



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102983920 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 13

(21) 申请号 201210460070. 6

CN 101534160 A, 2009. 09. 16, 说明书第 5 页
倒数第 6 段 - 第 7 页最后 1 段, 图 1, 4.

(22) 申请日 2012. 11. 15

审查员 何石

(73) 专利权人 北京交通大学

地址 100044 北京市海淀区西直门外上园村
3 号

(72) 发明人 赵友平 李金兴

(74) 专利代理机构 北京市商泰律师事务所
11255

代理人 毛燕生

(51) Int. Cl.

H04B 17/309(2015. 01)

H04L 27/26(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1731693 A, 2006. 02. 08, 摘要.

CN 101287261 A, 2008. 10. 15, 全文.

EP 2398174 A1, 2011. 12. 21, 全文.

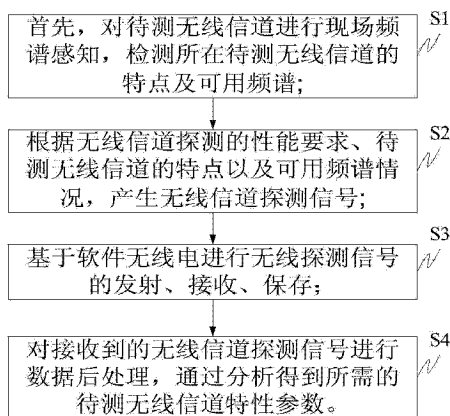
权利要求书3页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种无线信道探测方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种无线信道探测方法及装置,该方法包括以下步骤:首先,对待测无线信道进行现场频谱感知,检测所在待测无线信道的特点及可用频谱;根据无线信道探测的性能要求、待测无线信道的特点以及可用频谱情况,产生无线信道探测信号;基于软件无线电进行无线探测信号的发射、接收、保存;对接收到的无线信道探测信号进行数据后处理,通过分析得到所需的待测无线信道特性参数。还公开了相应的一种无线信道探测装置。本发明不需要进行繁琐的收发时钟同步便可以得到所在环境的无线信道特性,节约了大量的人力、物力和财力。



1. 一种无线信道探测方法,其特征在于,包括以下步骤:

首先,对待测无线信道进行现场频谱感知,检测所在待测无线信道的特点及可用频谱;

根据无线信道探测的性能要求、待测无线信道的特点以及可用频谱情况,产生无线信道探测信号;

基于软件无线电进行无线探测信号的发射、接收、保存;

对接收到的无线信道探测信号进行数据后处理,通过分析得到所需的待测无线信道特性参数,其中该数据后处理进一步包括:

(1) 将接收到的第一频段的时域信号的平均值作为直流分量从接收信号中去除,其中该直流分量是

$$DC = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r(n) \quad ,$$

其中 $r(n)$ 为接收信号样点, N 为接收信号样点数;

(2) 利用短训练序列自相关值和接收信号能量的比值作为检测门限进行帧同步,其中

$$c_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^* \quad ,$$

$$p_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^* = \sum_{k=0}^{L-1} |r_{n+k+D}|^2 \quad ,$$

其中 D 为周期性训练序列的周期, L 为滑动窗口长度,

帧同步计算函数为

$$m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2} \quad ;$$

(3) 进行载波频偏估计与补偿,当存在载波频偏时,接收信号表示为 $y_n = x_n e^{j2\pi nF/N} + w_n$, 其中 F 为归一化载波频偏, N 为子载波数, x_n 为发送信号样点, w_n 为噪声,

$$R = \sum_{n=1}^D (y_n^* \cdot y_{n+D}) \quad ,$$

定义函数为

计值为 $F = \frac{2}{\pi} \text{angle}(R)$ 其中 $\text{angle}(\cdot)$ 表示对复数取相位;

(4) 利用接收时域信号分别计算信号与噪声功率,从而获得接收信噪比;

(5) 通过前述帧同步获得数据帧起始位置,进而获得各 OFDM 符号的起始位置,进行串并变换及傅里叶变换,获得发送信号及接收信号的频域信号,从而获得信道频域响应;

(6) 将所有频段频域信道响应进行融合,即将各频段获得的频域信道响应按照频率大小顺序拼接,得到整个探测带宽内的频域信道响应;

(7) 进行系统校正补偿,该校正补偿函数为 $H_c(f, t) = \frac{H_m(f, t)}{H_s(f)}$, 其中 $H_c(f, t)$ 为信道

频域响应, $H_m(f, t)$ 为测得的频域响应, $H_s(f)$ 为探测系统的频域响应;

(8) 通过反傅里叶变换, 获得信道时域冲击响应, 进而获得包括待测无线信道的多径和均方根时延在内的特性参数。

2. 根据权利要求 1 所述的无线信道探测方法, 其特征在于, 在所述基于软件无线电进行无线探测信号的发射、接收、保存之前, 还包括对无线信道探测装置进行系统校准。

3. 根据权利要求 1 所述的无线信道探测方法, 其特征在于, 所述进行无线探测信号的发射、接收包括采用软件无线电的方法实现信道探测的基带信号和 / 或信道探测的传输协议。

4. 根据权利要求 1 所述的无线信道探测方法, 其特征在于, 所述无线信道探测信号采用正交频分复用 OFDM 和 / 或 802. 11a/g 协议。

5. 根据权利要求 1 所述的无线信道探测方法, 其特征在于, 所述无线信道探测信号的实现包括采用查表法。

6. 根据权利要求 1 所述的无线信道探测方法, 其特征在于, 所述无线信道探测信号的实现包括采用单指令多数据 SIMD 的方法。

7. 根据权利要求 1 所述的无线信道探测方法, 其特征在于, 所述待测无线信道特性参数包括时域和 / 或频域和 / 或空域和 / 或极化域参数。

8. 一种无线信道探测装置, 其特征在于, 包括探测信号产生及发射模块、探测信号接收模块和数据后处理模块, 探测信号接收模块和数据后处理模块连接;

探测信号产生及发射模块进一步包括软件无线电基带探测信号产生及射频发射模块, 通过软件无线电技术根据待测信道的特点和测试指标要求, 按照传输协议产生合适的基带探测信号, 经 D/A 转换和上变频后通过发射天线发射;

探测信号接收模块进一步包括软件无线电接收模块, 通过接收天线接收信号并转换成基带信号后, 经 A/D 转换, 再通过软件无线电接收模块按照传输协议对基带信号进行处理, 并将处理后的数据送入数据后处理模块;

数据后处理模块通过分析输入数据, 得到所需的待测无线信道特性参数, 其中该数据后处理进一步包括:

(1) 将接收到的第一频段的时域信号的平均值作为直流分量从接收信号中去除, 其中该直流分量是

$$DC = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r(n) \quad , \quad \text{其中 } r(n) \text{ 为接收信号样点, } N \text{ 为接收信号样点数;}$$

(2) 利用 802. 11a 短训练序列自相关值和接收信号能量的比值作为检测门限进行帧同步, 其中

$$\text{短训练序列自相关值是 } c_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^* \quad ,$$

$$\text{接收信号能量是 } p_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^* = \sum_{k=0}^{L-1} |r_{n+k+D}|^2 \quad , \quad \text{其中 } D \text{ 为周期性训练序列}$$

的周期, L 为滑动窗口长度,

$$\text{帧同步计算函数为 } m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2};$$

(3) 进行载波频偏估计与补偿, 当存在载波频偏时, 接收信号表示为 $y_n = x_n e^{j2\pi nF/N} + w_n$, 其中 F 为归一化载波频偏, N 为子载波数, x_n 为发送信号样点, w_n 为噪声,

$$\text{定义函数为 } R = \sum_{n=1}^D (y_n^* \cdot y_{n+D}) \quad \text{其中 } D \text{ 为周期性训练序列的周期,}$$

$$\text{该载波频偏估计值为 } \hat{F} = \frac{2}{\pi} \text{angle}(R) \quad \text{其中 } \text{angle}(\cdot) \text{ 表示对复数取相位;}$$

(4) 利用接收时域信号分别计算信号与噪声功率, 从而获得接收信噪比;

(5) 通过前述帧同步获得数据帧起始位置, 进而获得各 OFDM 符号的起始位置, 进行串并变换及傅里叶变换, 获得发送信号及接收信号的频域信号, 从而获得信道频域响应;

(6) 将所有频段频域信道响应进行融合, 即将各频段获得的频域信道响应按照频率大小顺序拼接, 得到整个探测带宽内的频域信道响应;

$$(7) \text{ 进行系统校正补偿, 该校正补偿函数为 } H_c(f, t) = \frac{H_m(f, t)}{H_s(f)}, \quad \text{其中 } H_c(f, t)$$

为信道频域响应, $H_m(f, t)$ 为测得的频域响应, $H_s(f)$ 为探测系统的频域响应;

(8) 通过反傅里叶变换, 获得信道时域冲击响应, 进而获得待测无线信道的多径、均方根时延特性参数。

一种无线信道探测方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通讯技术领域,尤其涉及一种无线信道探测方法及装置。

背景技术

[0002] 最近几年,随着无线通信和互联网技术的蓬勃发展,宽带多媒体无线通信得到了越来越多的应用。预计在今后 10 年时间,无线通信系统容量预计需要增加 1000 倍才能满足日益增加的无线通信需求,而无线频谱资源是有限的,这就驱使我们进一步研究无线信道特性,并通过一些无线通信新技术更加有效、充分地利用无线信道的潜在容量。例如:面向下一代移动通信系统 LTE-Advanced 后续演进,就需要突破多天线系统(例如 3D MIMO)技术的应用难点,形成具有创新性的核心技术,推进多天线技术基础性研究、应用研究、标准化及其产业化进程,亟需对多天线系统(例如 3D MIMO)信道进行测量、建立科学可靠的信道模型,为系统仿真和性能评估提供基础。

[0003] 目前,无线信道特性研究领域仍然严重依赖国外无线信道探测器或由射频(RF)信号发射器、频谱仪、网络分析仪、GPS 接收机和 / 或铷钟等多台仪器设备来搭建复杂的无线信道测试系统,这些国外仪器设备不仅价格极其昂贵(通常耗资数百万元),而且还存在着无线信道探测信号带宽有限、信道探测系统设置不够灵活、不具备无线环境认知能力和自适应性、体积庞大、不适于特殊环境下(如地铁隧道、室内)便携使用、信道特性分析能力有限等诸多缺点。

发明内容

[0004] 本发明解决的技术问题是如何构建一个具有环境自适应性、小型化(便携)、可重构、模块化的无线信道探测方法及装置。

[0005] 为了解决以上技术问题,本发明实施例公开了一种无线信道探测方法,包括以下步骤:

[0006] 首先,对待测无线信道进行现场频谱感知,检测所在待测无线信道的特点及可用频谱;

[0007] 根据无线信道探测的性能要求、待测无线信道的特点以及可用频谱情况,产生无线信道探测信号;

[0008] 基于软件无线电进行无线探测信号的发射、接收、保存;

[0009] 对接收到的无线信道探测信号进行数据后处理,通过分析得到所需的待测无线信道特性参数。

[0010] 进一步,作为优选,在所述基于软件无线电进行无线探测信号的发射、接收、保存之前,还包括对无线信道探测装置进行系统校准。

[0011] 进一步,作为优选,进行无线探测信号的发射、接收包括采用软件无线电的方法实现信道探测的基带信号和 / 或信道探测的传输协议。

[0012] 进一步,作为优选,无线信道探测信号采用正交频分复用 OFDM 和 / 或 802.11a/g

协议。

[0013] 进一步,作为优选,对无线信道探测信号的实现包括采用查表法。

[0014] 进一步,作为优选,对无线信道探测信号的实现包括采用单指令多数据 SIMD 的方法。

[0015] 进一步,作为优选,待测无线信道特性参数包括时域和 / 或频域和 / 或空域和 / 或极化域参数。

[0016] 本发明实施例还公开了一种无线信道探测装置,包括探测信号产生及发射模块、探测信号接收模块和数据后处理模块,探测信号接收模块和数据后处理模块连接;探测信号产生及发射模块进一步包括软件无线电基带探测信号产生及射频发射模块,通过软件无线电技术根据待测信道的特点和测试指标要求,按照传输协议产生合适的基带探测信号,经 D/A 转换、上变频后通过发射天线发射;探测信号接收模块进一步包括软件无线电接收模块,通过接收天线接收信号后,经下变频、A/D 转换,再通过软件无线电接收模块按照传输协议对基带信号进行处理,并将处理后的数据送入数据后处理模块;数据后处理模块通过分析输入数据,得到所需的待测无线信道特性参数。

[0017] 本发明通过采用软件无线电技术,可根据需要在探测装置上实现不同的探测信号和信道特性分析,不需要进行繁琐的收发时钟同步便可以得到所在环境的无线信道特性,节约了大量的人力、物力和财力。

附图说明

[0018] 当结合附图考虑时,通过参照下面的详细描述,能够更完整更好地理解本发明以及容易得知其中许多伴随的优点,但此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本发明的一部分,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定,其中:

[0019] 图 1 是本发明实施例一种无线信道探测方法流程图。

[0020] 图 2 是本发明实施例一种无线信道探测装置结构示意图。

[0021] 图 3 是本发明实施例基于 802.11a/g 协议而生成的无线信道探测信号示意图。

[0022] 图 4 是本发明实施例无线信道探测信号的时频分布示意图。

[0023] 图 5 是本发明实施例无线信道探测装置接收端信号存储流程图。

[0024] 图 6 是本发明实施例无线信道探测装置的数据后处理流程图。

具体实施方式

[0025] 参照图 1 至图 6 对本发明的实施例进行说明。

[0026] 为使上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0027] 如图 1 所示,一种无线信道探测方法,包括以下步骤:

[0028] S1、首先,对待测无线信道进行现场频谱感知,检测所在待测无线信道的特点及可用频谱;

[0029] S2、根据无线信道探测的性能要求、待测无线信道的特点以及可用频谱情况,产生无线信道探测信号;

[0030] S3、基于软件无线电进行无线探测信号的发射、接收、保存；

[0031] 采用软件无线电的方法实现信道探测的基带信号和 / 或信道探测传输协议。信道探测传输协议包括 802.11a/g 的传输协议, 以及探测频段和所用探测子载波的选取、探测信号的发射周期与间隔等, 探测信号的调制方式包括 OFDM 等。

[0032] S4、对接收到的无线信道探测信号进行数据后处理, 通过分析得到所需的待测无线信道特性参数。

[0033] 无线信道探测信号的实现可以采用查表法、SIMD 等方法, 以便提高运算速度。无线信道特性参数包括时域和 / 或频域和 / 或空域和 / 或极化域参数。

[0034] 在 S3、基于软件无线电进行无线探测信号的发射、接收、保存之前, 还包括对无线信道探测装置进行系统校准。

[0035] 如图 2 所示, 一种无线信道探测装置, 包括探测信号产生及发射模块 1、探测信号接收模块 3 和数据后处理模块 4, 探测信号接收模块 3 和数据后处理模块 4 连接; 探测信号产生及发射模块 1 进一步包括软件无线电基带探测信号产生及射频发射模块, 通过软件无线电技术根据待测信道的特点和测试指标要求, 按照传输协议产生合适的基带探测信号, 经 D/A 转换后通过发射天线向待测无线信道 2 发射; 探测信号接收模块 3 进一步包括软件无线电接收模块, 通过接收天线接收信号并转换成基带信号后, 经 A/D 转换, 再通过软件无线电接收模块按照传输协议对基带信号进行处理并将处理后的数据送入数据后处理模块 4; 数据后处理模块 4 通过分析输入数据, 得到所需的待测无线信道特性参数。

[0036] 实施例:

[0037] 无线信道探测方法: 以基于 802.11a/g 协议的无线信道探测信号实现方法为例。

[0038] 无线信道探测信号的帧结构基本采用 IEEE 802.11a/g 标准帧结构, 一帧信号由前导序列 (10 个短序列和 2 个长序列)、信号域和数据域组成, 如图 3 所示。不同之处在于, 标准帧结构只利用了 52 个子载波 (48 个数据子载波和 4 个导频子载波), 本发明实施例采用的探测信号利用了全部 64 个子载波, 使基带信号带宽扩展为 20MHz, 这样每个探测信号帧可对 20MHz 信道进行探测。

[0039] 为提高无线信道探测的多径时延分辨力, 必须扩大探测信号带宽。为此, 本发明实施例中, 探测信号周期性改变探测频段, 如图 4 所示。发送端在初始探测频段上发送一定数量的探测信号帧 (比如图中为 3 个), 然后改变探测频段, 发送下一组探测信号, 直至扫描完成所有设置的探测频段; 之后返回初始频段, 进行下一个循环。整个循环在很短的时间内完成 (每个频段用时约 5ms)。图 4 中, T1 为同频段内相邻两个信号帧的时间间隔, T2 为相邻两个频段的切换时间, M 为设置的扫描频段数量。这样, 探测信号总带宽扩展为原来的 M 倍, 获得的信道冲击响应的时延分辨力相应地提高 M 倍。

[0040] 接收端信号存储流程实施例。

[0041] 由于发送探测信号的频段周期性变化, 接收端必须作出相应调整, 才能正确接收到各频段上的探测信号。接收存储信号流程如图 5 所示。开始, S501、进行初始化, S502、载波侦听, 接收端在初始频段上等待探测信号到来。S503、当检测到探测信号时, S505、将其存储在二进制数据文件中, S506、设置保存标志; S507、频段标号增加, S508、然后按照发送端的变频式样, 改变接收频段, 继续在新频段上检测探测信号。S504、若在规定时间内 ΔT 内未检测到信号, 则自动跳转到下一个频段。S509、判断所有频段是否检测完, S510、直到所

有频段均检测并存储到探测信号, S512、一次接收过程才完成, S511、若任何一个频段未正确保存数据, 数据文件都会被清空, 重新开始下一个接收循环。各频段均设置一个标志位 SaveFlag, 用以标明此频段是否正确存储到探测信号。

[0042] 接收数据后处理实施例:

[0043] 如图 6 所示:

[0044] S601、读入收发数据

[0045] 探测信号由发送端存储, 接收端存有备份, 可直接读取。

[0046] S603、去除直流

[0047] 将接收时域信号的平均值作为直流分量, 从接收信号中去除。

$$[0048] \quad DC = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r(n)$$

[0049] S604、帧同步

[0050] 利用 802. 11a 短训练序列自相关和接收信号能量的比值作为检测门限。

[0051] $p_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^* = \sum_{k=0}^{L-1} |r_{n+k+D}|^2$ 为接收信号能量, 其中 D 为短训练序列周期, L 为滑动窗口长度。

[0052] $c_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^*$ 为信号自相关值

[0053] $m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2}$ 为判决函数。

[0054] S605、载波频偏估计与补偿

[0055] 当存在载波频偏时, 接收信号可以表示为

[0056] $y_n = x_n e^{j2\pi nF/N} + w_n$ 其中 F 为归一化载波频偏, N 为子载波数。

[0057] 定义函数如下

[0058] $R = \sum_{n=1}^D (y_n^* \cdot y_{n+D})$ 其中 D 为周期性训练序列的周期。

[0059] 载波频偏估计值为

$$[0060] \quad \hat{F} = \frac{2}{\pi} \text{angle}(R)$$

[0061] 在程序中使用 802. 11a 长训练序列作为上述周期性训练序列进行载波频偏估计。

[0062] S606、计算接收信噪比

[0063] 利用接收时域信号分别计算信号与噪声功率, 从而获得信噪比。功率通过统计数字信号的方差获得。

[0064] S607、串并变换及 S608、傅里叶变换, S609、获得信道频域响应

[0065] 参照一般 OFDM 信号的接收处理进行。在 S604 中, 通过帧同步获得数据帧起始位置, 进而获得各 OFDM 符号的起始位置, 进行串并变换及傅里叶变换, 获得发送信号及接收信号的频域信号, 从而获得信道频域响应。

$$[0066] \quad H(w) = \frac{R(w)}{S(w)}$$

[0067] S610、判断所有频段数据是否已读入,否则,S602、进入下一个频段。

[0068] S611、多频段频域信道响应融合

[0069] 每个接收数据文件包含 M 个频段的探测信号,将各频段获得的频域信道响应按照频率大小顺序拼接,就得到整个探测带宽内的频域信道响应。

[0070] S612、系统校正补偿

[0071] 由于系统硬件的非理性因素影响,以及多频段探测时各频段信号的相对独立性,使得各频段的幅度响应在频段边缘处有较大衰减,相位响应在不同频段之间存在随机相位差。因此,接收机与发射机的射频口直接用射频电缆相连,中间加适当的衰减器,可以获得探测系统本身的频域响应,作为校准依据。通过系统校正,可以这些非理性因素的影响基本消除。

$$[0072] \quad H_c(f,t) = \frac{H_m(f,t)}{H_s(f)}$$

[0073] 其中, $H_c(f,t)$ 为信道频域响应, $H_m(f,t)$ 为测得的频域响应, $H_s(f)$ 为探测系统的频域响应。

[0074] S613、反傅里叶变换

[0075] 通过反傅里叶变换,获得信道时域冲击响应,进而可以获得信道的多径、均方根时延等时域参数。

[0076] 虽然以上描述了本发明的具体实施方式,但是本领域的技术人员应当理解,这些具体实施方式仅是举例说明,本领域的技术人员在不脱离本发明的原理和实质的情况下,可以对上述方法和系统的细节进行各种省略、替换和改变。例如,合并上述方法步骤,从而按照实质相同的方法执行实质相同的功能以实现实质相同的结果则属于本发明的范围。因此,本发明的范围仅由所附权利要求书限定。

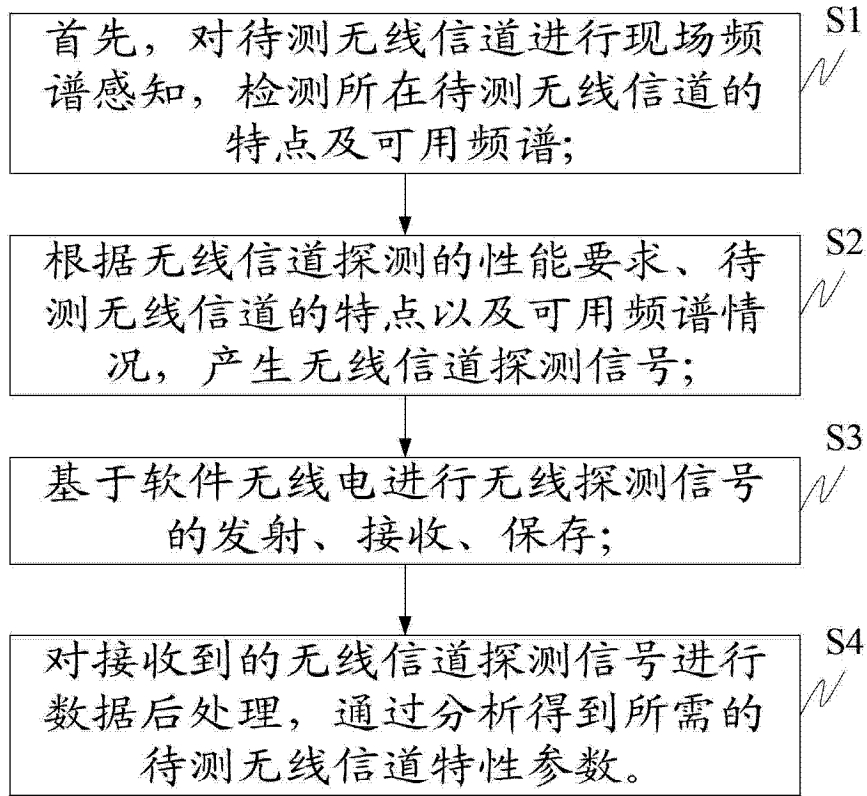


图 1

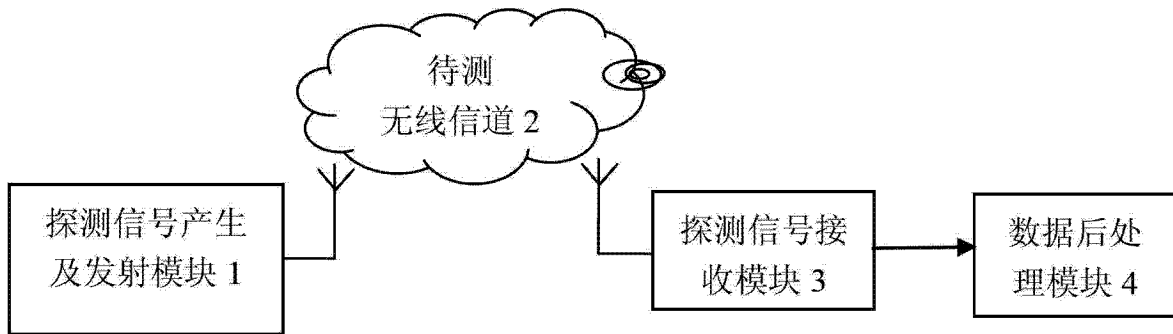


图 2

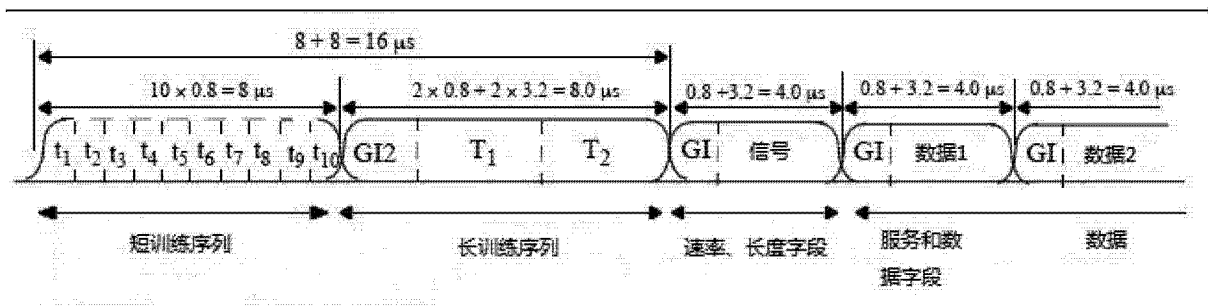


图 3

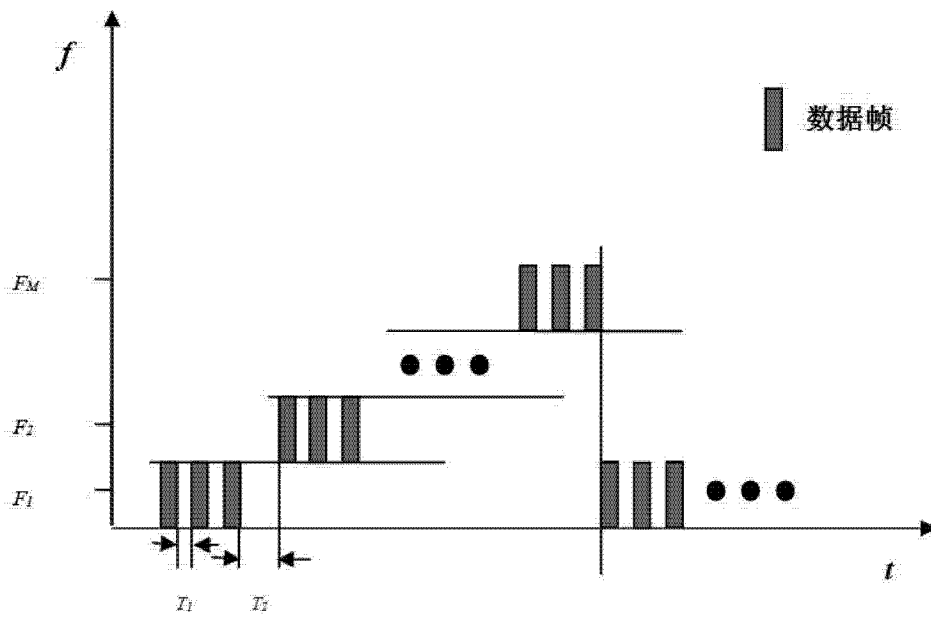


图 4

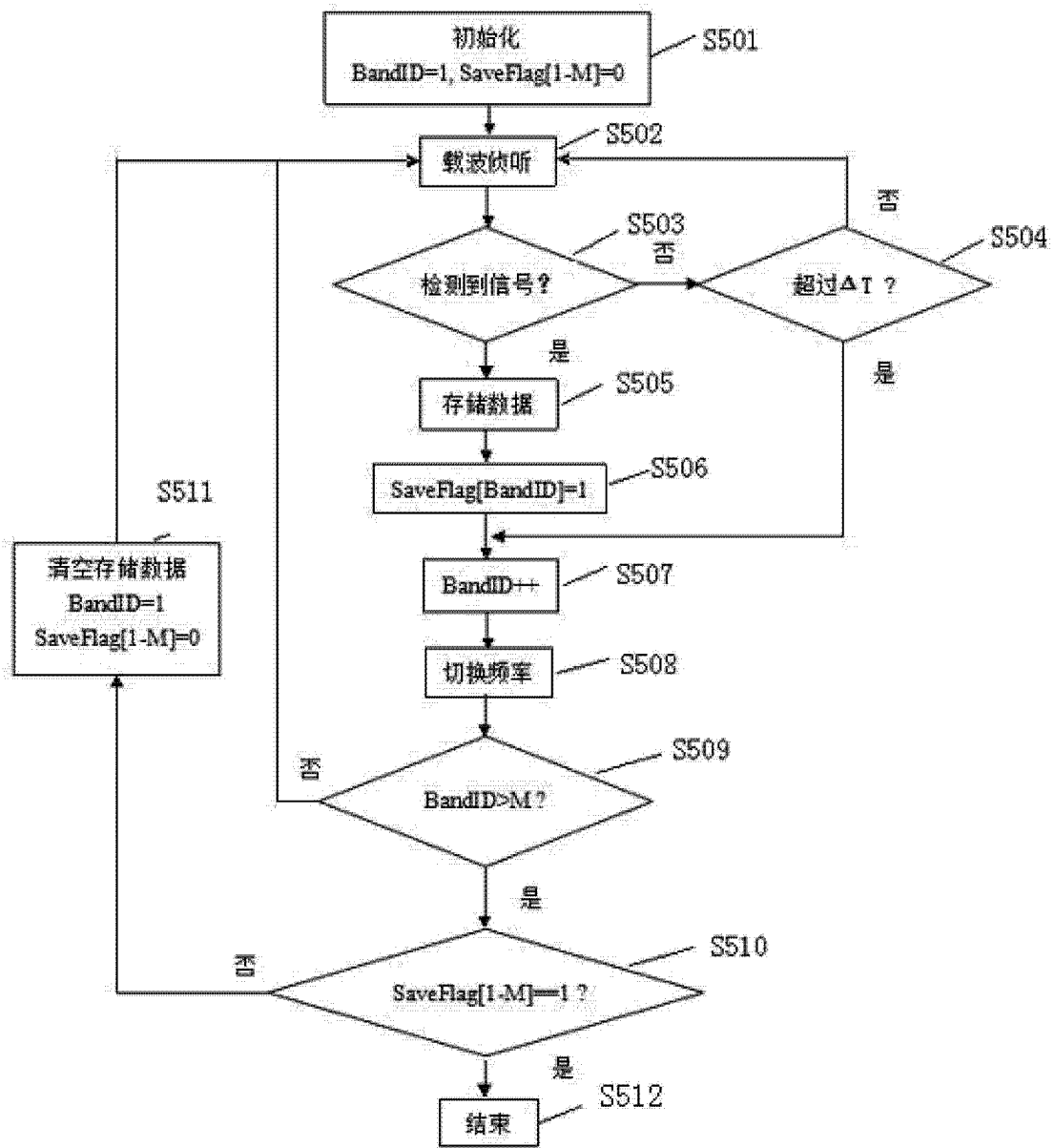


图 5

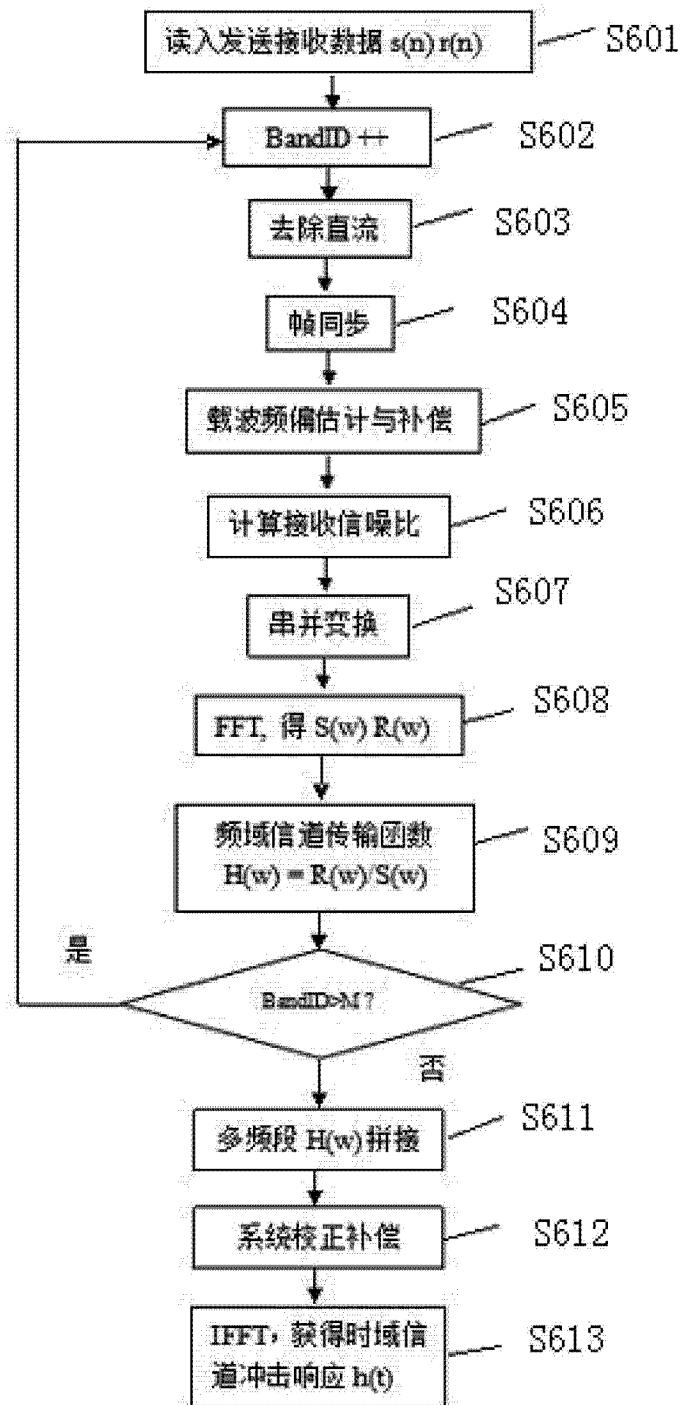


图 6