



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112260777 B

(45) 授权公告日 2021. 11. 05

(21) 申请号 202011010992.8

H04B 17/382 (2015.01)

(22) 申请日 2020.09.23

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 102006609 A, 2011.04.06

申请公布号 CN 112260777 A

CN 105915302 A, 2016.08.31

(43) 申请公布日 2021.01.22

CN 103795479 A, 2014.05.14

(73) 专利权人 北京科技大学

CN 108400826 A, 2018.08.14

地址 100083 北京市海淀区学院路30号

US 2015180689 A1, 2015.06.25

专利权人 北京科技大学顺德研究生院

金明等. 基于广义特征值的合作频谱感知方法.《通信学报》.2013, (第01期), 全文.

(72) 发明人 杜利平 王晓建 陈月云

审查员 黄俊云

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限
责任公司 11237

代理人 张仲波

(51) Int. Cl.

H04B 17/336 (2015.01)

H04B 17/318 (2015.01)

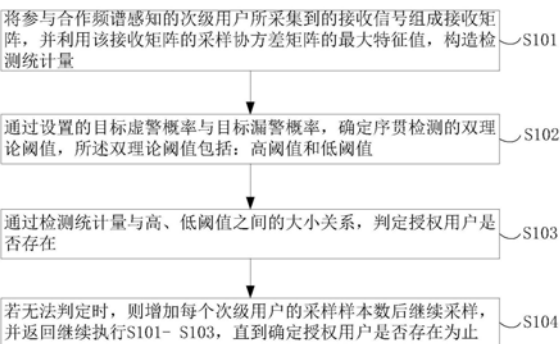
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于序贯检测的特征值频谱感知方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于序贯检测的特征值频谱感知方法,属于无线通信技术领域。所述方法包括:S101,将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量;S102,通过设置的目标虚警概率与目标漏警概率,确定序贯检测的双理论阈值,所述双理论阈值包括:高阈值和低阈值;S103,通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在;S104,若无法判定时,则增加每个次级用户的采样样本数后继续采样,并返回继续执行S101-S103,直到确定授权用户是否存在为止。采用本发明,能够在低样本时进行采样并判决,实现了边采样边感知,大大降低了采样样本数和系统开销。



1. 一种基于序贯检测的特征值频谱感知方法,其特征在于,包括:

S101,将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量;

S102,通过设置的目标虚警概率与目标漏警概率,确定序贯检测的双理论阈值,所述双理论阈值包括:高阈值和低阈值;

S103,通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在;

S104,若无法判定时,则增加每个次级用户的采样样本数后继续采样,并返回继续执行S101-S103,直到确定授权用户是否存在为止;

其中,所述将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量包括:

在采样时刻 n ,将参与合作频谱感知的 K 个次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵:

$$Y(n) = [y_1(n), y_2(n), \dots, y_K(n)]$$

其中, $Y(n)$ 为在采样时刻 n 时的接收矩阵, $y_k(n)$ 为第 k 个次级用户在采样时刻 n 所采集到的接收信号, K 为次级用户数目, $k=1, 2, \dots, K$;

确定接收矩阵 $Y(n)$ 的采样协方差矩阵 R_Y :

$$R_Y = \frac{1}{N} Y Y^H,$$

其中, $Y=Y(n)$, N 表示采样样本数, H 表示共轭矩阵;

确定采样协方差矩阵 R_Y 的最大特征值 $\lambda_{\max}(n)$,其中, $\lambda_{\max}(n)$ 表示在采样时刻 n 时的接收矩阵 $Y(n)$ 的最大特征值;

利用采样协方差矩阵 R_Y 的最大特征值 $\lambda_{\max}(n)$,构造检测统计量:

$$T = \frac{\lambda_{\max}(n)}{\sigma^2}$$

其中, T 表示检测统计量, σ^2 表示 $Y(n)$ 的噪声方差。

2. 根据权利要求1所述的基于序贯检测的特征值频谱感知方法,其特征在于, $y_k(n)$ 表示为:

$$y_k(n) = h * s(n) + v(n)$$

其中, $s(n)$ 为授权用户的信号, h 为信道衰减系数, $v(n)$ 为加性噪声。

3. 根据权利要求1所述的基于序贯检测的特征值频谱感知方法,其特征在于,所述高阈值表示为:

$$\eta_1 = \ln \frac{1 - P_m}{P_f}$$

其中, η_1 表示序贯检测的高阈值, P_f 表示用于频谱感知的目标虚警概率, P_m 表示用于频谱感知的目标漏警概率。

4. 根据权利要求1所述的基于序贯检测的特征值频谱感知方法,其特征在于,所述低阈值表示为:

$$\eta_0 = \ln \frac{P_m}{1 - P_f}$$

其中, η_0 表示序贯检测的低阈值, P_f 表示用于频谱感知的目标虚警概率, P_m 表示用于频谱感知的目标漏警概率。

5. 根据权利要求1所述的基于序贯检测的特征值频谱感知方法, 其特征在于, 所述通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系, 判定授权用户是否存在包括:

在采样时刻 n , 将检测统计量与高、低阈值进行比较, 若检测统计量 T 大于等于高阈值 η_1 , 则判定存在授权用户, 并停止采样;

若检测统计量 T 小于等于低阈值 η_0 , 则判定不存在授权用户, 并停止采样;

若检测统计量 T 处于高、低双阈值之间, 即: $\eta_0 < T < \eta_1$, 则执行S104。

6. 根据权利要求1所述的基于序贯检测的特征值频谱感知方法, 其特征在于, 在有限的采样样本数 N 和次级用户数目 K 下, 得到所述方法的检测概率为:

$$P_d \approx Q\left[\sqrt{N}\left(\frac{\eta}{K\rho+1} - \frac{K-1}{NK\rho} - 1\right)\right]$$

其中, P_d 为对授权用户的正确检测概率, η 为高阈值 η_1 , ρ 为 $Y(n)$ 的信噪比, $Q(\cdot)$ 为标准高斯尾函数。

一种基于序贯检测的特征值频谱感知方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信技术领域,特别涉及是指一种基于序贯检测的特征值频谱感知方法。

背景技术

[0002] 随着无线通信技术的不断发展,无线频谱资源匮乏问题越来越突出。认知无线电技术作为一种动态的频谱分配策略,能够通过感知周围工作环境中的频谱使用状况,动态地调整发射机的参数,从而在保证授权用户通信需求的前提下,充分利用空闲频谱,提高频谱资源利用率。在认知无线电系统中,次级用户在不对授权用户产生影响的前提下,可以使用授权用户的空闲频谱。为了避免对授权用户产生影响,需要次级用户及时的感知授权用户频谱使用的状况。传统的基于特征值的频谱感知方法在保持较高的检测概率条件下,往往需要很大的样本数量,增加了系统开销。

发明内容

[0003] 本发明实施例提供了基于序贯检测的特征值频谱感知方法,能够在低样本时进行采样并判决,实现了边采样边感知,大大降低了采样样本数和系统开销。所述技术方案如下:

[0004] 本发明实施例提供了一种基于序贯检测的特征值频谱感知方法,该方法包括:

[0005] S101,将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量;

[0006] S102,通过设置的目标虚警概率与目标漏警概率,确定序贯检测的双理论阈值,所述双理论阈值包括:高阈值和低阈值;

[0007] S103,通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在;

[0008] S104,若无法判定时,则增加每个次级用户的采样样本数后继续采样,并返回继续执行S101-S103,直到确定授权用户是否存在为止。

[0009] 进一步地,所述将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量包括:

[0010] 在采样时刻 n ,将参与合作频谱感知的 K 个次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵:

[0011] $Y(n) = [y_1(n), y_2(n), \dots, y_K(n)]$

[0012] 其中, $Y(n)$ 为在采样时刻 n 时的接收矩阵, $y_k(n)$ 为第 k 个次级用户在采样时刻 n 所采集到的接收信号, K 为次级用户数目, $k=1, 2, \dots, K$;

[0013] 确定接收矩阵 $Y(n)$ 的采样协方差矩阵 R_Y :

[0014] $R_Y = \frac{1}{N} Y Y^H,$

[0015] 其中, $Y=Y(n)$, N 表示采样样本数, H 表示共轭矩阵;

[0016] 确定采样协方差矩阵 R_Y 的最大特征值 $\lambda_{\max}(n)$, 其中, $\lambda_{\max}(n)$ 表示在采样时刻 n 时的接收矩阵 $Y(n)$ 的最大特征值;

[0017] 利用采样协方差矩阵 R_Y 的最大特征值 $\lambda_{\max}(n)$, 构造检测统计量:

$$[0018] \quad T = \frac{\lambda_{\max}(n)}{\sigma^2}$$

[0019] 其中, T 表示检测统计量, σ^2 表示 $Y(n)$ 的噪声方差。

[0020] 进一步地, $y_k(n)$ 表示为:

$$[0021] \quad y_k(n) = h * s(n) + v(n)$$

[0022] 其中, $s(n)$ 为授权用户的信号, h 为信道衰减系数, $v(n)$ 为加性噪声。

[0023] 进一步地,所述高阈值表示为:

$$[0024] \quad \eta_1 = \ln \frac{1 - P_m}{P_f}$$

[0025] 其中, η_1 表示序贯检测的高阈值, P_f 表示用于频谱感知的目标虚警概率, P_m 表示用于频谱感知的目标漏警概率。

[0026] 进一步地,所述低阈值表示为:

$$[0027] \quad \eta_0 = \ln \frac{P_m}{1 - P_f}$$

[0028] 其中, η_0 表示序贯检测的低阈值, P_f 表示用于频谱感知的目标虚警概率, P_m 表示用于频谱感知的目标漏警概率。

[0029] 进一步地,所述通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在包括:

[0030] 在采样时刻 n ,将检测统计量与高、低阈值进行比较,若检测统计量 T 大于等于高阈值 η_1 ,则判定存在授权用户,并停止采样;

[0031] 若检测统计量 T 小于等于低阈值 η_0 ,则判定不存在授权用户,并停止采样;

[0032] 若检测统计量 T 处于高、低双阈值之间,即: $\eta_0 < T < \eta_1$,则执行S104。

[0033] 进一步地,在有限的采样样本数 N 和次级用户数目 K 下,得到所述方法的检测概率为:

$$[0034] \quad P_d \approx Q[\sqrt{N}(\frac{\eta}{K\rho+1} - \frac{K-1}{NK\rho} - 1)]$$

[0035] 其中, P_d 为对授权用户的正确检测概率, η 为高阈值 η_1 , ρ 为 $Y(n)$ 的信噪比, $Q(\cdot)$ 为标准高斯尾函数。

[0036] 本发明实施例提供的技术方案带来的有益效果至少包括:

[0037] 本发明实施例中,将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量;通过设置的目标虚警概率与目标漏警概率,确定序贯检测的双理论阈值,所述双理论阈值包括:高阈值和低阈值;通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在;若无法判定时,则增加每个次级用户的采样样本数后继续采样,以增加接收信号的样本数后重新更新检测统计量、双理论阈值和执行判定,直到确定授权用户是否存在为止,最终实现授权用

户的快速感知。这样,将序贯检测的思想应用于频谱感知方法中,根据序贯检测的特性,在低样本时进行采样并判决,实现了边采样边感知,大大降低了采样样本数和系统开销,且能够在低样本条件下达到较高的检测概率,从而解决现有的在低样本条件下基于特征值的频谱感知方法检测性能差的问题。

附图说明

[0038] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0039] 图1为本发明实施例提供的基于序贯检测的特征值频谱感知方法的流程示意图;

[0040] 图2为本发明实施例提供的移动认知无线电系统的结构示意图;

[0041] 图3为本发明实施例提供的基于序贯检测的特征值频谱感知方法的详细流程示意图;

[0042] 图4为本发明实施例提供的认知无线网络中基于特征值的频谱感知方法与基于序贯检测的特征值频谱感知方法的检测概率对比示意图。

具体实施方式

[0043] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0044] 如图1所示,本发明实施例提供了一种基于序贯检测的特征值频谱感知方法,该方法包括:

[0045] S101,将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量;

[0046] S102,通过设置的目标虚警概率与目标漏警概率,确定序贯检测的双理论阈值,所述双理论阈值包括:高阈值和低阈值;

[0047] S103,通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在;

[0048] S104,若无法判定时,则增加每个次级用户的采样样本数后继续采样,并返回继续执行S101-S103,直到确定授权用户是否存在为止。

[0049] 本发明实施例所述的基于序贯检测的特征值频谱感知方法,将参与合作频谱感知的次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵,并利用该接收矩阵的采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量;通过设置的目标虚警概率与目标漏警概率,确定序贯检测的双理论阈值,所述双理论阈值包括:高阈值和低阈值;通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在;若无法判定时,则增加每个次级用户的采样样本数后继续采样,以增加接收信号的样本数后重新更新检测统计量、双理论阈值和执行判定,直到确定授权用户是否存在为止,最终实现授权用户的快速感知。这样,将序贯检测的思想应用于频谱感知方法中,根据序贯检测的特性,在低样本时进行采样并判决,实现了边采样边感知,大大降低了采样样本数和系统开销,且能够在低样本条件下达到较高的检测概率,从而解决现有的在低样本条件下基于特征值的频谱感知方法检测性能差的问题。

[0050] 本实施例中,所述授权用户与次级用户是固定终端设备或是在指定范围内可自由移动的移动终端设备。

[0051] 本实施例中,如图2所示,图2为移动认知无线电系统结构示意图,假设该移动认知无线电系统中有参与合作频谱感知的K个次级用户和一个授权用户以及一个数据融合中心。所有的用户在以数据融合中心为中心点的指定范围内都是可移动的,当然也可以不移动。每个次级用户都可以接收授权用户信号。

[0052] 本实施例中,假设,在采样时刻n,采样样本数为N,每个次级用户对接收到的授权用户信号进行一次采样后,每个次级用户能够采集N个样本数据,将采集到的数据(即:采集到的接收信号)传输给数据融合中心,构建接收矩阵,根据接收矩阵确定采样协方差矩阵,进而利用采样协方差矩阵的最大特征值,构造检测统计量,具体步骤如下:

[0053] A1,在采样时刻n,将参与合作频谱感知的K个次级用户所采集到的接收信号组成接收矩阵:

[0054] $Y(n) = [y_1(n), y_2(n), \dots, y_K(n)]$

[0055] 其中, $Y(n)$ 为在采样时刻n时的接收矩阵; $y_k(n)$ 为第k个次级用户在采样时刻n所采集到的接收信号, $y_k(n) = h * s(n) + v(n)$, $s(n)$ 为授权用户的信号, h 为信道衰减系数, $v(n)$ 为加性噪声; K 为次级用户数目, $k = 1, 2, \dots, K$;

[0056] A2,确定接收矩阵 $Y(n)$ 的采样协方差矩阵 R_Y :

[0057] $R_Y = \frac{1}{N} Y Y^H$,

[0058] 其中, $Y = Y(n)$, N 表示采样样本数, H 表示共轭矩阵;

[0059] A3,确定采样协方差矩阵 R_Y 的最大特征值 $\lambda_{\max}(n)$,其中, $\lambda_{\max}(n)$ 表示在采样时刻n时的接收矩阵 $Y(n)$ 的最大特征值;

[0060] A4,利用采样协方差矩阵 R_Y 的最大特征值 $\lambda_{\max}(n)$,构造检测统计量:

[0061] $T = \frac{\lambda_{\max}(n)}{\sigma^2}$

[0062] 其中, T 表示检测统计量, σ^2 表示 $Y(n)$ 的噪声方差。

[0063] 如图3所示,通过设置的目标虚警概率与目标漏警概率,确定序贯检测的双理论阈值(S102),具体可以包括以下步骤:

[0064] B1,设置用于频谱感知的目标虚警概率 P_f 与目标漏警概率 P_m ;

[0065] B2,根据设置的 P_f 和 P_m ,设定两个边界 $\frac{P_m}{1-P_f}$ 、 $\frac{1-P_m}{P_f}$;

[0066] B3,根据设定的边界 $\frac{P_m}{1-P_f}$ 、 $\frac{1-P_m}{P_f}$,采用奈曼-皮尔逊(Neyman-Pearson,NP)准则,

得到序贯检测的双边理论阈值: $\eta_0 = \ln \frac{P_m}{1-P_f}$ 和 $\eta_1 = \ln \frac{1-P_m}{P_f}$;

[0067] 其中, η_0 表示序贯检测的低阈值, η_1 表示序贯检测的高阈值。

[0068] 本实施例中,通过检测统计量与高、低阈值之间的大小关系,判定授权用户是否存在(S103),具体可以包括以下步骤:

[0069] C1,在采样时刻n,将检测统计量与高、低阈值进行比较,若检测统计量 T 大于高阈

值 η_1 ,即: $T \geq \eta_1$,则判定存在授权用户,并停止采样;

[0070] C2,若检测统计量 T 小于低阈值 η_0 ,即: $T \leq \eta_0$,则判定不存在授权用户,并停止采样;

[0071] C3,若检测统计量 T 处于高、低双阈值之间,即: $\eta_0 < T < \eta_1$,则执行S104。

[0072] 本实施例中,在有限的采样样本数 N 和次级用户数目 K 下,接收信号的信噪比 ρ 满足: $\rho > \frac{1}{\sqrt{KN}}$,检测统计量 T 服从高斯分布,根据检测统计量 T 的均值 $E[T] = (1 + K\rho)(1 + \frac{K-1}{NK\rho})$

和方差 $Var[T] = \frac{1}{N}(K\rho + 1)^2$ 可以得到所述方法的检测概率:

$$[0073] \quad P_d \approx Q[\sqrt{N}(\frac{\eta}{K\rho+1} - \frac{K-1}{NK\rho} - 1)],$$

[0074] 其中, P_d 为对授权用户的正确检测概率, η 为高阈值 η_1 , ρ 为 $Y(n)$ 的信噪比, $Q(\cdot)$ 为标准高斯尾函数: $Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^\infty e^{-x^2/2} dx$, z 表示自变量的取值,在公式 $P_d \approx Q[\sqrt{N}(\frac{\eta}{K\rho+1} - \frac{K-1}{NK\rho} - 1)]$ 中表示 $\sqrt{N}(\frac{\eta}{K\rho+1} - \frac{K-1}{NK\rho} - 1)$ 。

[0075] 本实施例中,通过上述检测概率的表达式,可以得到理论阈值理论与采样样本数 N 之间的关系。

[0076] 接着,为了更好地理解本发明实施例所述的基于序贯检测的特征值频谱感知方法,以一个具体的实施例对其进行详细说明:

[0077] 步骤1,假设移动认知无线电系统中有8个次级用户感应工作环境中的授权用户信号,正在工作的授权用户个数为1个。

[0078] 本实施例中,假设该移动认知无线电系统工作在市区,并且假定所有的用户在以数据融合中心为圆心的100米范围内活动。所有的认知无线电移动终端均为手持终端,所有用户的移动速度限定在为 $0m/s \sim 5m/s$;

[0079] 在采样时刻 n ,设采样样本数从 $N=10$ 开始,所有次级用户对接收到的授权用户信号进行一次采样后,将采集到的数据传输给数据融合中心;数据融合中心构造检测统计量,具体步骤如下:

[0080] 1.1) 8个次级用户的接收矩阵可以表示为:

$$[0081] \quad Y(n) = [y_1(n), y_2(n), \dots, y_8(n)]$$

[0082] 1.2) 根据采样协方差矩阵 R_Y ,求得最大特征值 $\lambda_{\max}(n)$;

[0083] 1.3) 确定接收信号的信噪比 $\rho = -8.5dB$ 和噪声方差 $\sigma^2 = 64$;

[0084] 1.4) 根据采样协方差矩阵 R_Y 的最大特征值与噪声方差 σ^2 ,构造检测统计量:

$$[0085] \quad T \triangleq \frac{\lambda_{\max}(n)}{64}。$$

[0086] 步骤2,确定序贯检测的双理论阈值,具体步骤包括:

[0087] 2.1) 设置目标虚警概率 $P_f = 0.1$ 与目标漏警概率 P_m ;

[0088] 2.2) 采用Neyman-Pearson(NP)准则,得到序贯检测的双边理论阈值

$$\eta_0 = \ln \frac{P_m}{1-0.1}, \quad \eta_1 = \ln \frac{1-P_m}{0.1}。$$

[0089] 步骤3,通过检测统计量与 η_0 、 η_1 之间的大小关系,判定授权用户是否存在,具体可

以包括以下步骤:

[0090] $T \leq \eta_0$ 时, 停止采样, 判定授权用户不存在;

[0091] $T \geq \eta_1$ 时, 停止采样, 判定授权用户存在;

[0092] $\eta_0 < T < \eta_1$ 时, 继续采样, 直到得到判决结果为止。

[0093] 本实施例中, 利用步骤2中的理论阈值表达式, 根据检测统计量T的均值

$E[T] = (1 + 8 \times \rho)(1 + \frac{8-1}{8 \times N \times \rho})$ 和方差 $Var[T] = \frac{1}{N}(8 \times \rho + 1)^2$ 可以得到所述方

法的检测概率:

$$[0094] \quad P_d \approx Q[\sqrt{N}(\frac{\eta}{8 \times \rho + 1} - \frac{8-1}{10 \times 8 \times \rho} - 1)]$$

[0095] 本实施例中, 通过上式将检测概率与理论阈值结合, 得到理论阈值与样本数量的关系。

[0096] 如图4所示, 图4描述了本实施例提供的基于序贯检测的特征值频谱感知方法(图4中的所提方法)与基于特征值的频谱感知方法(最大根检测(Roy's largest root test, RLRT)与最大最小特征值(Maximum-minimum eigenvalue, MME))的检测概率随样本数目变化示意图。图中的横坐标是检测概率, 纵坐标是采样样本数, 该结果是在信噪比为-8.5dB, 目标虚警概率为0.1, 噪声方差64, 进行3000次蒙特卡洛得到的。从图4可以看出, 随着样本数的增加, 检测概率不断变大, 在相同的检测概率条件下, 本发明所提方法所需样本数量明显低于RLRT与MME方法。这说明本发明所提方法在低样本的情况下是有效的, 并且本发明所提方法的检测性能优于传统的基于特征值的频谱感知方法。

[0097] 以上所述仅为本发明的较佳实施例, 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、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

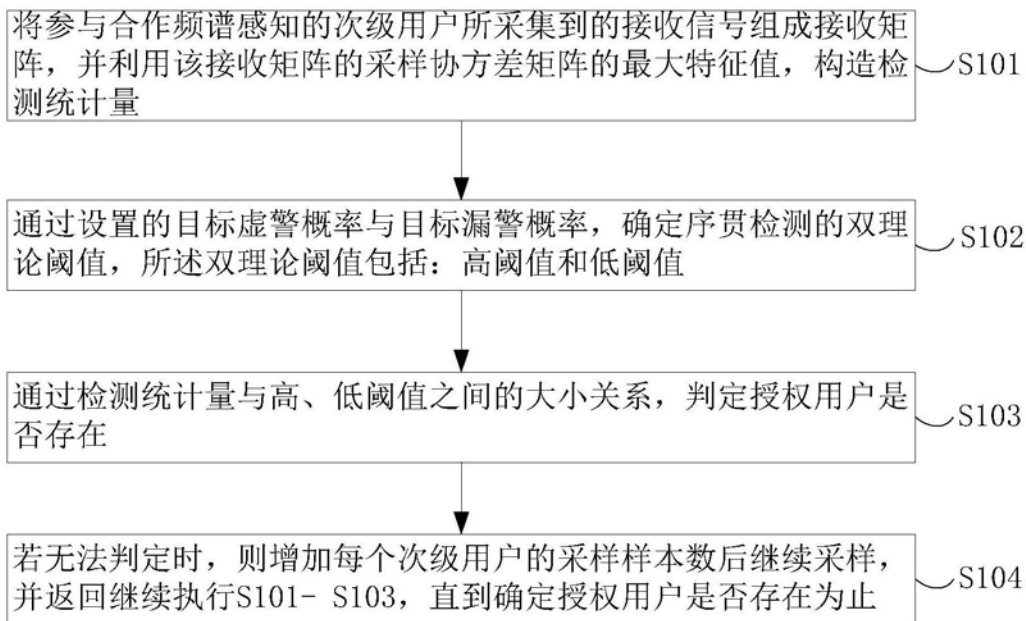


图1

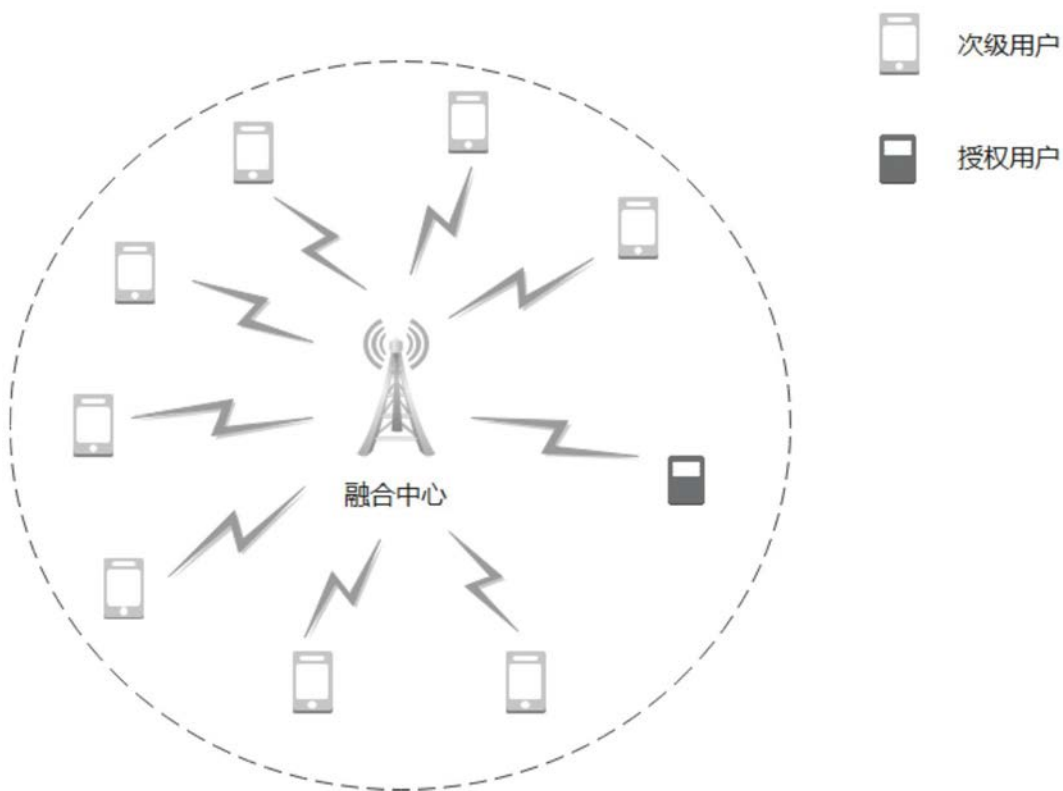


图2

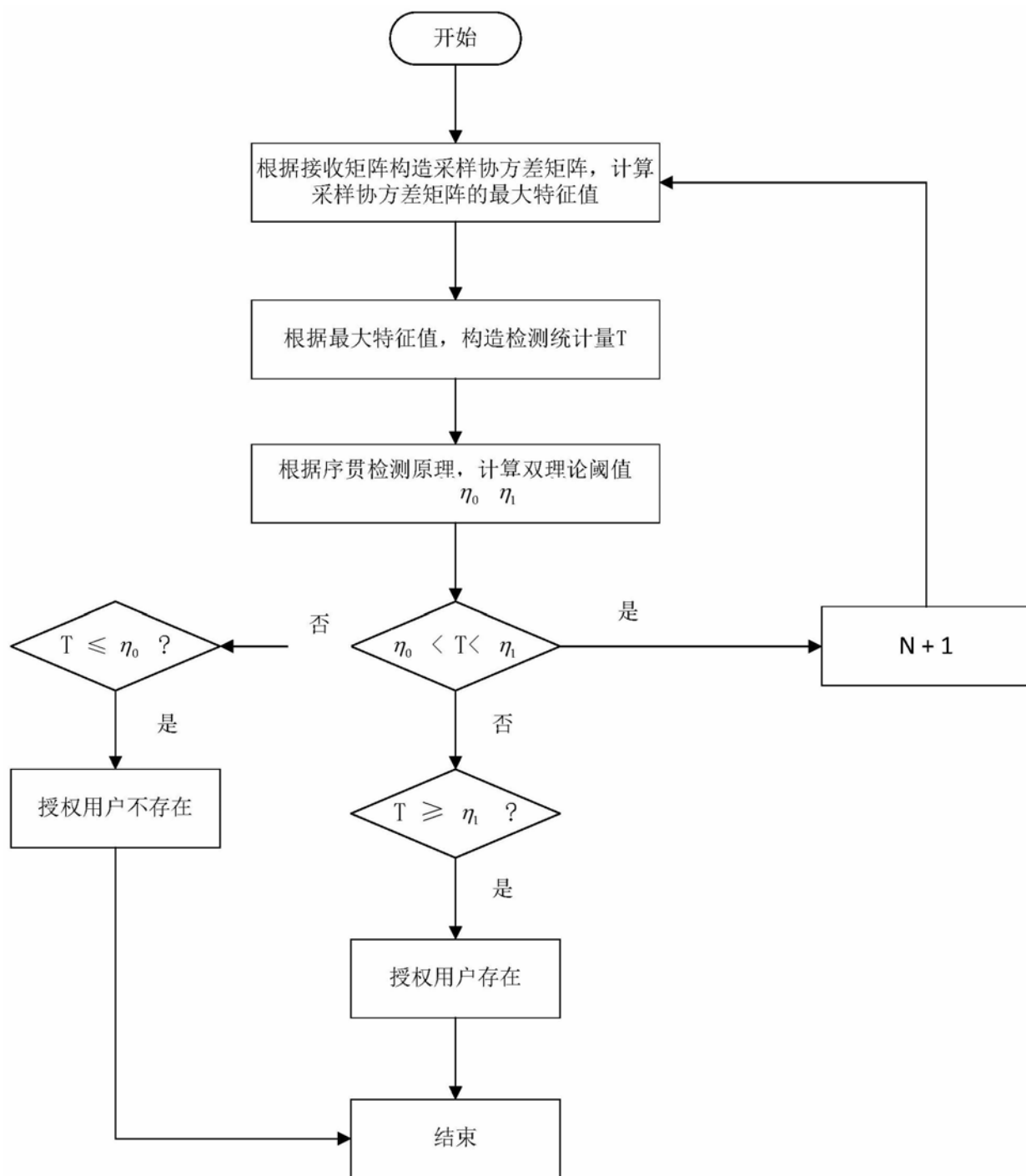


图3

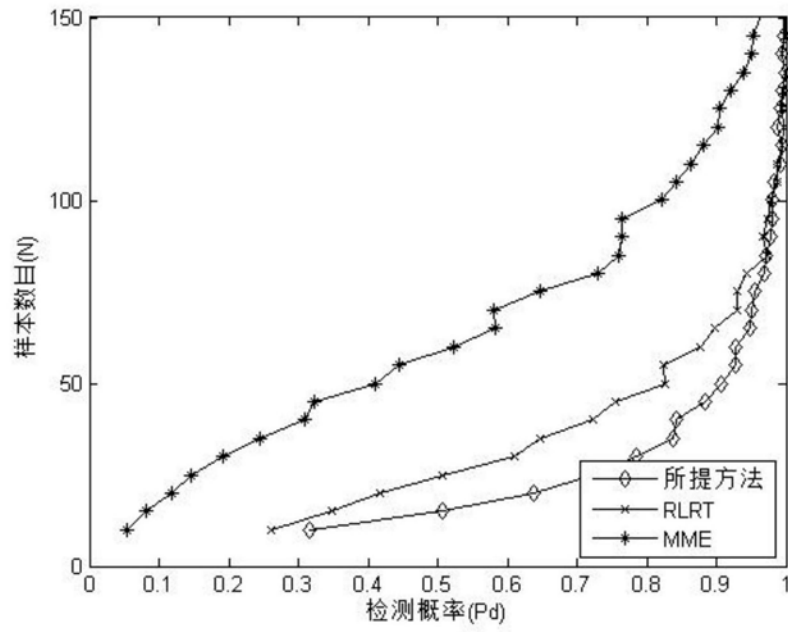


图4