



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105247794 B

(45)授权公告日 2019.08.16

(21)申请号 201480030938.6

(72)发明人 B·W·克罗哲 P·J·皮拉

(22)申请日 2014.05.01

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利

(65)同一申请的已公布的文献号

商标事务所 11038

申请公布号 CN 105247794 A

代理人 鲍进

(43)申请公布日 2016.01.13

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

H03M 13/41(2006.01)

61/818,978 2013.05.03 US

H04L 1/00(2006.01)

61/827,118 2013.05.24 US

H04H 20/30(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(56)对比文件

2015.11.30

US 6378101 B1,2002.04.23,

(86)PCT国际申请的申请数据

US 6378101 B1,2002.04.23,

PCT/US2014/036398 2014.05.01

CN 101803208 A,2010.08.11,

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/179588 EN 2014.11.06

US 6108386 A,2000.08.22,

US 2011007837 A1,2011.01.13,

(73)专利权人 艾比奎蒂数字公司

审查员 金霞

地址 美国马里兰

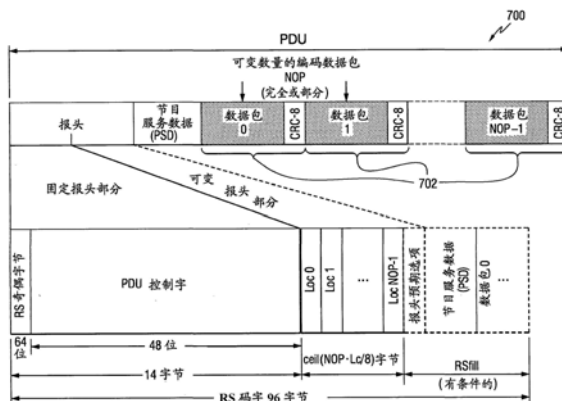
权利要求书2页 说明书10页 附图10页

(54)发明名称

用于FM带内同频无线电广播系统的迭代前向纠错解码

(57)摘要

本公开涉及用于FM带内同频无线电广播系统的迭代前向纠错解码。提供了一种用于处理数字信号的方法,包括:接收多个协议数据单元,每个协议数据单元具有包括多个控制字位的报头;以及多个音频帧,每个音频帧包括循环冗余校验码;利用迭代解码技术解码协议数据单元,其中迭代解码技术在第一次迭代之后使用软输出解码算法用于迭代;以及利用解码后的循环冗余校验码标记包含错误的音频帧。还提供了实现该方法的接收器。



1. 一种用于处理数字信号的方法,包括:
接收多个协议数据单元,每个协议数据单元具有包括多个控制字位的报头;以及多个数据包,每个数据包包括循环冗余校验码;
利用迭代解码技术解码协议数据单元,其中迭代解码技术在第一次迭代之后使用软输出解码算法用于迭代;及
利用解码后的循环冗余校验码标记包含错误的数据包,
其中协议数据单元利用存在的协议控制信息控制字位被卷积编码,并且协议控制信息控制字位在每个数据包的卷积解码之后但是在循环冗余校验处理之前从协议数据单元中被除去,并且
其中在每次迭代中,协议控制信息控制字位在循环冗余校验处理之前的迭代解码步骤中被除去并且在后续卷积解码之前被恢复。
2. 如权利要求1所述的方法,其中软输出解码算法包括以下之一:
M-算法,其中M的值作为分支度量、路径度量、循环冗余校验错误或者其它信号质量度量的函数而变化,
列表Viterbi算法;
软输出Viterbi算法;
最大后验 (MAP) 算法;
最大对数MAP算法;
列表序列MAP算法;
最大对数列表算法;
后验概率算法;或者
M-算法,其中每个阶段k有 $M < 2^{k-1}$ 个状态。
3. 如权利要求1所述的方法,其中迭代解码技术至少对于第一次迭代使用Viterbi解码器。
4. 如权利要求3所述的方法,其中循环冗余校验错误阈值对第一次Viterbi解码使用,以将协议数据单元标记为失败的。
5. 如权利要求1所述的方法,其中,如果对于第一遍解码有多于预定数量的循环冗余校验失败,则解码被停止。
6. 如权利要求1所述的方法,其中迭代解码技术使用具有重叠的咬尾解码器,所述重叠至少跨越经过报头的路径存储器。
7. 如权利要求1所述的方法,其中对于迭代解码技术的迭代的最大列表尺寸的限制作为校正后的循环冗余校验的数量的函数而变化。
8. 如权利要求1所述的方法,还包括:
对具有已知的开始和结束状态的标记为错误的数据包执行列表解码。
9. 如权利要求1所述的方法,还包括:
继续迭代解码,直到所有具有已知的开始和结束状态的数据包都被处理。
10. 如权利要求1所述的方法,还包括:
对不具有已知的开始和/或结束状态的标记为错误的数据包执行列表解码。
11. 如权利要求10所述的方法,其中不具有已知的开始和/或结束状态的数据包在其状

态未知的音频帧的开始或结束之前通过路径存储器被扩展到相邻数据包中。

12. 如权利要求1所述的方法,其中具有正确循环冗余校验的音频帧被用来确定被标记为具有循环冗余校验错误的任何相邻数据包的开始和/结束状态。

13. 如权利要求1所述的方法,还包括:

利用报头作为对于进入的数据包的迭代解码一致性检查的一部分;及

如果在报头中检测到非预期的一致性值,则附加的解码迭代被执行,直到接收到预期的值。

14. 如权利要求1所述的方法,其中级联的Reed-Solomon码被用来以向后兼容的方式进一步增强解码性能。

15. 如权利要求14所述的方法,其中级联的Reed-Solomon奇偶字节连同Reed-Solomon码字的尺寸和每个码字的奇偶符号的个数被插入调制解调器帧中的协议数据单元中。

16. 如权利要求14所述的方法,其中,当时间分集被使用时,交织在内部卷积码与Reed-Solomon码之间被应用,整数个完整的Reed-Solomon码字覆盖每个时间分集分量。

17. 如权利要求1所述的方法,其中为每个数据包计算第二循环冗余校验以提高错误检测概率,并且所述第二循环冗余校验字节使用不同的多项式发生器。

18. 一种无线电接收器,包括:

电路,被配置为接收多个协议数据单元,每个协议数据单元具有包括多个控制字位的报头;以及多个数据包,每个数据包包括循环冗余校验码;利用迭代解码技术解码协议数据单元,其中迭代解码技术在第一次迭代之后使用软输出解码算法用于迭代;以及利用解码后的循环冗余校验码标记包含错误的数据包,

其中协议数据单元利用存在的协议控制信息控制字位被卷积编码,并且协议控制信息控制字位在每个数据包的卷积解码之后但是在循环冗余校验处理之前从协议数据单元中被除去,并且

其中在每次迭代中,协议控制信息控制字位在循环冗余校验处理之前的迭代解码步骤中被除去并且在后续卷积解码之前被恢复。

用于FM带内同频无线电广播系统的迭代前向纠错解码

技术领域

[0001] 本发明涉及用于带内 (in-band) 同频 (in-channel) 无线电广播系统中的信号处理的方法,并且涉及实现这种信号处理的接收器。

背景技术

[0002] 数字无线电广播技术向移动、便携式和固定接收器输送数字音频和数据服务。被称为带内同频 (IBOC) 广播的一种类型的数字无线电广播使用现有的中频 (MF) 和极高频 (VHF) 无线电频带中的地面发送器。由iBiquity Digital公司开发的HD Radio™技术是用于数字无线电广播和接收的IBOC实现的一个例子。IBOC信号可以以包括模拟调制的载波结合多个数字调制载波的混合格式或者以其中模拟调制的载波不被使用的全数字格式发送。利用混合模式,广播者可以同时以更高的质量和更健壮的数字信号继续发送模拟AM和FM,从而允许它们自己和它们的收听者进行从模拟到数字无线电的转换,同时维持它们当前的频率分配。

[0003] 标题为“Method And Apparatus For Formatting Data Signals In A Digital Audio Broadcasting System”的美国专利No.8,111,716 B2描述了带内同频广播系统并且通过引用被结合于此。

[0004] 国家无线电系统委员会,由国家广播协会和消费电子协会资助的标准制定组织,在2005年9月采纳了被指定为NRSC-5A的IBOC标准。其公开内容通过引用被结合于此的NRSC-5A阐述了用于经AM和FM广播频道广播数字音频和辅助数据的需求。该标准及其参考文献包含RF/传输子系统以及传输和服务多路复用子系统的详细说明。该标准的拷贝可以从NRSC获得。iBiquity的HD Radio™技术是NRSC-5A IBOC标准的实现。

发明内容

[0005] 在一种实施例中,本发明提供了一种用于处理数字信号的方法。该方法包括:接收多个协议数据单元,每个协议数据单元具有包括多个控制字位(control word bit)的报头;以及多个数据包,每个数据包包括循环冗余校验码;利用迭代解码技术解码协议数据单元,其中迭代解码技术在第一次迭代之后使用软输出解码算法用于迭代;以及利用解码后的循环冗余校验码标记包含错误的数据包。

[0006] 在另一种实施例中,本发明提供了一种无线电接收器,包括:电路,被配置为接收多个协议数据单元,每个协议数据单元具有包括多个控制字位的报头;以及多个数据包,每个数据包包括循环冗余校验码;利用迭代解码技术解码协议数据单元,其中迭代解码技术在第一次迭代之后使用软输出解码算法用于迭代;以及利用解码后的循环冗余校验码标记包含错误的数据包。

附图说明

[0007] 图1是在带内同频数字无线电广播系统中使用的传输系统的框图。

- [0008] 图2是混合FM IBOC波形的示意性表示。
- [0009] 图3是扩展的混合FM IBOC波形的示意性表示。
- [0010] 图4是全数字FM IBOC波形的示意性表示。
- [0011] 图5是FM IBOC DAB接收器的功能框图。
- [0012] 图6a和6b是从广播角度看IBOC DAB逻辑协议栈的图。
- [0013] 图7是从接收器角度看IBOC DAB逻辑协议栈的图。
- [0014] 图8是根据本发明实施例的协议数据单元(PDU)的示意性表示。
- [0015] 图9是多个音频帧的示意性表示。

具体实施方式

[0016] IBOC系统和波形

[0017] 图1-7包括在所结合的美国专利No.8,111,716 B2中,并且,连同以下描述一起,提供包括广播装备结构和操作、接收器结构和操作以及几个IBOC波形的结构的IBOC系统的一般描述。

[0018] 参考附图,图1是可以被用来广播FM IBOC信号的演播室站点10、FM发送器站点12和演播室发送器链路(STL)14的相关部件的功能框图。除其它的之外,演播室站点还包括演播室自动化装备34、总效果操作中心(Ensemble Operations Center,EOC)16和STL发送器48,其中EOC 16包括导入器18、导出器20、激励器辅助服务单元(EASU)22。发送器站点12包括STL接收器54、包括激励器引擎(engine)子系统58的数字激励器56以及模拟激励器60。虽然在图1中导出器驻留在无线电台的演播室站点并且激励器位于发送站点,但是这些元件可以共同定位在发送站点。

[0019] 在演播室站点,演播室自动化装备向EASU提供主节目服务(MPS)音频42、向导出器提供MPS数据40、向导入器提供补充节目服务(SPS)音频38并且向导入器提供SPS数据36。MPS音频充当主音频节目源。在混合模式下,它在模拟和数字传输中都保留现有的模拟无线电节目格式。也被称为节目服务数据(PSD)的MPS数据包括诸如音乐标题、艺术家、专辑名称等信息。补充节目服务可以包括补充音频内容以及节目相关数据。

[0020] 导入器包含用于供给高级应用服务(AAS)的硬件和软件。“服务”是经由IBOC DAB广播输送给用户的内容,并且AAS可以包括没有被归类为MPS、SPS或电台信息服务(SIS)的任何类型的数据。SIS提供电台信息,诸如呼号、绝对时间、关联到GPS的位置,等等。AAS数据的例子包括实时交通和天气信息、导航地图更新或其它图像、电子节目指南、多媒体节目、其它音频服务和其它内容。用于AAS的内容可以由服务提供商44提供,其中服务提供商44经由应用编程接口(API)向导入器提供服务数据46。服务提供商可以是位于演播室站点的广播者或者是服务和内容的外部来源的第三方提供商。导入器可以在多个服务提供商之间建立会话连接。导入器编码并多路复用服务数据46、SPS音频38以及SPS数据36,以产生导出器链路数据24,该数据经由数据链路被输出到导出器。

[0021] 导出器20包含供给主节目服务和SIS进行广播所必需的硬件和软件。导出器经音频接口接受数字MPS音频26并且压缩音频。导出器还多路复用MPS数据40、导出器链路数据24以及压缩的数字MPS音频,以产生激励器链路数据52。此外,导出器经其音频接口接受模拟MPS音频28并且对其应用预编程的延迟,以产生延迟的模拟MPS音频信号30。这种模拟音

频可以作为混合IBOC DAB广播的备份频道来广播。延迟补偿数字MPS音频的系统延迟,从而允许接收器在数字和模拟节目之间进行混合,而无需时间的偏移。在AM传输系统中,延迟的MPS音频信号30被导出器转换为单声道信号并且作为激励器链路数据52的一部分直接发送到STL。

[0022] EASU 22从演播室自动化装备接受MPS音频42、把其速率转换成正确的系统时钟并且输出信号的两个拷贝,一个数字的(26)和一个模拟的(28)。EASU包括连接到天线25的GPS接收器。GPS接收器允许EASU导出主时钟信号,通过使用GPS单元,该信号被同步到激励器的时钟。EASU提供由导出器使用的主系统时钟。EASU还在导出器具有灾难性故障并且不再工作的情况下被用来旁路(或重定向)模拟MPS音频以避免经过该导出器。被旁路的音频32可以直接馈入STL发送器,从而消除静气(dead-air)事件。

[0023] STL发送器48接收延迟的模拟MPS音频50和激励器链路数据52。它经STL链路14输出激励器链路数据和延迟的模拟MPS音频,这可以是单向的或者双向的。STL链路可以是数字微波或以太网链路,例如,并且可以使用标准的用户数据报协议或标准TCP/IP。

[0024] 发送器站点包括STL接收器54、激励器56和模拟激励器60。STL接收器54经STL链路14接收激励器链路数据,包括音频和数据信号以及命令和控制消息。激励器链路数据被传递到激励器56,激励器56产生IBOC DAB波形。激励器包括主机处理器、数字上变频器、RF上变频器以及engine子系统58。Engine接受激励器链路数据并且调制IBOC DAB波形的数字部分。激励器56的数字上变频器把engine输出的基带部分从数字的变换成模拟的。数模转换是基于GPS时钟,这对从EASU得出的导出器的基于GPS的时钟是一样的。因此,激励器56包括GPS单元和天线57。用于同步导出器和激励器时钟的备选方法可以在美国专利No. 7,512,175B2中找到,其公开内容通过引用被结合于此。激励器的RF上变频器把模拟信号上变频到正确的带内通道频率。然后,上变频的信号被传递到高功率放大器62和天线64,用于广播。在AM传输系统中,engine子系统固有地以混合模式向数字波形添加备份模拟MPS音频;因此,AM传输系统不包括模拟激励器60。此外,激励器56产生相位和幅值信息并且模拟信号被直接输出到高功率放大器。

[0025] 利用各种波形,IBOC DAB信号在AM和FM无线电频带内都可以发送。波形包括FM混合IBOC DAB波形、FM全数字IBOC DAB波形、AM混合IBOC DAB波形以及AM全数字IBOC DAB波形。

[0026] 图2是混合FM IBOC波形70的示意图。波形包括位于广播通道74中心的模拟调制的信号72、上边带78中的第一多个均匀隔开的正交频分多路复用的子载波76以及下边带82中的第二多个均匀隔开的正交频分多路复用的子载波76。数字调制的子载波被分成分区并且各个子载波被指定为参考子载波。频率分区是19个OFDM子载波的组,包括18个数据子载波和一个参考子载波。

[0027] 该混合波形包括模拟FM调制的信号,加上数字调制的初级(primary)主子载波。子载波位于均匀隔开的频率位置。子载波位置从-546至+546编号。在图2的波形中,子载波在位置+356至+546和-356至-546。每个初级主边带由十个频率分区组成。也包括在初级主边带中的子载波546和-546是附加的参考子载波。每个子载波的振幅可以通过振幅缩放因子缩放。

[0028] 图3是扩展的混合FM IBOC波形90的示意图。扩展的混合波形是通过把初级扩展边

带92、94添加到在混合波形中存在的初级主边带来创建的。一个、两个或四个频率分区可以被添加到每个初级主边带的内边缘。扩展的混合波形包括模拟FM信号加上数字调制的初级主子载波(子载波+356至+546和-356至-546)以及一些或全部初级扩展子载波(子载波+280至+355和-280至-355)。

[0029] 上部初级扩展边带包括子载波337至355(一个频率分区)、318至355(两个频率分区),或者280至355(四个频率分区)。下部初级扩展边带包括子载波-337至-355(一个频率分区)、-318至-355(两个频率分区),或者-280至-355(四个频率分区)。每个子载波的振幅也通过振幅缩放因子缩放。

[0030] 图4是全数字FM IBOC波形100的示意性表示。该全数字波形是通过禁用模拟信号、完全扩展初级数字边带102、104的带宽并且在由模拟信号空出的频谱中添加较低功耗次级(secondary)边带106、108来构造的。所说明的实施例中的全数字波形包括在子载波位置-546至+546的数字调制的子载波,没有模拟FM信号。

[0031] 除了十个主频率分区,全部四个扩展的频率分区也都在全数字波形的每个初级边带中存在。每个次级边带还具有十个次级主(SM)和四个次级扩展(SX)频率分区。但是,不像初级边带,次级主频率分区被映射地更接近通道中心,而扩展频率分区离该中心更远。

[0032] 每个次级边带还支持小的次级受保护(SP)区域110、112,包括12个OFDM子载波以及参考子载波279和-279。边带被称为“受保护的”,因为它们位于最不可能受模拟或数字干扰的频谱区域中。附加的参考子载波被放在通道的中心(0)。SP区域的频率分区排序不适用,因为SP区域不包含频率分区。

[0033] 每个次级主边带跨越子载波1至190或者-1至-190。上部次级扩展边带包括子载波191至266,并且上部次级受保护边带包括子载波267至278,加上附加的参考子载波279。下部次级扩展边带包括子载波-191至-266,并且下部次级受保护边带包括子载波-267至-278,加上附加的参考子载波-279。整个全数字频谱的总频率跨度是396803Hz。每个子载波的振幅可以通过振幅缩放因子缩放。次级边带振幅缩放因子可以是用户可选择的。四个当中任何一个都可以被选择应用到次级边带。

[0034] 在每一个波形当中,数字信号利用正交频分多路复用(OFDM)被调制。OFDM是平行调制方案,其中数据流调制大量被同时发送的正交子载波。OFDM固有地是灵活的,很容易允许逻辑通道映射到不同的子载波组。

[0035] 在混合波形中,数字信号在混合波形中模拟FM信号的任一侧上的初级主(PM)边带中发送。每个边带的功率级明显低于模拟FM信号中的总功率。模拟信号可以是单声道的或立体声的,并且可以包括辅助通信认证(SCA)通道。

[0036] 在扩展的混合波形中,混合边带的带宽可以朝模拟FM信号扩展,以增加数字能力。这种分配到每个初级主边带的内边缘的附加频谱被称为初级扩展(PX)边带。

[0037] 在全数字波形中,模拟信号被除去并且初级数字边带的带宽就像在扩展的混合波形中那样被完全扩展。此外,这种波形允许较低功率的数字次级边带在被模拟FM信号空出的频谱中发送。

[0038] 图5是FM IBOC DAB接收器250的简化功能框图。接收器包括连接到天线254的输入252和调谐器或前端256。接收到的信号被提供给模数转换器和数字下变频器258,以便在输出260产生包括一系列复数信号样本的基带信号。信号样本是复数的,因为每个样本都包括

“实”部和“虚”部,其中与实部正交地对虚部采样。模拟解调器262解调基带信号的模拟调制部分,以便在线路264上产生模拟音频信号。接下来,被采样的基带信号的数字调制部分被边带隔离滤波器266滤波,其中边带隔离滤波器266具有包括在接收到的OFDM信号中存在的子载波 f_1-f_n 的总集的通带(pass-band)频率响应。滤波器268抑制第一相邻干扰的影响。复数信号298被路由到获取模块296的输入,其中获取模块296获取或恢复来自接收到的OFDM符号的OFDM符号定时偏移量或者误差和载波频率偏移量或误差,如在接收到的复数信号中所表示的。获取模块296逐步发展出符号定时偏移量 Δt 和载波频率偏移量 Δf ,以及状态和控制信息。然后,信号被解调(方框272),以解调基带信号的数字调制的部分。然后,数字信号由去交织器274去交织,并且由Viterbi解码器276解码。服务解复用器278分离主和补充节目信号与数据信号。处理器280处理主和补充节目信号,以便在线路282上产生数字音频信号。模拟和主数字音频信号如方框284中所示的那样被混合,或者传送补充节目信号,以便在线路286上产生音频输出。数据处理器408处理数据信号并且在线路290、292和294上产生数据输出信号。数据信号可以包括例如电台信息服务(SIS)、主节目服务数据(MPSD)、补充节目服务数据(PSPD)以及一个或多个高级应用服务(AAS)。

[0039] 在实践中,在图5的接收器中所示的许多信号处理功能可以利用一个或多个集成电路或本领域技术人员已知的其它电路来实现。

[0040] 图6a和6b是从发送器的角度看IBOC DAB逻辑协议栈的图。从接收器的角度,逻辑栈将在相反的方向被遍历。在协议栈中各个实体之间经过的大部分数据具有协议数据单元(PDU)的形式。PDU是由协议栈的具体层(或层中的过程)产生的结构化数据块。给定层的PDU可以封装来自栈的下一个更高层的PDU和/或包括源自该层(或过程)本身当中的内容数据和协议控制信息。由发送器协议栈中每一层(或过程)生成的PDU被输入到接收器协议栈中对应的层(或过程)。

[0041] 如图6a和6b中所示,存在配置管理员330,这是向协议栈中的各个实体供给配置和控制信息的系统功能。配置/控制信息可以包括用户定义的设置,以及从系统中生成的信息,诸如GPS时间和位置。服务接口331代表用于除了SIS之外的所有服务的接口。服务接口可以对各种类型的服务当中每一种不同。例如,对于MPS音频和SPS音频,服务接口可以是音频卡。对于MPS数据和SPS数据,接口可以具有不同应用编程接口(API)的形式。对于所有其它数据服务,接口具有单个API的形式。音频编解码器332编码MPS音频和SPS音频二者,以产生MPS和SPS音频编码数据包的核心(流0)和可选的增强(流1)流,这些被传递到音频运输333。音频编解码器332还把未使用的能力状态中继到系统的其它部分,因此允许包括机会数据。MPS和SPS数据被节目服务数据(PSD)运输334处理,以产生MPS和SPS数据PDU,这些被传递到音频运输333。音频运输333接收编码的音频数据包和PSD PDU并且输出既包含压缩的音频又包含节目服务数据的位流。SIS运输335从配置管理员接收SIS数据并且生成SIS PDU。SIS PDU可以包含站标识和位置信息节目类型、以及关联到GPS的绝对时间和位置。AAS数据运输336从服务接口接收AAS数据,以及从音频运输接收机会带宽数据,并且生成AAS数据PDU,这可以基于服务质量参数。运输和编码功能被统称为协议栈的层4并且对应的运输PDU被称为层4PDU或者L4PDU。作为通道多路复用层的层2(337)从SIS运输、AAS数据运输和音频运输接收运输PDU,并且把它们格式化为层2PDU。层2PDU包括协议控制信息和有效载荷,其中有效载荷可以是音频、数据或者音频和数据的组合。层2PDU被路由通过正确的逻辑

通道,到达层1 (338),其中逻辑通道是利用指定级别的服务通过层1引导L1PDU的信号路径。存在基于服务模式的多个层1逻辑通道,其中服务模式是指定吞吐量、性能等级和被选逻辑通道的操作参数的具体配置。活动的层1逻辑通道的数量以及定义它们的特点对于每种服务模式变化。状态信息还在层2与层1之间经过。层1把来自层2的PDU以及系统控制信息转换成AM或FM IBOC DAB波形,用于传输。层1处理可以包括加扰、通道编码、交织、OFDM子载波映射和OFDM信号生成。OFDM信号生成的输出是代表用于特定符号的IBOC信号的数字部分的复数、基带、时间域脉冲。离散符号被级联,以形成连续的时间域波形,该波形被调制以产生用于发送的IBOC波形。

[0042] 图7从接收器角度示出了逻辑协议栈。IBOC波形由物理层,层1 (560),接收,该层解调信号并处理其,以便把信号分离到逻辑通道中。逻辑通道的数量和种类将依赖于服务模式,并且可以包括逻辑通道P1-P3、PIDS、S1-S5和SIDS。层1产生对应于逻辑通道的L1PDU并且将PDU发送到层2 (565),层2解复用L1PDU,以产生SIS PDU、AAS PDU、用于主节目服务和任何补充节目服务的PSD PDU和流0 (核心) 音频PDU和流1 (可选的增强) 音频PDU。然后,SIS PDU被SIS运输570处理以产生SIS数据,AAS PDU被AAS运输575处理以产生AAS数据,并且PSD PDU被PSD运输580处理以产生MPS数据 (MPSD) 和任何SPS数据 (SPSD)。然后,SIS数据、AAS数据、MPSD和SPSD被发送到用户接口590。如果被用户请求,则SIS数据可以被显示。同样,MPSD、SPSD和任何基于文本的或图形AAS数据可以被显示。流0和流1PDU被由音频运输590和音频解码器595组成的层4处理。可以存在对应于在IBOC波形上接收的节目数量的至多N个音频运输。每个音频运输产生对应于每个接收到的节目的编码的MPS数据包或SPS数据包。层4从用户接口接收控制信息,包括诸如存储或播放节目的命令,以及关于查找或扫描广播全数字或混合IBOC信号的无线电台的命令。层4还把状态信息提供给用户接口。

[0043] 在诸如美国专利No.8,111,716 B2中所述的广播系统的广播系统中,信息在协议数据单元 (PDU) 中被处理。图8是示例协议数据单元的示意性表示。协议数据单元可以在IBOC系统中的多个通道中被使用。在一个例子中,那些通道之一被指定为P1通道。

[0044] 在各种实施例中,本发明利用迭代解码来处理在协议数据单元中接收到的数字信息。迭代解码技术通过精炼经由解码过程的多次迭代在内部代码和外部代码之间传递的位解码软信息来提高解码性能。

[0045] P1 PDU描述

[0046] 在图8所示的一种实施例中,P1音频PDU 700包括固定报头部分和可变报头部分,之后是平均32个可变长度的音频帧 (AF)。AF在图8中被示为数据包702。每个音频帧包括数据包字段和循环冗余校验字段。可变报头部分还包括指向第n个音频帧 (即,Loc n) 的位置指针。NOP是数据包 (音频帧) 的数量。Lc是每个Loc字段中字节的数量。于是,(NOP * Lc/8) 是报头的这个区域的尺寸。在这种实施例中,报头包括88个信息字节和8个Reed-Solomon (RS) 奇偶字节或RS (96,88,GF (256))。如图8中所示,还包括涵盖剩余IS字节的RS填充部分。虽然图8的例子在PDU中示出了多个音频帧,但是本发明可以被用来处理可以包括在PDU中的其它类型的数据的数据包。

[0047] 可变长度AF每个都可以平均是275个字节或者2200位 (例如,以48kbps的音频流速率),包括8位循环冗余校验 (CRC) 作为每个AF中最后一个字节。IBOC无线电系统中的信号处理可以在多个层 (例如,被指定为L1、L2等等) 中执行,其中层L1是物理层。在一种实施例中,

处于48kbps的2个PDU可以容纳每个L1调制解调器帧。咬尾卷积解码器可以被用来解码每个不带清除位(flush bit)的PDU。

[0048] 为了解决层2协议控制信息(PCI),24位传播控制字(CW)的问题,CW位作为PDU尺寸的函数被隔开,并被卷积编码(解码)。CW识别PDU的类型,并且在卷积编码之前作为在PDU上被均匀隔开的位被插入。确切的CW位插入位置是由PDU尺寸确定的。对于适当的报头AF位置处理,CW位可以根据需要被除去。CW位在除去之后被忽略并且不影响音频帧的位置。PCI间隔是由在IBOC波形中的参考子载波上发送的模式决定的。

[0049] 数据包报头保护

[0050] 在多个音频编解码器模式中,报头是通过RS(96,88,GF(256))码来保护的。RS码字被缩短为96字节的长度。每个码字包括报头有效载荷字节连同八个冗余(奇偶)字节。报头有效载荷在图8中示出。

[0051] RS生成中所使用的本原多项式是:

$$[0052] \quad p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

[0053] 或者(二进制表示是100011101,其中最低有效位(LSB)在右边)。

[0054] 用于RS码的生成器多项式是:

$$[0055] \quad g(x) = a^{36} + a^{203}x + a^3x^2 + a^{220}x^3 + a^{253}x^4 + a^{211}x^5 + a^{240}x^6 + a^{176}x^7 + x^8$$

[0056] 未被缩短的输入码字的字节0至159被设为零。字节160是最右边的字节。RS码字的字节247是主节目服务(MPS)PDU控制字的第一个字节(最左边)。然后,计算奇偶字节,其中RS码字的最后的奇偶字节是音频PDU中的第一个字节(图1中最左边)。

[0057] 数据包完整性控制(CRC)

[0058] 为了接收器完整性检查,每个编码的音频数据包附带CRC-8码。所使用的CRC发生器多项式是:

$$[0059] \quad g_8(x) = x^8 + x^5 + x^4 + 1$$

[0060] 这个多项式可以用二进制形式表示为100110001,其中LSB在右边。CRC值可以通过由生成器多项式 $g_8(x)$ 执行编码的音频数据包的模二除来计算。插入CRC字段的8位余数将在编码的音频数据包的最后一位之后直接具有最低有效位。

[0061] 也可以为每个音频帧计算第二CRC,以提高错误检测概率。这个第二CRC字节将使用不同的多项式发生器,因为使用相同的CRC-8将产生相同的错过检测概率。第二CRC将被放在调制解调器帧中之前存在的接收器意识不到的一部分中,并且新接收器可以使用这些附加的CRC。

[0062] PDU列表Viterbi算法(LVA)咬尾和报头

[0063] 图8的PDU可以利用第一Viterbi解码器输出序列来解码。M-算法可以被考虑,但是咬尾对所有开始/结束状态需要起始概率。在另一种实施例中,M的值可以在PDU的尾部重叠部分周围扩展。这将防止算法找出其中咬尾发生的非全局最佳序列。另一种方法是对第一遍使用Viterbi解码,然后对后续的遍数减小M。

[0064] 咬尾重叠应当至少跨越经过报头的路径存储器(例如,96位)。尾部重叠应当被定位成包括报头,因为利用Reed Soloman(RS)保护更可靠。

[0065] 然后,报头可以利用Reed Soloman(RS)解码器来解码。如果RS正确,或者经过校正,则前去解码音频帧(AF)。RS保护将确保开始和结束状态对于接近一定概率(near-

certain probability)是正确的,或者PDU错误被检测到并标记。

[0066] 可选的软(例如,最大后验(MAP))和/或列表解码可以对报头执行。但是,如果报头的初始RS解码失败,则PDU的非报头部分有可能被破坏。虽然软决定(例如,连续擦除技术)可以为了提高RS解码性能而被使用,但是,如果大部分AF信息都被破坏,则这种提高可能没用。具体而言,如果AF数据包被破坏,则即使它们在PDU中的位置被无缺陷地解码,它们也仍然是没用的。因此,值得评估利用改进的报头解码增加的有用AF的概率。

[0067] 音频帧列表解码

[0068] 解码器报头定义PDU中的AF位置。它还确定第一个部分AF的开始状态,以及最后一个部分AF的结束状态。第一个和最后一个部分AF需要利用相邻的PDU进行特殊处理。

[0069] 在每个音频帧的卷积解码之后但是在CRC处理之前,PCI CW位必须从PDU中除去。这是因为CRC是在不存在PCI CW位的情况下计算的。PDU利用存在的PCI CW位进行卷积编码。此外,在每次迭代中,PCI CW位必须在CRC处理之前的迭代解码步骤中被除去并且在后续卷积解码之前被恢复。

[0070] 如果所有AF CRC都正确,则这个PDU解码完成。否则,该过程可以如下继续。具有正确CRC的AF被用来确定用CRC错误标记的任何相邻音频帧的开始和/或结束状态。这在图9中示出。

[0071] 被称为列表Viterbi算法的一组扩展的Viterbi算法在本领域中是已知的。尽管Viterbi算法通过格子结构(trellis)识别单条最佳路径,但是列表Viterbi算法通过格子结构识别L条最佳路径,或者L个最佳候选。列表Viterbi算法的版本产生对应于一块卷积编码数据的L个最佳候选解码的秩排序列表(rank ordered list)。见例如于2000年8月22日授予Chen等人的美国专利No.6,108,386。列表Viterbi算法已经被发现对于用于卷积编码数据的错误检测/校正是有利的并且,特别是,已经被发现对于减小用于数字音频广播应用的错误标记率是有效的。

[0072] 对于标记为错误的AF的列表解码在以下步骤中定义:

[0073] • 列表按递减次序为每个AF包括下一个最可能的位序列;及

[0074] • M-算法可以被考虑,但是咬尾需要所有开始/结束状态的起始概率。如果报头被发现对于第一遍解码是正确的(Viterbi卷积解码加报头RS解码),则这将确定用于后续M算法解码迭代的正确开始和结束状态。

[0075] 对具有已知的开始和结束状态的标记为错误的AF执行列表解码:

[0076] • 对每个AF的有限次数的列表解码尝试(例如,L=4),以获得正确的CRC(这些被标记为正确的(经过校正的)或者错误的);及

[0077] • 继续,直到具有已知的开始和结束状态的所有AF都已被处理。

[0078] 对不具有已知的开始和结束状态的标记为错误的AF执行列表解码:

[0079] • 在这种情况下,在状态未知的AF的开始或结束之前,AF应当通过路径存储器被扩展到(一个或多个)相邻AF中;

[0080] • 有限次数的列表解码尝试(例如,L=4),以获得正确的CRC;及

[0081] • 这些被标记为正确的(经过校正的)或者错误的。

[0082] 平衡MIPS和存储器及性能

[0083] 虽然稍好一些的解码性能可以利用需要MIPS和存储器的长列表获得,但是小的附

加的好处可能不值芯片资源和功率的成本。此外,当不存在信号时,MIPS、存储器和功耗将被最大化,这是资源的浪费。期望对于不可用的PDU(例如,没有信号)限制MIPS负载。

[0084] CRC-错误阈值可以对第一次Viterbi解码确定,以便将PDU标记为失败的。如果大部分CRC都对第一遍解码失败,则该PDU有可能没用。在那种情况下,不对那个PDU执行进一步的解码。关于每个PDU的每个AF的平均列表尺寸可以被限定到可行的数字(例如,2)。不期望对每个AF处理最大列表尺寸(例如, $L=4$)。这个限制可以是正确的(经过校正的)CRC的可变函数。最坏情况界线对于实时调度仍然是有用的。M-算法可以在第一次迭代之后代替Viterbi解码器。此外,M的值可以作为分支度量、路径度量、CRC错误或者其它信号质量度量的函数而改变。

[0085] 连续列表路径将具有减小的复杂性。对于其中帧受RS保护的其它模式可以考虑MAP等。连续擦除或软RS解码可以为了小的附加增益而被启用。

[0086] 这些算法为每个符号提供软输出,从而为级联编码启用连续擦除技术。对向后兼容的未来系统可以考虑扩展模式,其中新的接收器可以利用附加的级联编码。这些附加的错误控制或奇偶位可以被放在PDU中的扩展字段中,或者甚至放在另一附加的PDU中。虽然这些附加的级联错误控制字段将不被现有的接收器识别,但是新的接收器可以定位并采用这些字段用于额外的错误保护。这将被认为是向后兼容,因为现有的接收器将继续以相同的方式操作。例如,附加的CRC位或RS奇偶字节可以应用到整个(扩展的)PDU。这可以被用来进一步提高LVA或者其它列表和/或迭代解码技术的性能。利用具有RS码的连续擦除技术,对迭代解码可以获得一些附加改进。在这种情况下擦除尝试将包括具有低度量(不可靠位)的信号位(在RS符号字节中)。但是,在这种情况下,MAP算法或者某种变体将代替LVA。

[0087] 虽然更大的LVA列表尺寸可以有效地降低音频帧错误率,但是它们也增加了虚假CRC检测的概率。当关联的帧中存在位错误,但是CRC计算出正确的结果,其指示没有错误时,虚假CRC检测发生。虚假检测特别有害,因为它们将被破坏的音频帧传递到编解码器,而没有标记错误,从而排除了编解码器错误隐藏的可能性。这会导致令人反感的可听伪像从编解码器输出。在前面段落中描述的扩展的级联编码技术可以被用来减轻虚假CRC检测的问题。IBOC系统中使用的CRC是8位,一种容易发生虚假检测的相对弱的错误检测。例如,每256个音频帧中就会有一个(统计地)其中位被完全破坏(例如,无信号)的帧发生虚假检测。通过利用另8位补充该CRC,这可以再减小256倍;例如,将虚假检测率减少到65536分之一,这是个显著的改善。这种减小的虚假检测率将使得能够使用较大的LVA列表尺寸,由此降低整体音频帧错误率。

[0088] 帧虚假检测率的类似改进可以通过级联RS奇偶字节(代替级联CRC位,或者额外地)来实现。在这种情况下,如果存在比可以校正的更多的错误,则RS码将指示不可解码的(例如,音频)帧。虽然与RS解码关联的虚假检测率对于将整体(CRC和RS)虚假检测率减小到可接受的概率将有可能是足够的,但是附加的虚假检测降低可以通过不校正RS码允许的所有RS字节错误而获得。

[0089] 嵌在编解码器帧中的报头字段包含关于可以被用来提高性能的编码音频数据包的信息。由于报头字段中的一些信息不可能改变,并且因为某些字节值可以被局限与有限的范围,因此它可以被用作关于进入的音频帧的迭代解码一致性检查的一部分。如果检测到非预期的一致性值,则附加的解码迭代可以被执行,直到接收到预期的值。

[0090] 级联的RS码可以被用来以向后兼容的方式进一步增强解码性能。级联的RS奇偶字节可以连同一些附加信息被插入每个调制解调器帧,这些附加信息诸如RS码字的尺寸和每个码字的奇偶符号的个数。调制解调器帧的结束是插入新RS奇偶符号的方便位置,因此它们无需任何其它PDU处理或位置确定就可以被定位。新接收器将知道采用其;但是,现有的接收器将无需对附加RS保护的的了解就解码PDU。每个调制解调器帧具有固定尺寸,并且包含一个或多个PDU。RS码字跨调制解调器帧均匀地形成。可选地,某种交织可以在内部卷积码与新RS码之间被应用。RS码字和奇偶符号的系统部分的规律均匀间隔简化了解码,并且关于码字的尺寸和每个码字的奇偶符号的个数的一些附加信息相对于提供其所需的开销启用可选数量的附加RS错误保护。

[0091] 当使用时间分集时,整数个完整的RS码字应当覆盖每个时间分集分量(例如,块对)。这是为了避免任何部分RS码字被用在迭代解码过程中。部分RS码字不能在迭代中被解码。如果部分RS码字的缺少的残余从相邻的时间分集分量中被收集到,则除了由于来自片段缺失的卷积码残余的信息丢失造成的次优迭代解码,还将引起不想要的附加延迟。

[0092] 迭代解码算法

[0093] 关于性能、复杂性和成本的折中,可以使用各种迭代解码算法,包括:

- [0094] • LVA 列表Viterbi算法(L)
- [0095] • SOVA 软输出Viterbi算法(S)
- [0096] • MAP 最大后验
- [0097] • MLMAP 最大对数MAP算法(A,S)
- [0098] • LSMAP 列表序列MAP算法
- [0099] • MLLA 最大对数列表算法(A,L,S)
- [0100] • APP 后验概率
- [0101] • M-算法 每个阶段有 $M < 2^{k-1}$ 个状态

[0102] 虽然音频帧的CRC部分可以被用来接受或拒绝音频帧信息,但是在一方面,本发明利用列表Viterbi算法采用音频帧的CRC部分来提供附加的纠错功能。

[0103] 以上所述信号处理可以利用例如被配置为执行所述处理的处理器在接收器中的处理电路中实现。

[0104] 虽然本发明已经关于几种实施例进行了描述,但是本领域技术人员应当理解,在不背离如权利要求中所述的本发明范围的情况下,可以对所述实施例进行各种修改。

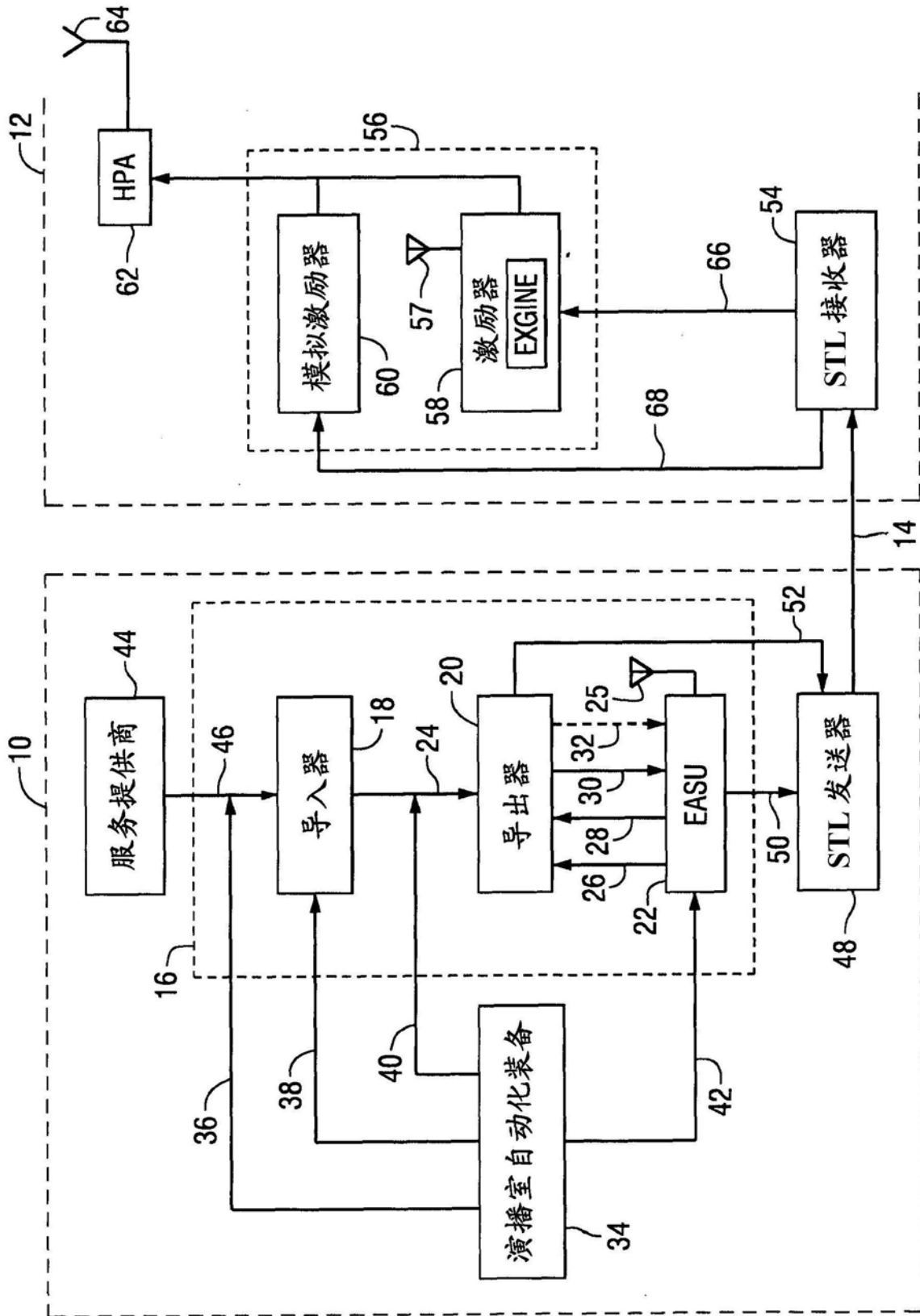


图1

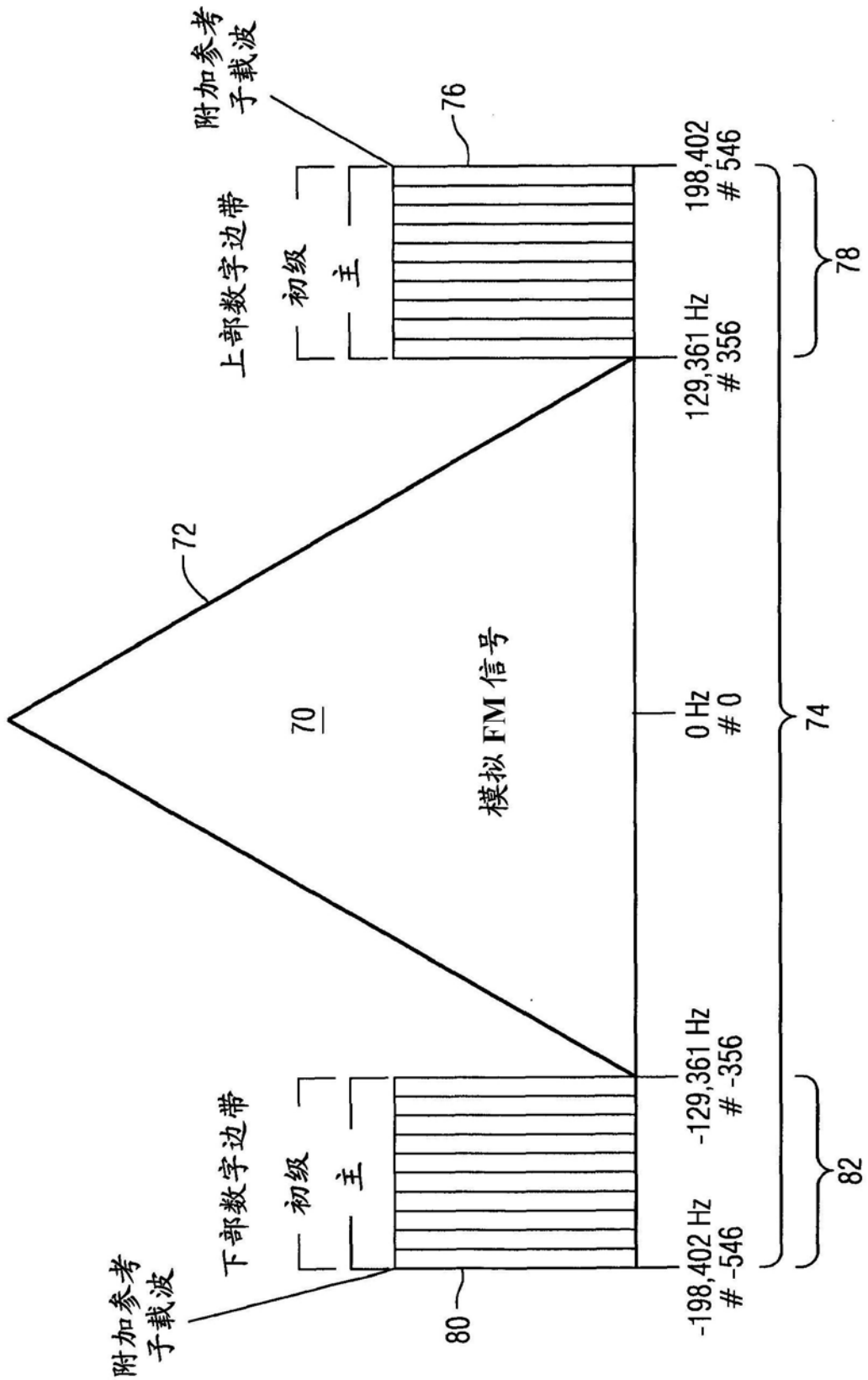


图2

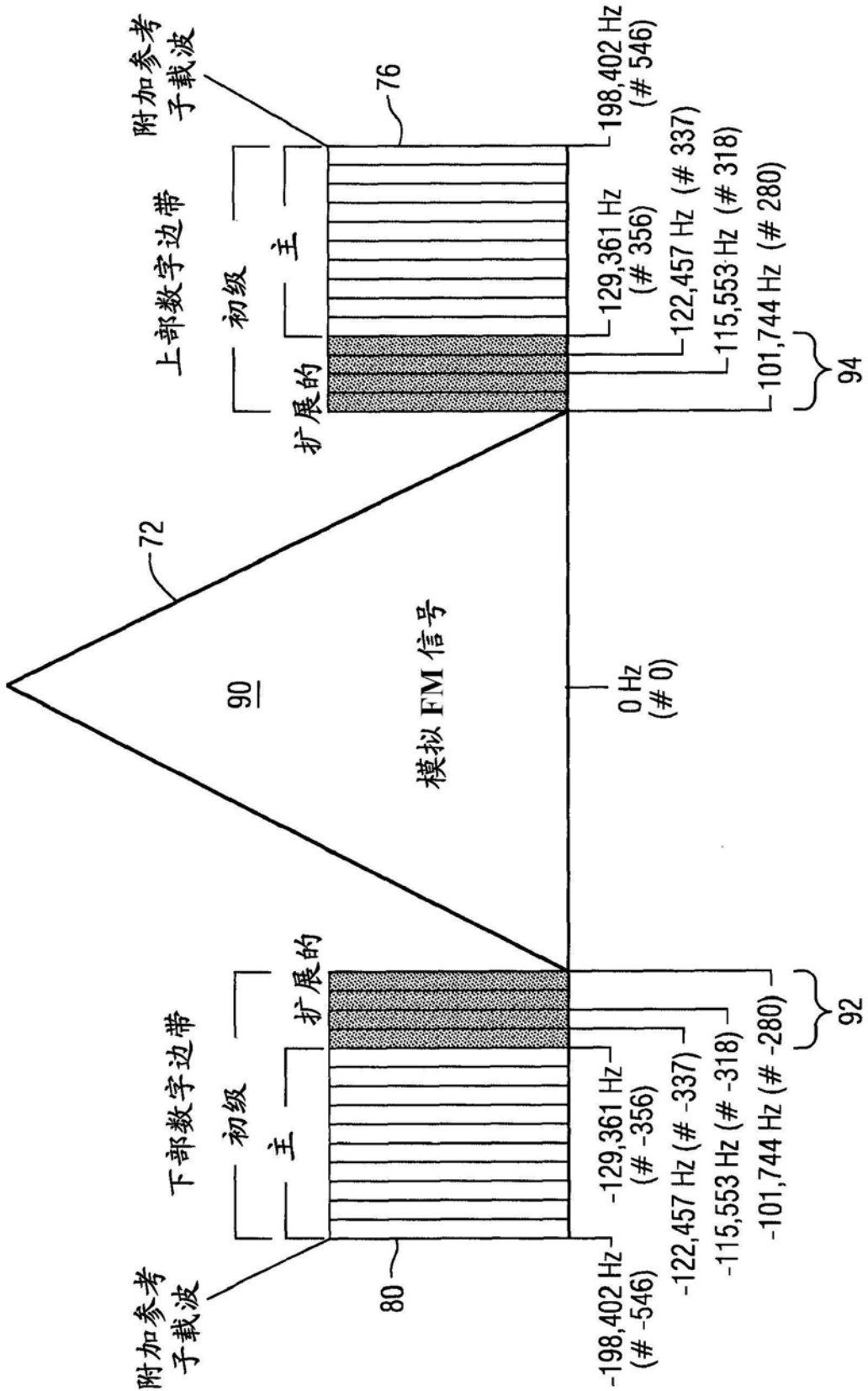


图3

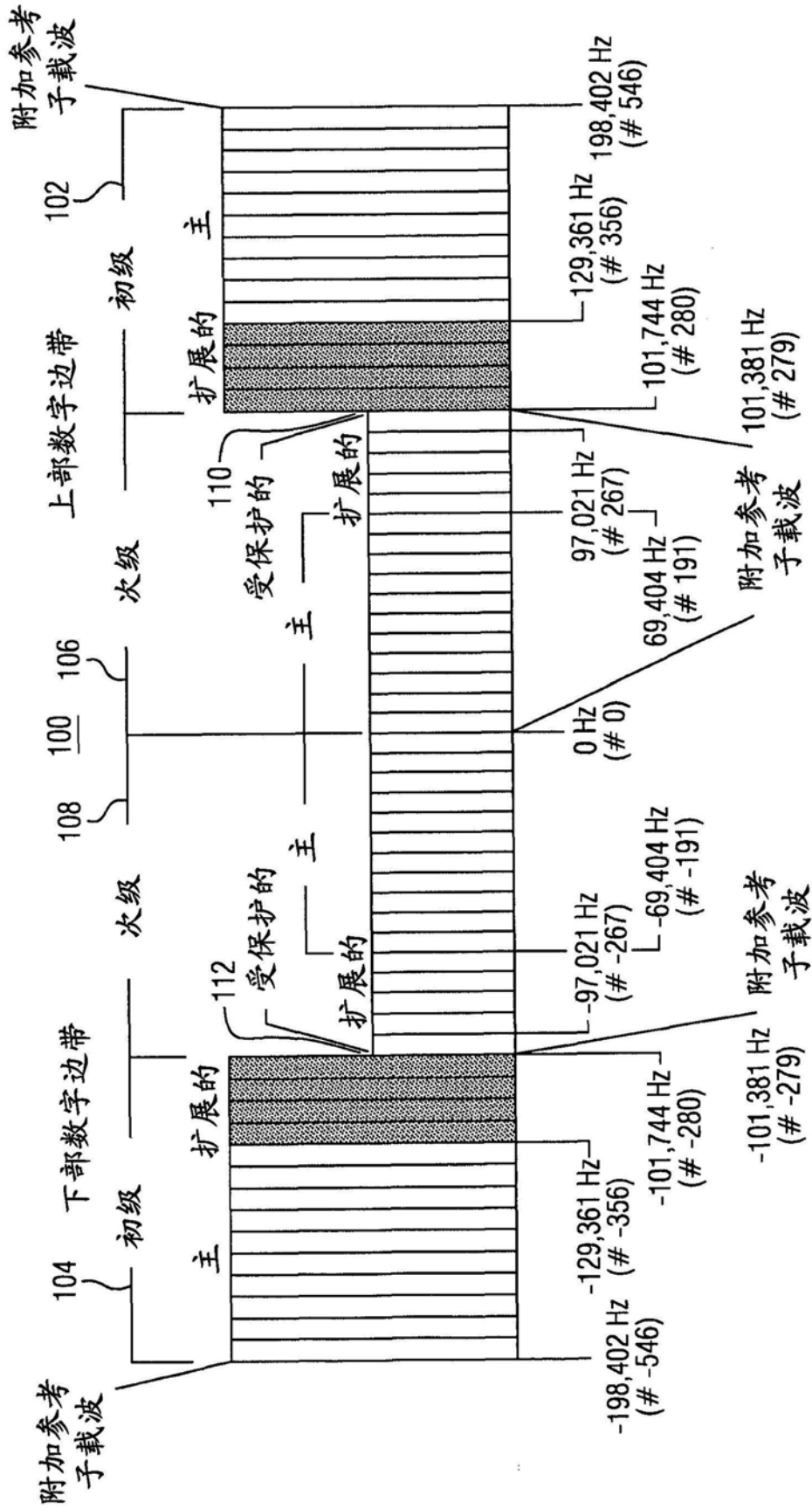


图4

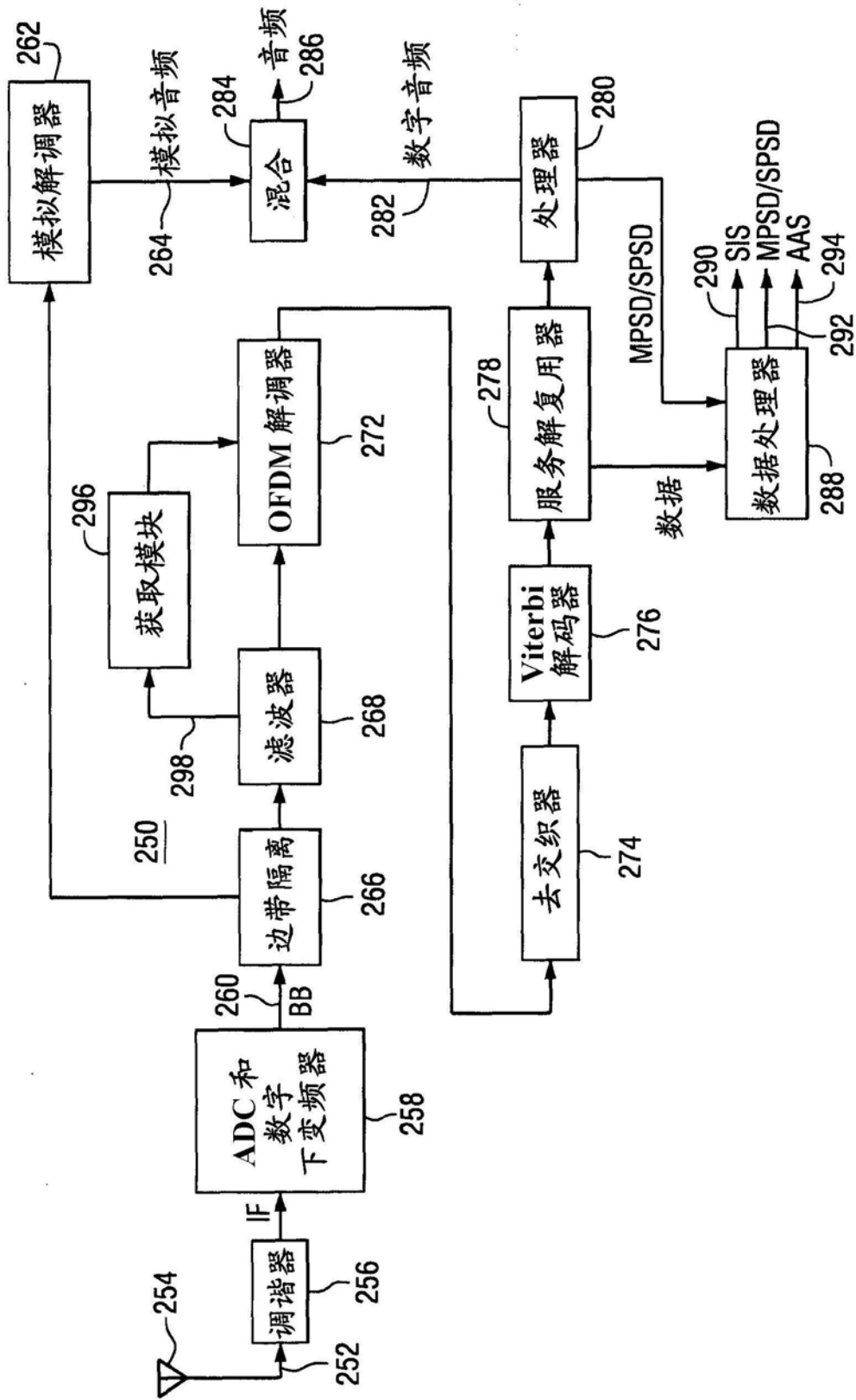


图5

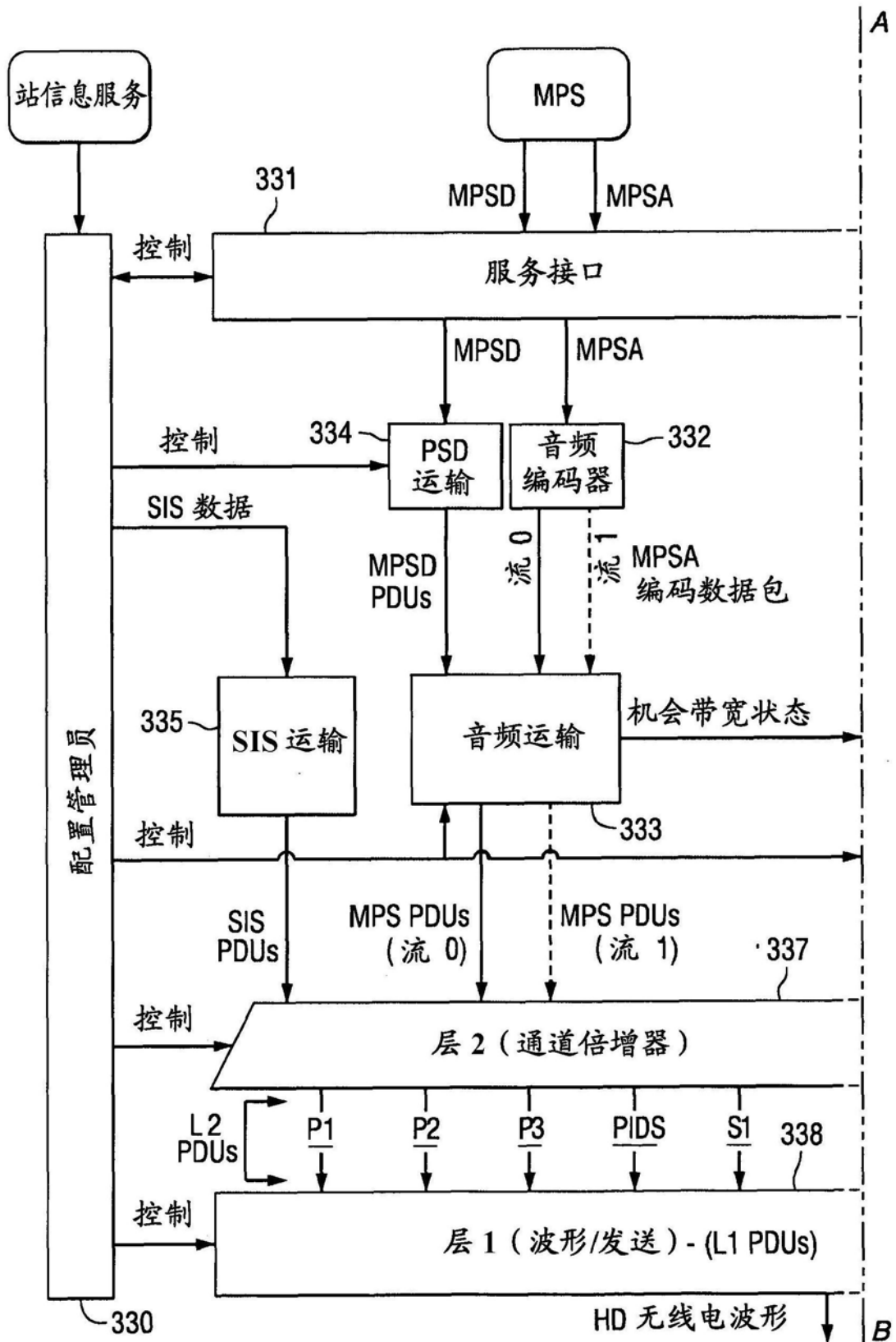


图6A

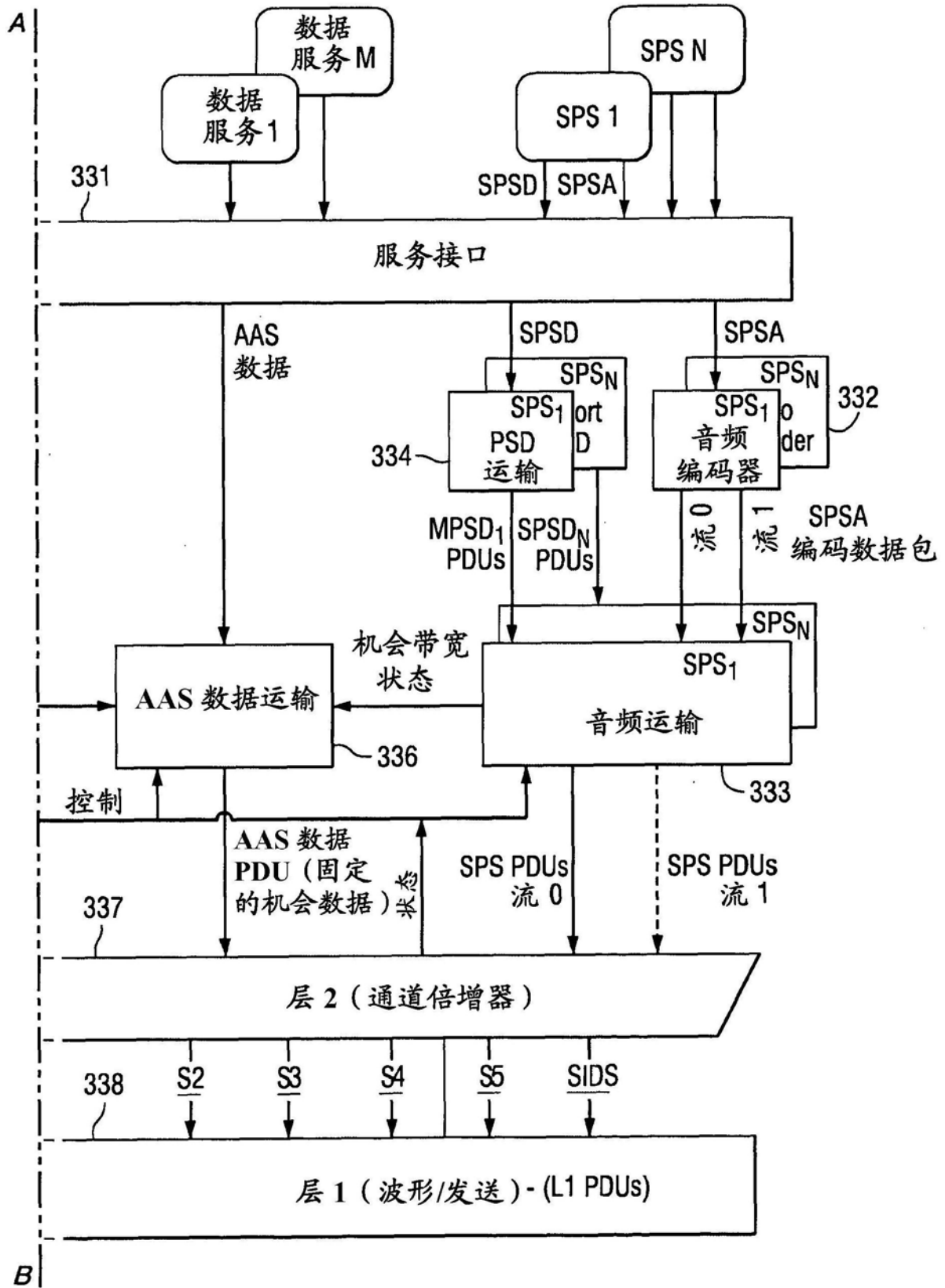


图6B

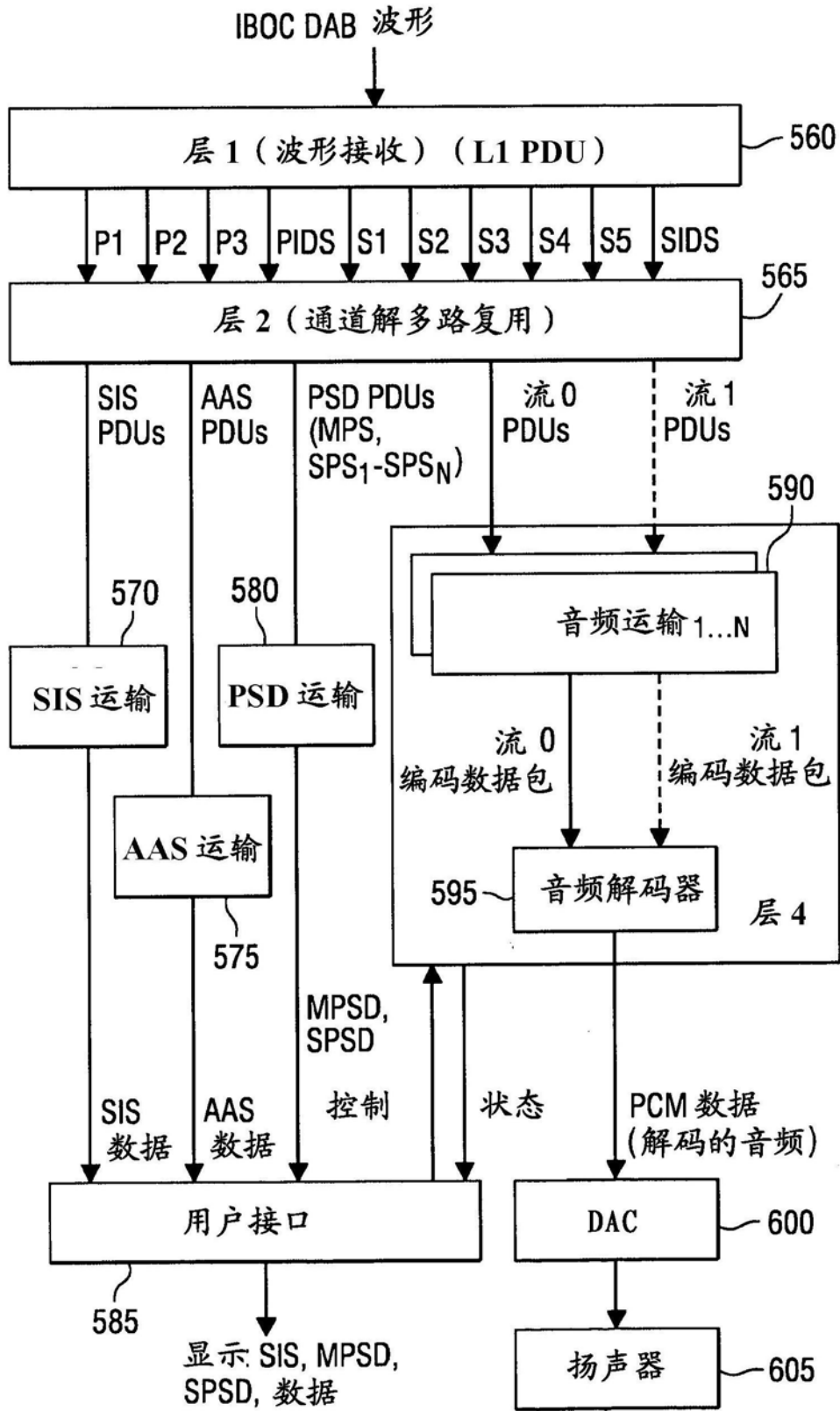


图7

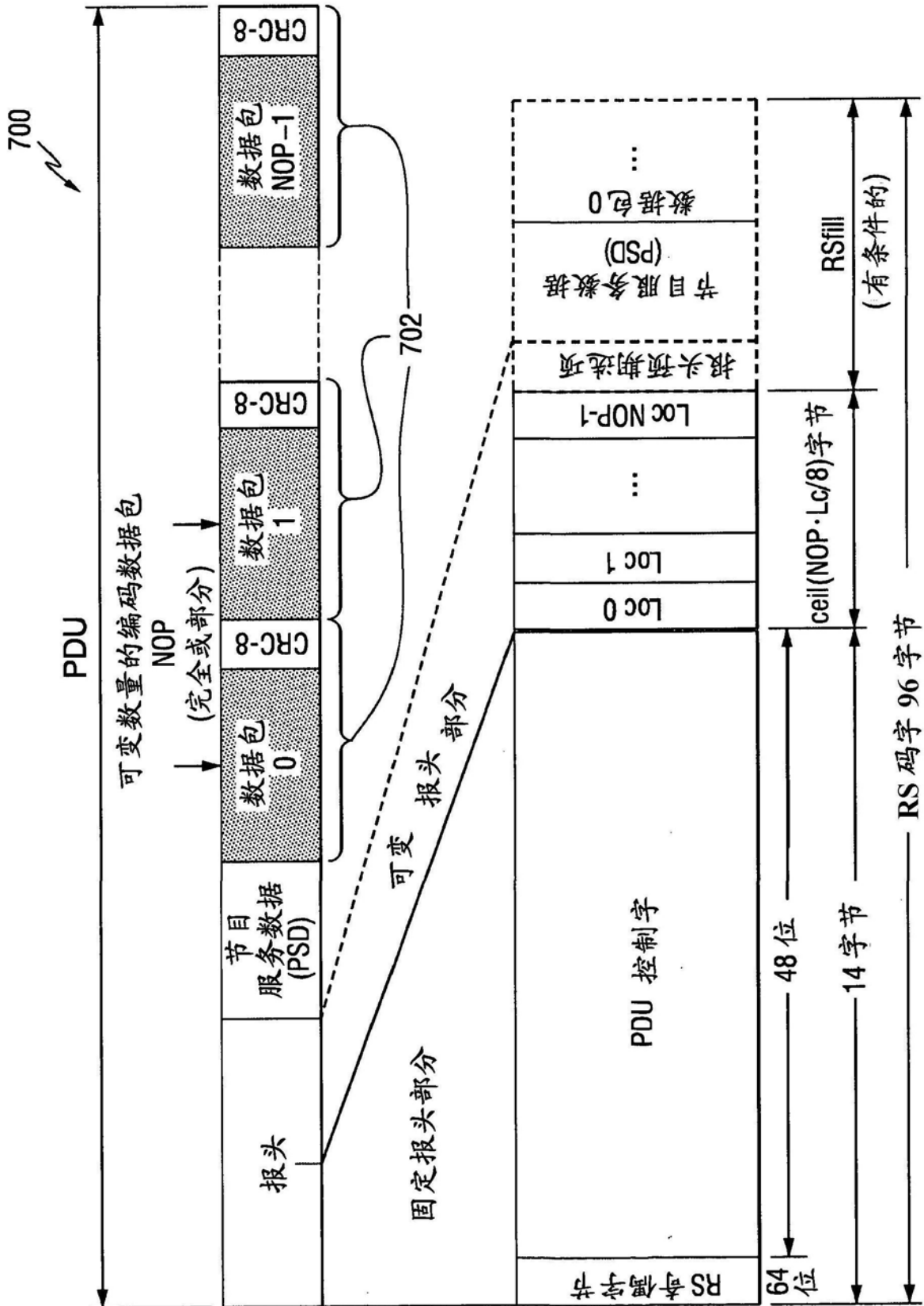


图8

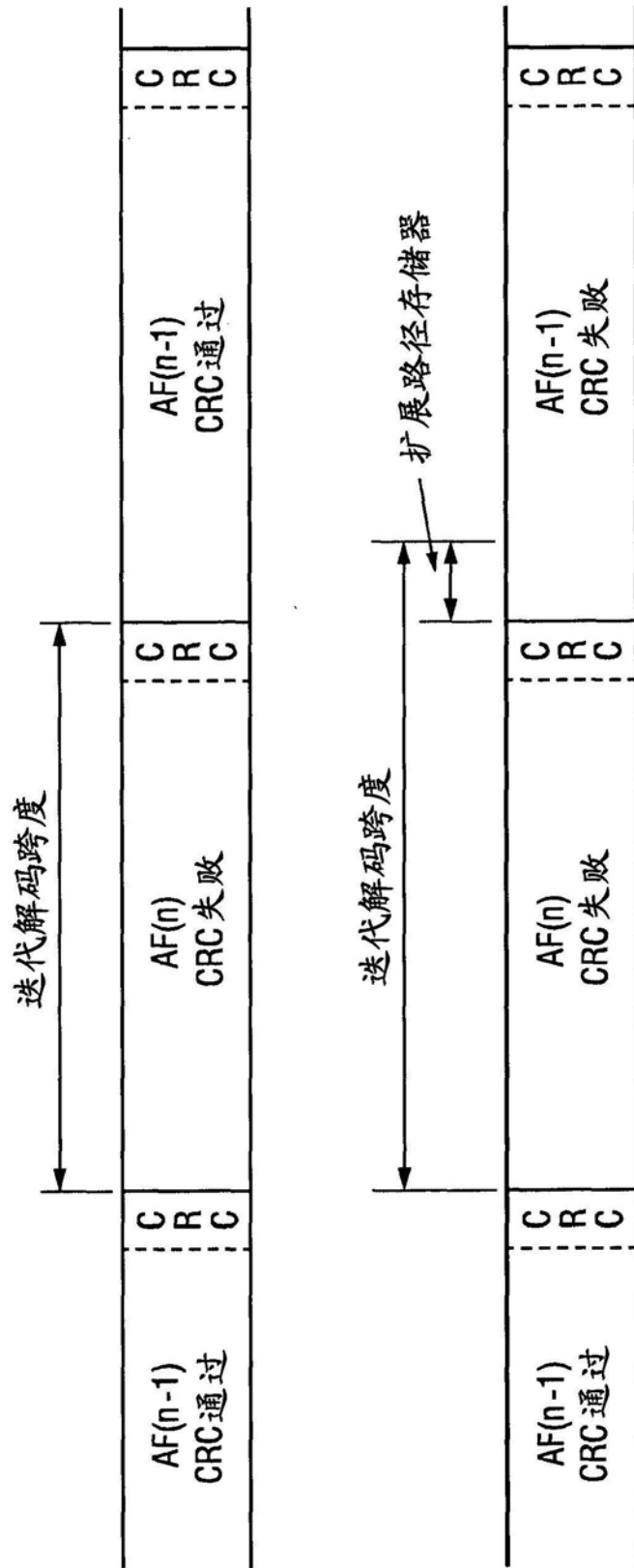


图9