



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106304134 A

(43) 申请公布日 2017. 01. 04

(21) 申请号 201510270801. 4

(22) 申请日 2015. 05. 25

(71) 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所  
地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街 114 号

(72) 发明人 张晓玲 梁炜 于海斌

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002  
代理人 徐丽 周秀梅

(51) Int. Cl.  
H04W 24/02(2009. 01)

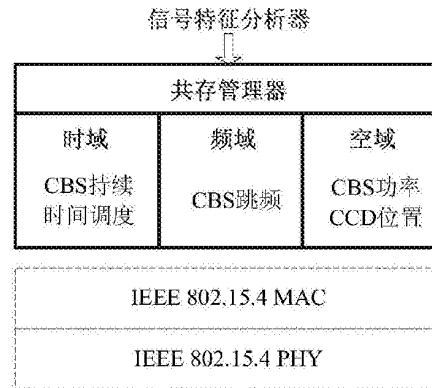
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,针对异构网络共存问题,设计智能的协调忙音保护策略,涵盖频率、时间、空间和功率等多个维度,通过“预警”和“并行保护”,一方面兼容 TDMA、CSMA 及混合接入机制;另一方面,避免了共存网络的侦听盲区问题,扩大了多类共存网络的侦听范围和网络合作优化的信息量;其中,基于干扰解耦的网间干扰分类方法,以各类网络是否可以侦听到对方为划分标准,以共存子域数量最少为目标,避免了对共存干扰“考虑过多”或“考虑不全面”的问题;“两端规则”和“左右规则”选择忙音信道,在低开销干扰信号特征提取的基础上,对共存环境中的弱势网络进行合理保护,提高共存网络的综合性能。



1. 一种基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在於,包括以下步骤:

步骤 1:根据网络的侦听范围,将共存网络网间的干扰分为三类:抑制情况干扰、冲突情况干扰和混合情况干扰,且三类干扰集合互斥;

步骤 2:根据 CCA 模式 2 以及 RSSI 检测功能采集干扰信号密度特征,并进行干扰分析;

步骤 3:设计发射协调忙音设备,即共存协调设备 CCD 的协议栈:CCD 物理层和介质访问控制层采用 IEEE 802.15.4 的协议栈,上层增加共存管理器,从时域、频域和空域三个维度控制协调忙音信号 CBS 的传输时间、传输信道、传输功率以及共存协调设备 CCD 位置的布放;

步骤 4:CSMA、TDMA 及混合机制调节忙音信号传输的信道、时隙和功率,并安排 CCD 布放的位置。

2. 根据权利要求 1 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在於,所述抑制情况干扰为:两类网络可以相互侦听到对方,优先获得信道使用权的一类网络将抑制另一类网络的传输,导致另一类网络无限期等待的情况;

所述冲突情况干扰为:两类网络无法相互侦听到对方,两者之间的传输产生冲突的情况;

所述混合情况干扰为:A 类网络可以单方面侦听到 B 类网络是否正在传输数据,一方面 B 类网络优先传输将抑制 A 类网络;另一方面,A 类网络传输过程中与功率较高的 B 类网络产生冲突的情况。

3. 根据权利要求 1 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在於,所述步骤 2 具体为:

当 CCA 模式 2 下返回 IDLE 值,即信道空闲,而 RSSI 值大于阈值时,则表示网络中存在 IEEE 802.11 信号,具体遵循以下计算:

$$I(t) = \begin{cases} 1, & CCA\_2 = IDLE \& RSSI > \alpha \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中,  $I(t)$  表示  $t$  时刻是否存在干扰信号;如果  $CCA\_2 = IDLE \& RSSI > \alpha$ ,  $\alpha$  为协议定义的阈值,则表示存在 IEEE 802.11 干扰信号,此时  $I(t)$  为 1;否则,  $I(t)$  为 0;

通过在线方式实时获取 RSSI 数据记录干扰信号的强度,记为  $f(d, t)$ :

$$f(d, t) = \begin{cases} RSSI, & I(t) = 1 \\ 0, & I(t) = 0 \end{cases}$$

4. 根据权利要求 1 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在於,所述 CSMA 机制为:IEEE 802.15.4 设备和 IEEE 802.11 设备采用请求发送/清除发送的握手方式协商传输,CCD 设备侦听到网络中的 CTS 信号后,根据 CTS 信号,按照“两端规则”和“左右规则”选择信道发送 CBS 信号,CBS 发射时间至少为从数据传输开始到接收端返回 ACK。

5. 根据权利要求 4 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在於,所述按照“两端规则”和“左右规则”选择信道发送 CBS 信号,具体为:

分析可用信道集合,记为  $C$ ;

采用中间信道通信时, CCD 信道选择原则定义为“两端规则”,即选择数据传输信道的左右两侧信道;

采用边缘信道通信时, CCD 信道选择原则定义为“左右规则”,即:左边缘选右信道,右边缘选左信道;

对于集合 C 中可能包含的多个备用信道,选择探测 RSSI 值最小的一个信道。

6. 根据权利要求 4 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在于,所述 CBS 发射时间为:

$$t_{\text{CBS}} \geq t_{\text{data}} + t_{\text{delay}} + t_{\text{ACK}} + \delta$$

其中,  $t_{\text{CBS}}$  表示 CBS 信号的持续时间,  $t_{\text{data}}$ 、 $t_{\text{ACK}}$  以及  $t_{\text{delay}}$  分别表示 IEEE802.15.4 设备数据传输时间、ACK 传输时间以及数据传输结束到 ACK 开始的间隔时间,  $\delta$  表示保护余量。

7. 根据权利要求 1 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在于,所述 TDMA 机制为:

在 CBS 发射信号前,首先发送一个预告信号,并在 CCA 与数据传输之间预留保护时间  $\delta$ ; CBS 信号传输信道、功率和布放位置的选择与 CSMA 机制相同;将  $t_{\text{CBS}}$  时间局限在一个时隙时间  $T_{\text{slot}}$  内,即:

$$T_{\text{slot}} > t_{\text{CBS}} \geq t_{\text{data}} + t_{\text{delay}} + t_{\text{ACK}} + \delta$$

其中,  $t_{\text{CBS}}$  表示 CBS 信号的持续时间,  $t_{\text{data}}$ 、 $t_{\text{ACK}}$  以及  $t_{\text{delay}}$  分别表示 IEEE802.15.4 设备数据传输时间、ACK 传输时间以及数据传输结束到 ACK 开始的间隔时间,  $\delta$  表示保护余量。

8. 根据权利要求 1 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在于,所述混合机制采用传输模式标志参数 TransmitMode 结合保护时间  $\delta$  分段处理的方法:

CSMA 传输模式下:  $\text{TransmitMode} = 0$  且  $\delta = 0$ ;

TDMA 传输模式下:  $\text{TransmitMode} = 1$  且  $\delta \geq 0$ ;

其中,保护余量  $\delta$  长度的选取由用户根据实时性要求设置;  $\text{TransmitMod}$  表征当前数据的传输模式,定义为 0/1 变量:

$$\text{TransmitMod} = \begin{cases} 0, & \text{CSMA接入方式} \\ 1, & \text{TDMA接入方式} \end{cases}$$

9. 根据权利要求 1 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在于,所述步骤 4 具体为:

根据共存网络协商结果调节 CBS 发送时间和发送信道;

根据共存网络的干扰区域调节 CBS 的发射功率和 CCD 布放位置。

10. 根据权利要求 9 所述的基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,其特征在于,所述根据共存网络的干扰区域调节 CBS 的发射功率和 CCD 布放位置,包括:

(1) CBS 功率调节: CBS 功率设置为与 IEEE 802.15.4 网络设备相同级别;

(2) CBS 布放位置: CBS 布放在 IEEE 802.15.4 网络设备无法侦听到 IEEE802.11 网络设备的区域。

## 基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线网络技术,具体地说是一种基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法。

### 背景技术

[0002] 共存是保障 ISM 频段无线传感器网络性能的有效手段之一。根据我国国家无线电管理委员会 2005 年颁布的《微功率(短距离)无线电设备的技术要求》,无线传感器网络工作于 ISM 频段。除无线传感器网络外,工作于 ISM 频段的无线设备还包括微波炉、射频识别 RFID、无绳电话、蓝牙等,无线信道的开放共享特性使得这些原有设备会与无线传感器网络互相干扰。另外,随着无线传感器网络的应用市场越来越广阔,网络越来越庞大且复杂,不同类网络之间以及面向不同应用的同类网络之间的频率拥挤和竞争问题凸显,这导致无线传感器网络的确定性性能要求,例如,可靠性、实时性、能耗、吞吐量等,面临着巨大的挑战。此外,业务类型的特殊性、网络行为的复杂性、组网模式的多样性及接入机制的差异性,导致不同类型无线传感器网络的性能偏好不同。因此,需要继续开展共存理论和方法的研究,使得不同网络在满足各自性能要求的前提下,和谐共处。

[0003] 共存已经成为国内外无线网络研究的热点技术,主要分为合作共存和非合作共存两种模式。对于非合作共存模式,多网之间无协调交互,只能利用物理层协议参数在空域、时域、频域三个方面建立干扰的概率模型。对于合作共存模式,多网之间存在协调交互,模型可以进一步扩展到利用数据链路层的协议参数。非合作共存模式可以在一定程度上避免干扰和冲突,但对网络性能的提升能力有限。合作共存模式可更好地降低冲突,挖掘网络容量,已成为未来共存技术的方向。除学者外,国际上还成立了专门的工作组,例如国际电工委员会 IEC TC65 中的 WG17 工作组,致力于多网共存技术和标准的研究。

[0004] 合作共存和优化方法是一类在线的协调和控制的优化问题,其特征存在于共存环境中的多类网络需要达到“知己知彼”,且根据底层协议本身的参数设置联合控制占用无线资源的时间、频率和功率。然而,在合作共存方法的实现过程中往往面临信息收集不完全的情况,共存的多类网络之间依靠有限的侦听能力获取部分信息,实现“知己知彼”面临巨大挑战。具体体现在下面三个问题:

[0005] 问题 1:无协议兼容性。现有的 IEEE 802.15.4 和 IEEE 802.11 产品仅仅实现协议自身定义的功能,没有实现两类协议的兼容,因此,IEEE 802.15.4 和 IEEE 802.11 之间无法获得彼此的信息,而仅能采取侦听机制获取部分信息。

[0006] 问题 2:侦听范围有限。两类网络是否可以侦听到对方包括三种情况:互相侦听到对方、一方可以侦听到另一方、互相侦听不到对方。因此,存在无法侦听到对方的情况。

[0007] 问题 3:协议差异较大。IEEE 802.15.4 和 IEEE 802.11 两类协议的射频参数以及接入机制差异较大,进而导致接入方式、接入频率以及接入时间的组合庞大。在某一时间点,一方网络无法准确把握另一方网络确切的射频参数以及接入机制。特别是现有大多数 IEEE 802.15.4 协议采用时分多址访问(Time Division Multiple Access, TDMA)和载波侦

听多路访问 (Carrier Sense Multiple Access, CSMA) 结合的接入机制, 而 IEEE 802. 11 无法进行本地区分。

[0008] 此外, 大多数协议规定采用 CSMA 和 TDMA 的联合接入机制, 这类随机和确定结合的传输方法增加了联合控制的难度。同时, 引起多网干扰的因素众多, 以单个网络的性能最大化为目标, 且针对单个关键影响因子建立模型和设计算法较为片面, 而综合考虑多网联合性能和众多影响因子则面临解空间庞大的问题。

[0009] 面对上述问题, 如何立足于现有成果, 扩大多类共存网络的信息量, 实现多网联合利益的最大化, 成为亟待解决的难题。

## 发明内容

[0010] 针对非合作共存模式短视、对网络性能提升有限的缺陷, 以及已有合作共存模式存在无协议兼容性、侦听范围有限、协议差异较大、以单个网络的性能最大化为目标等问题, 提出一种基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法, 扩大多类共存网络的侦听范围和网络信息量, 覆盖共存网络的侦听盲区, 且不影响共存网络的整体性能; 涵盖频率、时间、空间和功率等多个维度且面向 CSMA、TDMA 及其混合接入机制的低开销、易实现的网络共存接入, 一方面保证 TDMA 传输的确定性要求, 另一方面研究基于 CSMA 机制的网络如何利用空闲时机伺机传输以及如何进行自适应信道检测和跳频。

[0011] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是: 一种基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法, 包括以下步骤:

[0012] 步骤 1: 根据网络的侦听范围, 将共存网络网间的干扰分为三类: 抑制情况干扰、冲突情况干扰和混合情况干扰, 且三类干扰集合互斥;

[0013] 步骤 2: 根据 CCA 模式 2 以及 RSSI 检测功能采集干扰信号密度特征, 并进行干扰分析;

[0014] 步骤 3: 设计发射协调忙音设备, 即共存协调设备 CCD 的协议栈: CCD 物理层和介质访问控制层采用 IEEE 802. 15. 4 的协议栈, 上层增加共存管理器, 从时域、频域和空域三个维度控制协调忙音信号 CBS 的传输时间、传输信道、传输功率以及共存协调设备 CCD 位置的布放;

[0015] 步骤 4: CSMA、TDMA 及混合机制调节忙音信号传输的信道、时隙和功率, 并安排 CCD 布放的位置。

[0016] 所述抑制情况干扰为: 两类网络可以相互侦听到对方, 优先获得信道使用权的一类网络将抑制另一类网络的传输, 导致另一类网络无限期等待的情况;

[0017] 所述冲突情况干扰为: 两类网络无法相互侦听到对方, 两者之间的传输产生冲突的情况;

[0018] 所述混合情况干扰为: A 类网络可以单方面侦听到 B 类网络是否正在传输数据, 一方面 B 类网络优先传输将抑制 A 类网络; 另一方面, A 类网络传输过程中与功率较高的 B 类网络产生冲突的情况。

[0019] 所述步骤 2 具体为:

[0020] 当 CCA 模式 2 下返回 IDLE 值, 即信道空闲, 而 RSSI 值大于阈值时, 则表示网络中存在 IEEE 802. 11 信号, 具体遵循以下计算:

[0021]

$$I(t) = \begin{cases} 1, & CCA\_2 = IDLE \& RSSI > \alpha \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

[0022] 其中,  $I(t)$  表示  $t$  时刻是否存在干扰信号; 如果  $CCA\_2 = IDLE \& RSSI > \alpha$ ,  $\alpha$  为协议定义的阈值, 则表示存在 IEEE 802.11 干扰信号, 此时  $I(t)$  为 1; 否则,  $I(t)$  为 0;

[0023] 通过在线方式实时获取 RSSI 数据记录干扰信号的强度, 记为  $f(d, t)$  :

$$f(d, t) = \begin{cases} RSSI, & I(t) = 1 \\ 0, & I(t) = 0 \end{cases}$$

[0025] 所述 CSMA 机制为: IEEE 802.15.4 设备和 IEEE 802.11 设备采用请求发送 / 清除发送的握手方式协商传输, CCD 设备侦听到网络中的 CTS 信号后, 根据 CTS 信号, 按照“两端规则”和“左右规则”选择信道发送 CBS 信号, CBS 发射时间至少为从数据传输开始到接收端返回 ACK。

[0026] 所述按照“两端规则”和“左右规则”选择信道发送 CBS 信号, 具体为:

[0027] 分析可用信道集合, 记为  $C$ ;

[0028] 采用中间信道通信时, CCD 信道选择原则定义为“两端规则”, 即选择数据传输信道的左右两侧信道;

[0029] 采用边缘信道通信时, CCD 信道选择原则定义为“左右规则”, 即: 左边缘选右信道, 右边缘选左信道;

[0030] 对于集合  $C$  中可能包含的多个备用信道, 选择探测 RSSI 值最小的一个信道。

[0031] 所述 CBS 发射时间为:

$$t_{CBS} \geq t_{data} + t_{delay} + t_{ACK} + \delta$$

[0033] 其中,  $t_{CBS}$  表示 CBS 信号的持续时间,  $t_{data}$ 、 $t_{ACK}$  以及  $t_{delay}$  分别表示 IEEE 802.15.4 设备数据传输时间、ACK 传输时间以及数据传输结束到 ACK 开始的间隔时间,  $\delta$  表示保护余量。

[0034] 所述 TDMA 机制为:

[0035] 在 CBS 发射信号前, 首先发送一个预告信号, 并在 CCA 与数据传输之间预留保护时间  $\delta$ ; CBS 信号传输信道、功率和布放位置的选择与 CSMA 机制相同; 将  $t_{CBS}$  时间局限在一个时隙时间  $T_{slot}$  内, 即:

$$T_{slot} > t_{CBS} \geq t_{data} + t_{delay} + t_{ACK} + \delta$$

[0037] 其中,  $t_{CBS}$  表示 CBS 信号的持续时间,  $t_{data}$ 、 $t_{ACK}$  以及  $t_{delay}$  分别表示 IEEE 802.15.4 设备数据传输时间、ACK 传输时间以及数据传输结束到 ACK 开始的间隔时间,  $\delta$  表示保护余量。

[0038] 所述混合机制采用传输模式标志参数  $TransmitMode$  结合保护时间  $\delta$  分段处理的方法:

[0039] CSMA 传输模式下:  $TransmitMode = 0$  且  $\delta = 0$ ;

[0040] TDMA 传输模式下:  $TransmitMode = 1$  且  $\delta \geq 0$ ;

[0041] 其中, 保护余量  $\delta$  长度的选取由用户根据实时性要求设置;  $TransmitMod$  表征当前数据的传输模式, 定义为 0/1 变量:

[0042]

$$\text{TransmitMod} = \begin{cases} 0, & \text{CSMA接入方式} \\ 1, & \text{TDMA接入方式} \end{cases}$$

[0043] 所述步骤 4 具体为：

[0044] 根据共存网络协商结果调节 CBS 发送时间和发送信道；

[0045] 根据共存网络的干扰区域调节 CBS 的发射功率和 CCD 布放位置。

[0046] 所述根据共存网络的干扰区域调节 CBS 的发射功率和 CCD 布放位置，包括：

[0047] (1) CBS 功率调节：CBS 功率设置为与 IEEE 802.15.4 网络设备相同级别；

[0048] (2) CBS 布放位置：CBS 布放在 IEEE 802.15.4 网络设备无法侦听到 IEEE 802.11 网络设备的区域。

[0049] 本发明具有以下优点及有益效果：

[0050] 1. 本发明方法针对基于 TDMA 和 CSMA 机制的异构网络共存问题，通过“预警”和“并行保护”，一方面兼容 TDMA、CSMA 及混合机制；另一方面，避免了共存网络的侦听盲区问题，扩大了多类共存网络的侦听范围和网络合作优化的信息量，从而优化了共存网络的性能；

[0051] 2. 本发明方法提出的共存网络网间干扰分类方法，根据共存情况下多类网络的干扰耦合关系，以各类网络是否可以侦听到对方为划分标准，以共存子域数量最少为目标，避免了对共存干扰“考虑过多”或“考虑不全面”的问题；

[0052] 3. 本发明方法提出的“两端规则”和“左右规则”，在低开销干扰信号特征提取的基础上，对共存环境中的弱势网络进行合理保护，提高共存网络的综合性能。

## 附图说明

[0053] 图 1 为 IEEE 802.11 网络和 IEEE 802.15.4 网络共存示意图；

[0054] 图 2 为异构网络之间频谱重叠干扰示意图；

[0055] 图 3 为 CCA+RSSI 抽取 IEEE 802.11b 网络信号密度特征示意图；

[0056] 图 4 为信道重叠和 CBS 信道选择示意图；

[0057] 图 5 为本发明方法协调忙音设备的原理图；

[0058] 图 6 为 CSMA 模式下的 CBS 智能保护；

[0059] 图 7 为 TDMA 模式下的 CBS 智能保护。

## 具体实施方式

[0060] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0061] 如图 1 所示为一个典型的异构网络 (IEEE 802.11 网络和 IEEE 802.15.4 网络) 共存的拓扑图。包括 1 个 IEEE 802.15.4 协调器、若干 IEEE 802.15.4 节点、1 个 IEEE 802.11 接入点 (AP, Access Point) 以及若干 IEEE 802.11 节点。各类节点之间通过无线方式连接，遵从不同的通信协议，如 IEEE 802.15.4 和 IEEE 802.11 等。

[0062] 由于无线传输的开放特性，且 IEEE 802.15.4 和 IEEE 802.11 网络一般工作在 2.4GHz 频段。因此，两类网络之间的数据传输存在相互冲突和干扰的情况。如图 2 所示，特别是 IEEE 802.11 网络，网络中节点的发射功率较强，将完全覆盖同频段低功率传输的 IEEE 802.15.4，从而导致 IEEE 802.15.4 传输失败，严重影响 IEEE 802.15.4 的性能。此

外, IEEE 802. 15. 4 和 IEEE 802. 11 协议参数的个性设计也带来众多干扰问题, 包括:

[0063] (1) 从时间的维度, 存在传输优先级偏向问题: 以表 1 中 IEEE 802. 15. 4 的参数为例, IEEE 802. 15. 4 的切换、等待、检测和退避时间相对较长, 导致 IEEE 802. 15. 4 报文的等待时间过长, 传输优先级较低, 影响报文传输的实时性;

[0064] (2) 从频率和功率的维度, 存在信号淹没和抢占问题: ISM 频段的开放共享特征决定了同一网络不同节点之间以及多个网络之间互相干扰, 即网内干扰和网间干扰。特别是网间干扰, 由于不同标准定义的功率、带宽、接收灵敏度等参数不同, 导致不同网络之间的干扰情况较为复杂。以低速率 / 低功率的 IEEE 802. 15. 4 网络和高速率 / 高功率的 IEEE 802. 11 网络的共存为例, 如表 1 所示, IEEE 802. 15. 4 网络的信号强度、带宽以及接收灵敏度明显处于劣势, 对于 IEEE 802. 11 网络密集部署的场合, IEEE 802. 15. 4 无线信号更容易被“淹没”或“抢占”, 影响报文传输的可靠性;

[0065] (3) 从空间的维度, 存在共存重叠区域界定问题: 空间重用是共存的一个重要方法。无线信号的时变衰减特性, 以及不同底层标准限定的侦听功率以及侦听阈值等信道探测参数的不同, 导致不同类网络的侦听范围不同, 进而误判共存环境中是否存在其他类网络。

[0066] 表 1 IEEE 802. 15. 4 和 IEEE 802. 11b/g 参数

[0067]

	IEEE 802. 15. 4	IEEE 802. 11b	IEEE 802. 11g
中心频率 $f_c$	2410MHz	2412MHz	2412MHz
带宽	2MHz	22MHz	22MHz
传输功率	0dBm	17dBm	17dBm
接收灵敏度	-85dBm	-76dBm	-82dBm
传输速率	250kbps	11Mbps	6Mbps
退避单位长度	320 $\mu$ s	20 $\mu$ s	9 $\mu$ s
退避窗 $CW_{min}$	7	31	15
短帧间间隔 SIFS	192 $\mu$ s	10 $\mu$ s	10 $\mu$ s
DCF 帧间间隔 DIFS	无定义	50 $\mu$ s	28 $\mu$ s
空闲信道评估 CCA	128 $\mu$ s	无定义	无定义
SIR 阈值	5 ~ 6dB	5 ~ 6dB	5 ~ 6dB
Tx-Rx 切换时间 $t_{tr}$	<128 $\mu$ s	<10 $\mu$ s	<10 $\mu$ s



Rx-Tx 切换时间 $t_{rt}$	$<128 \mu s$	$<5 \mu s$	$<5 \mu s$
---------------------	--------------	------------	------------

[0068] 针对异构网络存在的相互干扰问题,本发明方法提出的一种基于协调忙音智能保护的异构无线网络合作共存方法,结合附图,下面详细介绍具体实现步骤。

[0069] 步骤 1:共存网络网间干扰分类。

[0070] 根据 IEEE 802.15.4 节点和 IEEE 802.11 节点是否可以侦听到对方,划分为抑制情况干扰、冲突情况干扰和混合情况干扰,并将各类干扰信号存入对应的集合中。其中,抑制情况干扰集合记为 S1;冲突情况干扰集合记为 S2;混合情况干扰集合记为 S3。三个干扰集合互斥,即

$$[0071] \quad (S1 \cap S2) \cup (S1 \cap S3) \cup (S2 \cap S3) = \Phi$$

[0072] 其中, $\cap$ 表示交集, $\cup$ 表示并集, $\Phi$ 表示空集。

[0073] 步骤 2:干扰信号密度特征采集和分析。

[0074] 如图 3 所示,两类网络执行 CC2420 的 CCA 模式 2 以及 RSSI 检测,如果 CCA 模式 2 下返回 IDLE 值(信道空闲),而 RSSI 值大于阈值  $\alpha$  时,网络中存在 IEEE 802.11 信号;否则,网络中不存在 IEEE 802.11 信号。此时,根据下面公式判断得出 IEEE 802.11 信号标记为“混合情况干扰”。

[0075]

$$I(t) = \begin{cases} 1, & CCA\_2 = IDLE \& RSSI > \alpha \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

[0076] 其中, $I(t)$  表示  $t$  时刻是否存在干扰信号;如果  $CCA\_2 = IDLE \& RSSI > \alpha$ ,则表示存在 IEEE 802.11 干扰信号,此时  $I(t)$  为 1;否则, $I(t)$  为 0。

[0077] 记录干扰信号的强度,记为  $f(d, t)$ ,存入混合情况干扰集合中。

[0078]  $f(d, t)$  具体为:

$$[0079] \quad f(d, t) = \begin{cases} RSSI, & I(t) = 1 \\ 0, & I(t) = 0 \end{cases}$$

[0080] 步骤 3:CSMA 和 TDMA 混合接入下的协调忙音智能保护。

[0081] 以面向 CSMA 传输方式的 CCD 智能保护为例,说明 CBS 信道选择、保护时间设计、功率调节以及 CCD 位置布设。

[0082] (1) 设计 CCD 协议栈

[0083] 如图 5 所示,CCD 物理层和 MAC 层采用 IEEE 802.15.4 的协议栈,上层增加了共存管理器,从时域、频域和空域三个维度控制 CBS 的传输(传输时间、传输信道以及传输功率)以及 CCD 位置的布放。

[0084] (2) 按照“两端规则”和“左右规则”选择合适的信道发送 CSB 信号

[0085] IEEE 802.11b 设备的射频信息包括:占用 1、6、11 三个信道,带宽为 20MHz,中心频率的计算为: $(2.407 - 0.005i)$ GHz,  $i = 1, 6, 11$ ;

[0086] IEEE 15.4 设备的射频信息包括:占用 11-26 共计 16 个信道,带宽为 5MHz,中心频率的计算为: $(2.405 - 0.005k)$ GHz,  $k \in [11, 26]$ 。

[0087] 信道集合为  $C = \{i = 6, k = 16/17/18/19\}$  时,IEEE 802.11b 和 IEEE 802.15.4

设备的射频重叠如图 4 所示,从可用集合 C 中选择 CBS 发送信道的方法为:

[0088] 1) IEEE 802. 15. 4 设备采用中间信道进行通信时的信道选择:

[0089] ●采用信道 17 进行通信, CBS 可选的信道集合为 { 信道 16, 信道 18} ;

[0090] ●采用信道 18 进行通信, CBS 可选的信道集合为 { 信道 17, 信道 19}。

[0091] ●采用中间信道通信时, CBS 信道选择原则定义为“两端规则”,即,可以

[0092] 选择通信信道的左右信道。

[0093] 对于采用信道 18 进行通信的情况,备选信道为 { 信道 17, 信道 19}, 如果  $RSSI_{17} > RSSI_{19}$ , 则选择信道 17 作为 CBS 发送信道。

[0094] 2) IEEE 802. 15. 4 设备采用边缘信道进行通信时的信道选择:

[0095] ●采用信道 16 进行通信, CCD 可选的信道集合为 { 信道 17} ;

[0096] ●采用信道 19 进行通信, CCD 可选的信道集合为 { 信道 18}。

[0097] ●采用边缘信道通信时, CCD 信道选择原则定义为“左右规则”,即:左边缘选右信道,右边缘选左信道。

[0098] (3) CBS 发射时间定义为数据传输开始到接收端返回 ACK

[0099] 如图 6 所示,根据 CBS 发射时间  $t_{CBS}$  的定义以及 IEEE802. 15. 4 的协议参数,  $t_{data}$  的最大值为  $4256 \mu s$  ( 微秒),  $t_{delay}$  为  $1000 \mu s$ ,  $t_{ACK}$  为  $352 \mu s$ ,  $\delta = 0$  (CSMA 机制下,  $\delta$  一般为 0), 则  $t_{CBS}$  的值为:

$$[0100] \quad t_{CBS} \geq t_{data} + t_{delay} + t_{ACK} + \delta$$

$$[0101] \quad = 4256 + 1000 + 352$$

$$[0102] \quad = 5608$$

[0103] (4) CBS 功率调节

[0104] 根据 IEEE 802. 5. 4 协议参数设置,取 CBS 功率设置为最大值——100mW (20dBm)。

[0105] (1) CCD 布放位置

[0106] CCD 布放在混合干扰区域,确保 IEEE 802. 15. 4 可以侦听到 IEEE 802. 11 数据。

[0107] 面向 TDMA 传输方式的 CCD 智能保护与面向 CSMA 传输方式的 CCD 智能保护惟一不同的是,  $\delta > 0$ , 且 CBS 的持续时间不超过一个时隙的长度,如图 7 所示。

[0108] 混合传输方式的 CCD 智能保护下,设置传输标志

$TransmitMod = \begin{cases} 0, & \text{CSMA接入方式} \\ 1, & \text{TDMA接入方式} \end{cases}$ , 用于不同接入方式的切换。针对不同的接入方式,使

用上述不同策略和参数设置方法。

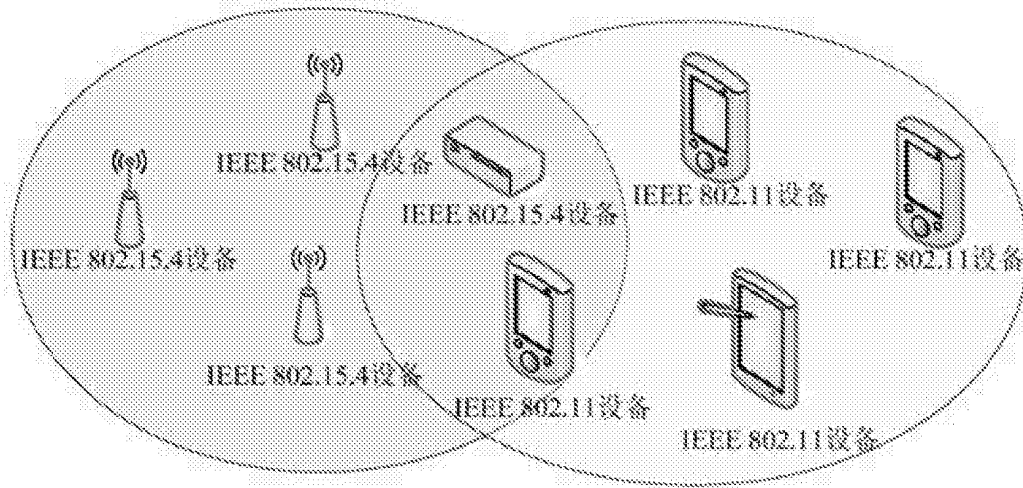


图 1

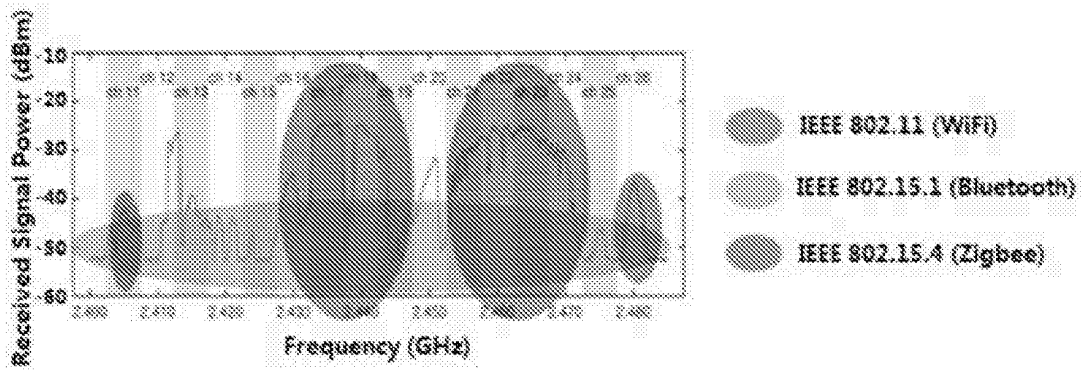


图 2

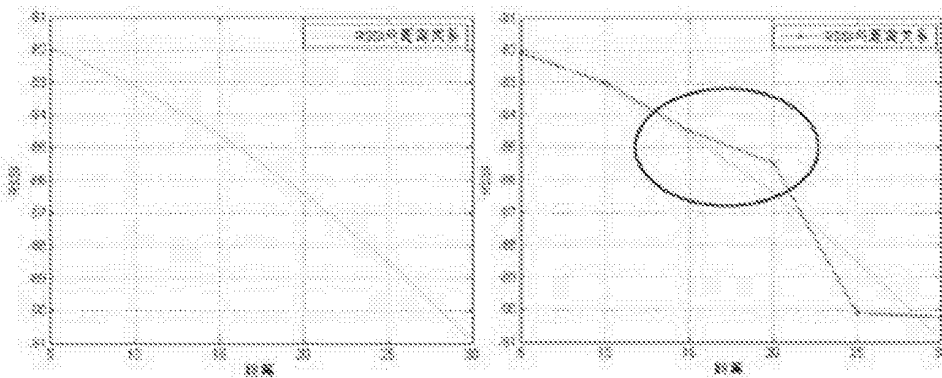


图 3

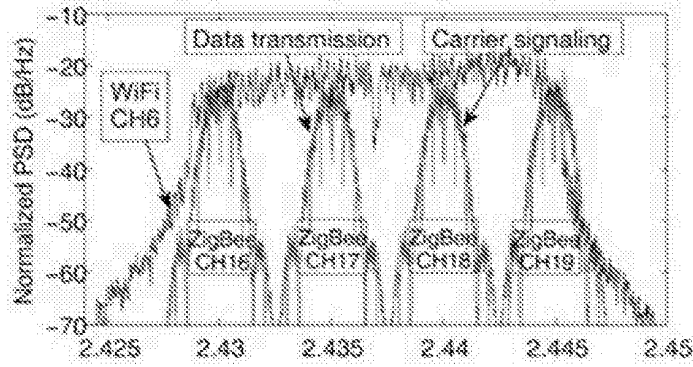


图 4

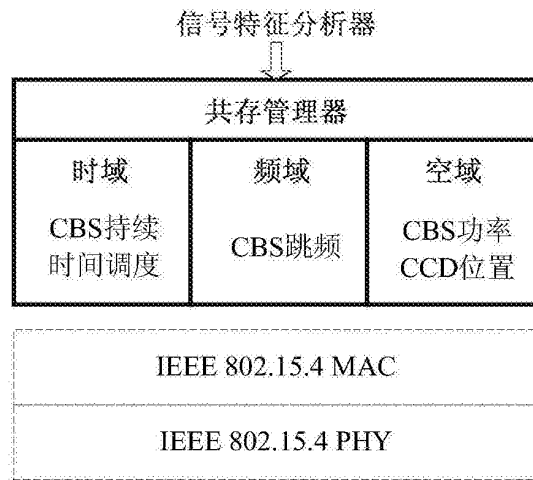


图 5

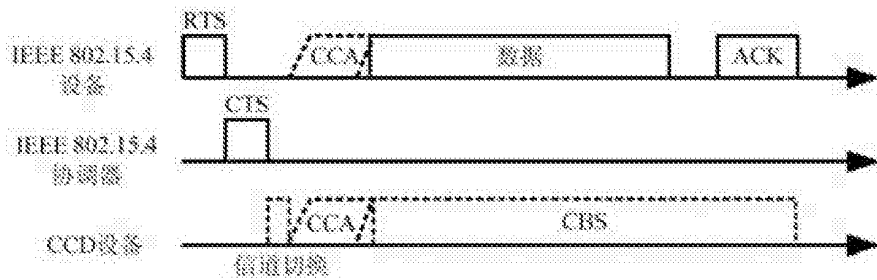


图 6

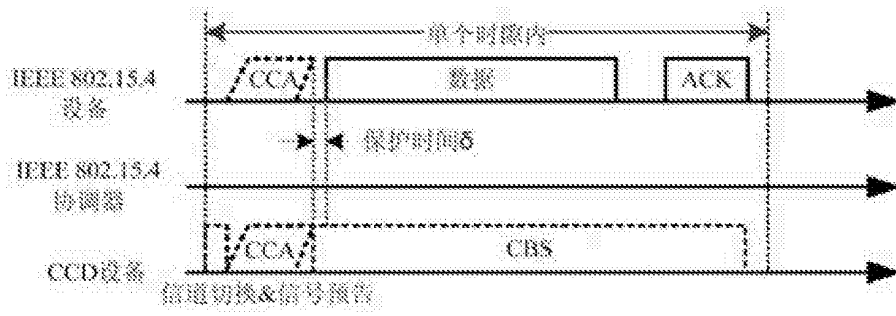


图 7