

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 11 月 16 日 (16.11.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/193877 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 17/10 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/083273

(22) 国际申请日: 2017 年 5 月 5 日 (05.05.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201610305551.8 2016年5月10日 (10.05.2016) CN

(71) 申请人: 深圳市中兴微电子有限公司
(SANECHIPS TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN];
中国广东省深圳市南山区西丽街道留仙大道
中兴工业园, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 赵恒正(ZHAO, Hengzheng); 中国广东省
深圳市南山区西丽街道留仙大道中兴工业
园, Guangdong 518055 (CN)。 李安(LI, An); 中
国广东省深圳市南山区西丽街道留仙大道中
兴工业园, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有
限公司(CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY
OFFICE); 中国北京市海淀区海淀南路21号中关
村知识产权大厦B座2层, Beijing 100080 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,
JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,

(54) Title: PULSE DENSITY MODULATION SWITCHING CIRCUIT AND METHOD AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 脉冲密度调制转换电路及方法、存储介质

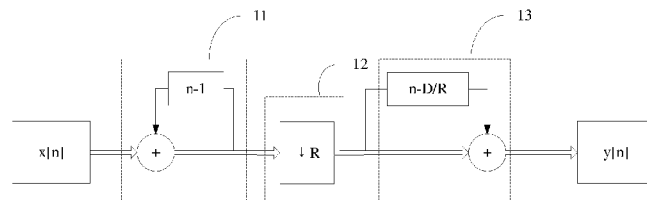


图 3

(57) Abstract: A pulse density modulation switching circuit, pulse density modulation switching method and storage medium, the circuit comprising: a cascade integrator (11), a downsampling decimator (12) and a cascade comb filter (13); the cascade integrator (11) is configured to receive a pulse density modulation (PDM) audio signal, accumulate the pulse density modulation (PDM) audio signal, and output to the downsampling decimator (12) the pulse density modulation (PDM) audio signals accumulated by an integrator at each level; the downsampling decimator (12) is configured to decimate the accumulated pulse density modulation (PDM) audio signals at a predetermined interval; and the cascade comb filter (13) is configured to receive the pulse density modulated (PDM) audio signals as decimated by the downsampling decimator (12) and subtract the extracted pulse density modulated (PDM) audio signals to obtain a pulse code modulation (PCM) audio signal. The present circuit simplifies the complex structure of original cascade comb filters, thereby facilitating the implementation of hardware circuits and reducing the amount of occupied resources.

(57) 摘要: 一种脉冲密度调制转换电路、脉冲密度调制转换方法和存储介质, 所述电路包括: 级联积分器(11), 降采样抽取器(12)和级联梳状滤波器(13); 所述级联积分器(11)配置为接收脉冲密度调制PDM音频信号, 并对所述脉冲密度调制PDM音频信号进行累加处理, 输出各级积分器累加的脉冲密度调制PDM音频信号给所述降采样抽取器(12); 所述降采样抽取器(12)配置为每隔预设间隔抽取所述累加的脉冲密度调制PDM音频信号; 所述级联梳状滤波器(13)配置为接收所述降采样抽取器(12)抽取的脉冲密度调制PDM音频信号, 并对所述抽取的脉冲密度调制PDM音频信号进行减法运算, 得到脉冲编码调制PCM音频信号。该电路简化了原级联梳状滤波器的结构复杂性, 便于硬件电路实现, 减少了资源的占用。

LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

脉冲密度调制转换电路及方法、存储介质

相关申请的交叉引用

本申请基于申请号为 201610305551.8、申请日为 2016 年 05 月 10 日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此引入本申请作为参考。

技术领域

本发明涉及信号处理技术，尤其涉及一种脉冲密度调制转换电路及方法、存储介质。

背景技术

10 数字麦克风是一种新型的将模拟音频信号转换为数字信号的处理装置，和模拟麦克风相比，具有抗干扰能力强、高信噪比、低失真度的优点。数字麦克风的输出信号一般是脉冲密度调制（pulse density modulation, PDM）的形式。但由于PDM格式的推广时间晚于脉冲编码调制（Pulse code modulation, PCM），造成目前大多数音频处理和播放设备都只支持PCM，
15 所以从数字麦克风得到的PDM音频信号需要转换为PCM音频信号，以便常规的处理或应用。

现有的PDM转PCM的方法有级联积分梳状（cascade integrator comb, CIC）滤波，图1为现有的级联积分梳状（CIC）滤波结构示意图，如图1所示，该级联积分梳状（CIC）滤波由级联积分器n-1、级联梳状滤波器n-D、
20 以及降采样抽取R组成。图2为现有的梳状滤波部分等效结构图，如图2所示，级联梳状滤波器n-D可以等效为多个延迟单元Z（图2中以32个延迟单元为例进行说明）。级联积分梳状（CIC）滤波中降采样率R等于级联梳状滤波器的

差分延时D。PDM音频信号从级联积分器之前输入，经过级联梳状滤波器和降采样抽取过程，从降采样抽取输出后，就转换为PCM音频信号。

由图2可知，现有的级联积分梳状（CIC）滤波中的级联梳状滤波器阶数较大，资源占用大。

5 发明内容

为解决上述技术问题，本发明实施例期望提供一种脉冲密度调制转换电路及方法、存储介质，用以简化滤波器结构，便于硬件电路实现，减少资源的占用。

本发明的技术方案是这样实现的：

10 本发明实施例提供一种脉冲密度调制转换电路，所述电路包括：级联积分器，降采样抽取器和级联梳状滤波器；

所述级联积分器配置为接收脉冲密度调制 PDM 音频信号，并对所述 PDM 音频信号进行累加处理，输出各级积分器累加的 PDM 音频信号给所述降采样抽取器；

15 所述降采样抽取器配置为每隔预设间隔抽取所述累加的 PDM 音频信号；

所述级联梳状滤波器配置为接收所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号，并对所述抽取的 PDM 音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制 PCM 音频信号。

20 上述方案中，所述级联梳状滤波器的时延为级联梳状滤波器的原延时与所述降采样抽取器的降采样率的比值。

上述方案中，所述各级积分器累加的 PDM 音频信号经所述降采样抽取器进行抽取后的输出为：

25 当 n 等于 $N * R$ 时，输出为第 n 级积分器累加的 PDM 音频信号，否则，当 n 不等于 $N * R$ 时，输出为 0；其中， N 为所述级联梳状滤波器的时钟频率，

R表示R倍降采样，n为积分器所在的级数。

上述方案中，所述级联积分器的时钟频率为所述级联梳状滤波器的时钟频率和所述降采样率的乘积。

上述方案中，所述级联梳状滤波器包括M级延时器和M级减法器；其中，所述M为正整数；

当所述M大于等于2时，所述第M级延时器配置为保存第M-1级减法器的运算结果；当所述M等于1时，第1级延时器配置为保存所述抽取的PDM音频信号；

所述第M级减法器配置为将抽取的第M个PDM音频信号和第M-1个音频信号进行减法运算。

本发明实施例还提供一种脉冲密度调制转换方法，所述方法包括：

级联积分器接收脉冲密度调制PDM音频信号，对所述PDM音频信号进行累加处理并输出各级积分器累加的PDM音频信号给所述降采样抽取器；

降采样抽取器接收所述累加的PDM音频信号，并每隔预设间隔抽取所述累加的PDM音频信号；

级联梳状滤波器接收所述降采样抽取器抽取的PDM音频信号，并对所述抽取的PDM音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制PCM音频信号。

上述方案中，所述级联梳状滤波器的时延为级联梳状滤波器的原延时与所述降采样抽取器的降采样率的比值。

上述方案中，所述降采样抽取器接收所述累加的PDM音频信号，并每隔预设间隔抽取所述累加的PDM音频信号具体为：

当n等于 $N * R$ 时，所述降采样抽取器抽取第n级积分器累加的PDM音频信号作为所述降采样抽取器的输出，否则，当n不等于 $N * R$ 时，所述降采样抽取器的输出为0；其中，N为所述级联梳状滤波器的时钟频率，R表

示 R 倍降采样， n 为积分器所在的级数。

上述方案中，所述级联积分器的时钟频率为所述级联梳状滤波器的时钟频率和所述降采样率的乘积。

上述方案中，所述级联梳状滤波器包括 M 级延时器和 M 级减法器；其中，所述 M 为正整数；

相应的，级联梳状滤波器接收所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号，并对所述抽取的 PDM 音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制 PCM 音频信号为：

当所述 M 大于等于 2 时，第 M 级减法器将抽取的第 M 个 PDM 音频信号和抽取的第 $M-1$ 个音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制 PCM 音频信号，并将所述第 $M-1$ 级减法器的运算结果保存在第 M 级延时器中；

当所述 M 等于 1 时，将所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号保存在第 1 级延时器中。

本发明实施例提供了一种脉冲密度调制转换电路及方法、存储介质，包括级联积分器，降采样抽取器和级联梳状滤波器；该级联积分器配置为接收脉冲密度调制 PDM 音频信号，并对 PDM 音频信号进行累加处理，输出各级积分器累加的 PDM 音频信号给降采样抽取器；降采样抽取器配置为每隔预设间隔抽取累加的 PDM 音频信号，级联梳状滤波器配置为所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号，并对抽取的 PDM 音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制 PCM 音频信号。该转换电路通过将降采样抽取器 R ，前移到级联积分器和级联梳状滤波器中间，使得级联梳状滤波器的差分延时 D 仅为原结构的 $1/R$ ，大大简化了原级联梳状滤波器的结构复杂性，便于硬件电路实现，减少了资源的占用。

附图说明

图 1 为现有的级联积分梳状（CIC）滤波结构示意图；

图 2 为现有的梳状滤波部分等效结构图;

图 3 为本发明实施例提供的 PDM 音频信号转换电路的示意图;

图 4 为本发明实施例提供的 PDM 音频信号转换电路包含的各组件的结构框图;

5 图 5 为本发明实施例提供的级联梳状滤波器的等效结构示意图;

图 6 为 PDM 音频信号转为 PCM 音频信号的二级级联流程示意图;

图 7 为 PDM 音频信号转为 PCM 音频信号的二级级联电路图;

图 8 为本发明实施例提供的 PDM 音频信号转换方法的流程示意图。

具体实施方式

10 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。

本发明实施例的脉冲密度调制转换电路, 将现有的级联积分梳状滤波中的降采样抽取部分, 从处理结构的最后一级, 前移到积分滤波和梳状滤波中间进行改进, 这样改进后, 梳状滤波的差分延时 D 仅为原结构的 $1/R$,
15 大大简化了梳状滤波器的结构复杂性。

图 3 为本发明实施例提供的 PDM 音频信号转换电路的示意图, 图 4 为本发明实施例提供的 PDM 音频信号转换电路包含的各组件的结构框图, 如图 3 和图 4 所示, 该电路包括:

级联积分器 11, 降采样抽取器 12 和级联梳状滤波器 13;

20 所述级联积分器 11 配置为接收脉冲密度调制 PDM 音频信号, 并对所述 PDM 音频信号进行累加处理, 输出各级积分器累加的 PDM 音频信号给所述降采样抽取器;

所述降采样抽取器 12 配置为每隔预设间隔抽取所述累加的 PDM 音频信号;

25 所述级联梳状滤波器 13 配置为接收所述降采样抽取器抽取的 PDM 音

频信号，并对所述抽取的 PDM 音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制 PCM 音频信号。

需要说明的是，结合图 3 和图 4 可以看出，图 3 中的 11 对应图 4 中的级联积分器 11，图 3 中的 12 对应图 4 中的降采样抽取器 12，图 3 中的 13 对应图 4 中的级联梳状滤波器 13。

具体的，PDM 音频信号从级联积分器之前输入，经过降采样抽取器，从级联梳状滤波器之后输出。具体步骤如下：

(1) PDM 音频信号从级联积分器之前输入，设级联积分器的时延为 1，即每一级积分器的当前输出等于当前输入与上一次输出之和。即：

$$y(n) = x(n) + y(n-1)$$

其中， $x(n)$ 为级联积分器的第 n 级输入， $y(n-1)$ 为级联积分器的第 $(n-1)$ 级输出， $y(n)$ 为级联积分器的第 n 级输出，1 表示级联积分器的时延为 1， n 表示各个积分器所在的级数， $n=1,2,3,\dots$ 。

(2) 经过步骤 (1) 处理后的 PDM 音频信号从级联积分器输出后，经过 R 倍降采样抽取器，数据个数变为原来个数的 $1/R$ ，即降采样抽取器每隔预设间隔抽取累加值，这里预设间隔为 $N * R$ 。降采样抽取器可以通过时钟频率的变化来实现：设级联积分器所用的工作时钟频率为 T ，级联梳状滤波器所用的工作时钟频率为 N ，并且满足 $n = T = N * R$ ，那么进入级联梳状滤波器的数据个数，就是从级联积分器输出的数据个数的 $1/R$ 。用公式表示如下：

$$y(n') = \begin{cases} y(n), & n = N * R \\ 0, & n \neq N * R \end{cases}$$

其中， N 为级联梳状滤波器的时钟频率， R 表示 R 倍降采样， n 为积分器所在的级数， $n = N * R$ ， n' 为降采样抽取器的输出结果编号， $n' = 1, 2, \dots$ ， $y(n)$ 为第 n 级积分器的输出， $y(n')$ 为降采样抽取器的第 n' 个输出。

该公式表示，各级积分器累加的 PDM 音频信号经降采样抽取器进行抽

取后的输出为:

当 n 等于 $N * R$ 时, 输出为第 n 级积分器累加的 PDM 音频信号, 否则, 当 n 不等于 $N * R$ 时, 输出为 0; 其中, N 为级联梳状滤波器的时钟频率, R 表示 R 倍降采样, n 为积分器所在的级数。

- 5 (3) 经过步骤 (2) 处理后的 PDM 音频信号从降采样抽取器输出后, 进入级联梳状滤波器, 级联梳状滤波器的时延由于降采样抽取器的前移而大大减小, 例如, 假设改进前级联梳状滤波器的时延为 32, 降采样率为 32, 那么输入输出关系表示为:

$$z(n'') = y(n') - y(n' - 32)$$

- 10 其中, $y(n')$ 为降采样抽取器的第 n' 个输出, $y(n' - 32)$ 为降采样抽取器的第 $(n' - 32)$ 个输出, $z(n'')$ 为级联梳状滤波器的第 n'' 个输出, $n'' = 1, 2, \dots$ 。

改进后级联梳状滤波器的时延为原时延与降采样抽取器的降采样率的比值, 也就是 1, 输入输出关系表示为:

15
$$z(n'') = y(n') - y(n' - 1)$$

由此可知, 改进后, 级联梳状滤波器的时延由 32 降为 1, 即只需要保存至少一个数据, 与改进前的需要保存至少 32 个数据相比, 改进后级联梳状滤波器的时延减小了很多, 在实际电路中意味着所需要保存数据的个数大大减小, 也就简化了电路结构和占用的资源。

- 20 图 4 为本发明实施例提供的 PDM 音频信号转换电路包含的各组件的结构框图, 如图 4 所示, 该转换电路包括: 级联积分器 11, 降采样抽取器 12 和级联梳状滤波器 13。级联积分器 11 配置为接收 PDM 音频信号, 并对该 PDM 音频信号进行累加处理, 将各级积分器累加的 PDM 音频信号输出给降采样抽取器 12; 降采样抽取器 12 配置为每隔预设间隔抽取累加的 PDM 音频信号, 并将抽取的 PDM 音频信号输出给级联梳状滤波器 13 进行处理, 级联梳状滤波器 13 对抽取的 PDM 音频信号进行减法运算, 得到 PCM 音频
- 25

信号。上述预设间隔根据系统和用户需求进行设置，此处不再赘述。

其中，级联积分器 11 的输入端接收 PDM 音频信号，级联积分器 11 的输出端和降采样抽取器 12 的输入端连接，降采样抽取器 12 的输出端和级联梳状滤波器 13 的输入端连接，级联梳状滤波器 13 的输出端输出 PCM 音频信号。

本实施例的脉冲密度调制转换电路，包括级联积分器，降采样抽取器和级联梳状滤波器；PDM 音频信号从级联积分器之前输入，依次经过级联积分器、降采样抽取器、级联梳状滤波器处理后，从级联梳状滤波器之后输出。该电路中，通过将原级联积分梳状滤波中的降采样抽取器，从处理结构的最后一级，前移到级联积分器和级联梳状滤波器中间，使得级联梳状滤波器的差分延时 D 仅为原级联积分梳状滤波结构的 $1/R$ ，减少了梳状滤波器的级联级数，方便硬件实现，简化结构，节省资源。

图 5 为本发明实施例提供的级联梳状滤波器的等效结构示意图，如图 5 所示，对比图 2 和图 4 可知，假设差分延时 D 和降采样倍数 R 均为 32，则改进前的 PDM 音频信号转换电路需要 32 级延迟单元，而改进后 PDM 音频信号转换电路仅需要 1 级延迟单元。

通过验证，降采样抽取器 12，在处理结构的最后一级所对应的系统函数，和在级联积分器 11 与级联梳状滤波器 13 中间所对应的系统函数，均与同一个滑动平均滤波器的系统函数，所以通过将降采样抽取器 12 前移，既简化了电路结构，又可以保证处理效果和没有前移的相同。

进一步的，所述级联梳状滤波器的时延为级联梳状滤波器的原延时与所述降采样抽取器的降采样率的比值。

进一步的，所述各级积分器累加的 PDM 音频信号经所述降采样抽取器进行抽取后的输出为：

当 n 等于 $N * R$ 时，输出为第 n 级积分器累加的 PDM 音频信号，否则，

当 n 不等于 $N * R$ 时, 输出为 0; 其中, N 为所述级联梳状滤波器的时钟频率, R 表示 R 倍降采样, n 为积分器所在的编号。

进一步的, 所述级联积分器的时钟频率为所述级联梳状滤波器的时钟频率和所述降采样率的乘积。

5 进一步的, 所述级联梳状滤波器包括 M 级延时器和 M 级减法器; 其中, 所述 M 为正整数;

当所述 M 大于等于 2 时, 所述第 M 级延时器配置为保存第 $M-1$ 级减法器的运算结果; 当所述 M 等于 1 时, 第 1 级延时器配置为保存所述抽取的 PDM 音频信号;

10 所述第 M 级减法器配置为将抽取的第 M 个 PDM 音频信号和第 $M-1$ 个音频信号进行减法运算。

图 6 为 PDM 音频信号转为 PCM 音频信号的二级级联流程示意图; 如图 6 所示, PDM 音频信号依次经过两级积分器 I 、降采样抽取器 R 和两级梳状滤波器 C 后, 转换为 PCM 音频信号。

15 图 7 为 PDM 音频信号转为 PCM 音频信号的二级级联电路图, 如图 7 所示, 积分器 I 由积分器和延时器组成, 梳状滤波器 C 由延时器和减法器组成。

图 8 为本发明实施例提供的 PDM 音频信号转换方法的流程示意图, 如图 8 所示, 所述方法包括:

20 步骤 101: 级联积分器接收脉冲密度调制 PDM 音频信号, 对 PDM 音频信号进行累加处理并输出各级积分器累加的 PDM 音频信号给降采样抽取器。

在本步骤中, PDM 音频信号从级联积分器之前输入, 各级积分器接收到该 PDM 音频信号后, 依次对 PDM 音频信号进行累加处理。具体的, PDM
25 音频信号从级联积分器输入后, 每一级积分器的当前输出等于当前输入与

上一次输出之和。用公式 $y(n) = x(n) + y(n-1)$ 来表示，其中， $x(n)$ 为级联积分器的第 n 级输入， $y(n-1)$ 为级联积分器的第 $(n-1)$ 级输出， $y(n)$ 为级联积分器的第 n 级输出，1表示级联积分器的时延为1， n 表示各个积分器所在的级数， $n=1,2,3,\dots$ 。

5 步骤 102：降采样抽取器接收累加的 PDM 音频信号，并每隔预设间隔抽取累加的 PDM 音频信号。

在本步骤中，降采样抽取器接收上述级联积分器处理后输出的累加的 PDM 音频信号，并对该累加的 PDM 音频信号进行 R 倍降采样抽取过程，经过 R 倍降采样抽取，数据个数变为原来个数的 $1/R$ ，并得到抽取的 PDM
10 音频信号。具体的降采样处理过程及输出结果在上述实施例中已详细说明，此处不再赘述。

步骤 103：级联梳状滤波器接收降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号，并对抽取的 PDM 音频信号进行减法运算，转换后得到脉冲编码调制 PCM 音频信号。

15 在本步骤中，级联梳状滤波器接收步骤 102 降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号，并对该抽取的 PDM 音频信号经梳状滤波器处理，具体的对抽取的 PDM 音频信号按照公式 $z(n'') = y(n') - y(n' - 1)$ 进行减法运算，得到 PCM 音频信号。其中， N 为级联梳状滤波器的时钟频率， R 表示 R 倍降采样， n 为积分器所在的级数， $n = N * R$ ， n' 为降采样抽取器的输出结果编号，
20 $n' = 1, 2, \dots$ ， $y(n)$ 为第 n 级积分器的输出， $y(n')$ 为降采样抽取器的第 n' 个输出。级联梳状滤波器的时延由于降采样抽取器的前移而大大减小，级联梳状滤波器的时延为原时延与降采样抽取器的降采样率的比值。

本实施例的脉冲密度调制转换方法，PDM 音频信号从级联积分器之前输入，依次经过级联积分器、降采样抽取器、级联梳状滤波器处理后，从
25 级联梳状滤波器之后输出。该方法中，通过将原级联积分梳状滤波中的降

采样抽取器的处理过程，从处理结构的最后一级，前移到级联积分器和级联梳状滤波器中间，使得级联梳状滤波器的差分延时 D 仅为原级联积分梳状滤波结构的 $1/R$ ，减少了梳状滤波器的级联级数，方便硬件实现，简化结构，节省资源。

5 进一步的，所述级联梳状滤波器的时延为级联梳状滤波器的原延时与所述降采样抽取器的降采样率的比值。

进一步的，所述降采样抽取器接收所述累加的 PDM 音频信号，并每隔预设间隔抽取所述累加的 PDM 音频信号具体为：

10 当 n 等于 $N * R$ 时，所述降采样抽取器抽取第 n 级积分器累加的 PDM 音频信号作为所述降采样抽取器的输出，否则，当 n 不等于 $N * R$ 时，所述降采样抽取器的输出为 0；其中， N 为所述级联梳状滤波器的时钟频率， R 表示 R 倍降采样， n 为积分器所在的级数。

进一步的，所述级联积分器的时钟频率为所述级联梳状滤波器的时钟频率和所述降采样率的乘积。

15 进一步的，所述级联梳状滤波器包括 M 级延时器和 M 级减法器；其中，所述 M 为正整数；

相应的，级联梳状滤波器接收所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号，并对所述抽取的 PDM 音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制 PCM 音频信号为：

20 当所述 M 大于等于 2 时，第 M 级减法器将抽取的第 M 个 PDM 音频信号和抽取的第 $M-1$ 个音频信号进行减法运算，转换后得到脉冲编码调制 PCM 音频信号，并将所述第 $M-1$ 级减法器的运算结果保存在第 M 级延时器中；

25 当所述 M 等于 1 时，将所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号保存在第 1 级延时器中。

本发明实施例还记载了一种计算机存储介质，所述计算机存储介质中存储有计算机程序，所述计算机程序用于执行本发明实施例中图 8 所示的脉冲密度调制转换方法。

本领域内的技术人员应明白，本发明的实施例可提供为方法、系统、
5 或计算机程序产品。因此，本发明可采用硬件实施例、软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器和光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序
10 产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现
15 在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个
20 流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功
25 能的步骤。

以上所述，仅为本发明的较佳实施例而已，并非用于限定本发明的保护范围。

工业实用性

5 本发明实施例通过将降采样抽取器 R ，前移到级联积分器和级联梳状滤波器中间，使得级联梳状滤波器的差分延时 D 仅为原结构的 $1/R$ ，大大简化了原级联梳状滤波器的结构复杂性，便于硬件电路实现，减少了资源的占用。

权利要求书

1、一种脉冲密度调制转换电路，所述电路包括：级联积分器，降采样抽取器和级联梳状滤波器；

所述级联积分器配置为接收脉冲密度调制 PDM 音频信号，并对所述 PDM 音频信号进行累加处理，输出各级积分器累加的 PDM 音频信号给所述降采样抽取器；

所述降采样抽取器配置为每隔预设间隔抽取所述累加的 PDM 音频信号；

所述级联梳状滤波器配置为接收所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号，并对所述抽取的 PDM 音频信号进行减法运算，得到脉冲编码调制 PCM 音频信号。

2、根据权利要求 1 所述的电路，其中，所述级联梳状滤波器的时延为级联梳状滤波器的原延时与所述降采样抽取器的降采样率的比值。

3、根据权利要求 2 所述的电路，其中，所述各级积分器累加的 PDM 音频信号经所述降采样抽取器进行抽取后的输出为：

当 n 等于 $N * R$ 时，输出为第 n 级积分器累加的 PDM 音频信号，否则，当 n 不等于 $N * R$ 时，输出为 0；其中， N 为所述级联梳状滤波器的时钟频率， R 表示 R 倍降采样， n 为积分器所在的级数。

4、根据权利要求 1 所述的电路，其中，所述级联积分器的时钟频率为所述级联梳状滤波器的时钟频率和所述降采样抽取器的降采样率的乘积。

5、根据权利要求 1~4 任一项所述的电路，其中，所述级联梳状滤波器包括 M 级延时器和 M 级减法器；其中，所述 M 为正整数；

当所述 M 大于等于 2 时，所述第 M 级延时器配置为保存第 $M-1$ 级减法器的运算结果；当所述 M 等于 1 时，第 1 级延时器配置为保存所述抽取

的 PDM 音频信号;

所述第 M 级减法器配置为将抽取的第 M 个 PDM 音频信号和第 M-1 个音频信号进行减法运算。

6、一种脉冲密度调制转换方法, 所述方法包括:

5 级联积分器接收脉冲密度调制 PDM 音频信号, 对所述 PDM 音频信号进行累加处理并输出各级积分器累加的 PDM 音频信号给所述降采样抽取器;

降采样抽取器接收所述累加的 PDM 音频信号, 并每隔预设间隔抽取所述累加的 PDM 音频信号;

10 级联梳状滤波器接收所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号, 并对所述抽取的 PDM 音频信号进行减法运算, 得到脉冲编码调制 PCM 音频信号。

7、根据权利要求 6 所述的方法, 其中, 所述级联梳状滤波器的时延为级联梳状滤波器的原延时与所述降采样抽取器的降采样率的比值。

8、根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述降采样抽取器接收所述累
15 加的 PDM 音频信号, 并每隔预设间隔抽取所述累加的 PDM 音频信号具体为:

当 n 等于 $N * R$ 时, 所述降采样抽取器抽取第 n 级积分器累加的 PDM 音频信号作为所述降采样抽取器的输出, 否则, 当 n 不等于 $N * R$ 时, 所述降采样抽取器的输出为 0; 其中, N 为所述级联梳状滤波器的时钟频率, R 表示 R 倍降采样, n 为积分器所在的级数。
20

9、根据权利要求 6 所述的方法, 其中, 所述级联积分器的时钟频率为所述级联梳状滤波器的时钟频率和所述降采样抽取器的降采样率的乘积。

10、根据权利要求 6~9 任一项所述的方法, 其中, 所述级联梳状滤波器包括 M 级延时器和 M 级减法器; 其中, 所述 M 为正整数;

25 相应的, 级联梳状滤波器接收所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信

号, 并对所述抽取的 PDM 音频信号进行减法运算, 得到脉冲编码调制 PCM 音频信号为:

当所述 M 大于等于 2 时, 第 M 级减法器将抽取的第 M 个 PDM 音频信号和抽取的第 $M-1$ 个音频信号进行减法运算, 得到脉冲编码调制 PCM 音频信号, 并将所述第 $M-1$ 级减法器的运算结果保存在第 M 级延时器中;

当所述 M 等于 1 时, 将所述降采样抽取器抽取的 PDM 音频信号保存在第 1 级延时器中。

11、一种计算机存储介质, 所述计算机存储介质中存储有计算机程序, 所述计算机程序用于执行前述权利要求 6 至 10 任一项所述的脉冲密度调制转换方法。

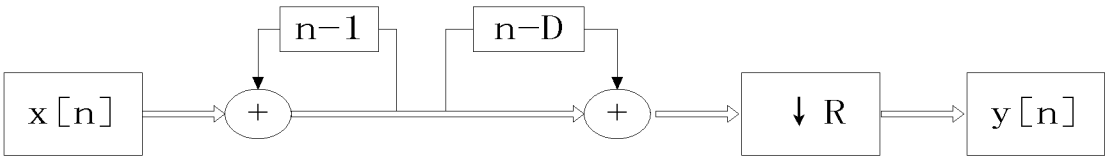


图 1

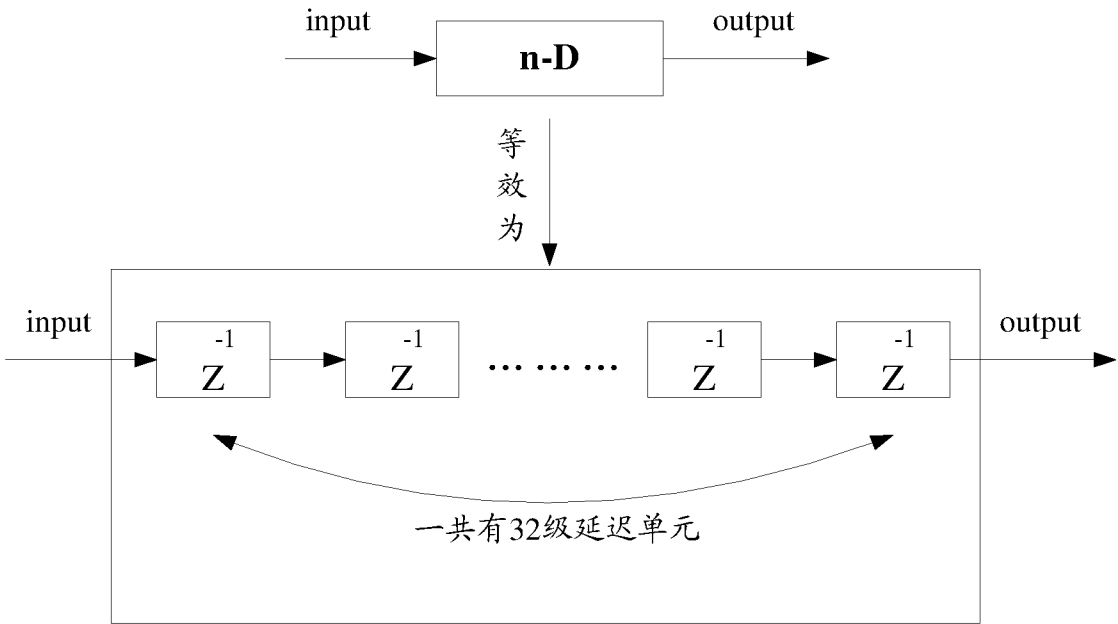


图 2

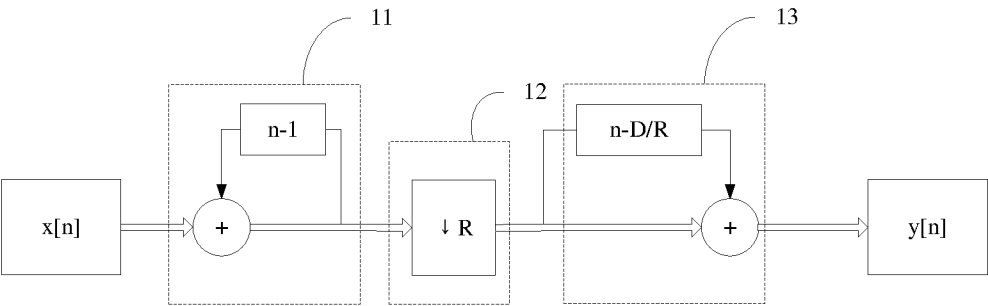


图 3

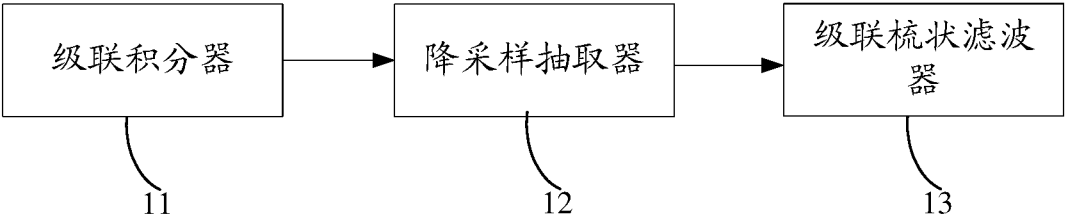
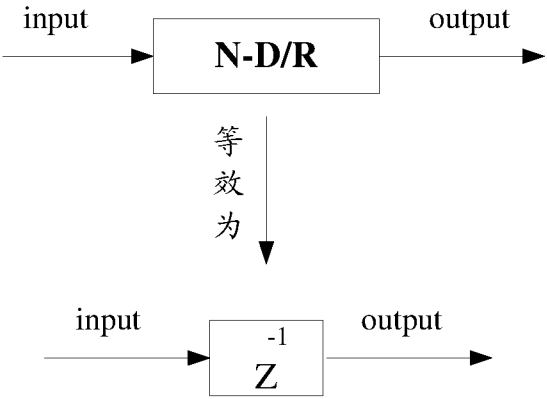


图 4



仅需要1级延迟单元

图 5

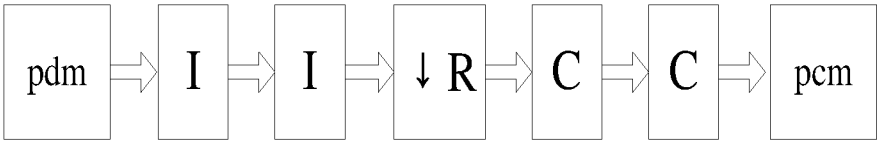


图 6

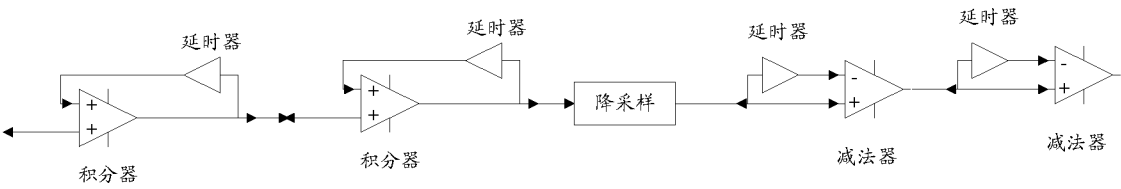


图 7

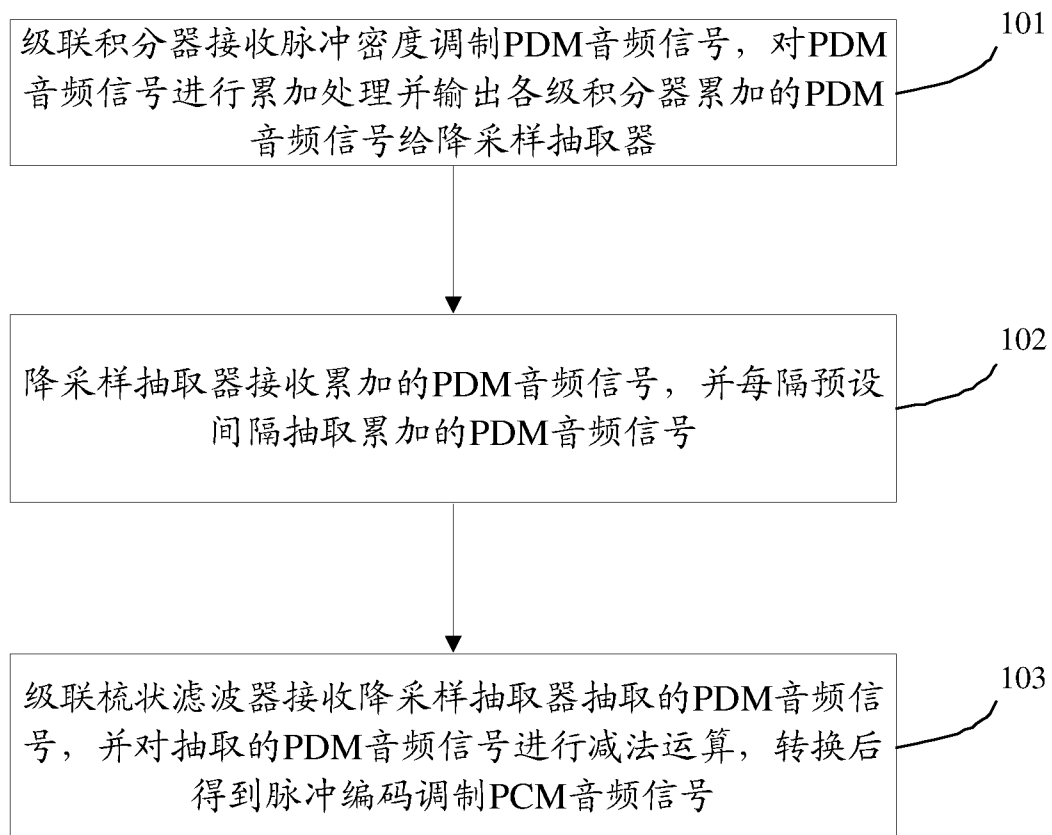


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2017/083273

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/10(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, EPODOC, WPI: integral, pulse code modulation, conversion, downsampling, extract, pulse density modulation, density, code, audio, digital, PDM, PCM, pulse, modulation, CIC, microphone, sampl+, transit+, comb, adder

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 102592599 A (NXP B.V.), 18 July 2012 (18.07.2012), description, paragraphs [0033]-[0043], and figure 1	1-11
Y	CN 101022180 A (MITSUMI ELECTRIC CO., LTD.), 22 August 2007 (22.08.2007), description, page 7, paragraph 4 to page 8, paragraph 3, and figure 8	1-11
Y	W0 0237675 A1 (NOKIA CORPORATION), 10 May 2002 (10.05.2002), description, paragraph[0013], and figure 1	1-11
Y	US 2004107078 A1 (CHIU, C.S. et al.), 03 June 2004 (03.06.2004), description, paragraph [0020], and figure 1	1-11
Y	US 6470365 B1 (MOTOROLA INC.), 22 October 2002 (22.10.2002), description, column3, lines 12-22, and figure 2	1-11
PX	CN 106470022 A (ZTE CORP.), 01 March 2017 (01.03.2017), description, paragraphs[0031]-[0070], and figures 1-4	1-11
A	CN 102035503 A (HITREND TECHNOLOGY (SHANGHAI) CO., LTD.), 27 April 2011 (27.04.2011), the whole document	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&”document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 01August 2017 (01.08.2017)	Date of mailing of the international search report 10August 2017 (10.08.2017)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer SUN, Changxin Telephone No.:(86-10) 61648462

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2017/083273

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102592599 A	18 July 2012	US 2012177099 A1	12 July 2012
		EP 2477418 A1	18 July 2012
		EP 2477418 B1	04 June 2014
		US 8855187 B2	07 October 2014
CN 101022180 A	22 August 2007	US 2007188133 A1	16 August 2007
		JP 2007240523 A	20 September 2007
		US 7675266 B2	09 March 2010
		CN 101022180 B	01 December 2010
		JP 4748073 B2	17 August 2011
WO 0237675 A1	10 May 2002	FI 20002423 A	04 May 2002
		FI 109383 B1	15 July 2002
		AU 1240302 A	15 May 2002
		US 2003069911 A1	10 April 2003
		EP 1330873 A2	30 July 2003
		US 6643675 B2	04 November 2003
US 2004107078 A1	03 June 2004	JP 2004116945 A	15 April 2004
		GB 2394719 A	05 May 2004
		US 6951115 B2	04 October 2005
		GB 2394719 B	05 April 2006
		US 6993464 B2	31 January 2006
		JP 3863831 B2	27 December 2006
US 6470365 B1	22 October 2002	None	
CN 106470022 A	01 March 2017	None	
CN 102035503 A	27 April 2011	CN 102035503 B	28 May 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/083273

A. 主题的分类 G06F 17/10(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G06F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNKI, CNPAT, EPODOC, WPI: 积分, 脉冲编码调制, 梳状, 麦克风, 转换, 降采样, 抽取, 脉冲密度调制, 音频, 数字, density, code, audio, digital, PDM, PCM, pulse, modulation, CIC, microphone, sampl+, transit+, comb, adder																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 102592599 A (NXP股份有限公司) 2012年 7月 18日 (2012 - 07 - 18) 说明书第[0033]-[0043]段及附图1</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 101022180 A (三美电机株式会社) 2007年 8月 22日 (2007 - 08 - 22) 说明书第7页第4段至第8页第3段及附图8</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>WO 0237675 A1 (NOKIA CORPORATION) 2002年 5月 10日 (2002 - 05 - 10) 说明书第[0013]段及附图1</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 2004107078 A1 (CHIU, CHESHENG 等) 2004年 6月 3日 (2004 - 06 - 03) 说明书第[0020]段及附图1</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 6470365 B1 (MOTOROLA INC.) 2002年 10月 22日 (2002 - 10 - 22) 说明书第3栏第12-22行及附图2</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 106470022 A (中兴通讯股份有限公司) 2017年 3月 1日 (2017 - 03 - 01) 说明书第[0031]-[0070]段及附图1-4</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102035503 A (炬泉光电科技上海股份有限公司) 2011年 4月 27日 (2011 - 04 - 27) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 102592599 A (NXP股份有限公司) 2012年 7月 18日 (2012 - 07 - 18) 说明书第[0033]-[0043]段及附图1	1-11	Y	CN 101022180 A (三美电机株式会社) 2007年 8月 22日 (2007 - 08 - 22) 说明书第7页第4段至第8页第3段及附图8	1-11	Y	WO 0237675 A1 (NOKIA CORPORATION) 2002年 5月 10日 (2002 - 05 - 10) 说明书第[0013]段及附图1	1-11	Y	US 2004107078 A1 (CHIU, CHESHENG 等) 2004年 6月 3日 (2004 - 06 - 03) 说明书第[0020]段及附图1	1-11	Y	US 6470365 B1 (MOTOROLA INC.) 2002年 10月 22日 (2002 - 10 - 22) 说明书第3栏第12-22行及附图2	1-11	PX	CN 106470022 A (中兴通讯股份有限公司) 2017年 3月 1日 (2017 - 03 - 01) 说明书第[0031]-[0070]段及附图1-4	1-11	A	CN 102035503 A (炬泉光电科技上海股份有限公司) 2011年 4月 27日 (2011 - 04 - 27) 全文	1-11
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
Y	CN 102592599 A (NXP股份有限公司) 2012年 7月 18日 (2012 - 07 - 18) 说明书第[0033]-[0043]段及附图1	1-11																								
Y	CN 101022180 A (三美电机株式会社) 2007年 8月 22日 (2007 - 08 - 22) 说明书第7页第4段至第8页第3段及附图8	1-11																								
Y	WO 0237675 A1 (NOKIA CORPORATION) 2002年 5月 10日 (2002 - 05 - 10) 说明书第[0013]段及附图1	1-11																								
Y	US 2004107078 A1 (CHIU, CHESHENG 等) 2004年 6月 3日 (2004 - 06 - 03) 说明书第[0020]段及附图1	1-11																								
Y	US 6470365 B1 (MOTOROLA INC.) 2002年 10月 22日 (2002 - 10 - 22) 说明书第3栏第12-22行及附图2	1-11																								
PX	CN 106470022 A (中兴通讯股份有限公司) 2017年 3月 1日 (2017 - 03 - 01) 说明书第[0031]-[0070]段及附图1-4	1-11																								
A	CN 102035503 A (炬泉光电科技上海股份有限公司) 2011年 4月 27日 (2011 - 04 - 27) 全文	1-11																								
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																										
国际检索实际完成的日期 2017年 8月 1日		国际检索报告邮寄日期 2017年 8月 10日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 孙长欣 电话号码 (86-10)61648462																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/083273

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102592599	A	2012年 7月 18日	US	2012177099	A1	2012年 7月 12日
				EP	2477418	A1	2012年 7月 18日
				EP	2477418	B1	2014年 6月 4日
				US	8855187	B2	2014年 10月 7日
CN	101022180	A	2007年 8月 22日	US	2007188133	A1	2007年 8月 16日
				JP	2007240523	A	2007年 9月 20日
				US	7675266	B2	2010年 3月 9日
				CN	101022180	B	2010年 12月 1日
				JP	4748073	B2	2011年 8月 17日
WO	0237675	A1	2002年 5月 10日	FI	20002423	A	2002年 5月 4日
				FI	109383	B1	2002年 7月 15日
				AU	1240302	A	2002年 5月 15日
				US	2003069911	A1	2003年 4月 10日
				EP	1330873	A2	2003年 7月 30日
				US	6643675	B2	2003年 11月 4日
US	2004107078	A1	2004年 6月 3日	JP	2004116945	A	2004年 4月 15日
				GB	2394719	A	2004年 5月 5日
				US	6951115	B2	2005年 10月 4日
				GB	2394719	B	2006年 4月 5日
				US	6993464	B2	2006年 1月 31日
				JP	3863831	B2	2006年 12月 27日
US	6470365	B1	2002年 10月 22日	无			
CN	106470022	A	2017年 3月 1日	无			
CN	102035503	A	2011年 4月 27日	CN	102035503	B	2014年 5月 28日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)