



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101809930 B

(45) 授权公告日 2013.08.14

(21) 申请号 200880108611.0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2008.07.23

H04L 7/08 (2006.01)

(30) 优先权数据

H04L 27/26 (2006.01)

60/995,782 2007.09.28 US

审查员 成谦

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.03.25

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/008930 2008.07.23

(87) PCT申请的公布数据

W02009/045244 EN 2009.04.09

(73) 专利权人 汤姆森许可贸易公司

地址 法国布洛涅-比朗库尔

(72) 发明人 陈厚昕 高文

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 戎志敏

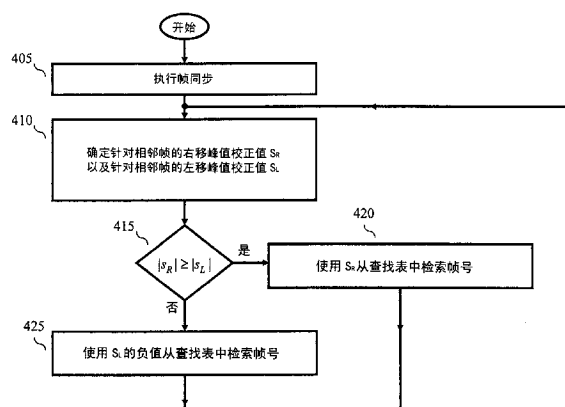
权利要求书1页 说明书7页 附图14页

(54) 发明名称

DMB-T 系统的时间频率同步和帧号检测

(57) 摘要

DMB-T 接收机支持单载波 (SC) 调制形式和多载波调制形式, 如正交频分复用 (OFDM)。当接收广播信号时, DMB-T 接收机将接收到的广播信号下变频成接收到的基带信号, 并通过对相邻信号帧中的接收的符号组进行相关来确定每个帧的帧号。具体地, 接收机确定最大右移校正值和最大左移校正值。如果最大右移校正值的大小大于或等于最大左移校正值的大小, 则使用最大右移校正值来从查找表中检索帧号。否则, 使用最大左移校正值的负值来从查找表中检索帧号。



1. 一种在接收机中使用的方法,所述方法包括:

接收信号以提供接收的符号序列,接收到的信号表示包括帧的超帧,每个帧包括接收的符号组,每个帧具有伪随机序列的报头,所述伪随机序列具有不同的初始相位;以及

通过对相邻信号帧中的接收的符号组进行相关来确定超帧中的每个帧的帧号,相关的符号包括不同帧报头的伪随机序列,其中,

从右移相关中确定最大右移相关值;

从左移相关中确定最大左移相关值;

比较最大右移相关值和最大左移相关值,以确定指向查找表中的帧号的指针从而确定帧号。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述信号是数字多媒体广播地面电视信号,所述确定步骤是针对帧报头模型1和帧报头模型3来执行的。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述确定步骤包括:

如果最大右移相关值的大小大于或等于最大左移相关值的大小,则使用最大右移相关值作为指针从查找表中检索帧号;

否则,使用最大左移相关值的负值作为指针从查找表中检索帧号。

4. 一种在接收机中使用的设备,包括:

下变频器,用于接收信号以提供接收的符号序列,接收到的信号表示包括帧的超帧,每个帧包括接收的符号组,每个帧具有伪随机序列的报头,所述伪随机序列具有不同的初始相位;以及

处理器,用于通过对相邻信号帧中的接收的符号组进行相关来确定超帧中的每个帧的帧号,相关的符号包括不同帧报头的伪随机序列,其中,

从右移相关中确定最大右移相关值;

从左移相关中确定最大左移相关值;

比较最大右移相关值和最大左移相关值,以确定指向查找表中的帧号的指针从而确定帧号。

5. 根据权利要求4所述的设备,其中,所述信号是数字多媒体广播地面电视信号,所述处理器与针对帧报头模型1和帧报头模型3的帧计时进行同步。

DMB-T 系统的时间频率同步和帧号检测

[0001] 本申请的交叉参考

[0002] 本申请要求于 2007 年 9 月 28 日提交的美国临时申请 No. 60/995,782 的优先权。

技术领域

[0003] 本发明总体涉及通信系统,更具体地涉及无线系统,例如地面广播、蜂窝、无线保真 (Wi-Fi)、卫星等等。

背景技术

[0004] 最近,公布的用于地面电视的数字多媒体广播 (DMB-T) 标准是用于中国境内的数字电视 (DTV) 广播 (“Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System,” NSPRC, August 2007)。DMB-T 标准规定接收机支持单载波 (SC) 调制模式和正交频分复用 (OFDM) 调制模式 (多载波模式)。对于单载波模式,直接地传输正交幅度调制 (QAM) 符号。对于多载波模式,通过逆 DFT (离散傅里叶变换) 运算来调制 QAM 符号。DMB-T 信号包括分级帧结构,该分级帧结构具有提供基本构造块的信号帧。图 1 示出了信号帧 10。信号帧 10 包括帧报头 11 和帧本体 12。帧报头 11 具有三个不同长度的帧报头模型。从图 1 可以看出,这些长度是 420、595 或 945 个符号。帧本体 12 运送 3780 个符号,其中 36 个符号是系统信息,3744 个符号是数据。在 DMB-T 系统中,可以采用时域同步 OFDM (TDS-OFDM) 技术。这样,帧报头包括伪噪声 (PN) 序列,该伪噪声 (PN) 序列起到导频信号的作用,并且还用作保护间隔,而并非如在欧洲使用的 DVB-T (地面) (例如,参见 ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television) 中使用的典型 OFDM 传输中一样用作循环前缀。

发明内容

[0005] 如上所述,DMB-T 信号包括信号帧。信号帧包括帧报头和帧本体。在 DMB-T 标准中定义了三种帧报头模型,并且每种模型的结构是不同的。不同模型的帧报头包括伪噪声 (PN) 序列,所述 PN 序列是作为保护间隔来代替循环前缀而插入的,如在典型的 OFDM 传输 (如上述 DVB-T) 中存在的循环前缀。在 DMB-T 中,模型 1 和模型 3 中的 PN 帧报头还被设计为指示信号帧号。这样,在帧报头模型 1 和 3 中使用的 PN 序列的识别可以用于检测帧号。具体地,根据本发明的原理,接收机接收信号以提供接收的符号的序列,接收到的信号具有相关的信号帧结构,每个信号帧结构包括接收的符号组;并且接收机通过对相邻信号帧中的接收的符号组进行相关来确定每个帧的帧号。

[0006] 在本发明的说明性实施例中,接收机是 DMB-T 接收机,并且支持单载波 (SC) 调制形式和多载波调制形式,如正交频分复用 (OFDM)。当接收广播信号时,接收机将接收到的广播信号下变频至接收的基带信号,并通过对相邻信号帧中的接收的符号组进行相关来确定每个帧的帧号。具体地,接收机确定最大右移相关值和最大左移相关值。如果最大右移相

关值的大小大于或等于最大左移相关值的大小,则使用最大右移相关值来从查找表中检索帧号。否则,使用最大左移相关值的负值来从查找表中检索帧号。

[0007] 综上所述,通过阅读详细描述将显而易见的是,其他实施例和特征也是可能的,并且落入本发明原理的范围之内。

附图说明

- [0008] 图 1 和 2 示出了 DMB-T 帧和 DMB-T 帧报头;
- [0009] 图 3 示出了根据本发明原理的说明性数据段;
- [0010] 图 4 示出了根据本发明原理的设备的说明性实施例;
- [0011] 图 5 示出了根据本发明原理的说明性流程图;
- [0012] 图 6 示出了根据本发明原理的接收机的说明性实施例;
- [0013] 图 7-12 示出了本文所描述的各种方法的性能图表;
- [0014] 图 13 示出了根据本发明原理的说明性数据段;
- [0015] 图 14 示出了根据本发明原理的另一说明性流程图;以及
- [0016] 图 15 示出了根据本发明原理的接收机的说明性实施例。

具体实施方式

[0017] 除了本发明的构思以外,图中所示的元件是公知的并且将不被详细描述。此外,认为熟悉电视广播、接收机和视频编码,这里不再对其详细描述。例如,除了本发明的构思以外,认为熟悉当前针对 TV 标准提出的建议,如,NTSC(国家电视系统委员会)、PAL(逐行倒相)、SECAM(顺序传递彩色和存储)、ATSC(高级电视系统委员会)、中国数字电视系统(GB)20600-2006 以及诸如 IEEE 802.16、802.11h 等联网技术。例如在 ETSI EN 300 744 V1.4.1(2001-01), Digital Video Broadcasting(DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television 中可以找到与 DVB-T 广播信号有关的其他信息。同样,除了本发明的构思以外,还采用诸如八电平残留边带(8-VSB)、正交幅度调制(QAM)、正交频分复用(OFDM)或编码 OFDM(COFDM)或离散多音频(DMT)等传输构思以及诸如射频(RF)前端之类的接收机组件或诸如低噪模块、调谐器和解调器、相关器、泄漏积分器和平方器之类的接收机部分。类似地,除了本发明构思以外,用于产生传递比特流的格式化和编码方法(如,运动图像专家组(MPEG)-2 系统标准(ISO/IEC 13818-1))是公知的,本文不再对其详细描述。还应注意,可以使用传统的编程技术(这里将不再描述这样的编程技术)来实现本发明的构思。最终,图中相似的数字表示相似的元件。

[0018] 如上所述,在 DMB-T 中存在三种帧报头模型。图 2 中示出了这些帧报头模型。帧报头模型 1(11-1)包括前同步部分(21)、PN255 序列部分(22)和后同步部分(23)。前同步部分(21)和后同步部分(23)是 PN255 序列(22)的循环扩展。前同步的长度是 82 个符号,后同步的长度是 83 个符号。对于帧报头模型 1,由 225 个信号帧组成的组形成了超帧(未示出),这 225 个帧使用由相同 8 阶线性移位寄存器产生的、但具有不同初始相位的 PN 序列。帧报头模型 2(11-2)包括 PN595 序列,该 PN595 序列从 10 阶最大长度序列截取的。例如,帧报头模型 2(11-2)由来自长度为 1023 的 PN 序列的前 595 个符号构成。对于帧报头模型 2,由 216 个信号帧组成的组形成了超帧。与帧报头模型 1 不同,所有帧报头包含相

同的 PN595 序列。最后,帧报头模型 3(11-3) 与帧报头模型 1(11-1) 的结构相类似。帧报头模型 3 包括前同步 (41)、PN511 序列 (42) 和后同步 (43)。前同步 (41) 和后同步 (43) 是 PN511 序列 (42) 的循环扩展。前同步的长度是 217 个符号,后同步的长度是 217 个符号。对于帧报头模型 3,由 200 个信号帧组成的组形成了超帧,并且这 200 个帧使用由相同 9 阶线性移位寄存器产生的、具有不同初始相位的 PN 序列。尽管不同的模型具有不同的结构,根据本发明的原理,接收机通过对在采样移位值内相隔至少两个信号帧的接收的符号组进行相关,来执行帧计时同步。在以下描述中,假定接收机已经根据传统技术确定了帧报头模型。

[0019] 如上所述,超帧中的信号帧报头使用由相同线性移位寄存器产生的、但是对于帧报头模型 1 和 3 而言具有不同初始相位的 PN 序列。这些 PN 序列是彼此的循环移位。在前述 NSPRC,“Framing Structure,Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System,”NPSC, August 2007 中列出了超帧的每个信号帧的 PN 序列的初始相位。在计算机验证之后,发现 PN 序列具有以下结构。令第一信号帧中的 PN 序列是基准 PN 序列, $P_i(1)$ 是相对于帧报头模型 i 的基准 PN 序列循环右移 1 位的 PN 序列。那么对于帧报头模型 1 来说以下关系成立:

$$[0020] \quad F_1(l) = \begin{cases} P_1(l/2), & l = 0, 2, \dots, 112 \\ P_1(254 - (l-1)/2), & l = 1, 3, \dots, 111 \\ P_1(224 - l), & l = 113, \dots, 224 \end{cases} \quad (1)$$

[0021] 其中, $F_1(1)$ 是在帧报头模型 1 的第 1 个信号帧中使用的 PN 序列。以类似的形式,对于帧报头模型 3 来说以下关系成立:

$$[0022] \quad F_3(l) = \begin{cases} P_3(l/2), & l = 0, 2, 4, \dots, 100 \\ P_3(510 - (l-1)/2), & l = 1, 3, 5, \dots, 99 \\ P_3(200 - l), & l = 101, 102, \dots, 199 \end{cases} \quad (2)$$

[0023] 其中, $F_3(1)$ 是在帧报头模型 3 的第 1 个信号帧中使用的 PN 序列。

[0024] 从等式 (1) 和 (2) 中给出的 PN 序列结构中,注意到除了中间两个信号帧(这两个信号帧在模型 1 中是信号帧 111 和 113,在模型 3 中是信号帧 99 和 101) 以外,每一个其他信号帧的 PN 序列的循环移位是向右移一位或向左移一位。对于中间两个信号帧(同样地,这两个信号帧在模型 1 中是信号帧 111 和 113,在模型 3 中是信号帧 99 和 101),与这两个信号帧相邻一帧的 PN 序列循环移位一位或不变。因此,对于每一个其他信号帧,帧报头具有至少 L_i-1 个重复的 PN 符号, L_i 是帧报头模型 i 的帧报头的长度,其中 $i = 1, 3$ (例如, $L_1 = 420$ 个符号, $L_3 = 495$ 个符号)。从这个角度来看,根据本发明的原理,相对于计时实例 m 和 s 采样移位的 PN 帧报头相关 (FHC) 函数被定义为:

$$[0025] \quad R_{fhc}[m, s] = \sum_{k=0}^{G_i-2} r[m+k] \cdot r^*[m+k+2M_i+s]; i = 1, 3; s = -1, 0, 1 \quad (3)$$

[0026] 其中 $r[m]$ 是所采样的接收信号, G_i 是帧报头模型 i 的 PN 序列的长度,其中 $i = 1, 3$, (例如, $G_1 = 255$ 个符号, $G_3 = 511$ 个符号);参数 $M_i = N+L_i$ 是帧报头模型 i 的信号帧的长度,其中 $i = 1, 3$, (例如, $M_1 = 4206$ 个符号, $M_3 = 4725$ 个符号)。这样,最优的帧计时 m_0 由以下等式给出:

$$[0027] \quad m_0 = \arg \max_{0 \leq m \leq M} \max_{-1 \leq s \leq 1} |R_{fnc}[m, s]| \quad (4)$$

[0028] 应注意,假定采样计时等于符号计时。然而,本发明的构思不限于此,采样计时可以与符号计时不同。在图 3 中概念地示出了等式 (3)。对接收的信号 r (80) 进行采样,以提供采样的序列,例如,采样 79 表示 $r[m]$ (在 $k = 0$ 处)。采样的序列 81 ($0 \leq k \leq (G_i - 2)$) 与来自采样的序列 82 的相应采样 ($0 \leq k \leq (G_i - 2)$) 相乘,其中,采样序列 82 位于与采样序列 81 相距 $2M_i$ 的位置处 (即,与采样序列 81 至少相隔两个信号帧) 并向前或向后移位 s 个采样,其中 $-1 \leq s \leq 1$ 。实质上,在采样移位值内隔开至少两个信号帧的滑动窗相关。一旦确定了 m_0 (等式 (4)), m_0 的值就表示符号中帧开始的位置。

[0029] 现在参考图 4,示出了根据本发明原理的设备 50 的说明性实施例。设备 50 表示任何基于处理器的平台,例如 PC、服务器、机顶盒、个人数字助理 (PDA)、蜂窝电话、移动数字电视 (DTV) 等。这样,设备 50 包括具有相关存储器 (未示出) 的一个或更多个处理器,并且还包括接收机 55。接收机 55 经由天线 (未示出) 接收广播信号 1。为了本示例的目的,假定广播信号 1 表示数字电视 (DTV) 服务,即,DTV 传输流,所述 DTV 传输流包括针对至少一个 TV 信道的视频、音频和 / 或系统信息,并且假定广播信号 1 使用单载波 (SC) 调制或多载波调制 (如正交频分复用 (OFDM)) 来传送该信息。说明性地,假定经由 DMB-T 来传送 DTV 服务。然而,本发明的构思不限于此。由于在本示例中广播信号 1 使用至少三种类型的帧报头模型,所以接收机 55 根据本发明的原理来处理接收到的广播信号 1 以便执行帧计时同步。在获得帧计时同步之后,接收机 55 对接收到的广播信号 1 作进一步处理以从该接收到的广播信号 1 中恢复输出信号 56 以便应用于输出设备 60,所述输出设备 60 可以是也可以不是如以虚线形式表示的设备 50 的一部分。在本实例的情况下,输出设备 60 是使得用户可以观看所选的 TV 节目的显示器。

[0030] 现在参考图 5,示出了用于设备 50 中的根据本发明的原理的流程图。在步骤 2-5,接收机 55 对来自所采样的接收信号 (例如,返回参考图 3) 的采样执行帧报头相关 (等式 (3))。根据该数据,接收机 55 在步骤 215 确定峰值 m_0 (等式 (4))。值 m_0 表示帧开始的位置。还在步骤 215 中实现了接收机 55 信号帧计时同步。

[0031] 现在参考图 6,示出了接收机 55 的说明性部分。仅示出了与本发明构思相关的接收机 55 的部分。接收机 55 包括下变频器 110、调制器 115 以及帧计时同步器 120。此外,接收机 55 是基于处理器的系统,并且包括一个或多个处理器以及相关存储器,如在图 6 中以虚线框形式示出的处理器 190 和存储器 195 表示的。在这种情况下,将计算机程序或软件存储在存储器 195 中以供处理器 190 执行,例如,图 5 的上述流程图。处理器 190 表示一个或多个存储程序控制处理器,这些存储程序控制处理器不需要专用于接收机功能,例如,处理器 190 还可以控制接收机 55 的其他功能。例如,如果接收机 55 是大型设备的一部分,则处理器 190 可以控制该设备的其他功能。存储器 195 表示任何存储设备,例如,随机存储存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM) 等;存储器 195 可以在接收机 55 内部和 / 或外部;并且存储器 195 可以根据需要是易失性的和 / 或非易失性的。

[0032] 图 6 的天线 105 接收广播信号并将该广播信号提供给接收机 55。在该示例中,天线 105 将接收到的广播信号 106 提供给下变频器 110。下变频器 110 表示接收机 55 的前端处理,并且包括例如调谐器 (未示出),所述调谐器用于对接收到的广播信号 106 进行调谐和下变频,以提供基带或中频 (IF) 接收信号 111 以供接收机 55 作进一步处理。将接收信

号 111 应用到解调器 115。在 DMB-T 的情况下,解调器 115 支持 N 种解调模式,其中 $N > 1$ 。在该示例的情况下, $N = 2$,其中一个解调模式是 OFDM 模式,另一解调模式是 SC 模式。出于本示例的目的,假定接收的信号 111 表示使用帧报头模型 1 或帧报头模型 3 的 OFDM 信号。解调器 115 对接收的信号 111 进行解调以提供解调信号 116,然后接收机 55 如现有技术已知的对该解调信号 116 进行进一步处理以提供输出信号 16。根据本发明的原理,帧计时同步器 120 对经由信号路径 112 来自解调器 115 的数据进行处理(如以上关于图 5 的流程图而描述的),以实现供接收机 55 使用的帧计时同步。在图 6 中以信号 121 示出了这一点,信号 121 用信号通知已经实现了供接收机 55 使用的帧计时同步(例如图 5 的步骤 215)。应注意,尽管图 6 中的多个元件被表示单个模块,然而本发明不限于此。例如,可以存在分立的解调器,每个解调器支持一种或多种类型的解调。

[0033] 应注意,模型 1 和 3 中的 PN 帧报头还专用于指示 DMB-T 中的信号帧号。关于这一点,可以使用在根据本发明原理的帧报头模型 1 和 3 中使用的 PN 序列的识别,来检测帧号。实际上,等式 (1) 和 (2) 的使用导致了低复杂度的帧号检测器。此外,这种低复杂度的帧号检测器免受频率偏移。

[0034] 对于 $i = 1, 3$, 分别针对帧报头模型 1 和帧报头模型 3, 根据 (1) 和 (2) 令 $S_i(1)$ 是从 $F_i(1)$ 向 $F_i(1+1)$ 循环右移的数目。具体地,对于帧报头模型 1,

$$[0035] \quad S_1(l) = \begin{cases} (-1)^{l+1}(l+1), & 0 \leq l \leq 111 \\ (-1)^{l+1}(224-1), & 112 \leq l \leq 224 \end{cases} \quad (5)$$

[0036] 对于帧报头模型 3:

$$[0037] \quad S_3(l) = \begin{cases} (-1)^{l+1}(l+1), & 0 \leq l \leq 99 \\ (-1)^{l+1}(200-1), & 100 \leq l \leq 199 \end{cases} \quad (6)$$

[0038] 应注意,负的 $S_i(1)$ 指示向左循环移位。因此,存在从 $F_i(1)$ 向 $F_i(1+1)$ 的唯一循环移位。还应注意,存在 $L_i - |S_i(1)|$ 个针对帧报头 1 和 1+1 的重复的符号。根据等式 (5) 和 (6),可以构造两个查找表 (LUT)。一个 LUT 针对帧报头模型 1,另一个 LUT 针对帧报头模型 3。在每个 LUT 中,每个循环移位 s 与帧号 1 的值相关联。对于帧报头模型 1,在两个连续的帧报头中存在至少 $Z_1 = 308$ 个重复的符号,对于帧报头模型 3,在两个连续的帧报头中存在至少 $Z_3 = 845$ 个重复的符号。现在,令 $R_{pnc}^R[s]$ 和 $R_{pnc}^L[s]$ 是相对于向右和向左移位的 s 个采样的 PN 相关函数:

$$[0039] \quad R_{pnc}^R[s] = \sum_{k=0}^{Z_i-1} r[m_0 + k] \cdot r^*[m_0 + k + M_i + s]; \quad (7)$$

$$[0040] \quad R_{pnc}^L[s] = \sum_{k=0}^{Z_i-1} r[m_0 + k + s] \cdot r^*[m_0 + k + M_i]$$

[0041] 对于 $i = 1, 3$; 其中对于 $R_{pnc}^R[s]$, $0 \leq s \leq 112$, 对于 $R_{pnc}^L[s]$, $1 \leq s \leq 112$ 。然后,令

$$[0042] \quad s_R = \arg \max_{0 \leq s \leq 112} |R_{pnc}^R[s]|, \quad i = 1, 3, \quad (8)$$

$$[0043] \quad s_L = \arg \max_{1 \leq s \leq 112} |R_{pnc}^L[s]|, \quad i = 1, 3$$

[0044] 最终,通过以下等式给出从 $F_i(1)$ 向 $F_i(1+1)$ 的所估计的 PN 序列循环移位:

$$[0045] \quad \hat{s} = \begin{cases} s_R, & \text{if } |P_{pnc}^R[s_R]| \geq |P_{pnc}^L[s_L]| \\ s_L, & \text{if } |P_{pnc}^R[s_R]| < |P_{pnc}^L[s_L]| \end{cases} \quad (9)$$

[0046] 然后,等式 (9) 中 $\hat{s}$ 的值用于从适当的 LUT 检索相关的帧号 1。

[0047] 如进一步说明的,在图 13 中概念地示出了等式 (7) 中的 $R_{pnc}^R[s]$ 。例如,使用来自等式 (4) 的 m_0 值来确定一个帧同步,一起对相邻信号帧中具有相同重复符号的那些部分进行相关。图 13 中利用第一帧的部分 301 和下一相邻帧的部分 302 示出了这一点。

[0048] 现在参考图 14,示出了用于设备 50 中的根据本发明原理的说明性流程图。在步骤 405,接收机 55 (例如,使用图 5 所述和之前描述的方法) 执行帧同步。一旦完成了帧同步,接收机 55 就在步骤 410 确定最大右移相关值 S_R 和最大左移相关值 S_L (例如,根据上述等式 (7) 和 (8))。在步骤 415,对这些值的大小进行比较。如果最大右移相关值的大小大于或等于最大左移相关值的大小,则在步骤 420 中使用最大右移相关值从查找表中检索帧号 (等式 (9))。否则,在步骤 425 中使用最大左移相关值的负值从查找表中检索帧号 (等式 (9))。该过程针对子帧中的相邻帧而继续进行。

[0049] 现在参考图 15,示出了接收机的另一说明性部分。仅示出了与本发明构思相关的接收机 55 的部分。接收机 55 的该部分与图 6 所示的部分相类似,不同之处在于添加了帧号检测器 140。帧号检测器 140 包括两个查找表 142 和 143。查找表 142 与帧报头模型 1 相关联,并且针对该模型使每个循环右移与帧号相关联。同样地,查找表 143 与帧报头模型 3 相关联,并针对该模型使每个循环右移与帧号相关联。根据本发明的原理,帧号检测器 140 对经由信号路径 112 来自解调器 115 的数据进行处理 (如以上关于图 14 的流程图而描述的),以确定供接收机 55 使用的帧号。在图 15 中利用信号 141 示出了这一点,信号 141 提供了针对每个接收到的帧提供帧号。

[0050] 如图 2 所示,对于帧报头模型 1 和 3,帧报头包括 PN 序列及其循环扩展。因此,在帧报头模型 1 中,帧报头的前 165 个符号是帧报头的后 165 个符号的重复。同样地,在帧报头模型 3 中,帧报头的前 434 个符号是帧报头的后 434 个符号的重复。这样,两个循环扩展之间的相关也可以用于执行帧计时同步。具体地,关于计时实例 m 的循环扩展相关 (CEC) 函数被定义为:

$$[0051] \quad R_{cec}[m] = \frac{1}{C_i} \sum_{k=0}^{C_i-1} r[m+k] \cdot r^*[m+k+G_i], \quad i=1,3 \quad (10)$$

[0052] 参数 $C_1 = 165$ 是循环扩展符号的数目, $G_1 = 255$ 是针对帧报头模型 1 的 PN 序列的长度。类似地,参数 $C_3 = 434$ 是循环扩展符号的数目, $G_3 = 511$ 是针对帧报头模型 1 的 PN 序列的长度。那么,最优帧计时 (在信号帧的起始处的采样索引) 由以下等式给出:

$$[0053] \quad m_1 = \arg \max_{0 \leq m \leq M_1-1} |R_{cec}[m]| \quad (11)$$

[0054] 应注意,频率偏移的存在导致了与计时索引成比例的相位旋转。因此,通常通过以下等式来估计频率偏移 Δf :

$$[0055] \quad \Delta \hat{f} = \text{Arg}(R_{cec}[m_1]) \cdot \frac{f_s}{2\pi G_i} \quad (12)$$

[0056] 其中, $f_s = 7.56\text{MHz}$ 是 DMB-T 系统的符号速率 (例如,参见 F. Tufvesson, O. Edfors

and M. Faulkner, "Time and Frequency Synchronization for OFDM Using PN-Sequence Preambles," Proc. IEEE VTC, pp. 2203-2207, September 1999)。函数 $\text{Arg}(\cdot)$ 是自变量的模 -2π 角。应注意, 由于相位不确定性, 在等式 (12) 中给出的频率偏移估计器具有其局限性。对于帧报头模型 1, 该估计器在 $|\Delta f| < 29647\text{Hz}$ 时可以可靠地估计, 对于帧报头模型 3, 该估计器可以在 $|\Delta f| \leq 14794\text{Hz}$ 时可可靠地估计。

[0057] 通过计算机仿真说明了所提出的帧计时同步器、频率偏移估计器以及帧号检测器的性能。仿真环境是加性高斯白噪声 (AWGN) 和具有等于 $1.24\mu\text{s}$ (9.37 个采样) 的均方根 (RMS) 延迟的多路瑞利衰减信道。对于多路瑞利衰减信道, 每个信号路径的包络是瑞利分布的, 并且每个路径的信道增益是由 Jakes 衰减模型来产生的 (例如, 参见 P. Dent, E. G. Bottomley, and T. Groff, "Jakes Fading Model Revisited," Electronic Letters, Vol. 29, No. 13, pp. 1162-1163, June 1993)。图 7 和 8 示出了在 AWGN 环境下针对帧报头模型 1 (7) 和帧报头模型 3 (8) 的所估计的计时的标准偏差。可以看出, 当 SNR 在 5dB 左右时该标准偏差小于一个采样。在仿真中将频率偏移设置为 14kHz。从图 9 (针对帧报头模型 1) 和图 10 (针对帧报头模型 3) 可以看出, 当 SNR 是 0dB 时, 均方根 (RMS) 残余频率偏移对于帧报头模型 1 而言接近 300Hz, 对于帧报头模型 3 而言接近 100Hz, 最终, 关于帧报头号检测, 从图 11 (帧报头模型 1) 和图 12 (帧报头模型 3) 可以看出, 所提出的算法产生了非常好的性能, 并且当 SNR 大于 -3dB 时不会发生帧号检测错误。应注意, 从等式 (3) 和 (4) 的 PNS 计时同步器得到了在帧号检测器中使用的帧计时。

[0058] 如上所述, 根据本发明的原理, 帧计时同步器和帧号检测器使用帧报头模型 1 和 3 中的 PN 形式。以上还描述了联合帧计时和频率偏移估计器, 其基于在帧报头中的循环扩展特性。仿真结果示出了所有所提出的算法的性能都是良好的。此外, 所提出的算法的复杂度非常低, 从而这些算法可以容易地应用于实际系统中。尽管关于 OFDM 信号而描述了本发明, 然而本发明的构思也可以应用于单个载波信号。此外, 应意识到, 传统的相关技术可以用于帧报头模型 2。

[0059] 综上所述, 前述内容仅仅说明了本发明的原理, 从而将意识到, 本领域技术人员将能够设计出许多备选方案, 尽管这些备选方案在本文中并没有被明确描述, 但这些备选方案体现本发明的原理并且在本发明的精神和范围之内。例如, 尽管关于分立的功能元件来说明, 然而可以在一个或多个集成电路 (IC) 中实现这些功能元件。此外, 本发明的原理可以应用于其他类型的通信系统, 例如, 卫星、无线保真 (Wi-Fi)、蜂窝等。实际上, 本发明的构思还可以应用于固定或移动接收机。因此将理解, 可以对说明性的实施例作出许多修改, 并且在不脱离由所附权利要求所限定的本发明的精神和范围的前提下可以设计出其他的方案。

现有技术

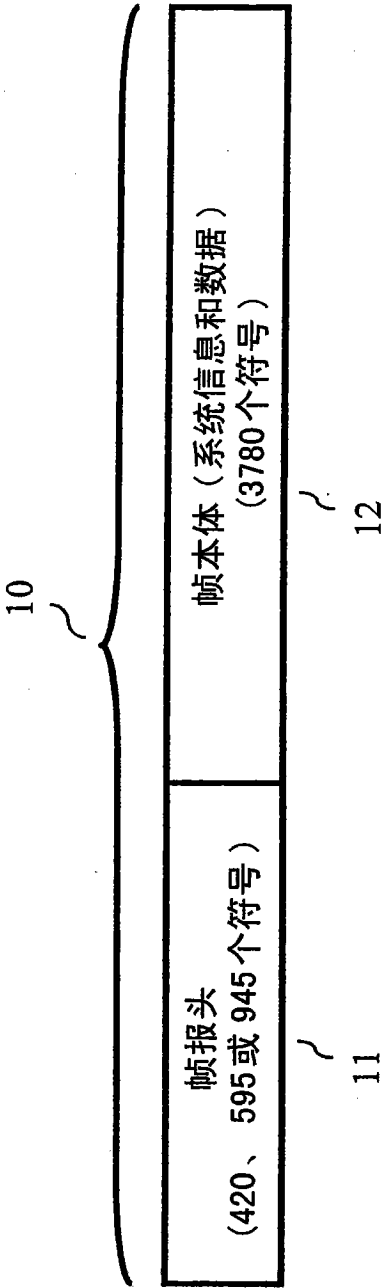


图 1

现有技术

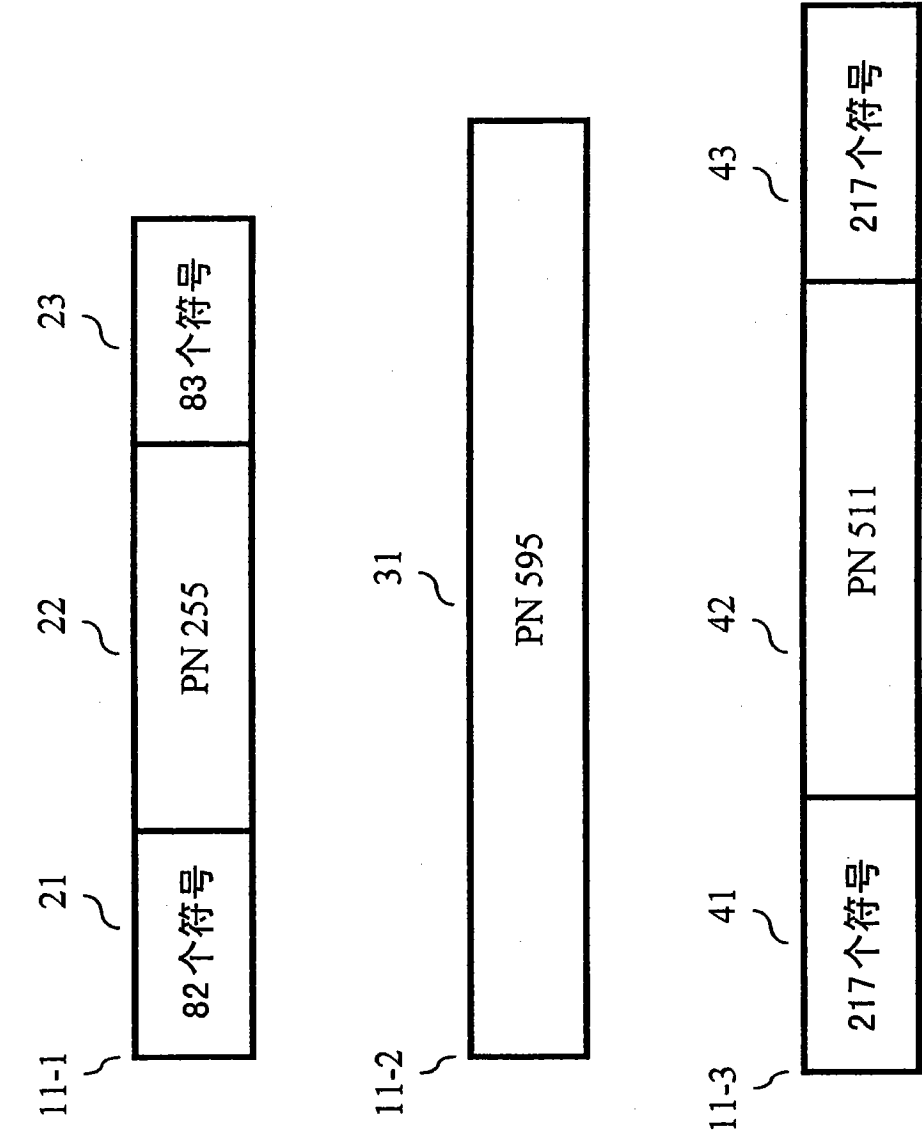


图 2

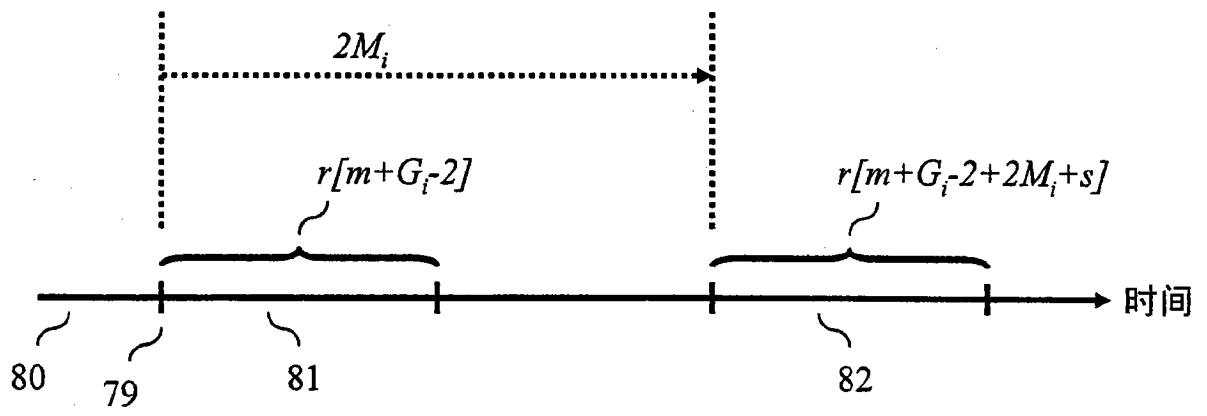


图 3

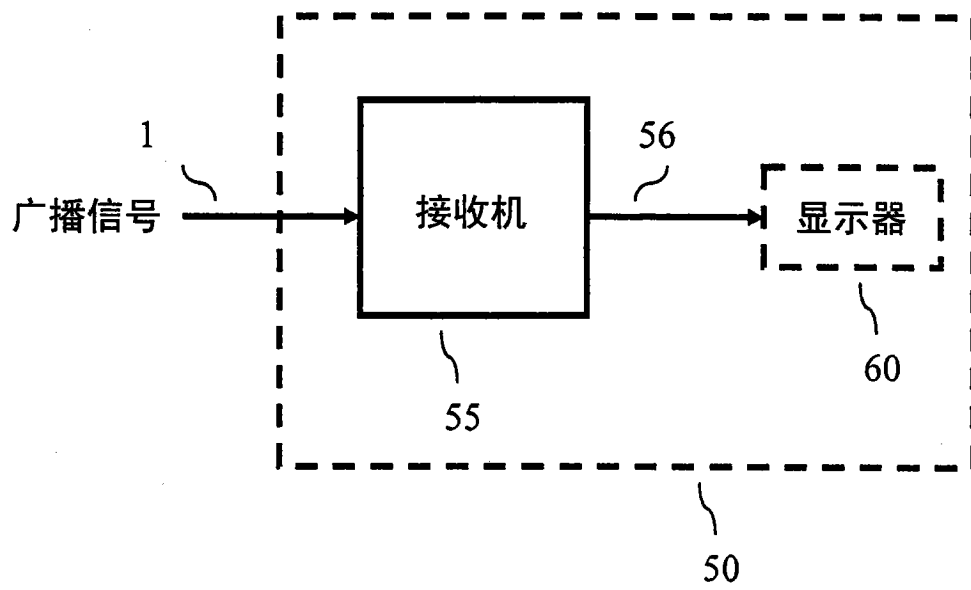


图 4

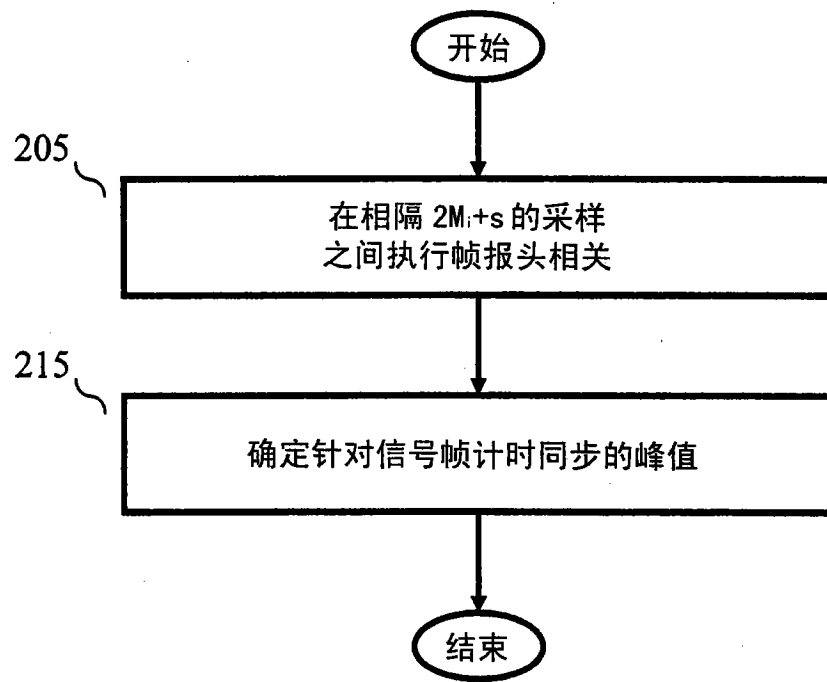


图 5

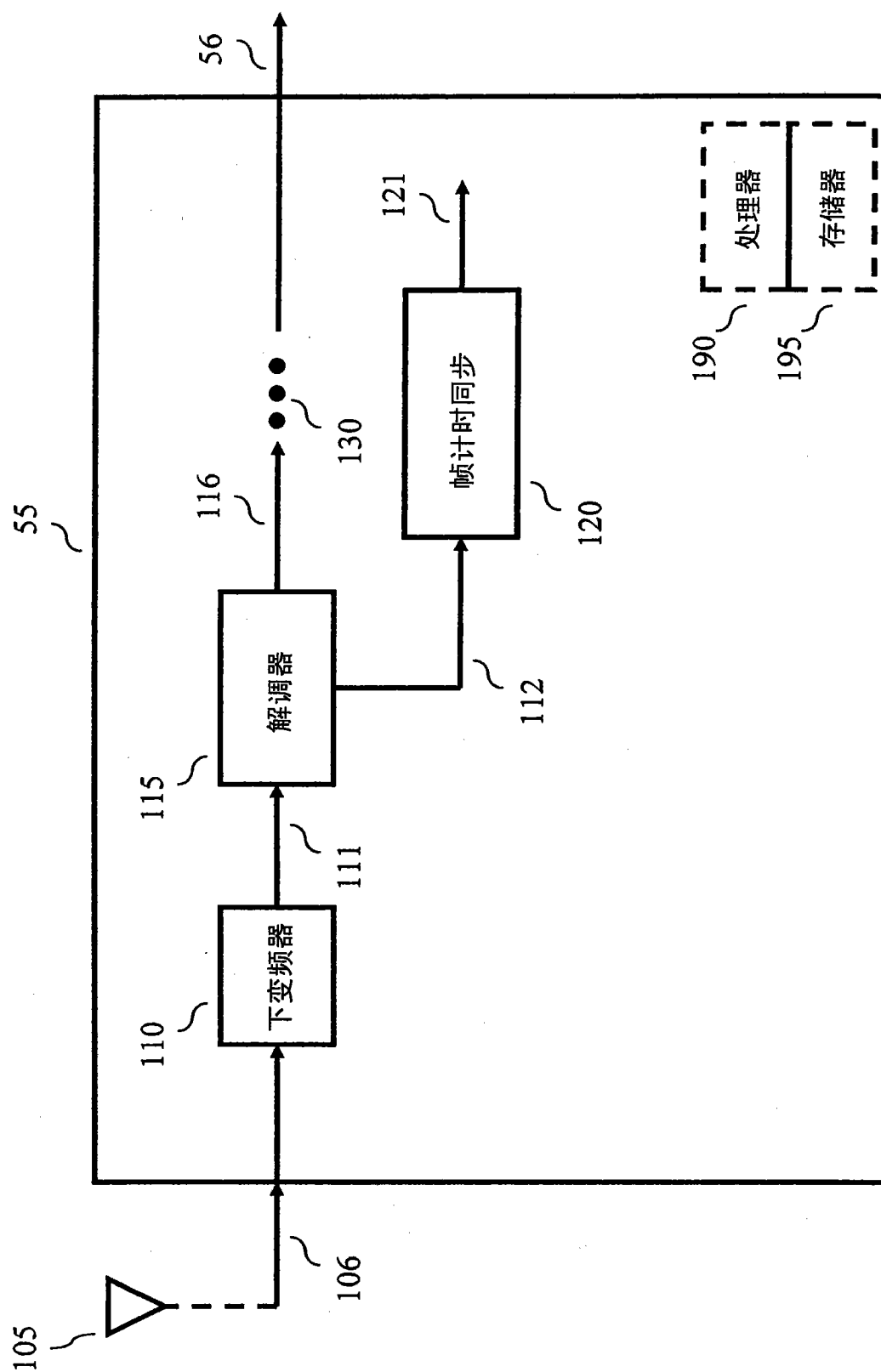


图 6

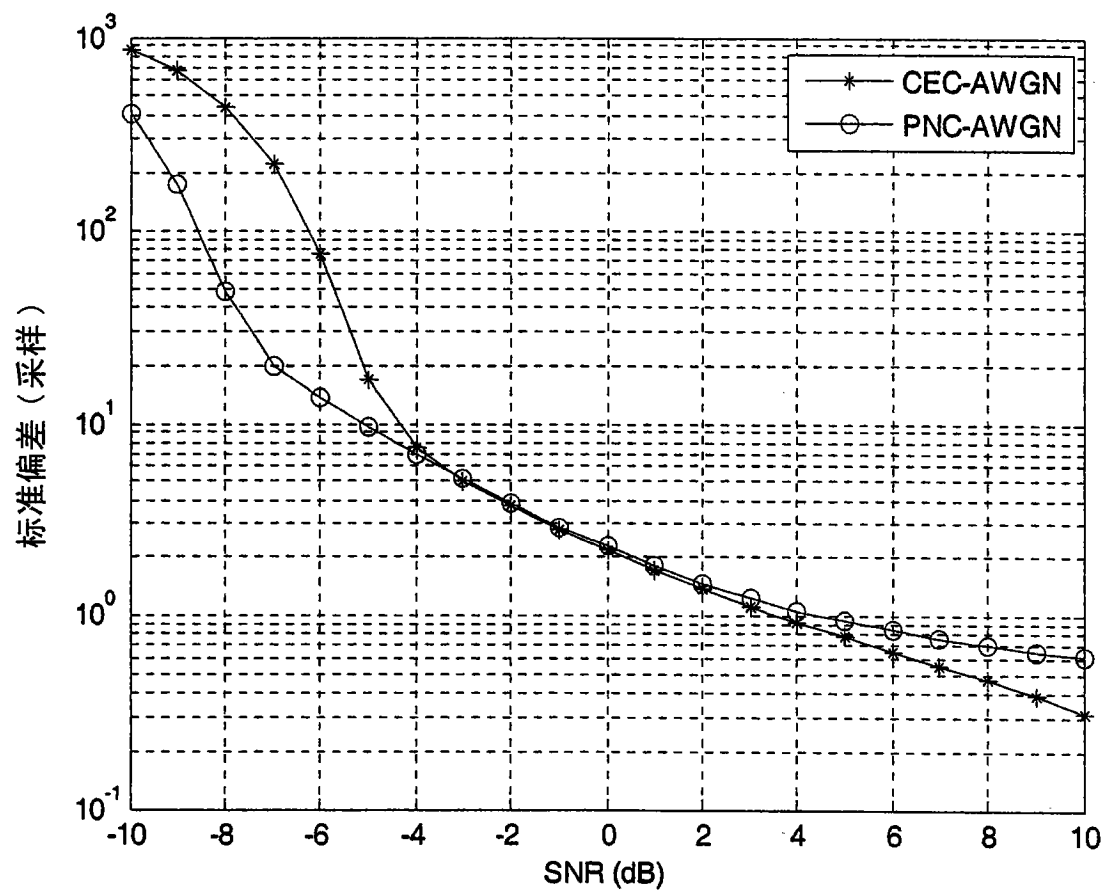


图 7

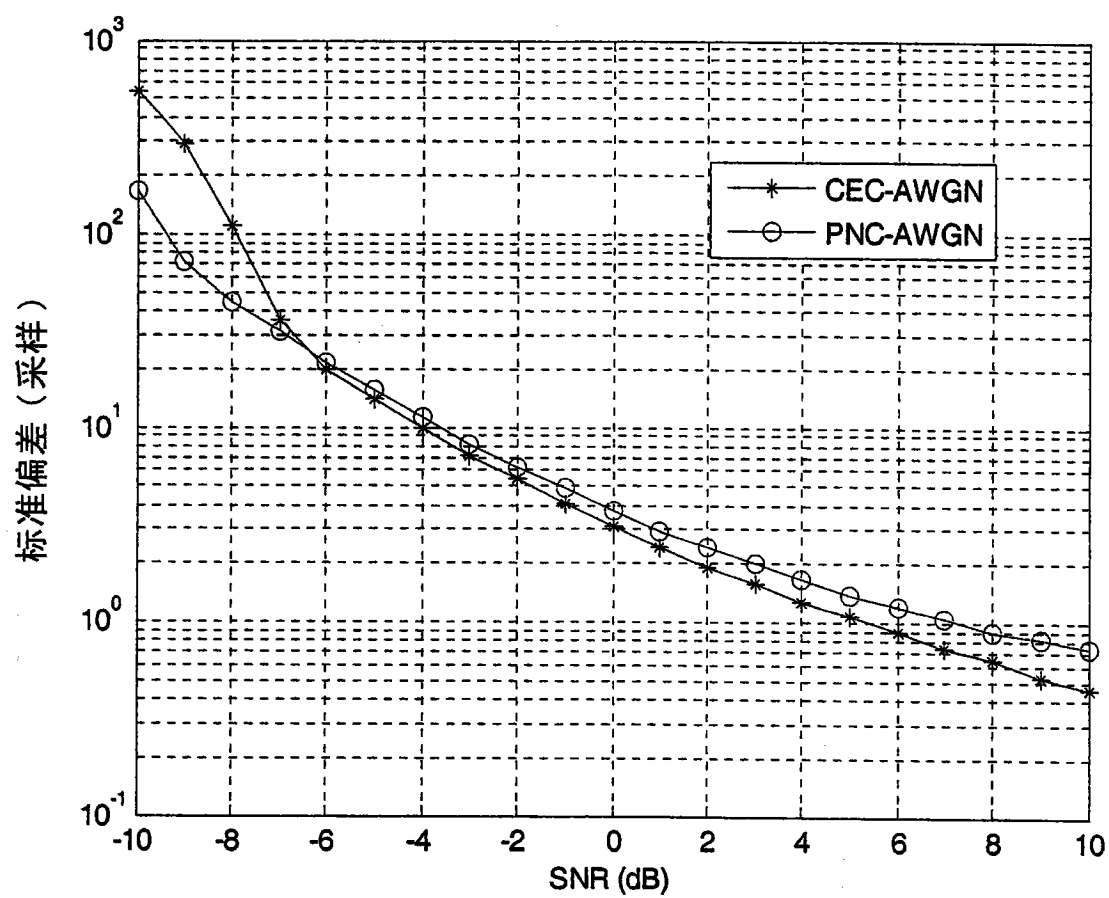


图 8

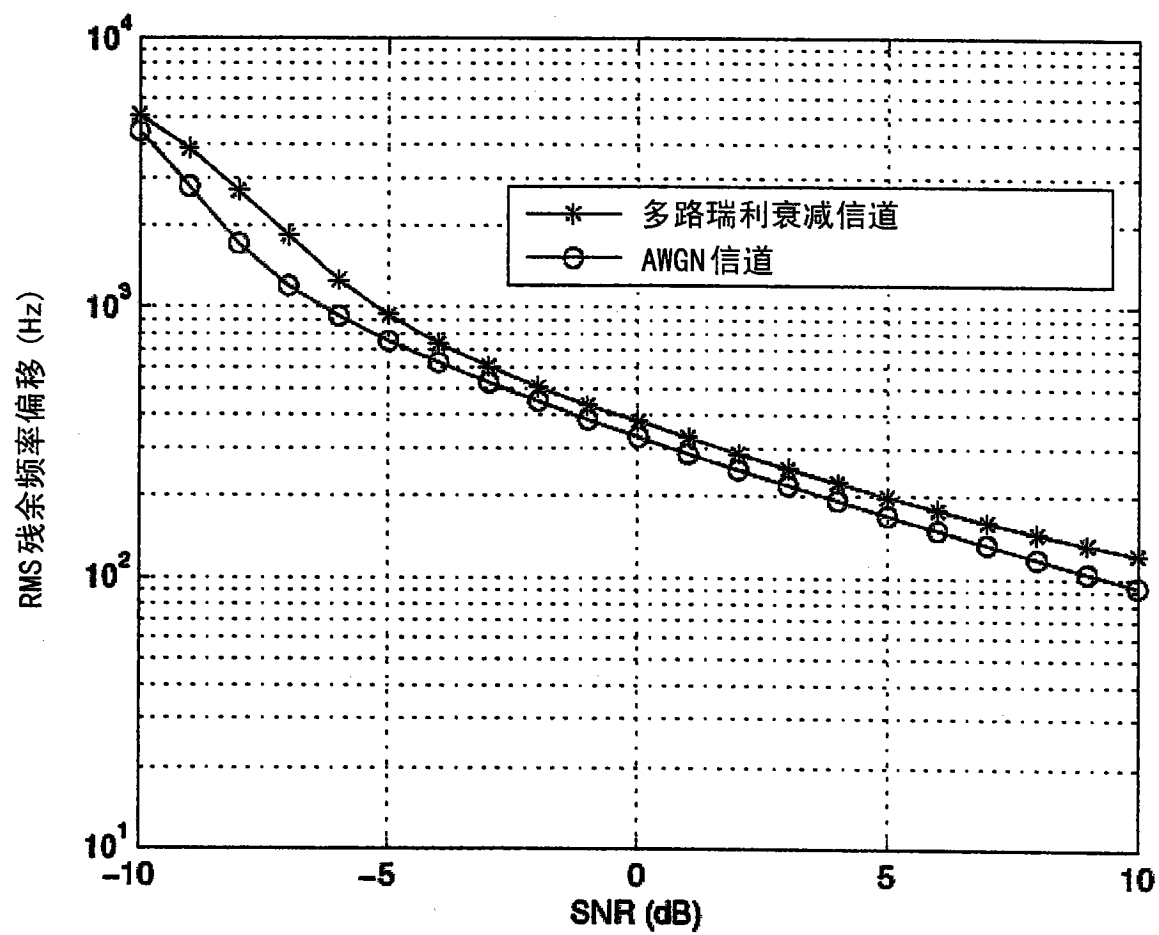


图 9

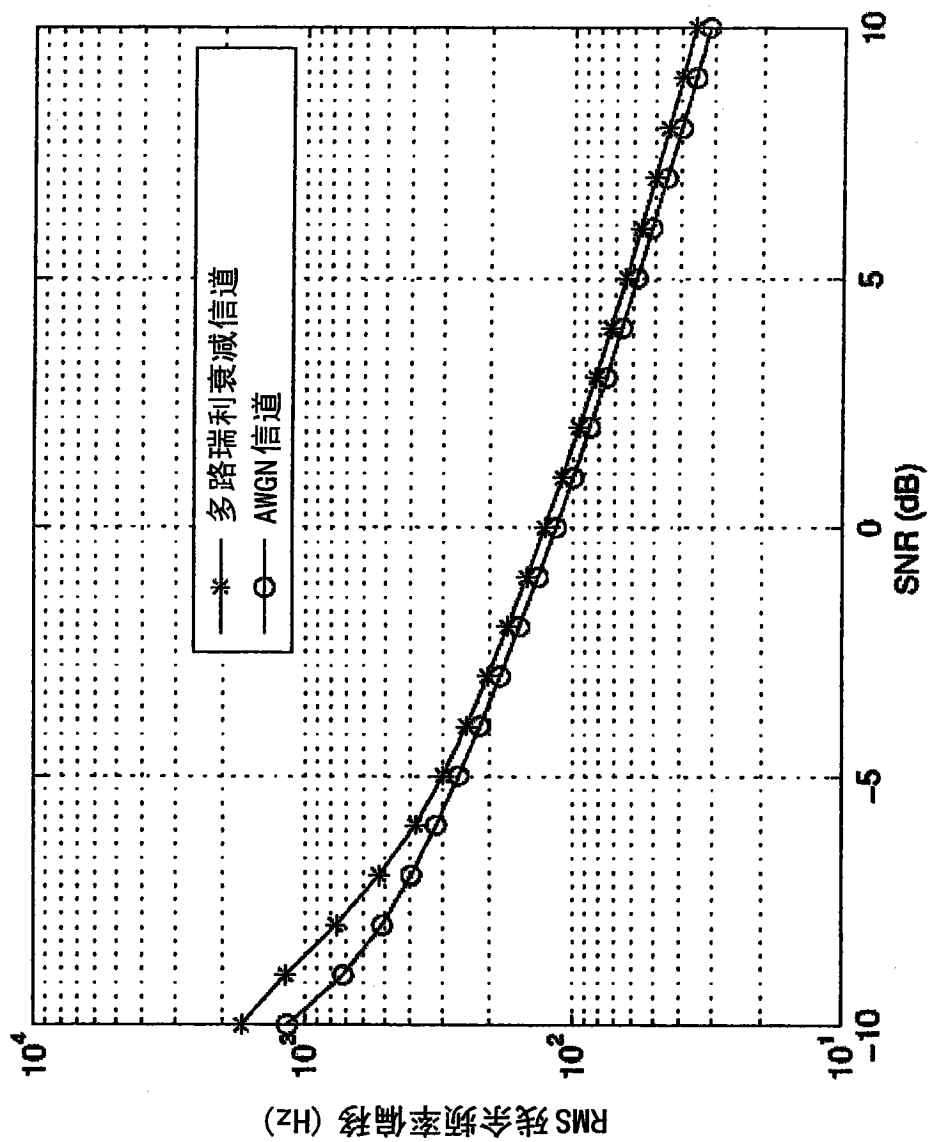


图 10

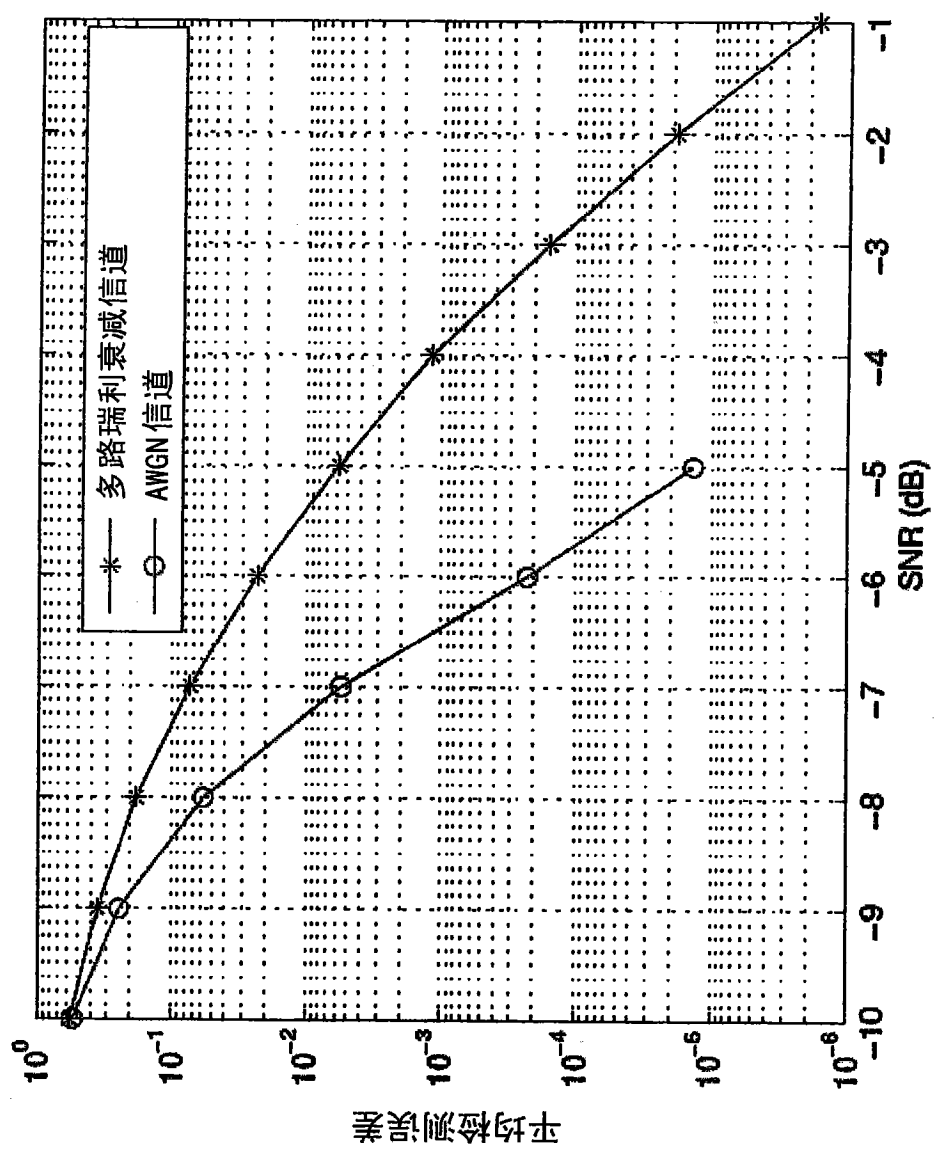


图 11

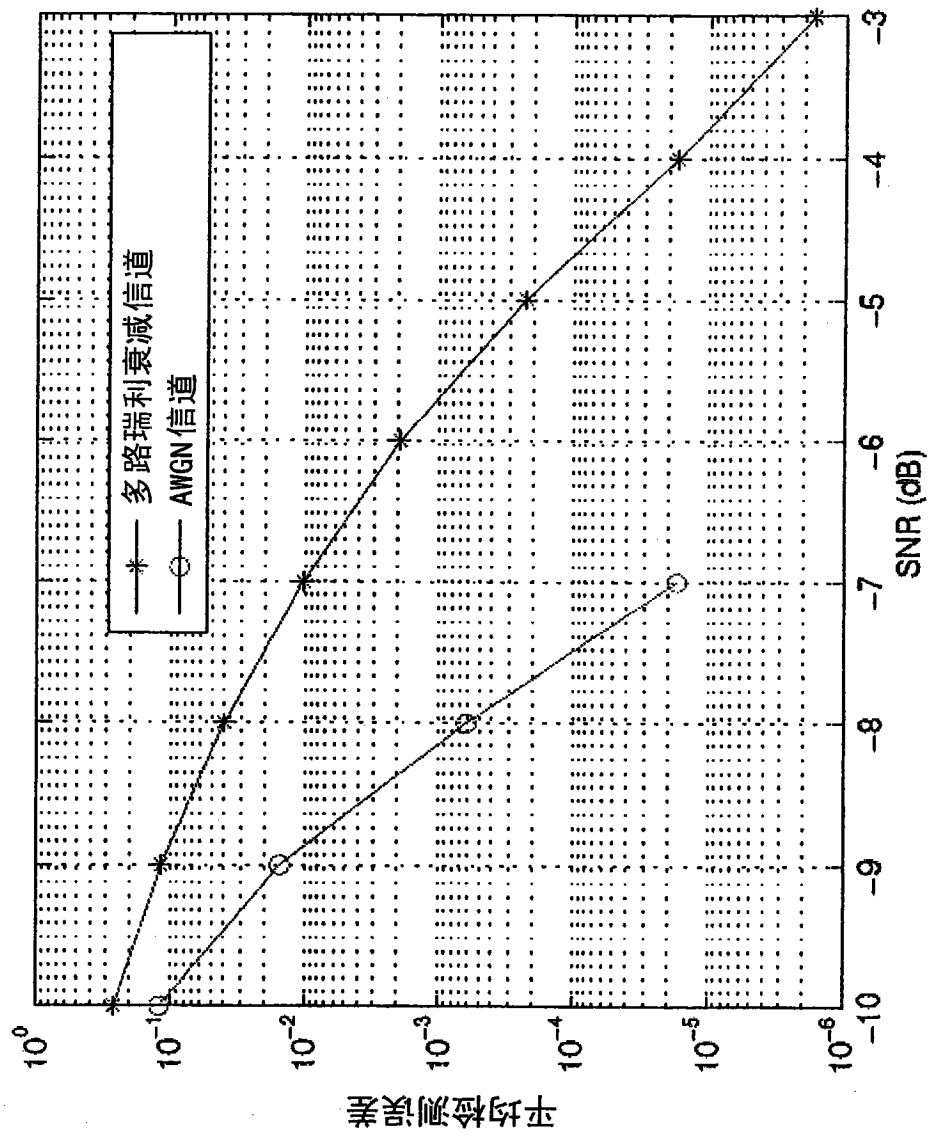


图 12

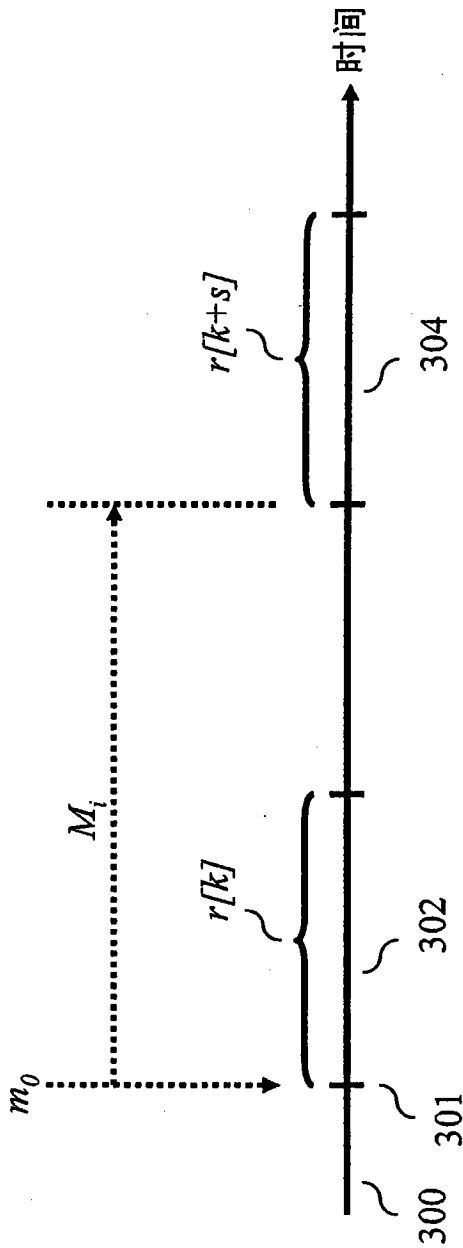


图 13

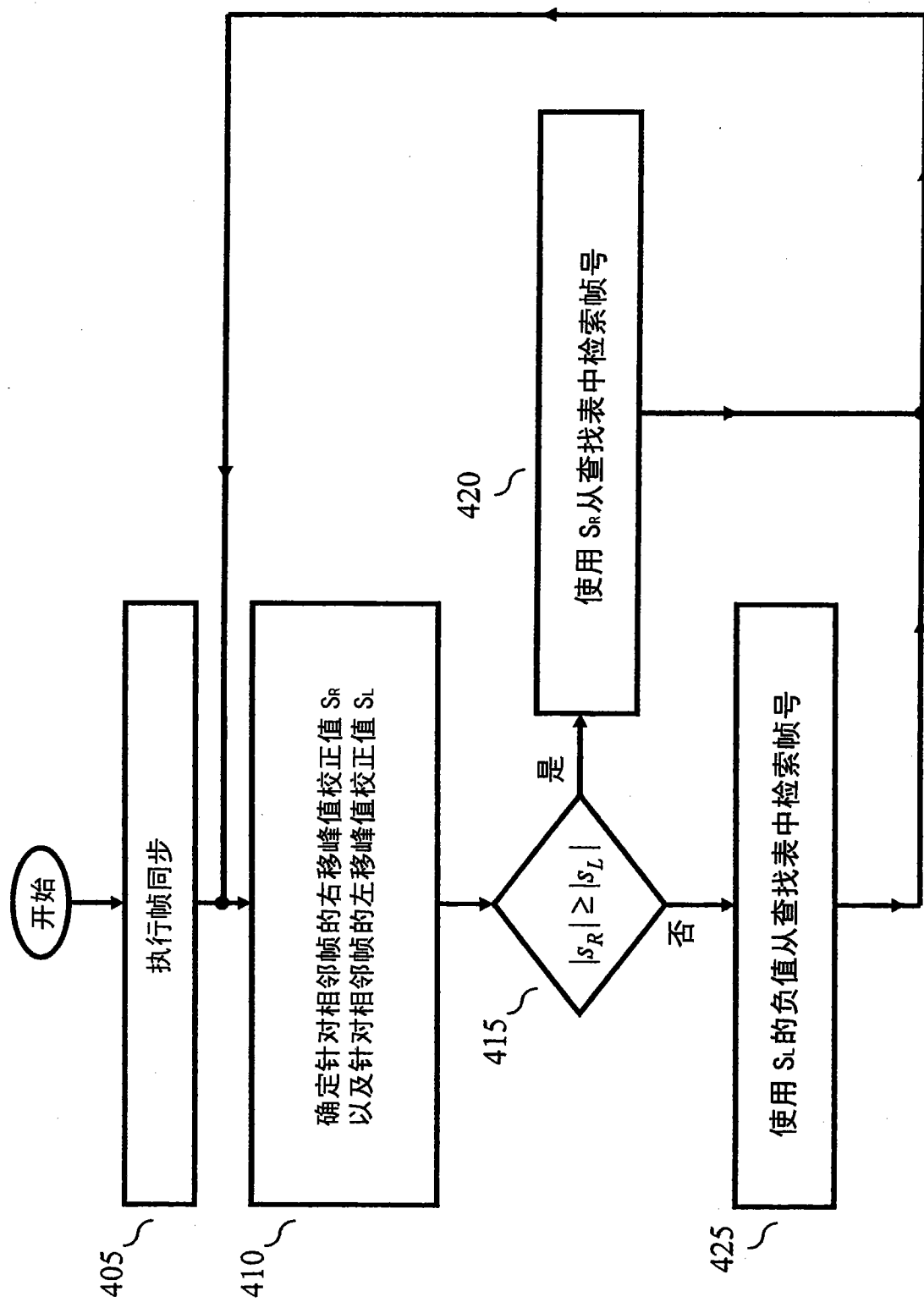


图 14

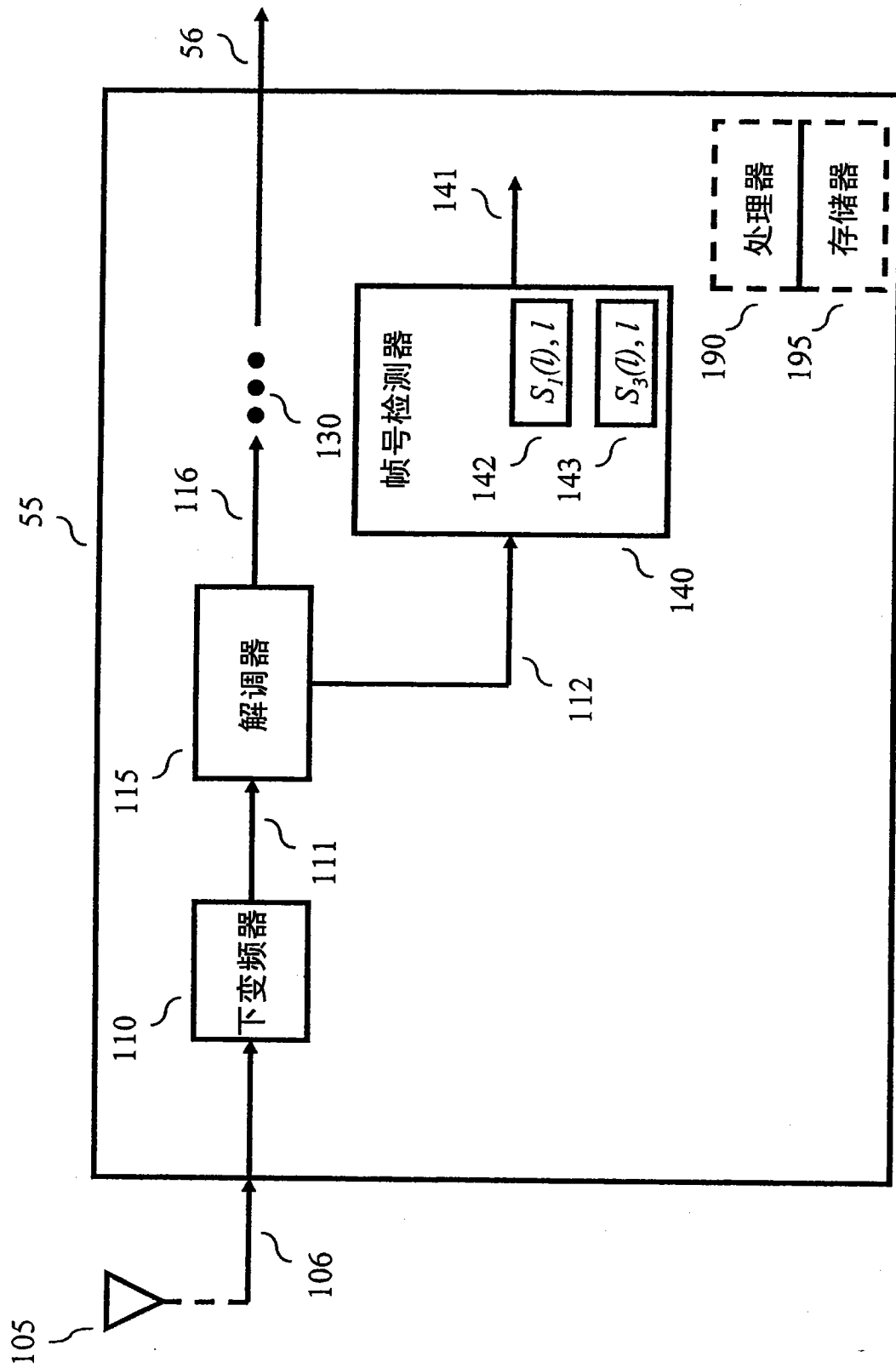


图 15