$\Pr[D] \sim \left[\frac{2^R - 1}{\text{SNR}}\right]^{m-|D|} \times \prod_{c_k \notin D} \delta_{sc_k} \quad (11)$$

$|D|$ 表示解码集合中认知节点的个数。

根据选择标准得到最优中继节点 r ,其到主用户接收机 d 的中继信道互信息 I_{sf} 为

$$I_{sf} = \log_2(1 + \text{SNR} \cdot Z) \quad (12)$$

其中 Z 定义为 $Z = \max_{c_k \in D} \{|h_{c_k d}|^2\}$ 。 $|h_{c_k d}|^2$ 服从参数为 $\delta_{c_k d}$ 的指数分布且相互独立,则 Z 的分布函数为

$$F_Z(z) = \prod_{k=1}^{|D|} (1 - \exp[-\delta_{c_k d} z])$$

当 $\text{SNR} \rightarrow \infty$ 时, $(2^R - 1)/\text{SNR} \rightarrow 0$ 。利用 $e^x \sim 1 + x$ 近似替代得到

$$\Pr[I < R | D] \approx \left[\frac{2^R - 1}{\text{SNR}}\right]^{|D|} \times \prod_{c_k \in D} \delta_{c_k d} \quad (13)$$

由式(11)和(13)得到中断概率为

$$P_{\text{out}} = \left[\frac{2^R - 1}{\text{SNR}}\right]^m \times \sum_D \prod_{c_k \in D} \delta_{c_k d} \cdot \prod_{c_k \notin D} \delta_{sc_k} \quad (14)$$

式(14)是在高 SNR 条件下得到的近似结果。中继服务的中断概率 P_{out} 与 SNR 的 m 次方成反比。尽管只有一个节点参与解码转发,认知网络为主用户提供的中继服务仍有 m 阶分集效果。

与分布式空时编码协作(DTSC)的信道容量^[6]做比较,在相同条件下,选择最优节点中继信道容量(式(12))要大于 DTSC 方式中继(无功率分配优化)。这种优势是通过选择了最佳的中继节点得到的。

4 仿真结果

图 4 仿真了未经信道衰落的主用户信噪比 SNR

与平均传输效率的关系。仿真中 $T_{\text{data}}/T_s = 0.9$, $T_r/T_s = 0.5$, $T_{\text{select}}/T_c = 0.4$ 。主用户码簿速率 $R = 1$ 。如果直达链路不中断,主用户传输效率的上限为 90%。图中曲线根据式(7)和(8)得到,离散点是 Monte Carlo 方法得到的仿真值。仿真经历 10^4 个 T_c 时隙,每个时隙内 $|h_{sd}|^2$ 保持不变,服从参数为 δ_{sd} 的指数分布, δ_{sd} 分布取 1.5 和 0.5。当直达链路中断时认知网络进行中继。理论值与仿真值基本一致。图 4 显示了认知网络中继对主用户平均传输效率的影响。主用户直达链路低 SNR 情况下,通信容易受到深度衰落影响而发生中断,如果没有认知网络中继,主用户平均传输效率趋近于 0。存在认知网络中继后,平均效率有显著的提升。在高 δ_{sd} 低 SNR 情况下,认知网络中继的作用更明显。

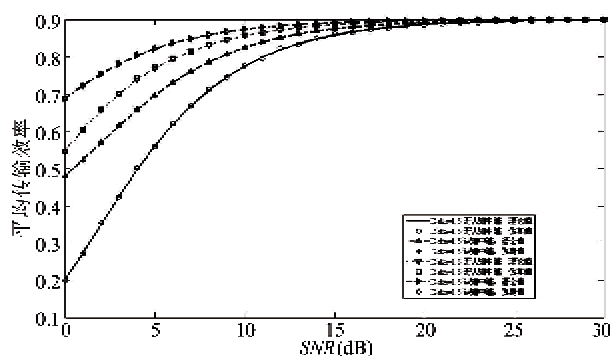


图 4 认知网络中继下的主用户平均传输效率

图 5 显示了在主用户间直达链路中断情况下,不同个数的认知网络采用选择最优节点方式,为主用户提供中继服务的中断概率性能。仿真中信道增益为指数分布,其参数 δ_{sc_k} 和 δ_{c_kd} 均取 1。尽管只有一个认知节点参与解码转发,与分布式空时编码协

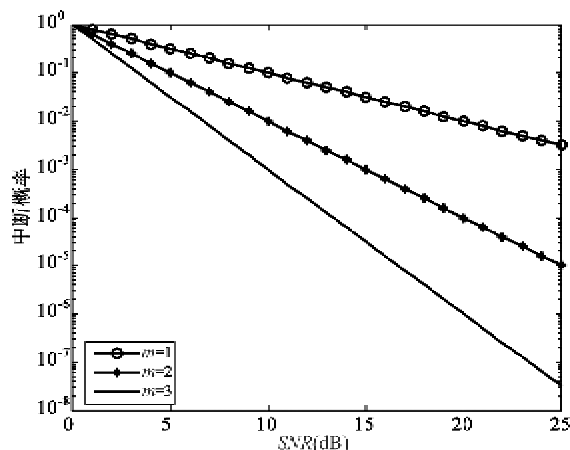


图 5 $R=1$,不同个数认知节点网络中继服务的中断概率性能

作相比,认知网络仍提供了 m 阶分集效果。从图 5 可以看出,随着认知节点个数 m 的增加,分集效果增强,中断概率明显下降。但选择最优中继节点的过程变得复杂,最优节点选择的时间 T_{select} 变长,主用户传输效率下降。

图 6 是选择最优节点中继方法和分布式空时编码中继方式的信道容量比较。仿真共经历 10^4 个 T_c 时隙的中继服务,每个时隙内中继信道增益不变,解码集合 D 中有 $|D|$ 个认知节点,每个节点 c_k 与主用户 d 的信道增益 $|h_{c_kd}|^2$ 相互独立,服从 $\delta_{c_kd} = 1$ 的指数分布。仿真中 $|D|$ 分别为 3 和 10,统计平均两种中继方式下的信道容量。从图 6 可以看出,选择最优中继可以提供较大的瞬时中继信道容量。当 $|D|$ 增加,选择最优节点中继的信道容量明显增加,而 DTSC 方式的信道容量增加不大。

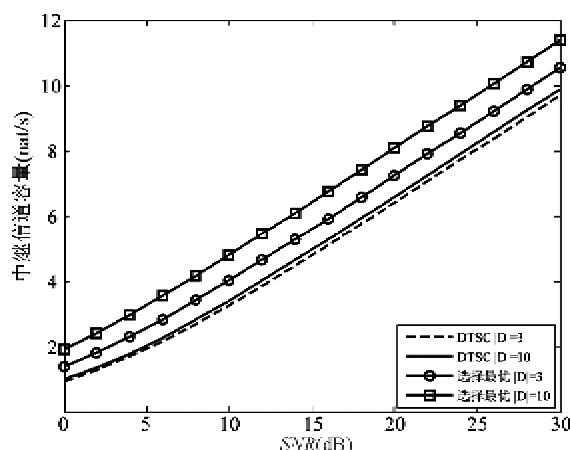


图 6 两种中继方式下的中继信道容量比较

5 结 论

认知网络与主用户网络的协作是一个新的研究课题。本文针对主用户链路经历深度衰落的情况,提出了一种认知网络中继方案。该方案的优势在于主用户不需要修改自身协议就可以接受中继服务,提高了主用户的平均传输效率。认知节点的能量检测器应用于最优中继节点的判决,缩短选择时间。与分布式空时编码中继方案相比,本文提出的中继方案具有相同的空间分集效果,而且有较高的瞬时信道容量。但该方案对认知网络提出了较高要求,控制中心 CU 需要利用一个独立信道在较短时间内选择出最优的中继节点。在分块慢衰落信道情况下,认知网络主要处于解码转发状态,选择最优节点的开销相对较少。对于信道变化较快的情况,CU 控

制认知网络频繁进入选择状态,会导致中继效率下降。另外中继方案对主用户的 MAC 协议也有所要求,才能支持透明中继。

致谢:本文的研究还部分地得到韩国知识经济部 IITA 指导下的 ITRC 项目 (IITA-2009-C1090-0902-0019) 的资助。

参考文献:

- [1] Krenik W, Wyglinski A M, Doyle L E, et al. Cognitive radios for dynamic spectrum access. *IEEE Communications Magazine*, 2007, 45(5): 64-65
- [2] Korakis T, Knox M, Erkip E, et al. Cooperative network implementation using open-source platforms. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(2): 134-141
- [3] Cormio C, Chowdhury K R. A survey on MAC protocols for cognitive radio networks. *Ad Hoc Networks*, 2009, 7(7): 1315-1329
- [4] Lei G, Wang W, Peng T, et al. Routing metrics in cognitive radio networks. In: Proceedings of the 2008 4th IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications, Shanghai, China, 2008. 265-269
- [5] Gui B, Dai L, Cimini J, et al. Routing strategies in multihop cooperative networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2009, 8(2): 843-855
- [6] Laneman J N, Wornell G W. Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2003, 49: 2415-2425
- [7] Frank H P F, Marcos D K. Cognitive Wireless Networks: Concepts, Methodologies and Visions Inspiring the Age of Enlightenment of Wireless Communications. Netherlands: Springer, 2008. 396-510
- [8] Zhang Q, Jia J, Zhang J. Cooperative relay to improve diversity in cognitive radio networks. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(2): 111-117
- [9] Ganesan G, Li Y. Cooperative spectrum sensing in cognitive radio, part I and part II. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2007, 6(6): 2204-2212 and 2214-2222
- [10] Lee K, Yener A. Outage performance of cognitive wireless relay networks. In: Proceedings of the 2006 Global Telecommunications Conference, San Francisco, USA, 2006. 1-5
- [11] Osvaldo S, Yeheskel B N, Umberto S. Stable throughput of cognitive radios with and without relaying capability. *IEEE Transactions on Communications*, 2007, 55(12): 2351-2360
- [12] Beres E, Adve R. On selection cooperation in distributed networks. In: Proceedings of the 40th Annual Conference on Information Sciences and Systems, Princeton, USA, 2006. 1056-1061
- [13] IEEE. Std.802.11-2007, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2007
- [14] Cordeiro C, Challapali K, Birru D, et al. IEEE 802.22: The first worldwide wireless standard based on cognitive radios. In: Proceedings of the 2005 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Baltimore, USA, 2005. 328-337
- [15] Digham F F, Alouini M S, Simon M K. On the energy detection of unknown signals over fading channels. *IEEE Transactions on Communications*, 2007, 55(1): 21-24

Cognitive radio network relay for primary users under deep fading conditions

Liu Qi^{* **}, Zhou Zheng^{*}, Wang Shubing^{*}

(^{*} Wireless Network Laboratory of School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

(^{**} Institute of Planning and Designing Research, China Academy of Telecommunication Research of MIIT, Beijing 100037)

Abstract

A transparent relay scheme of cognitive radio network is proposed to resolve the outage problem of primary user link caused by deep fading. Without altering the communication protocol of primary users, the scheme firstly senses the state of primary users to decide whether they need relay. The best relay node is selected using the energy detector from the cognitive radio network to decode and forward primary users' signals if outage happens. It is proved that the single best node relay provides the same spatial diversity as the multi-nodes relay in the term of outage probability. The scheme improves the average transmission efficiency of primary users and achieves a high relay channel capacity. The simulation results show its spatial diversity as well as the transmission efficiency improvement.

Key words: cognitive radio network relay, decode and forward, the best relay node selection, spatial diversity