



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111656710 A

(43)申请公布日 2020.09.11

(21)申请号 201880087767.9

(22)申请日 2018.12.12

(30)优先权数据

18305112.7 2018.02.02 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.07.24

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2018/046671 2018.12.12

(87)PCT国际申请的公布数据

W02019/150811 EN 2019.08.08

(71)申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 N·格雷塞特

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 刘久亮 黄纶伟

(51)Int.Cl.

H04B 17/345(2006.01)

H04W 72/04(2006.01)

H04W 84/12(2006.01)

H04B 1/71(2006.01)

H04B 1/10(2006.01)

H04B 1/715(2006.01)

H04J 11/00(2006.01)

权利要求书3页 说明书12页 附图6页

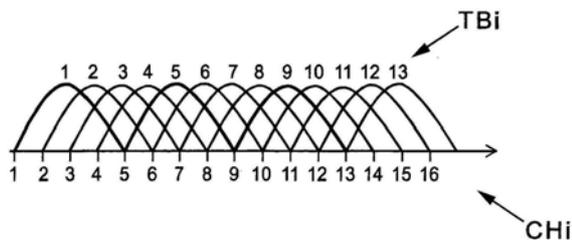
(54)发明名称

用于估计干扰的装置和方法以及射频通信系统

(57)摘要

本发明涉及一种由计算机手段实现的用于估计使用信道集合(CHi)的射频系统上的干扰的方法,所述干扰是由使用传输频带集合(TBi)的干扰系统的干扰源导致的,各个所述传输频带在所述信道集合的多个邻接信道上延伸,其中,该方法包括:-确定所述传输频带集合的占用或不占用的所有可能配置的集合Ω,并利用邻接信道形成传输频带i,该集合被定义为在时刻k满足所述射频系统的不交叠条件的可能向量的集合Zk=[Z1,k,...,Zi,k,...,ZI,k],所述不交叠条件对应于这样的事实:在所述信道集合的各个信道上在相同的时间k,I个可能干扰源的集合当中仅一个干扰源i可活跃,-在各个时刻k:0<k≤K,获得所述信道集合的至少一部分的占用的测量X1,...,Xk,...,XK,其中K定义给定观测时间窗口,-执行概率计算以对于各个传输频带基于所述测量X1,...,Xk,...,XK确定估计的激活率τ,所述估

计的激活率τ对应于干扰源在所述给定观测时间窗口内对传输频带i的占用率。



1. 一种由计算机手段实现的用于估计使用信道集合 (CH_i) 的射频系统上的干扰的方法, 所述干扰是由使用传输频带集合 (TB_i) 的干扰系统的干扰源导致的, 各个所述传输频带在所述信道集合的多个邻接信道上延伸,

其中, 该方法包括以下步骤:

- 确定所述传输频带集合的占用或不占用的所有可能配置的集合 Ω , 并利用邻接信道形成传输频带 i , 该集合被定义为在时刻 k 满足所述射频系统的不交叠条件的可能向量的集合 $Z_k = [Z_{1,k}, \dots, Z_{i,k}, \dots, Z_{I,k}]$, 所述不交叠条件对应于这样的事实: 在所述信道集合的各个信道上在相同的时间 k , I 个可能干扰源的集合当中仅一个干扰源 i 能够活跃,

- 在各个时刻 $k: 0 < k \leq K$, 获得所述信道集合的至少一部分的占用的测量 $X_1, \dots, X_k, \dots, X_K$, 其中 K 定义给定观测时间窗口,

- 执行概率计算以对于各个传输频带基于所述测量 $X_1, \dots, X_k, \dots, X_K$ 确定估计的激活率 τ , 所述估计的激活率 τ 对应于干扰源在所述给定观测时间窗口内对传输频带 i 的占用率。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述通信系统在所述信道上实现跳频, 并且根据跳频实现来执行所述获得测量 $X_1, \dots, X_k, \dots, X_K$ 的步骤。

3. 根据前述权利要求中的任一项所述的方法, 其中, 所述概率计算遵循最大期望方法, 该最大期望方法根据两个步骤迭代地近似最大似然解, 在每次迭代 t :

a) 对于固定的估计 $\tau^{(t)}$, 定义期望 $Q(\tau | \tau^{(t)})$ 使得

$$Q(\tau | \tau^{(t)}) = E_{Z \in \Omega | X, \tau^{(t)}} [\log P(\mathbf{X}, \mathbf{Z} | \tau)],$$

b) 找到使 $Q(\tau | \tau^{(t)})$ 最大的估计 $\tau^{(t+1)}$:

$$\tau^{(t+1)} = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} Q(\tau | \tau^{(t)}),$$

并且其中, 步骤 a) 和 b) 的连续 t 次迭代得到给出各个传输频带的所述估计的激活率 $\tau^{(t+1)}$ 的收敛解。

4. 根据权利要求3所述的方法, 其中, 各个传输频带在 J 个信道上延伸, 并且其中, 所述概率计算包括以下步骤:

CP1) 计算概率 $\forall k, \forall \mathbf{Z}_k \in \Omega, P(X_k | Z_k)$, 例如

$$P(X_k | \mathbf{Z}_k) = p_\eta \left(X_k - 1 + \prod_{j=0}^J (1 - Z_{f_{k-j,k}}) \right)$$

其中 $p_\eta(\cdot)$ 定义相对于测量向量 X_k 上的估计误差的概率,

CP2) 然后计算概率 $P(Z_k | \tau^{(t)})$, $\forall k, \forall \mathbf{Z}_k \in \Omega$,

CP3) 利用下式计算值 $\forall k, \forall \mathbf{Z}_k, T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k}$:

$$T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k} = \frac{P(X_k | \mathbf{Z}_k) P(\mathbf{Z}_k | \tau^{(t)})}{\sum_{\mathbf{Z}'_k \in \Omega} P(X_k | \mathbf{Z}'_k) P(\mathbf{Z}'_k | \tau^{(t)})}$$

CP4) 从先前计算的 $T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k}$ 迭代地计算 $\tau^{(t+1)}$

并且其中, 迭代地重复步骤 CP2) 至 CP4), 直至满足停止条件为止, 每次新迭代, 迭代索引 t 增加。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其中, 做出近似: 系数 $Z_{i,k}$ 根据干扰源索引 i 为独立的, 并

且 $P(Z_k|\tau)$ 的概率计算被简化为 $P(\mathbf{Z}_k|\boldsymbol{\tau}^{(t)}) = \prod_i P(Z_{i,k}|\tau_i^{(t)})$

其中 $P(Z_{i,k}|\tau_i^{(t)}) = (1 - \tau_i^{(t)})(1 - Z_{i,k}) + \tau_i^{(t)} \cdot Z_{i,k}$

并且其中, $\tau^{(t+1)}$ 的迭代计算CP4)由下式给出:

$$\forall i, \tau_i^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{\mathbf{Z}_k \in \Omega | Z_{i,k}=1} T_{\mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k}$$

6. 根据权利要求4所述的方法, 其中, 步骤CP2)至CP4)如下执行:

i. 如下定义矩阵A:

$$\forall \mathbf{Z} \in \Omega, j \in [1, |\Omega|] \Omega \text{ 中的 } Z \text{ 的索引, 并且 } \forall i, A(i, j) = Z_i$$

其中 $|\Omega|$ 是 Ω 的基数,

ii. 分解 $\mathbf{A} = \mathbf{U}_A [\Delta_A \mathbf{0}_{I \times (|\Omega| - I)}] [\mathbf{V}_A^T \mathbf{W}_A^T]^T$

其中 \mathbf{V}_A 的大小为 $I \times I$, \mathbf{W}_A 的大小为 $(|\Omega| - I) \times I$

iii. 计算 $\mathbf{H} = [\mathbf{V}_A^T \mathbf{1}_{I \times 1}]^T$ 和 $\mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)}) = [(\Delta_A^{-1} \mathbf{U}_A^T \boldsymbol{\tau}^{(t)})^T \mathbf{1}]^T$

iv. 将大小等于I的向量 $\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})$ 初始化

v. 从以下分解计算 \mathbf{W}_H :

$$\mathbf{H} = \mathbf{U}_H [\Delta_H \mathbf{0}_{I+1 \times (|\Omega| - I - 1)}] [\mathbf{V}_H^T \mathbf{W}_H^T]^T$$

vi. 基于以下计算确定 $\boldsymbol{\varphi}$

$$\mathbf{W}_H^T (\mathbf{W}_H \mathbf{W}_H^T)^{-1} \mathbf{W}_H (\boldsymbol{\varphi} - \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})) + \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})$$

vii. 得到 $P(\mathbf{Z}_k|\boldsymbol{\tau}^{(t)}) = \boldsymbol{\varphi}$

viii. 获得 $\theta^{(t+1)}$ 为:

$$\forall j, \theta_j^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K T_{\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k}$$

并且 $\tau^{(t+1)} = \mathbf{A} \theta^{(t+1)}$ 。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其中, 通过根据从一个迭代到另一迭代交替地考虑的两个条件细化 $\boldsymbol{\varphi}$ 的连续迭代来实现步骤vi):

• $\boldsymbol{\varphi}$ 正交投影在超平面上, 例如:

$$\boldsymbol{\varphi} \leftarrow \mathbf{W}_H^T (\mathbf{W}_H \mathbf{W}_H^T)^{-1} \mathbf{W}_H (\boldsymbol{\varphi} - \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})) + \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})$$

• $\boldsymbol{\varphi}$ 投影在超立方体中, 例如:

$$\boldsymbol{\varphi} \leftarrow \max(\min(\boldsymbol{\varphi}, 1), 0)$$

8. 根据前述权利要求中的任一项所述的方法, 其中, 形成传输频带的所述邻接信道的数量为四个, 所述信道集合的信道的总数为十六个。

9. 根据权利要求8所述的方法, 其中, 各个所述信道在5MHz上延伸, 而各个所述传输频带利用扩频技术实现在20MHz上延伸。

10. 根据前述权利要求中的任一项所述的方法, 其中, 所述射频系统实现ISM型通信, 而所述干扰系统实现Wifi型通信。

11. 根据前述权利要求中的任一项所述的方法, 其中, 所述不交叠条件从所述射频系统

所执行的CSMA/CA多址实现方式推导,所述CSMA/CA多址定义通信时隙,并且在各个时隙 k 收集所述测量 X_k 。

12. 根据前述权利要求中的任一项所述的方法,该方法还包括在所述信道集合当中选择用于通信的至少一个信道,所述选择的信道在所述估计的激活率 τ 最低的传输频带内。

13. 一种包括指令的计算机程序,当这些指令由处理器运行时用于执行根据前述权利要求中的任一项所述的方法。

14. 一种估计使用信道集合(CH i)的射频系统上的干扰的装置,所述干扰是由使用传输频带集合(TB i)的干扰系统的干扰源导致的,各个所述传输频带在所述信道集合的多个邻接信道上延伸,

所述装置包括用于执行根据权利要求1至12中的任一项所述的方法的处理电路。

15. 一种射频通信系统,该射频通信系统包括根据权利要求14所述的装置以用于估计所述射频通信系统要使用的信道上易于发生的干扰。

用于估计干扰的装置和方法以及射频通信系统

技术领域

[0001] 本发明涉及这样的系统,其可使用给定射频信道,例如在ISM公共频带(ISM:“工业、科学和医学无线电频带”)中的跳频,然后可能受来自其它装置(例如,WiFi装置)的干扰影响。

背景技术

[0002] 可能遭受干扰源的这些系统的示例可以是例如自主汽车的计算机通信装置,或者作为另一示例,具有无线电技术通信装置的基于通信的列车控制。

[0003] 在这些自主车辆应用中,干扰问题可导致严重问题。

[0004] 可进一步开发基于认知无线电的干扰避免技术。例如,每当车辆行驶时,可从车辆将关于邻近干扰的测量连同车辆位置一起反馈给服务器。在服务器处,可构建数据库以在统计功能中收集属于位置和频率信道集群的测量(通常针对常见车辆路径)。例如在文献W0-2017/122548和W0-2017/122549中描述了这种实现类型的示例。

[0005] 此知识因此可用于执行无线电系统的无线电资源管理和监测。在车辆无线电监测的上下文中,通常可实现标识方法以判定WiFi装置是否对无线电层面发生的问题负责。然而,该方法的缺点在于,需要许多测量来馈送给数据库。信号分析和识别是充分研究的课题。通常,将专门设计装置以提供最佳检测性能,但在以下本发明的背景中,通信系统可受到其自己的无线电设计约束。

[0006] 对于小于Wifi信号的频带上的功率测量,在WiFi传输频带总数当中的一些先验未知传输频带中没有已知方法来确定一个或多个干扰源的统计占用率。一个难度在于区分干扰源,因为这些干扰源在其它传输频带中也可具有影响并且活跃。

[0007] 图8示出要解决的问题。射频系统提供一组信道(在图8所示的示例中,1至16)。信道的索引标记为Chi。例如,这些信道中的每一个可具有5MHz的带宽。

[0008] 干扰射频系统(例如,Wifi系统)可具有一个或多个干扰源,这些干扰源中的每一个易于在由多个邻接信道构成的传输频带上活跃。在图8的示例中,干扰系统可具有1至13传输频带(在图8中具有标记为“TBi”的索引)。

[0009] 更具体地,在图8的示例中,各个传输频带TBi具有20MHz的带宽,并且:

[0010] TB1在四个邻接信道1至4上延伸,

[0011] TB2在四个邻接信道2至5上延伸,

[0012] TB3在四个邻接信道3至6上延伸,

[0013]

[0014] TB13在四个邻接信道:13、14、15、16上延伸。

[0015] 这里值得注意的是,索引TBi具有与邻接信道中的第一信道Chi相同的值。因此,该索引在以下描述中被简单标记为“i”,并被指派给干扰源索引(1至I,在图8的示例中I=13)。

[0016] 这里还值得注意的是,两个干扰源可例如在三个信道上交叠的两个连续传输频带

上活跃。此外,干扰源可不时地活跃,而非永久地活跃。

[0017] 那么要解决的难度在于区分在给定时间窗口框架内干扰源最终在哪一传输频带上活跃,并且通常给出在该时间窗口内该干扰源在对应传输频带中的激活率。

发明内容

[0018] 本发明旨在改进该情况。

[0019] 为此,本发明提出一种通过计算机手段实现的用于估计使用信道集合的射频系统上的干扰的方法,所述干扰由使用传输频带集合的干扰系统的干扰源导致。更具体地,各个所述传输频带在所述信道集合中的多个邻接信道上延伸。

[0020] 该方法尤其包括:

[0021] 确定所述传输频带集合的占用或不占用的所有可能配置的集合 Ω ,并利用邻接信道形成传输频带 i ,该集合被定义为在时刻 k 满足所述射频系统的不交叠条件的可能向量的集合 $Z_k = [Z_{1,k}, \dots, Z_{i,k}, \dots, Z_{I,k}]$,所述不交叠条件对应于这样的事实:在所述信道集合的各个信道上在相同的时间 k , I 个可能干扰源的集合当中仅一个干扰源 i 可活跃,

[0022] 在各个时刻 $k: 0 < k \leq K$,获得所述信道集合的至少一部分的占用的测量 $X_1, \dots, X_k, \dots, X_K$,其中 K 定义给定观测时间窗口,

[0023] 执行概率计算以对于各个传输频带基于所述测量 $X_1, \dots, X_k, \dots, X_K$ 确定估计的激活率 τ ,所述估计的激活率 τ 对应于干扰源在所述给定观测时间窗口内对传输频带 i 的占用率。

[0024] 在所述通信系统在所述信道上实现跳频的实施方式中,根据跳频实现来执行所述获得测量 $X_1, \dots, X_k, \dots, X_K$ 的步骤。

[0025] 在实施方式中,所述概率计算遵循最大期望方法,其根据两个步骤迭代地近似最大似然解,在每次迭代 t :

[0026] a) 对于固定的估计 $\tau^{(t)}$,定义期望 $Q(\tau | \tau^{(t)})$ 使得

$$[0027] \quad Q(\tau | \tau^{(t)}) = E_{\mathbf{Z} \in \Omega | \mathbf{X}, \tau^{(t)}} [\log P(\mathbf{X}, \mathbf{Z} | \tau)],$$

[0028] b) 找到使 $Q(\tau | \tau^{(t)})$ 最大的估计 $\tau^{(t+1)}$:

$$[0029] \quad \tau^{(t+1)} = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} Q(\tau | \tau^{(t)}),$$

[0030] 并且步骤a)和b)的连续 t 次迭代得到给出各个传输频带的所述估计的激活率 $\tau^{(t+1)}$ 的收敛解。

[0031] 在第一实施方式中,各个传输频带在 J 个信道上延伸,并且所述概率计算包括以下步骤:

[0032] CP1) 计算概率 $\forall k, \forall \mathbf{Z}_k \in \Omega, P(X_k | \mathbf{Z}_k)$,例如

$$[0033] \quad P(X_k | \mathbf{Z}_k) = p_\eta \left(X_k - 1 + \prod_{j=0}^J (1 - Z_{f_{k-j}, k}) \right)$$

[0034] 其中 $p_\eta(\cdot)$ 定义相对于测量向量 X_k 上的估计误差的概率,

[0035] CP2) 然后计算概率 $P(\mathbf{Z}_k | \tau^{(t)}), \forall k, \forall \mathbf{Z}_k \in \Omega$,

[0036] CP3) 利用下式计算值 $\forall k, \forall \mathbf{Z}_k, T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k}$:

$$[0037] \quad T_{\mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k} = \frac{P(X_k | \mathbf{Z}_k) P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})}{\sum_{\mathbf{Z}'_k \in \Omega} P(X_k | \mathbf{Z}'_k) P(\mathbf{Z}'_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})}$$

[0038] CP4) 从先前计算的 $T_{\mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k}$ 迭代地计算 $\tau^{(t+1)}$

[0039] 并且迭代地重复步骤CP2) 至CP4), 直至满足停止条件为止, 每次新迭代, 迭代索引 t 增加。

[0040] 在该第一实施方式中, 做出近似: 系数 $Z_{i,k}$ 根据干扰源索引 i 为独立的, 并且 $P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})$ 的概率计算被简化为 $P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)}) = \prod_i P(Z_{i,k} | \tau_i^{(t)})$

[0041] 其中 $P(Z_{i,k} | \tau_i^{(t)}) = (1 - \tau_i^{(t)})(1 - Z_{i,k}) + \tau_i^{(t)} \cdot Z_{i,k}$

[0042] 并且 $\tau^{(t+1)}$ 的迭代计算CP4) 由下式给出:

$$[0043] \quad \forall i, \tau_i^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{\mathbf{Z}_k \in \Omega | Z_{i,k}=1} T_{\mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k}$$

[0044] 在第二实施方式(更精确但更复杂)中, 步骤CP2) 至CP4) 如下执行:

[0045] i. 如下定义矩阵 \mathbf{A} :

[0046] $\forall \mathbf{Z} \in \Omega, j \in [1, |\Omega|]$ 中的 Z 的索引, 并且 $\forall i, A(i, j) = Z_i$

[0047] 其中 $|\Omega|$ 是 Ω 的基数,

[0048] ii. 分解 $\mathbf{A} = \mathbf{U}_A [\Delta_A \mathbf{0}_{I \times (|\Omega| - I)}] [\mathbf{V}_A^T \mathbf{W}_A^T]^T$

[0049] 其中 \mathbf{V}_A 的大小为 $I \times I$, \mathbf{W}_A 的大小为 $(|\Omega| - I) \times I$

[0050] iii. 计算 $\mathbf{H} = [\mathbf{V}_A^T \mathbf{1}_{I \times 1}]^T$ 和 $\mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)}) = [(\Delta_A^{-1} \mathbf{U}_A^T \boldsymbol{\tau}^{(t)})^T \mathbf{1}]^T$

[0051] iv. 将大小等于 I 的向量 $\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{H}^{\#} \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})$ 初始化

[0052] v. 从以下分解计算 \mathbf{W}_H :

[0053] $\mathbf{H} = \mathbf{U}_H [\Delta_H \mathbf{0}_{I+1 \times (|\Omega| - I - 1)}] [\mathbf{V}_H^T \mathbf{W}_H^T]^T$

[0054] vi. 基于以下计算确定 $\boldsymbol{\varphi}$

[0055] $\mathbf{W}_H^T (\mathbf{W}_H \mathbf{W}_H^T)^{-1} \mathbf{W}_H (\boldsymbol{\varphi} - \mathbf{H}^{\#} \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})) + \mathbf{H}^{\#} \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})$

[0056] vii. 得到 $P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)}) = \boldsymbol{\varphi}$

[0057] viii. 获得 $\theta^{(t+1)}$ 为:

$$[0058] \quad \forall j, \theta_j^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K T_{\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k}$$

[0059] 并且 $\tau^{(t+1)} = \mathbf{A} \theta^{(t+1)}$ 。

[0060] 在该第二实施方式中, 通过根据从一个迭代到另一迭代交替地考虑的两个条件细化 $\boldsymbol{\varphi}$ 的连续迭代来实现步骤vi):

[0061] • $\boldsymbol{\varphi}$ 正交投影在超平面上, 例如:

[0062] $\boldsymbol{\varphi} \leftarrow \mathbf{W}_H^T (\mathbf{W}_H \mathbf{W}_H^T)^{-1} \mathbf{W}_H (\boldsymbol{\varphi} - \mathbf{H}^{\#} \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})) + \mathbf{H}^{\#} \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})$

[0063] • $\boldsymbol{\varphi}$ 投影在超立方体中, 例如:

[0064] $\boldsymbol{\varphi} \leftarrow \max(\min(\boldsymbol{\varphi}, 1), 0)$

[0065] 在以下作为示例详述的可能实施方式中, 形成传输频带的所述邻接信道的数量为四个, 所述信道集合的信道的总数为十六个。

[0066] 在实施方式的该示例中,各个所述信道在5MHz上延伸,而各个所述传输频带利用扩频技术实现在20MHz上延伸。

[0067] 实施方式的该示例可通常对应于这样的实现方式,其中所述射频系统对应于ISM型通信系统,而干扰系统对应于Wifi型通信系统。

[0068] 在另一实施方式的示例中,所述不交叠条件可从所述射频系统所执行的多址实现方式(CSMA/CA或CSMA/CD)推导,所述多址实现方式定义通信时隙,并且在各个时隙 k 收集所述测量 X_k 。

[0069] 该方法还可包括用于所述信道集合当中的至少一个信道的通信的选择步骤,所述选择的信道在所述估计的激活率 τ 最低的传输频带内。

[0070] 本发明还涉及一种包括指令的计算机程序,当这些指令由处理器运行时用于执行上述方法。这种计算机程序的一般算法的示例示出于下面详述的图3至图5。

[0071] 本发明还涉及一种估计使用信道集合的射频系统上的干扰的装置,所述干扰由使用传输频带集合的干扰系统的干扰源导致,各个所述传输频带在所述信道集合的多个邻接信道上延伸。更具体地,该装置包括用于执行上述方法的处理电路,如下述的图7的示例中所示。

[0072] 本发明还涉及一种射频通信系统,其包括用于估计射频通信系统要使用的信道上易于发生的干扰的这种装置。

[0073] 比上述图8进一步,在附图的图中作为示例而非作为限制例示了本发明。

附图说明

[0074] [图1]

[0075] 图1示意性地示出与邻接信道的子集(这里,四个信道)中由于干扰源引起的噪声方案WINT相比,根据本发明的射频通信系统所实现的跳频通信方案DL、UL,该子集随时间(至少在多个连续时隙上)恒定并定义干扰系统的传输频带。

[0076] [图2]

[0077] 图2示出整个信道集合的信道的干扰源的占用或不占用的集合 Ω 的所有可能配置。

[0078] [图3]

[0079] 图3示出根据本发明的方法的主要步骤的示例。

[0080] [图4]

[0081] 图4示出根据本发明的第一实施方式的方法的主要步骤的示例。

[0082] [图5]

[0083] 图5示出根据本发明的第二实施方式的方法的主要步骤的示例。

[0084] [图6A]

[0085] 图6A示出基本上在四个传输频带上活跃的三个干扰源的仿真的示例。

[0086] [图6B]

[0087] 图6B然后示出归功于本发明的实现方式确定这些干扰源的四个最占用的传输频带。

[0088] [图7]

[0089] 图7示意性地示出根据本发明的装置的处理电路的示例。

[0090] [图8]

[0091] 图8示出本发明要解决的问题。

具体实施方式

[0092] 本发明所解决的问题是根据无线电系统所执行的测量对干扰进行分类(是否为Wifi)。在以下公开的示例中,所涉及的射频系统具有以下性质:

[0093] • 在5MHz频带的信道上以4ms左右的速率跳频

[0094] • 1.5ms的分组

[0095] • 在4ms的各个时隙内,CSMA/CA或CSMA/CD多址(两次传输尝试)

[0096] • 在各个时隙收集的测量

[0097] WiFi系统性质为

[0098] • 20MHz传输频带上的扩频技术

[0099] • 通常200 μ s的WiFi PHY层分组(包括确认ACK)

[0100] • 平均100ms左右的传输帧持续时间(传输层处的分组)

[0101] • CSMA/CA多址

[0102] 因此在实现方式的本示例中假设,通过在无线电系统的十六个信道当中5MHz的频带上观测来考虑干扰系统的各个当前传输频带。各个当前传输频带根据WiFi系统性质在20MHz的总频带上延伸(这里对应于无线电系统的四个邻接信道)。当然,16个信道和4个邻接信道的数量是这里给出的示例,可允许变体。另外,传输频带(以下也称为“W信道”)可交叠,因此生成总共13个传输频带。通过从1至16索引5MHz宽的信道,利用索引通过信道的聚合定义传输频带:

[0103] [1 2 3 4],[2 3 4 5],..., [12 13 14 15],[13 14 15 16]。

[0104] 该系统能够检测邻近干扰源并在冲突检测的情况下尝试另一连接。值得补充的是,这些干扰源通常不受通常在发送机处使用定向天线的当前无线电系统影响。干扰源不被认为根据跳频方案而活跃,而是在多个信道的固定子集上活跃,如下述的图1所示。然而,作为CSMA/CA多址方案的结果,干扰源遵守两个干扰源不能同时在同一信道上交叠的不交叠条件。这些观测说明了以下一般措辞:

[0105] -各个干扰源易于在由整个信道集合的多个邻接信道形成的传输频带上活跃,特别是在各个时刻k,并且

[0106] -仅一个干扰源可在相同的时间k在各个传输频带上活跃,

[0107] -例如当两个传输频带(具有20MHz的宽度)在一个或多个信道(一个至三个信道,各个信道具有5MHz的宽度)上交叠时,附加条件是仅一个干扰源可在相同的时间k在各个信道上活跃。

[0108] 以下为了区分干扰系统(例如,WiFi)的传输频带和通信系统(例如ISM)的信道,传输频带以下称为“W信道”,而“信道”仍为通信系统的信道。

[0109] 图1中示出无线电系统分组(上行链路UL和下行链路DL)和WiFi干扰(WINT)的共存的示例,其中示出ISM频带的频率/时间使用。在WiFi干扰区域内,时间占用利用冲突避免机制切分成小PHY WiFi分组。大约一半的跳频用于下行链路,另一半用于上行链路。因此,通

过配置给定观测时间窗口,各个信道上的干扰测量数量可能不同。一些信道甚至可能在该时间窗口内没有任何测量机会。

[0110] 以下,使用以下记号:

[0111] • k 是时刻,即,当前无线电系统的跳跃。更精确地,考虑 K 个时刻的时间窗口。

[0112] • X_k 是在时刻 $k:0 < k \leq K$,在实施方式的本示例中的一个信道上的干扰观测。各个 X_k 可对应于在各个信道上探测的功率测量或信噪比,或者根据给定方案的仿真。

[0113] • f_k 是在时刻 k 探测的频率信道的索引。

[0114] • $Z_{i,k}$ 是说明干扰是否在时刻 k 在第 i W信道(I 当中)上活跃的随机变量。

[0115] 作为CSMA/CA多址方案的结果,两个干扰源不能同时交叠,这可数学上写为:

$$[0116] \quad Z_{i,k} = 1 \Rightarrow \forall j \neq i / i - 3 \leq j \leq i + 3, Z_{j,k} = 0 \quad (1)$$

[0117] 随机变量在时间上独立,即,

$$[0118] \quad \forall i, \forall (k, k'), k \neq k', E[Z_{i,k} Z_{i,k'}] = 0 \quad (2)$$

[0119] 其中 $E[\]$ 表示数学期望。当必须对值的有限集合执行该期望时,期望由算术均值代替并近似。

[0120] 首先考虑集合 Ω ,其被定义为在时刻 k 满足不交叠条件的可能向量的集合 $Z_k = [Z_{1,k} \dots Z_{I,k}]$ 。

[0121] 图2通过点D1(浅灰色)示出在80MHz的ISM频带中在5MHz的16个信道上的集合 Ω 。一个点D1然后示出 W 信道的起始索引 i ,并且三个点D2(可能的话,点D1上面和下面的黑色点)示出对于由四个信道 $i, i+1, i+2, i+3$ 组成的关联 W 信道也分配给具有20MHz宽频带的WiFi干扰源的信道索引 $i+1, i+2$ 和 $i+3$ 。

[0122] 例如,当取得在 X 轴(表示集合 Ω 中的向量 Z 的一个可能配置的一个横坐标)的前三分之一处具有D1点的信道索引9时, W 信道9由信道9、10、11、12组成。D1点指示信道9是用于标识该20MHz宽 W 信道的索引。可观测到,由于两个 W 信道不能同时交叠,所以仅以索引13、5、4、3、2、1开始的 W 信道可与以索引9开始的 W 信道同时共存。根据与集合 Ω 的另一可能对应的图2的另一示例, W 信道以索引1、5、9、13开始并且四个干扰源全部同时活跃的配置是可能的并且作为最后配置示出在图2的右端。

[0123] 可观测到,具有至少一个干扰源并满足干扰源之间的CSMA/CA不交叠性质的95个分配是可能的(沿着 X 轴的95个横坐标)。

[0124] 下面也使用的一个记号是:

[0125] • τ_i ,是第 i 干扰源的激活率,即, $\tau_i = E_k[Z_{i,k}]$

[0126] 其中 $E_k[\]$ 表示不同时刻上的数学期望。当该期望必须对值的有限集合执行时,即,当考虑有限时间窗口时,期望由算术均值代替并近似。

[0127] 要解决的问题是从观测向量 $X = [X_1, \dots, X_K]$ 计算集合 τ 。

$$[0128] \quad \text{最大后验: } \hat{\tau} = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} P(\tau|X) \quad (3)$$

$$[0129] \quad \text{可考虑所有变量}\tau\text{先验等概率被转换为最大似然问题: } \hat{\tau} = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} P(X|\tau) \quad (4)$$

[0130] 这涉及在接收任何观测之前,没有信息说明第 i W信道的激活率 τ_i 之一高于其它。

[0131] 此外,潜在变量 Z 也先验等概率,使得:

$$[0132] \quad \hat{\tau} = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} \sum_{Z \in \Omega} P(X, Z|\tau) \quad (5)$$

[0133] 其给出要解决的新优化问题。

[0134] 由于可能向量的集合 $Z(\in \Omega)$ 的高维度和 τ ,问题(5)难以解决。因此,相反使用迭代地近似最大似然解的最大期望方法,如下面提出的。

[0135] 该方法包括两个步骤,在每次迭代 t :

[0136] a) 对于固定的估计 $\tau^{(t)}$,定义期望 $Q(\tau | \tau^{(t)})$,使得

$$[0137] \quad Q(\tau | \tau^{(t)}) = E_{\mathbf{Z} \in \Omega | \mathbf{X}, \tau^{(t)}} [\log P(\mathbf{X}, \mathbf{Z} | \tau)] \quad (6)$$

[0138] b) 找到使 $Q(\tau | \tau^{(t)})$ 最大的估计 $\tau^{(t+1)}$:

$$[0139] \quad \tau^{(t+1)} = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} Q(\tau | \tau^{(t)}) \quad (7)$$

[0140] 本发明然后提出了通过实现上面提出的问题所特定的计算应用该迭代方法。

[0141] 参照图3,这些计算的可能实现方式可总结如下:

[0142] -在步骤S1中,确定可能配置的集合 Ω ,

[0143] -在步骤S2中,以零值和 $t=1$ 的 t 初始化 $\tau^{(1)}$;其中 t 表示迭代处理中的迭代索引。

[0144] -在步骤S3中,收集测量 X_1, \dots, X_K ,

[0145] -在步骤S4中,计算概率 $\forall k, \forall \mathbf{Z}_k \in \Omega, P(X_k | \mathbf{Z}_k)$,例如

$$[0146] \quad P(X_k | \mathbf{Z}_k) = p_\eta \left(X_k - 1 + \prod_{j=0}^3 (1 - Z_{f_{k-j,k}}) \right)$$

[0147] 其中 $p_\eta(\cdot)$ 定义相对于观测 X_k 上的估计误差的概率。

[0148] -在步骤S5中,计算概率 $\forall k, \forall \mathbf{Z}_k \in \Omega, P(\mathbf{Z}_k | \tau^{(t)})$,两个可能实施方式如下所述;

[0149] -在步骤S6中,计算值 $T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k}$,

$$[0150] \quad \forall k, \forall \mathbf{Z}_k, T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k} = \frac{P(X_k | \mathbf{Z}_k) P(\mathbf{Z}_k | \tau^{(t)})}{\sum_{\mathbf{Z}'_k \in \Omega} P(X_k | \mathbf{Z}'_k) P(\mathbf{Z}'_k | \tau^{(t)})} \quad (10)$$

[0151] -在步骤S7中,从先前计算的 $T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k}$ 计算 $\tau^{(t+1)}$

[0152] 步骤S5、S6和S7涉及给定迭代索引 t 并且迭代地重复直至满足停止条件(例如,最大迭代次数)。在每次新迭代结束时,迭代索引 t 增加。

[0153] 可实现两个可能实施方式以用于执行计算概率。

[0154] 在第一实施方式中,步骤S5中的概率的计算可简单地如下实现:

$$[0155] \quad P(\mathbf{Z}_k | \tau^{(t)}) = \prod_i P(Z_{i,k} | \tau_i^{(t)}) \quad (8)$$

[0156] 其中

$$[0157] \quad P(Z_{i,k} | \tau_i^{(t)}) = (1 - \tau_i^{(t)})(1 - Z_{i,k}) + \tau_i^{(t)} \cdot Z_{i,k} \quad (9)$$

[0158] 并且在步骤S7中, t 的增量可使得:

$$[0159] \quad \forall i, \tau_i^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{\mathbf{Z}_k \in \Omega | Z_{i,k}=1} T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k}$$

[0160] 其中值 $T_{\mathbf{Z}_k, \tau^{(t)}, X_k}$ 从步骤S6获得。

[0161] 在第二实施方式中并非基于矩阵计算,应用以下迭代过程,如下面参照图5详述的:

[0162] i. 如下定义矩阵A:

[0163] $\forall \mathbf{Z} \in \Omega, j \in [1, |\Omega|]$ Ω 中的Z的索引, 并且 $\forall i, A(i, j) = Z_i$, 并且 $|\Omega|$ 是 Ω 的基数。

[0164] (该矩阵A视觉上对应于图2)

[0165] ii. 分解: (利用“SVD算法获得”)

$$[0166] \mathbf{A} = \mathbf{U}_A [\Delta_A \mathbf{0}_{I \times (|\Omega| - I)}] [\mathbf{V}_A^T \mathbf{W}_A^T]^T$$

[0167] 其中 \mathbf{V}_A 的大小为 $I \times I$, \mathbf{W}_A 的大小为 $(|\Omega| - I) \times I$ 。

[0168] iii. 计算 $\mathbf{H} = [\mathbf{V}_A^T \mathbf{1}_{I \times 1}]^T$ 和 $\mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)}) = [(\Delta_A^{-1} \mathbf{U}_A^T \boldsymbol{\tau}^{(t)})^T \mathbf{1}]^T$

[0169] iv. 将大小等于I的向量 $\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})$ 初始化。

[0170] v. 从利用SVD算法获得的分解计算 \mathbf{W}_H

$$[0171] \mathbf{H} = \mathbf{U}_H [\Delta_H \mathbf{0}_{I+1 \times (|\Omega| - I - 1)}] [\mathbf{V}_H^T \mathbf{W}_H^T]^T$$

[0172] vi. 然后, 重复以下两个步骤直至达到最大迭代次数或者直至没有获得 $\boldsymbol{\varphi}$ 的修改

$$[0173] \text{A. } \boldsymbol{\varphi} \leftarrow \mathbf{W}_H^T (\mathbf{W}_H \mathbf{W}_H^T)^{-1} \mathbf{W}_H (\boldsymbol{\varphi} - \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})) + \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})$$

$$[0174] \text{B. } \boldsymbol{\varphi} \leftarrow \max(\min(\boldsymbol{\varphi}, 1), 0)$$

[0175] vii. 得到 $P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)}) = \boldsymbol{\varphi}$

[0176] viii. 为了执行步骤S7, 获得 $\theta^{(t+1)}$ 为

$$[0177] \forall j, \theta_j^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K T_{\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k}$$

[0178] 并且 $\boldsymbol{\tau}^{(t+1)} = \mathbf{A} \theta^{(t+1)}$ 。

[0179] 现在在下面给出上述实施方式的详细描述。

[0180] 从相对于上述主要步骤a) 和b) 呈现的最大期望过程开始, 下面提出根据本发明所解决的特定问题的各个项的发展。

[0181] 所提出的算法涉及变量 $\boldsymbol{\tau}$ 的迭代估计。在当前迭代 t 中, 变量 $\boldsymbol{\tau}$ 由 $\boldsymbol{\tau}^{(t)}$ 估计, 并且被细化为所述迭代的输出 $\boldsymbol{\tau}^{(t+1)}$ 。在下文中, $\boldsymbol{\tau}$ 表示数学变量并且在下文中用于推导可用于计算 $\boldsymbol{\tau}^{(t+1)}$ 的表达式。例如, 将表达 $P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau})$ 的一般表达式, 并且可通过在 $P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau})$ 表达式中由 $\boldsymbol{\tau}^{(t)}$ 替换 $\boldsymbol{\tau}$ 来获得 $P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})$ 的计算。随机变量 X_k 以及随机变量 $\mathbf{Z}_k \in \Omega$ 在时间上相互独立。因此, 可首先将上述一般步骤a) 的方程 (6) 分解为:

$$[0182] Q(\boldsymbol{\tau} | \boldsymbol{\tau}^{(t)}) = \sum_k E_{\mathbf{Z}_k \in \Omega | X_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}} [\log P(X_k, \mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau})] \quad (11)$$

$$[0183] = \sum_k \sum_{\mathbf{Z}_k \in \Omega} P(\mathbf{Z}_k | X_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}) \log P(X_k, \mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}) \quad (12)$$

[0184] 此外, 可使用贝叶斯定理和全概率公式如下计算 $P(\mathbf{Z}_k | X_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)})$:

$$T_{\mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k} = P(\mathbf{Z}_k | X_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}) \quad (13)$$

$$[0185] = \frac{P(X_k | \mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}) P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})}{P(X_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})} \quad (14)$$

$$= \frac{P(X_k | \mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}) P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})}{\sum_{\mathbf{Z}'_k \in \Omega} P(X_k | \mathbf{Z}'_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}) P(\mathbf{Z}'_k | \boldsymbol{\tau}^{(t)})} \quad (15)$$

[0186] 使用条件概率, 可进一步说明

$$[0187] P(X_k, \mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}) = P(X_k | \mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}) P(\mathbf{Z}_k | \boldsymbol{\tau}) \quad (16)$$

[0188] 因此可如下说明优化问题:

[0189] 在所考虑的系统, 当 $\mathbf{Z}_k \in \Omega$ 固定时, X_k 不依赖于, 这导致

[0190] $P(X_k|Z_k, \tau) = P(X_k|Z_k)$ (17)

[0191] 更精确地,由于 X_k 仅潜在地受干扰源索引 $[f_{k-3}, f_k]$ 影响并且其在时间 k 不同时激活,所以 $P(X_k|Z_k, \tau)$ 可由下式确定:

[0192] $P(X_k|Z_k, \tau) = P(X_k|Z_k) = P(X_k|Z_{f_{k-3},k}, \dots, Z_{f_k,k})$ (21)

[0193] 以下, $p_\eta(\cdot)$ 是模型 $X_k = Y_k + \eta_k$ 的测量噪声概率密度函数的记号,其中:

[0194] $-Y_k = 0 \Leftrightarrow \forall 0 \leq j \leq 3, Z_{f_{k-j},k} = 0$, 并且

[0195] -否则, $Y_k = 1$ 。

[0196] 然后:

[0197] $Y_k = 1 - \prod_{j=0}^3 (1 - Z_{f_{k-j},k})$ (22)

[0198] 在这种情况下:

[0199] $P(X_k|Z_k) = p_\eta\left(X_k - 1 + \prod_{j=0}^3 (1 - Z_{f_{k-j},k})\right)$ (23)

[0200] 例如,在大多数情况下,功率观测样本受卡方(chi-square)噪声影响,其涉及 $p_\eta(\cdot)$ 被定义为概率密度函数,并且根据固有热噪声和用于计算功率观测的信号样本的数量来参数化。另一选项是认为噪声影响是可忽略的,在这种情况下当且仅当 $x=0$ 时 $p_\eta(x) = 1$,否则具有零值。此外,使用方程(12)、(15)、(16)、(23),可得出:

[0201] $Q(\tau|\tau^{(t)}) = \sum_k \sum_{Z_k \in \Omega} T_{Z_k, \tau^{(t)}, X_k} (\log P(X_k|Z_k) + \log P(Z_k|\tau))$ (18)

[0202] 因此,优化方程(7)变为

[0203] $\tau^{(t+1)} = \operatorname{argmax}_\tau \left(\sum_k \sum_{Z_k \in \Omega} T_{Z_k, \tau^{(t)}, X_k} \log P(Z_k|\tau) \right)$ (19)

[0204] 最后,如上面参照图4呈现的,过程的主要步骤为:

[0205] -计算概率 $\forall k, \forall Z_k \in \Omega, P(X_k|Z_k)$ (步骤S4)

[0206] -计算概率 $\forall k, \forall Z_k \in \Omega, P(Z_k|\tau^{(t)})$ (步骤S5)

[0207] -计算值 $T_{Z_k, \tau^{(t)}, X_k}, \forall k$

[0208] $T_{Z_k, \tau^{(t)}, X_k} = \frac{P(X_k|Z_k)P(Z_k|\tau^{(t)})}{\sum_{Z'_k \in \Omega} P(X_k|Z'_k)P(Z'_k|\tau^{(t)})}$ (步骤S6) (20)

[0209] -从方程(19)的解计算 $\tau^{(t+1)}$ (步骤S7)。

[0210] 迭代地重复步骤S5、S6、S7直至收敛。这里进一步示出可有利地达到收敛。在下文中详述 $P(X_k|Z_k)$ 和 $P(Z_k|\tau)$ 的计算。通过在 $P(Z_k|\tau)$ 表达式中将 τ 替换为 $\tau^{(t)}$ 来获得 $T_{Z_k, \tau^{(t)}, X_k}$ 所需的 $P(Z_k|\tau^{(t)})$ 的计算。最后,可根据 $P(Z_k|\tau)$ 的定义以闭合形式获得 $\tau^{(t+1)}$ 的优化,如下所示。

[0211] 下述图4详述了上面简要呈现的第一实施方式。根据该第一实施方式的方法开始于第一步骤S10,其中进行近似以定义 $P(Z_k|\tau)$ 的表达式,这是作为 τ 的函数求解优化问题(19)以及计算 $T_{Z_k, \tau^{(t)}, X_k}$ 所需的值 $P(Z_k|\tau^{(t)})$ 均需要的。

[0212] 更精确地, $Z_{i,k}$ 随机变量不是独立的,因为它们通过CSMA/CA竞争协议联系起来:它们根据 k 相互独立,但不独立于干扰源索引 i 。然而,这里近似它们根据 i 独立,那么系数 $Z_{i,k}$ 仅依赖于 τ_i 。在例如乡村中的火车路径预期存在很少干扰源的情况下该近似完全合理。在例如城市路径预期多个干扰源的情况下,第二实施方式可能是优选的。

[0213] 因此,在第一实施方式中,在步骤S11中,可给出概率计算 $P(Z_k|\tau)$ 为:

[0214] $P(Z_k|\tau) = \prod_i P(Z_{i,k}|\tau_i)$ (24)

[0215] 其中根据定义,具有干扰($Z_{i,k}=1$)的概率的激活率为 τ_i ,使得:

[0216] $P(Z_{i,k}|\tau_i) = (1-\tau_i)(1-Z_{i,k}) + \tau_i \cdot Z_{i,k}$ (25)

[0217] 然后,在步骤S12中,在方程(20)中使用以下表达式来计算 $T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k}$ 的表达式

[0218] $P(Z_{i,k}|\tau_i^{(t)}) = (1-\tau_i^{(t)})(1-Z_{i,k}) + \tau_i^{(t)} \cdot Z_{i,k}$ (26)

[0219] 最后,在步骤S13中,可计算 $\tau^{(t+1)}$ 的表达式,直至在 t 内达到收敛条件。

[0220] 更精确地,根据该近似,最大问题(19)为凹形。要根据 τ_i 优化的函数的导数零使得能够得到提供 $\tau_i^{(t+1)}$ 的关系

[0221] $\sum_k \sum_{Z_k \in \Omega} T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k} \frac{2Z_{i,k}-1}{(1-\tau_i^{(t+1)})(1-Z_{i,k}) + \tau_i^{(t+1)} \cdot Z_{i,k}} = 0$ (27)

[0222] 由于 $Z_{i,k} \in \{0,1\}$,所以该方程可被简化为

[0223] $\sum_k \sum_{Z_k \in \Omega | Z_{i,k}=0} T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k} \frac{1}{(1-\tau_i^{(t+1)})} = \sum_k \sum_{Z_k \in \Omega | Z_{i,k}=1} T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k} \frac{1}{\tau_i^{(t+1)}}$ (28)

[0224] 其给出

[0225] $\tau_i^{(t+1)} = \frac{\sum_k \sum_{Z_k \in \Omega | Z_{i,k}=1} T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k}}{\sum_k \sum_{Z_k \in \Omega} T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k}}$ (29)

[0226] 作为说明,在这种情况下:

[0227] $\sum_{Z_k \in \Omega} T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k} = 1$ (30)

[0228] 这导致

[0229] $\tau_i^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{Z_k \in \Omega | Z_{i,k}=1} T_{Z_k,\tau^{(t)},X_k}$ (31)

[0230] 假如步骤S10中进行的近似可为合理的,则根据此第一实施方式的计算比第二实施方式更简单并且需要更少计算资源。

[0231] 现在在下面参照图5详述第二实施方式。这里,对于 $P(Z_k|\tau)$ 的计算,干扰源相互独立的近似并不有效。以下方法反而基于矩阵计算,并且可比第一实施方式更复杂。然而,已表明可进行简化计算的一些观测。实际上在计算步骤S21中,可观测到概率 $p(Z_k)$ 通过以下表达式与 τ 联系起来。

[0232] $\tau_i = E[Z_{i,k}] = \sum_{Z_k \in \Omega} Z_{i,k} p(Z_k)$ (32)

[0233] 此性质然后可用于评估 $P(Z_k|\tau)$,如下面详述的。

[0234] 以下注意项 $\varphi_j = p(Z_k = \mathbf{A}_j|\tau)$,概率向量 $\boldsymbol{\varphi}$ 和 τ 如下通过具有维度 $I \times |\Omega|$ 并在步骤S22中定义的矩阵 \mathbf{A} 联系起来:

[0235] $\forall \mathbf{Z} \in \Omega, j \in [1, |\Omega|]$ 是 Ω 中的 Z 的索引,并且 $\forall i, A(i, j) = Z_i$ (33)

[0236] \mathbf{A}_j 表示 \mathbf{A} 的第 j 列,其等于 Ω 的第 j 元素。

[0237] 因此, $\boldsymbol{\varphi}$ 是表征 $P(Z_k|\tau)$ 的大小 $|\Omega|$ 的向量。此外, $\boldsymbol{\varphi}$ 必须是概率向量。因此,解集合可写为

[0238]
$$\begin{cases} \boldsymbol{\tau} = \mathbf{A}\boldsymbol{\varphi} \\ \sum_{j=1}^{|\Omega|} \varphi_j = 1 \\ \forall j, 0 \leq \varphi_j \leq 1 \end{cases} \quad (34)$$

[0239] 该系统 (34) 为欠定的 (under-determined)。以下提出两个算法来寻找满足约束的合适解。

[0240] 首先,在步骤S23中,矩阵A如下分解:

$$[0241] \quad \mathbf{A} = \mathbf{U}_A [\Delta_A \mathbf{0}_{I \times |\Omega| - I}] [\mathbf{V}_A^T \mathbf{W}_A^T]^T \quad (35)$$

[0242] 其中 \mathbf{V}_A 的大小为 $I \times I$, \mathbf{W}_A 的大小为 $(|\Omega| - I) \times I$ 。

[0243] 因此,满足 $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{A}\boldsymbol{\varphi}$ 的解集合 $\boldsymbol{\varphi}$ 可写为

$$[0244] \quad \boldsymbol{\varphi} = \mathbf{A}^\# \boldsymbol{\tau} + \mathbf{W}_A^T \mathbf{x} \quad (36)$$

[0245] 其中 $\mathbf{A}^\#$ 是A的Moore-Penrose伪逆矩阵,并且 \mathbf{x} 是大小 $|\Omega| - I$ 的任何向量。因此,解 $\boldsymbol{\varphi}$ 属于具有以下方程的超平面

$$[0246] \quad \mathbf{V}_A \boldsymbol{\varphi} = \mathbf{V}_A \mathbf{A}^\# \boldsymbol{\tau} = \Delta_A^{-1} \mathbf{U}_A^T \boldsymbol{\tau} \quad (37)$$

[0247] 约束 $\sum_j \varphi_j = 1$ 也将 $\boldsymbol{\varphi}$ 置于超平面上。因此,两个超平面的交点可写为

$$[0248] \quad \mathbf{H}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}) \quad (38)$$

[0249] 其中 $\mathbf{H} = [\mathbf{V}_A^T \mathbf{1}_{I \times 1}]^T$ 并且 $\mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}) = [(\Delta_A^{-1} \mathbf{U}_A^T \boldsymbol{\tau})^T \mathbf{1}]^T$ 。

[0250] 然后,矩阵H也可被分解为:

$$[0251] \quad \mathbf{H} = \mathbf{U}_H [\Delta_H \mathbf{0}_{I+1 \times |\Omega| - I - 1}] [\mathbf{V}_H^T \mathbf{W}_H^T]^T \quad (39)$$

[0252] 在步骤S24中,点 \mathbf{y} 在 $\mathbf{H}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})$ 所定义的超平面上的正交投影由下式给出

$$[0253] \quad \boldsymbol{\varphi} = \mathbf{W}_H^T (\mathbf{W}_H \mathbf{W}_H^T)^{-1} \mathbf{W}_H (\mathbf{y} - \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})) + \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}) \quad (40)$$

[0254] 此外,在步骤S25中,向量 $\boldsymbol{\varphi}$ 还必须满足约束 $\forall j, 0 \leq \varphi_j \leq 1$ 。任何向量 \mathbf{y} 可通过应用每维度 $\max(\dots)$ 和 $\min(\dots)$ 函数作为 $\max(\min(\boldsymbol{\varphi}, 1), 0)$ 被投影在约束所定义的超立方体中。

[0255] 由于难以同时满足约束,所以提出在两个操作之间根据步骤S24和S25交替计算以便细化 $\boldsymbol{\varphi}$,即:

[0256] • 根据步骤S24将 $\boldsymbol{\varphi}$ 正交投影在超平面上:

$$[0257] \quad \boldsymbol{\varphi} \leftarrow \mathbf{W}_H^T (\mathbf{W}_H \mathbf{W}_H^T)^{-1} \mathbf{W}_H (\boldsymbol{\varphi} - \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})) + \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}) \quad (41)$$

[0258] • 根据步骤S25将 $\boldsymbol{\varphi}$ 投影在超立方体中:

$$[0259] \quad \boldsymbol{\varphi} \leftarrow \max(\min(\boldsymbol{\varphi}, 1), 0) \quad (42)$$

[0260] 在步骤S26中,从 $\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{H}^\# \mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})$ 所给出的 $\boldsymbol{\varphi}$ 的初始化开始,两个操作被迭代多次。更精确地,可测试多个可能配置,直至满足两个条件(投影在超平面41上,和投影在超立方体42中)。已表明该系统实际收敛于一个解。重复步骤S24和S25直至满足收敛条件,该收敛条件例如由最大迭代次数或者检测到在最后两次迭代中值 $\boldsymbol{\varphi}$ 未改变给出。

[0261] 上述操作用于使用 $\mathbf{h}(\boldsymbol{\tau}^{(t)})$ 而非 $\mathbf{h}(\boldsymbol{\tau})$ 来计算 $\boldsymbol{\varphi}$ 。然后,在步骤S27中,可直接提取 $P(\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j | \boldsymbol{\tau}^{(t)}) = \varphi_j$ 并相应计算 $T_{\mathbf{Z}_k, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k}$ 值。

[0262] 通过首先引入A,使得:

$$[0263] \quad \boldsymbol{\tau}^{(t+1)} = \operatorname{argmax}_{\boldsymbol{\tau}} \left(\sum_k \sum_{j=1}^{|\Omega|} T_{\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k} \log P(\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j | \boldsymbol{\tau}) \right) \quad (43)$$

[0264] 然后由 $\boldsymbol{\theta}^{(t+1)}$ 替换变量 $\boldsymbol{\tau}^{(t+1)}$,并用 φ_j 替换 $P(\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j | \boldsymbol{\tau})$,以使得最后:

$$\boldsymbol{\theta}^{(t+1)} = \operatorname{argmax}_{\boldsymbol{\varphi}} \left(\sum_k \sum_{j=1}^{|\Omega|} T_{\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j, \boldsymbol{\tau}^{(t)}, X_k} \log \varphi_j \right) \quad (44)$$

[0265] 使得 $\sum_{j=1}^{|\Omega|} \varphi_j = 1$ 和 $\forall j, 0 \leq \varphi_j \leq 1$

[0266] 可从优化问题 (19) 获得 $\tau^{(t+1)}$ 的表达式。

[0267] 然后, 使用 $\sum_{j=1}^{|\Omega|} T_{\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j, \tau^{(t)}, X_k} = 1$, 这被求解为

$$[0268] \quad \forall j, \theta_j^{(t+1)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K T_{\mathbf{Z}_k = \mathbf{A}_j, \tau^{(t)}, X_k} \quad (45)$$

[0269] 最后, 在步骤S28中计算 $\tau^{(t+1)} = \mathbf{A} \theta^{(t+1)}$ 。

[0270] 图6A和图6B分别示出W信道3、11、12和13上的四个Wifi干扰源的仿真, 以及当这里为了区分特别是W信道11至13中的四个干扰源实现第二实施方式时所检测的Wifi干扰源的信道占用。W信道3、11、12和13被很好地检测为高度激活。然而, 其它W信道1、2、4、5、6、7、8、9、10不受干扰。例如, 通信系统然后可使用W信道6 (20MHz宽度) 的信道6、7、8、9 (5MHz宽度) 中的任一个。因此, 立即应用该结果将是优选使用例如信道6在ISM频带上通信。

[0271] 当然, 图3、图4和图5的流程图所表示的所有算法实际由计算机执行, 该计算机运行具有与图3至图5中表示的那些算法之一对应的算法的适当计算机程序。如图7所示, 这种计算机包括:

[0272] -输入接口INP, 接收测量 X_k ,

[0273] -存储器MEM, 用于至少存储上述计算机程序的指令,

[0274] -处理器PROC, 用于读取指令, 然后运行对应程序, 以及

[0275] -输出接口OUT, 用于传送信号SIG, 该信号SIG至少包括与干扰源对传输频带的激活率有关的数据, 以及可能推荐的信道标识符以避免这些干扰源。

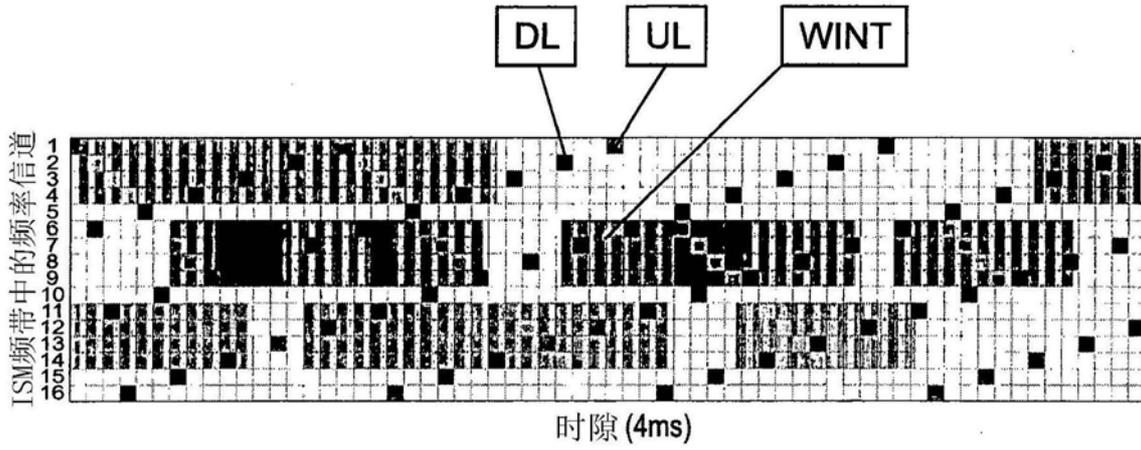


图1

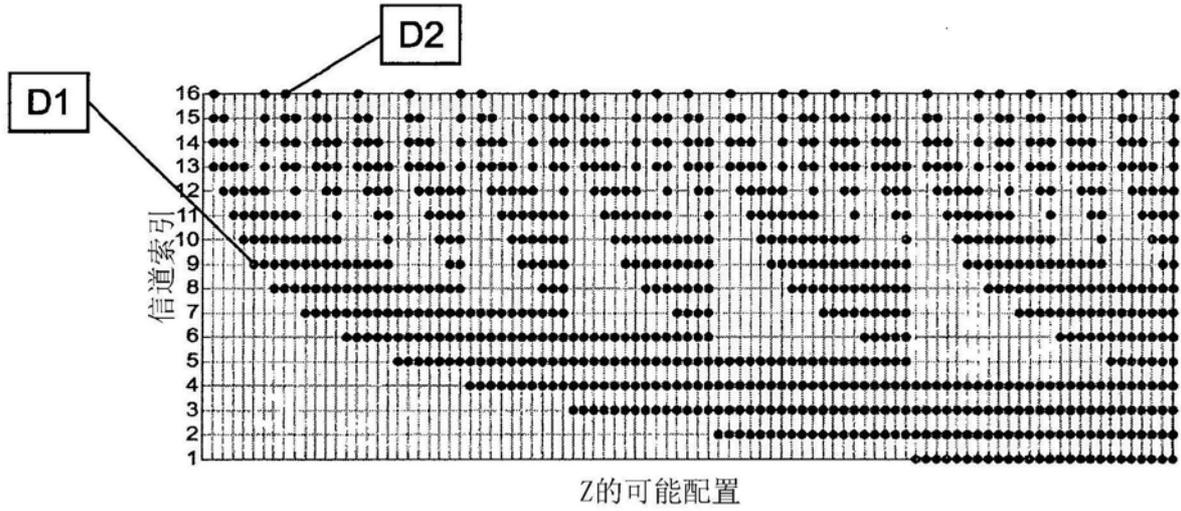


图2

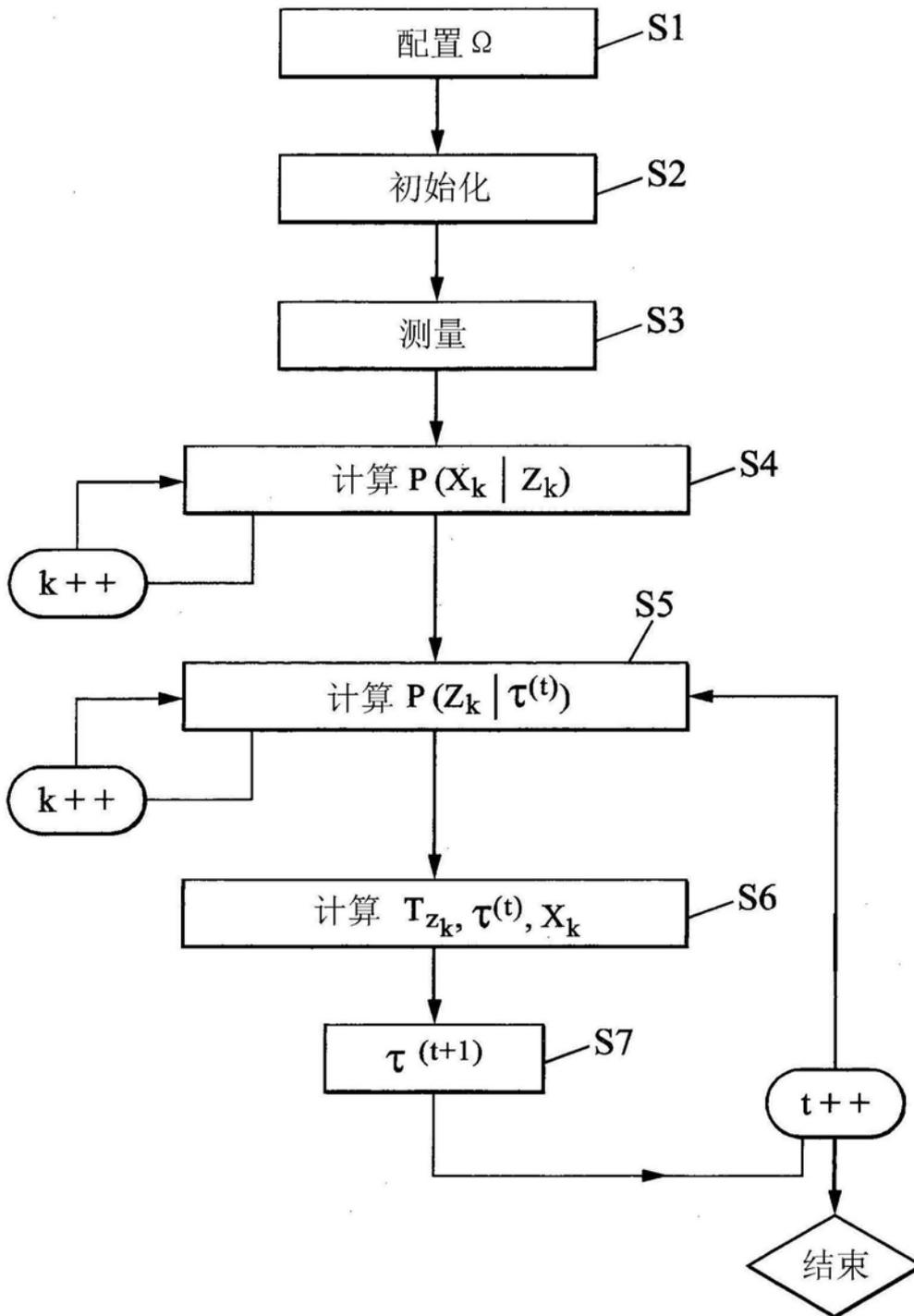


图3

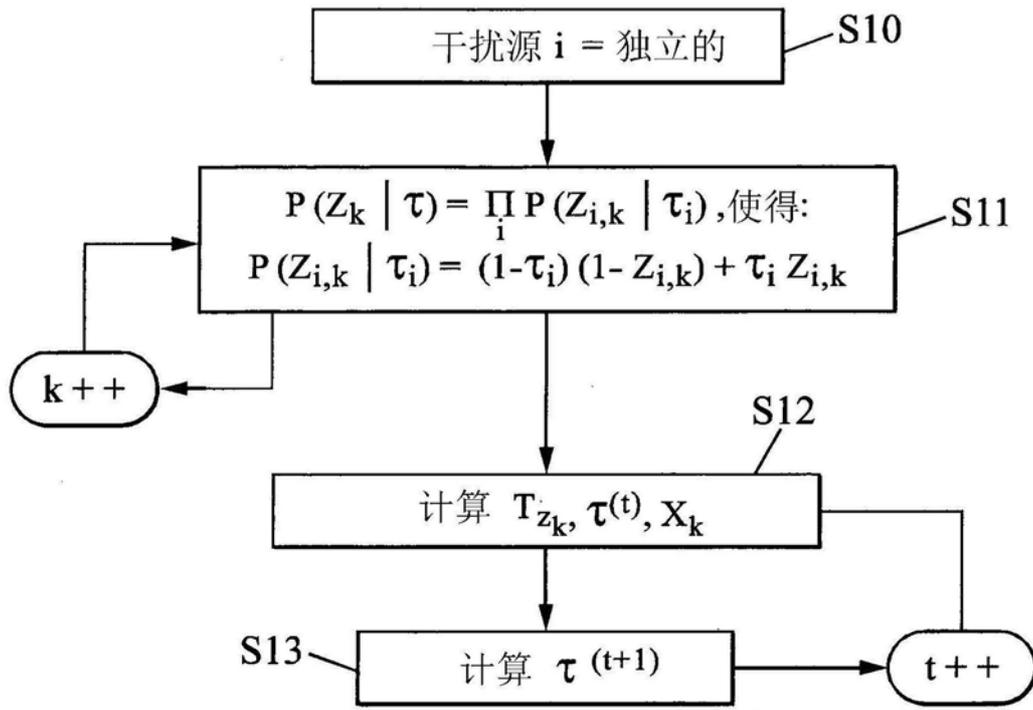


图4

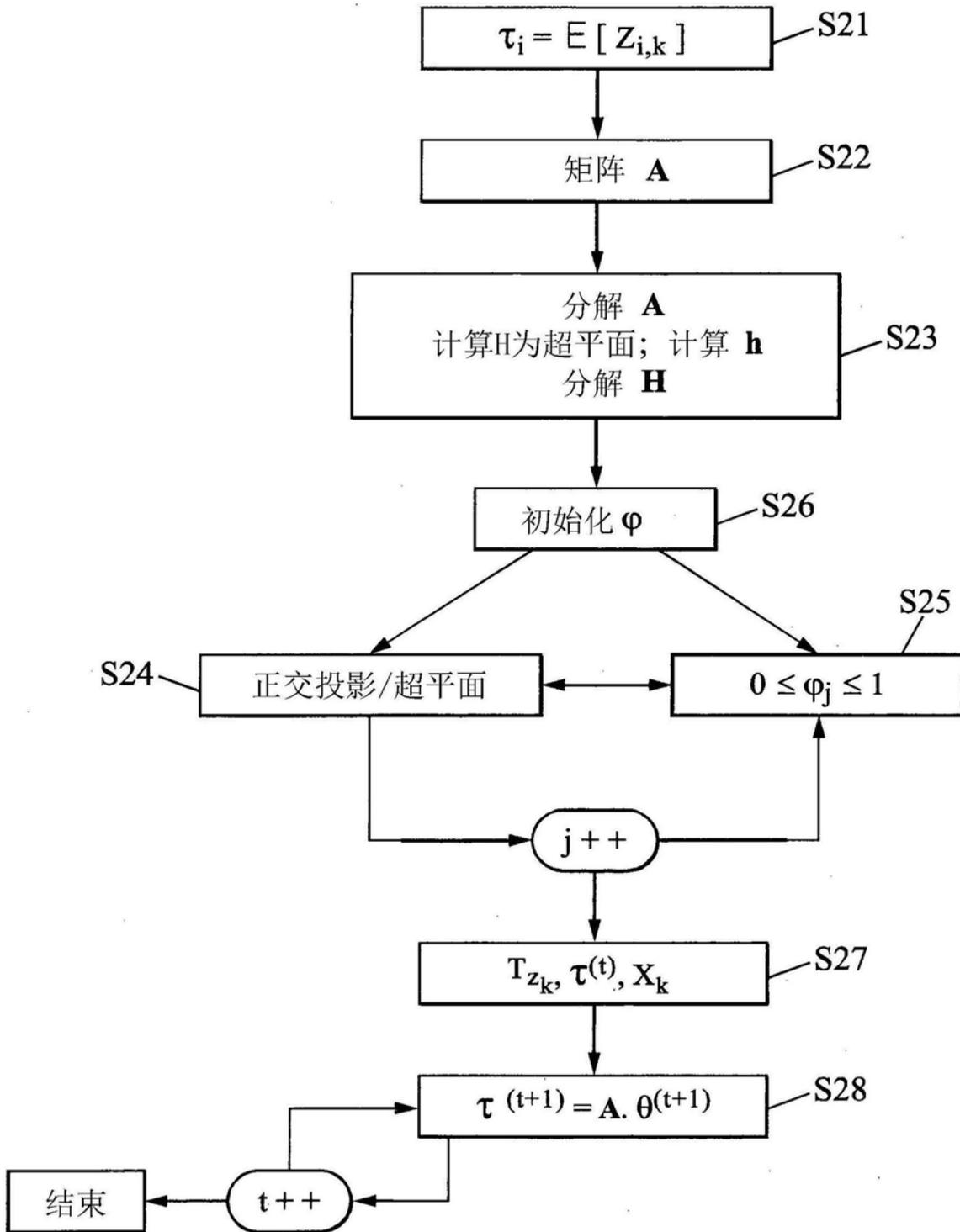


图5

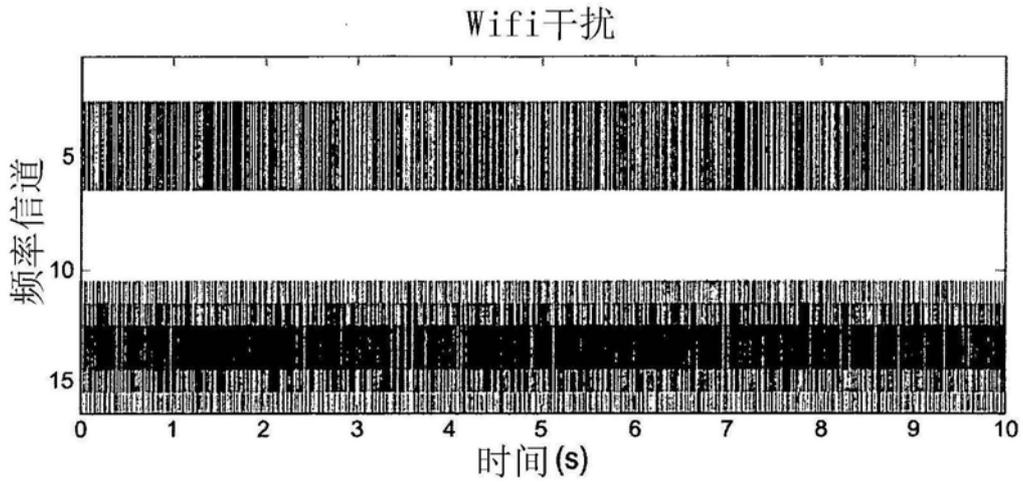


图6A

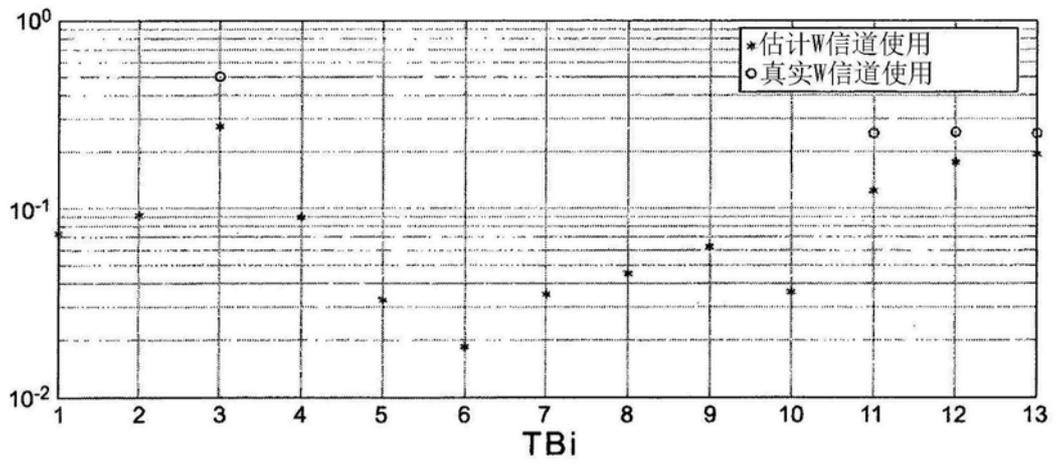


图6B

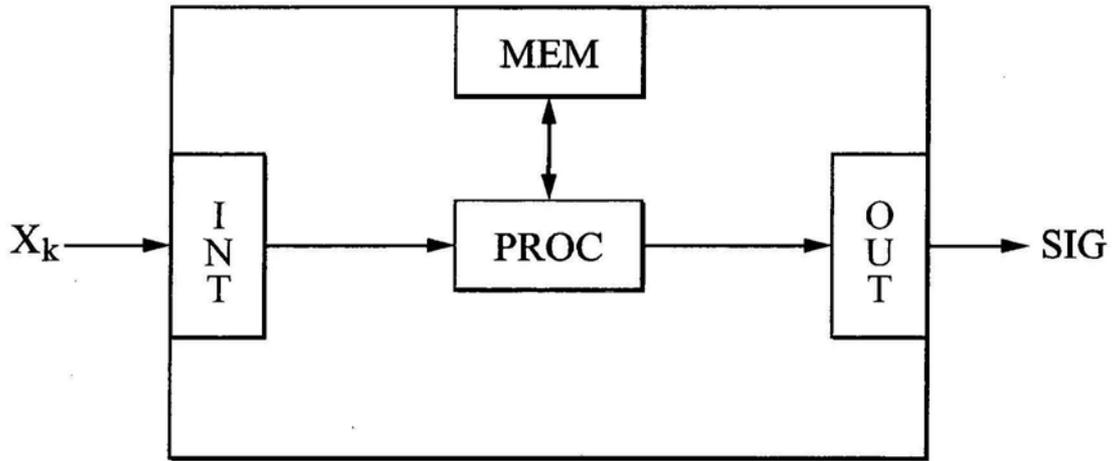


图7

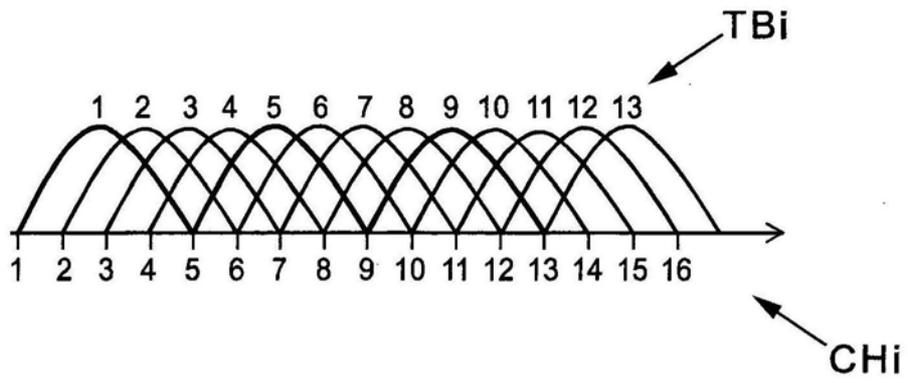


图8