



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102714730 B

(45) 授权公告日 2016.05.04

(21) 申请号 201180006149.5

H04N 19/103(2014.01)

(22) 申请日 2011.01.14

H04N 19/132(2014.01)

(30) 优先权数据

H04N 19/18(2014.01)

61/295,258 2010.01.15 US

H04N 19/19(2014.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2012.07.16

EP 2046045 A1, 2009.04.08,

(86) PCT国际申请的申请数据

CN 101493890 A, 2009.07.29,

PCT/US2011/000064 2011.01.14

CN 101510943 A, 2009.08.19,

(87) PCT国际申请的公布数据

US 2005053301 A1, 2005.03.10,

W02011/087908 EN 2011.07.21

审查员 吴倩

(73) 专利权人 汤姆森特许公司

地址 法国伊西莱穆利诺

(72) 发明人 T. 多 吕小安 J. 索尔

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 吕晓章

(51) Int. Cl.

H04N 19/147(2014.01)

H04N 19/61(2014.01)

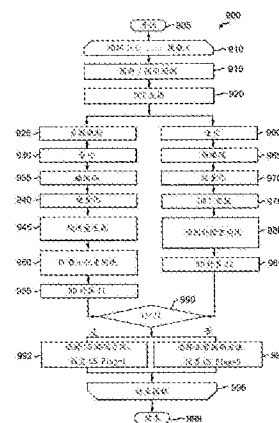
权利要求书2页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

使用压缩感测的视频编解码

(57) 摘要

本发明提供了用于使用压缩感测的视频编码器和解码器的方法和装置。编码方法通过生成图像块的度量矢量,编码度量矢量,以及通过最小化响应于编码度量矢量的图像块的信号稀疏度重构图像块,来编码画面中的图像块,该度量矢量包括与图像块有关的变换系数(900)。相应解码方法通过接收图像块的度量矢量,解码度量矢量,以及通过最小化响应于解码度量矢量的图像块的信号稀疏度重构图像块,来解码画面的图像块,其中该度量矢量包括与图像块有关的变换系数。



1. 一种用于视频编码的装置,其包含:

视频编码器 (500), 通过以下方式来编码画面中的图像块: 生成图像块的度量矢量, 对度量矢量进行编码, 以及响应于编码的度量矢量对图像块的信号稀疏度进行最小化来重构图像块, 该度量矢量包括与图像块有关的变换系数;

其中通过适配于量化参数的加权因子, 使用公式化成信号稀疏度和度量误差的加权和的最小化函数使图像块的信号稀疏度最小化, 该度量误差代表重构的图像块的度量与图像块的估计度量之间的差, 信号稀疏度在图像域中确定;

其中, 响应为图像块确定的残差来确定度量矢量, 该残差代表图像块的原始版本与图像块的预测量之间的差;

其中, 信号稀疏度通过总变差来量度, 该总变差是图像块中的连续像素之间的差的函数。

2. 如权利要求 1 所述的装置, 其中度量矢量包括残差的变换系数的子集。

3. 如权利要求 1 所述的装置, 其中度量矢量使用量化和熵编码来编码。

4. 一种用在视频编码器中的方法, 其包含:

通过以下方式来编码画面中的图像块: 生成图像块的度量矢量, 对度量矢量进行编码, 以及响应于编码的度量矢量对图像块的信号稀疏度进行最小化来重构图像块, 该度量矢量包括与图像块有关的变换系数 (900);

其中通过适配于量化参数的加权因子, 使用公式化成信号稀疏度和度量误差的加权和的最小化函数使图像块的信号稀疏度最小化, 该度量误差代表重构的图像块的度量与图像块的估计度量之间的差, 信号稀疏度在图像域中确定;

其中, 响应为图像块确定的残差来确定度量矢量, 该残差代表图像块的原始版本与图像块的预测量之间的差;

其中, 信号稀疏度通过总变差来量度, 该总变差是图像块中的连续像素之间的差的函数。

5. 如权利要求 4 所述的方法, 其中度量矢量包括残差的变换系数的子集 (730)。

6. 如权利要求 4 所述的方法, 其中度量矢量使用量化和熵编码来编码 (930, 935)。

7. 如权利要求 4 所述的方法, 其中将所述方法实现成编码模式, 以及使用标志来通知是否选择该编码模式 (992)。

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其中该编码模式选择基于率失真 (990)。

9. 一种用于视频解码的装置, 其包含:

视频解码器 (600), 通过以下方式来解码画面中的图像块: 接收图像块的度量矢量, 对度量矢量进行解码, 以及响应于解码的度量矢量对图像块的信号稀疏度进行最小化来重构图像块, 其中, 该度量矢量包括与图像块有关的变换系数;

其中通过适配于量化参数的加权因子, 使用公式化成信号稀疏度和度量误差的加权和的最小化函数使图像块的信号稀疏度最小化, 该度量误差代表重构的图像块的度量与图像块的估计度量之间的差, 信号稀疏度在图像域中确定;

其中, 响应为图像块确定的残差来确定度量矢量, 该残差代表图像块的原始版本与图像块的预测量之间的差;

其中, 信号稀疏度通过总变差来量度, 该总变差是图像块中的连续像素之间的差的函

数。

10. 如权利要求 9 所述的装置,其中度量矢量包括残差的变换系数的子集。

11. 如权利要求 9 所述的装置,其中度量矢量使用量化和熵编码来编码。

12. 一种用在视频解码器中的方法,其包含:

通过以下方式来解码画面中的图像块:接收图像块的度量矢量,对度量矢量进行解码,以及响应于解码的度量矢量对图像块的信号稀疏度进行最小化来重构图像块,其中,该度量矢量包括与图像块有关的变换系数(1000);

其中通过适配于量化参数的加权因子,使用公式化成信号稀疏度和度量误差的加权和的最小化函数使图像块的信号稀疏度最小化,该度量误差代表重构的图像块的度量与图像块的估计度量之间的差,信号稀疏度在图像域中确定;

其中,响应为图像块确定的残差来确定度量矢量,该残差代表图像块的原始版本与图像块的预测量之间的差;

其中,信号稀疏度通过总变差来量度,该总变差是图像块中的连续像素之间的差的函数。

13. 如权利要求 12 所述的方法,其中度量矢量包括残差的变换系数的子集(730)。

14. 如权利要求 12 所述的方法,其中度量矢量使用量化和熵编码来编码(930,935)。

使用压缩感测的视频编解码

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于 2010 年 1 月 15 日提交的美国临时申请序列号 61/295,258 的权益，其通过引用而被整体合并于此。

技术领域

[0003] 本原理总地涉及视频编码和解码，并且更具体地涉及用于使用压缩感测的视频编解码器和解码器的方法和装置。

背景技术

[0004] 压缩感测(compressive sensing) (也称为压缩采样和压缩传感(compressed sensing)) 是考虑到信号稀疏或可压缩的现有知识获取和重构信号的一种技术。当使用压缩感测的理论时，可以以比奈奎斯特(Nyquist) 采样低得多的速率采样信号。压缩感测用在包括数据压缩、磁共振成像(MRI)等的各种应用中。在文献中，将压缩感测合并到视频压缩框架中来改进残差编解码。由于残差往往并不是非常稀疏的，所以改进是有限的。

[0005] 压缩感测(CS)框架的概述

[0006] 假设 x 是长度为 N 的信号，如果在如下的某种线性变换 Ψ (例如，离散余弦变换(DCT)或离散小波变换(DWT)) 下可以使用 $K \ll N$ 系数很好地近似 x ，则认为 x 是 K 稀疏的(或可压缩的)：

$$[0007] \quad x = \Psi \alpha, \quad (1)$$

[0008] 其中 Ψ 是稀疏化变换， α 是变换系数矢量，并且在 α 中只有 K 系数是非零的。转到图 1，用标号 100 总体指示稀疏信号的表示。表示 100 涉及长度为 N 的信号 x 、稀疏化变换 Ψ 、和变换系数矢量 α 。

[0009] 按照压缩感测理论，这样的信号可以通过如下的不相干线性投影来获取：

$$[0010] \quad y = \Phi x, \quad (2)$$

[0011] 其中 y 是具有 M 项的度量矢量，并且 Φ 代表 $M \times N$ 不相干感测矩阵，其中 $M \ll N$ 。转到图 2，用标号 200 总体指示压缩感测中的度量获取方法。方法 200 涉及长度为 N 的信号 x 、具有 M 项的度量矢量 y 、和 $M \times N$ 不相干感测矩阵 Φ 。

[0012] 压缩感测框架断言，通过求解如下优化问题，可以只从 $M \geq cK \log N$ (c 是小常数) 个度量中忠实地恢复 x ：

$$[0013] \quad \alpha^* = \arg \min |\alpha|_1 \text{ 以便 } y = \Phi x = \Phi \Psi \alpha, \quad (3)$$

[0014] 其中输入信号可以用 $x^* = \Psi \alpha^*$ 近似。在方程(3)中，度量矢量 y 、感测矩阵 Φ 、和稀疏化矩阵 Ψ 是已知的。但是，信号 x 和它的变换系数矢量 α 是未知的(要寻找的)。在这样的情况下， α 是优化变量。

[0015] 注意，由于 $M \ll N$ ，所以方程(2)是未定型的，即，存在许多都满足方程(2)的候选信号 x 。因此，应用最小二乘解的传统途径，即， $x' = \Phi^T (\Phi \Phi^T)^{-1} y$ 不能提供 x 的忠实近似。压缩感测理论提出了通过求解方程(3)识别正确解信号 x 的替代途径。直观地，方程(3)中

的优化问题试图在变换域 Ψ 中找出具有最少非零项的候选者 x 。

[0016] 文献中的最流行不相干感测矩阵 Φ 之一是随机投影或随机矩阵,其中每项包括独立、相同分布随机变量(例如,每项具有高斯(Gaussian)或贝努利(Bernoulli)分布)。可以示出,这样的随机矩阵最佳地与稀疏化 Ψ 不相干,因此导致最佳性能。

[0017] 请注意,方程(3)中的目标函数可以用其它稀疏度量取代。例如,对于像图像(或图像块)那样的 2 维信号,将总变差(Total Variation, TV)用作稀疏度量是常见的。总变差是相继像素之间的差值的函数。总变差(TV)的一个示例如下:

[0018]

$$TV(x) = \sum_{i,j} \sqrt{(x_{i+1,j} - x_{i,j})^2 + (x_{i,j+1} - x_{i,j})^2} = \sum_{i,j} \sqrt{D_h(i,j)^2 + D_v(i,j)^2} \quad (4)$$

[0019] 这是每个像素上的水平离散梯度 D_h 和垂直离散梯度 D_v 的幅度的总和。纹理小的平滑图像块往往具有小总变差。换句话说,这样的图像块在梯度域中往往是稀疏的。

[0020] 相关工作

[0021] 在第一种现有技术途径中,提出了编码块残差的 DCT 变换系数的一个子集和应用稀疏信号恢复算法从编码系数中恢复块残差的视频编解码器。稀疏信号恢复通过 TV 最小化来实现。方程(3)中的优化问题变成如下:

$$x^* = \arg \min TV(x) \quad \text{以便} \quad y = \Phi x, \quad (5)$$

[0023] 其中 x 是残差数据,即,从原始数据中减去预测数据的结果。基本上,该途径试图在观察数据 y 的约束下使重构残差的梯度最小化。由于涉及量化过程,所以原则上完美的重构是不可能的(即, $y = \Phi x$ 的等式约束太苛刻),因此,该算法通过求解如下问题允许一定程度的误差(在方程(6)中用 ϵ 表示):

$$x^* = \arg \min TV(x) \quad \text{以便} \quad \|y - \Phi x\| < \epsilon. \quad (6)$$

[0025] 在这种途径中存在几个严重缺点,说明如下。上述第一种现有技术途径中的解码器应用基于 TV 最小化的算法来重构块残差。这种途径在假设块残差在梯度域中是稀疏的情况下是行之有效的。但是,块残差在块预测之后在梯度域中往往不是稀疏的,并且这种假设与已经利用了空间冗余的定向帧内预测不兼容。

[0026] 在第一种现有技术途径中在截断这样的系数之前为块残差计算一维 DCT 系数。这种截断采样不能最佳地捕获块残差的能量,因此降低了编码器的编码效率。另外,应用在第一种现有技术途径中稀疏恢复算法未完全考虑到编码系数的量化影响,导致重构块质量下降。此外,第一种现有技术途径中的实现应用了次最佳 l_1 - 最小化算法。因此,所得编码器太慢,难以用于实际应用。

[0027] 转到图 3,用标号 300 总体指示编码一个画面的图像数据的方法。方法 300 包括将控制交给循环限制块 320 的开始块 310。循环限制块 320 使用变量 i 开始循环,变量 i 具有 $1, \dots$, 画面中的块数($\#$)的范围,并将控制交给功能块 330。功能块 330 进行帧内 / 帧间预测以获取当前块的预测量,并将控制交给功能块 340。功能块 340 将 DCT 变换应用于残差(代表当前块的原始版本与当前块的预测量之间的差值)以获取其变换系数,并将控制交给功能块 350。功能块 350 将变换系数量化以获取量化变换系数,并将控制交给功能块 360。功能块 360 将熵编码量化变换系数,并将控制交给功能块 370。功能块 370 将量化变换系数逆量化,并将控制交给功能块 380。功能块 380 (例如,使用离散余弦变换(DCT))将

逆量化变换系数逆变换以获得当前块的重构残差,并将控制交给功能块 390。功能块 390 通过将当前块的重构残差加入当前块的预测量中重构当前块,并将控制交给循环限制块 395。循环限制块 395 结束循环,并将控制交给结束块 399。

[0028] 转到图 4,用标号 400 总体指示解码一个画面的图像数据的方法。方法 400 包括将控制交给循环限制块 420 的开始块 410。循环限制块 420 使用变量 i 开始循环,变量 i 具有 $1, \dots$,画面中的块数($\#$)的范围,并将控制交给功能块 430。功能块 430 进行熵解码以获取量化变换系数、帧内 / 帧间预测模式和其它信息,并将控制交给功能块 440。功能块 440 将当前块的量化变换系数逆量化,并将控制交给功能块 450。功能块 450 (例如,使用离散余弦变换(DCT))将逆量化变换系数逆变换以获得重构残差,并将控制交给功能块 460。功能块 460 通过将当前块的重构残差加入当前块的预测量中重构当前块,并将控制交给循环限制块 470。循环限制块 470 结束循环,并将控制交给结束块 499。

发明内容

[0029] 现有技术的这些和其它缺陷和缺点通过本原理来解决,本原理针对用于使用压缩感测的视频编码器和解码器的方法和装置。

[0030] 按照本原理的一个方面,提供了一种装置。所述装置包括视频编码器,用于通过生成图像块的度量矢量,编码度量矢量,以及通过最小化响应于编码度量矢量的图像块的信号稀疏度重构图像块,来编码画面中的图像块。该度量矢量包括与图像块有关的变换系数。

[0031] 按照本原理的另一个方面,提供了一种用在视频编码器中的方法。所述方法包括通过生成图像块的度量矢量,编码度量矢量,以及通过最小化响应于编码度量矢量的图像块的信号稀疏度重构图像块,来编码画面中的图像块。该度量矢量包括与图像块有关的变换系数。

[0032] 按照本原理的又一个方面,提供了一种装置。所述装置包括视频解码器,用于通过接收图像块的度量矢量,解码度量矢量,以及通过最小化响应于解码度量矢量的图像块的信号稀疏度重构图像块,来解码画面中的图像块。该度量矢量包括与图像块有关的变换系数。

[0033] 按照本原理的再一个方面,提供了一种用在视频解码器中的方法。所述方法包括通过接收图像块的度量矢量,解码度量矢量,以及通过最小化响应于解码度量矢量的图像块的信号稀疏度重构图像块,来解码画面中的图像块。该度量矢量包括与图像块有关的变换系数。

[0034] 从应当结合附图阅读的对示例实施例的以下详细描述中,本原理的这些和其它方面、特征和优点将变得清楚。

附图说明

[0035] 根据以下示例附图,将更好地理解本原理,在附图中:

[0036] 图 1 是示出可以应用本原理的稀疏信号的表示的图;

[0037] 图 2 是示出依照现有技术的压缩感测中的度量获取方法的图;

[0038] 图 3 是示出依照现有技术编码一个画面的图像数据的方法的流程图;

[0039] 图 4 是示出依照现有技术解码一个画面的图像数据的方法的流程图;

- [0040] 图 5 是示出依照本原理的实施例、可以应用本原理的示例视频编码器的框图；
- [0041] 图 6 是示出依照本原理的实施例、可以应用本原理的示例视频解码器的框图；
- [0042] 图 7 是示出依照本原理的实施例的块重构的示例方法的流程图；
- [0043] 图 8 是示出依照本原理的实施例的涉及自适应调整加权因子的量化噪声补偿的示例方法的流程图；
- [0044] 图 9 是示出依照本原理的实施例编码一个画面的图像数据的方法的流程图；以及
- [0045] 图 10 是示出依照本原理的实施例解码一个画面的图像数据的方法的流程图。

具体实施方式

- [0046] 本原理针对用于使用压缩感测的视频编码器和解码器的方法和装置。
- [0047] 本描述说明本原理。因此,将认识到:本领域技术人员将能够设计出实施本原理并被包括在本原理的精神和范围内的各种布置,尽管在这里没有明确地描述或示出所述布置。
- [0048] 在此叙述的所有示例和条件性语言意欲用于教导的目的以便帮助读者理解本原理以及由本发明人贡献以促进现有技术的构思,并且应该被解释为不限制这种具体叙述的示例和条件。
- [0049] 另外,在这里叙述本原理的原理、方面和实施例及其特定示例的所有陈述意欲包括其结构和功能等效物。另外,意图是:这样的等效物包括当前已知的等效物以及将来开发的等效物二者,即所开发的执行相同功能的任何元件,而不论其结构如何。
- [0050] 因此,例如,本领域技术人员将认识到:在此呈现的框图表示实施本原理的说明性电路的概念性视图。类似地,将认识到:任何流程图示(flow chart)、流程图(flow diagram)、状态转换图、伪代码等表示实质上可以表示在计算机可读介质中并因此由计算机或处理器执行的各种处理,而不管是否明确地示出这样的计算机或处理器。
- [0051] 可以通过使用专用硬件以及与适当的软件相关联的能够执行软件的硬件来提供图中示出的各种元件的功能。当利用处理器来提供所述功能时,可以利用单个专用处理器、利用单个共享处理器、或者利用其中一些可被共享的多个独立处理器来提供所述功能。另外,术语“处理器”或“控制器”的明确使用不应该被解释为排他性地指代能够执行软件的硬件,而是可以隐含地无限制地包括数字信号处理器(“DSP”)硬件、用于存储软件的只读存储器(“ROM”)、随机存取存储器(“RAM”)、和非易失性存储器。
- [0052] 还可以包括其它传统的和/或定制的硬件。类似地,图中示出的任何开关只是概念性的。它们的功能可以通过程序逻辑的运行、通过专用逻辑、通过程序控制和专用逻辑的交互、或者甚至手动地来执行,如从上下文更具体地理解的那样,可以由实施者选择具体技术。
- [0053] 在其权利要求中,被表示为用于执行指定功能的部件的任何元件意欲包含执行那个功能的任何方式,例如包括:a) 执行那个功能的电路元件的组合或者 b) 与适当电路相组合的任何形式的软件,所述软件因此包括固件或微代码等,所述适当电路用于执行该软件以执行所述功能。由这种权利要求限定的本原理在于如下事实,即,以权利要求所要求的方式将由各种所叙述的部件提供的功能组合和集合到一起。因此认为可以提供那些功能的任何部件与在此示出的那些部件等效。

[0054] 在本说明书中提到的本原理的“一个实施例”或“实施例”以及其它变种是指结合所述实施例描述的特定特征、结构、特性等被包括在本原理的至少一个实施例中。因此，在说明书各处出现的短语“在一个实施例中”和“在实施例中”以及其它变种的出现不一定都指代相同的实施例。

[0055] 应当认识到，例如在“A/B”、“A 和 / 或 B”和“A 和 B 的至少一个”的情况中对于术语“/”、“和 / 或”和“至少一个”的使用意欲包括只对于第一个列出的选项 (A) 的选择、只对于第二个列出的选项 (B) 的选择、或者对于两个选项 (A 和 B) 的选择。作为另一示例，在“A、B 和 / 或 C”和“A、B 和 C 的至少一个”的情况中，这种措辞意欲包括只对于第一个列出的选项 (A) 的选择、只对于第二个列出的选项 (B) 的选择、只对于第三个列出的选项 (C) 的选择、只对于第一个和第二个列出的选项 (A 和 B) 的选择、只对于第一个和第三个列出的选项 (A 和 C) 的选择、只对于第二个和第三个列出的选项 (B 和 C) 的选择、或者对于全部三个选项 (A 和 B 和 C) 的选择。如本领域和相关领域普通技术人员容易认识到的，这可以被扩展用于很多列出的项目。

[0056] 此外，如这里所使用，词汇“画面”和“图像”可交换使用，并且都指代来自视频序列的静止图像或画面。众所周知，一个画面可以是一个帧或一个半帧。

[0057] 此外，我们应当注意到如下情况。在本文中，我们使用短语“度量矢量”来一般性表示变换系数的一个子集。例如，在一个实施例中，我们使用在下文中是方程 (4) 的如下方程，即， $y=A(x)$ ，其中 y 是度量矢量， $A(.)$ 是运算符，和 x 是信号。在我们的示例中，在运算 $A(.)$ 中，通过变换 x 生成变换系数，以曲折 (zigzag) 次序扫描变换系数，并将第一类系数选作子集。将这个变换系数的子集放入称为度量矢量的矢量中。因此，如这里所使用，当如下文更全面所述针对为图像块生成的度量矢量使用时，短语“与图像块有关的变换系数”指的是图像块的残差的变换系数的子集和 / 或图像块的预测量的变换系数的子集。我们应当注意到，将残差的变换系数的子集和预测量的变换系数的子集组合来获取图像块的度量矢量 (例如，参见下文的方程 (9))。

[0058] 在一个实施例中，我们解决了当如下都已知时如何重构图像块 x ：(1) 残差系数的子集 $A(x_{res})$ ；以及 (2) 预测块 (x_{pred})。直观地，我们可以遍及 x 的所有可能值地循环，以找出当假设约束 $A(x)$ 与接收信息接近时，使 x 的稀疏度最小化的特定值，我们在这里也将约束 $A(x)$ 称为“估计度量”。接收信息是在这里也称为“重构度量”的 $y=A(x_{res})+A(x_{pred})$ 。这个问题用下文具有加权因子 μ 的方程 (8) 公式化。

[0059] 转到图 5，用标号 500 总体指示可以应用本原理的示例视频编码器。视频编码器 500 包括具有与组合器 585 的非反相输入端信号通信的输出端的帧排序缓冲器 510。组合器 585 的输出端被连接成与变换器和量化器 525 的第一输入端信号通信。变换器和量化器 525 的输出端被连接成与熵编码器 545 的第一输入端和逆变换器和逆量化器 550 的第一输入端信号通信。熵编码器 545 的输出端被连接成与组合器 590 的第一非反相输入端信号通信。组合器 590 的输出端被连接成与输出缓冲器 535 的第一输入端信号通信。

[0060] 编码器控制器 505 的第一输出端被连接成与帧排序缓冲器 510 的第二输入端、逆变换器和逆量化器 550 的第二输入端、画面类型判定模块 515 的输入端、宏块类型 (MB 类型) 判定模块 520 的第一输入端、帧内预测模块 560 的第二输入端、去块滤波器 565 的第二输入端、运动补偿器 570 的第一输入端、运动估计器 575 的第一输入端、和参考画面缓冲器 580

的第二输入端信号通信。

[0061] 编码器控制器 505 的第二输出端被连接成与补充增强信息 (SEI) 插入器 530 的第一输入端、变换器和量化器 525 的第二输入端、熵编码器 545 的第二输入端、输出缓冲器 535 的第二输入端、和序列参数集 (SPS) 和画面参数集 (PPS) 插入器 540 的输入端信号通信。

[0062] SEI 插入器 530 的输出端被连接成与组合器 590 的第二非反相输入端信号通信。

[0063] 画面类型判定模块 515 的第一输出端被连接成与帧排序缓冲器 510 的第三输入端信号通信。画面类型判定模块 515 的第二输出端被连接成与宏块类型判定模块 520 的第二输入端信号通信。

[0064] 序列参数集 (SPS) 和画面参数集 (PPS) 插入器 540 的输出端被连接成与组合器 590 的第三非反相输入端信号通信。

[0065] 逆变换器和逆量化器 550 的输出端被连接成与组合器 519 的第一非反相输入端信号通信。组合器 519 的输出端被连接成与帧内预测模块 560 的第一输入端和去块滤波器 565 的第一输入端信号通信。去块滤波器 565 的输出端被连接成与参考画面缓冲器 580 的第一输入端信号通信。参考画面缓冲器 580 的输出端被连接成与运动估计器 575 的第二输入端和运动补偿器 570 的第三输入端信号通信。运动估计器 575 的第一输出端被连接成与运动补偿器 570 的第二输入端信号通信。运动估计器 575 的第二输出端被连接成与熵编码器 545 的第三输入端信号通信。

[0066] 运动补偿器 570 的输出端被连接成与开关 597 的第一输入端信号通信。帧内预测模块 560 的输出端被连接成与开关 597 的第二输入端信号通信。宏块类型判定模块 520 的输出端被连接成与开关 597 的第三输入端信号通信。开关 597 的第三输入端确定开关的“数据”输入 (如与控制输入, 即, 第三输入相比) 由运动补偿器 570 提供还是由帧内预测模块 560 提供。开关 597 的输出端被连接成与组合器 519 的第二非反相输入端和组合器 585 的反相输入端信号通信。

[0067] 帧排序缓冲器 510 的第一输入端和编码器控制器 505 的输入端可作为编码器 500 的输入端用于接收输入画面。此外, 补充增强信息 (SEI) 插入器 530 的第二输入端可作为编码器 500 的输入端用于接收元数据。输出缓冲器 535 的输出端可作为编码器 500 的输出端用于输出位流。

[0068] 转到图 6, 用标号 600 总体指示可以应用本原理的示例视频解码器。视频解码器 600 包括具有连接成与熵解码器 645 的第一输入端信号通信的输出端的输入缓冲器 610。熵解码器 645 的第一输出端被连接成与逆变换器和逆量化器 650 的第一输入端信号通信。逆变换器和逆量化器 650 的输出端被连接成与组合器 625 的第二非反相输入端信号通信。组合器 625 的输出端被连接成与去块滤波器 665 的第二输入端和帧内预测模块 660 的第一输入端信号通信。去块滤波器 665 的第二输出端被连接成与参考画面缓冲器 680 的第一输入端信号通信。参考画面缓冲器 680 的输出端被连接成与运动补偿器 670 的第二输入端信号通信。

[0069] 熵解码器 645 的第二输出端被连接成与运动补偿器 670 的第三输入端、去块滤波器 665 的第一输入端、和帧内预测器 660 的第三输入端信号通信。熵解码器 645 的第三输出端被连接成与解码器控制器 605 的输入端信号通信。解码器控制器 605 的第一输出端被连接成与熵解码器 645 的第二输入端信号通信。解码器控制器 605 的第二输出端被连接成

与逆变换器和逆量化器 650 的第二输入端信号通信。解码器控制器 605 的第三输出端被连接成与去块滤波器 665 的第三输入端信号通信。解码器控制器 605 的第四输出端被连接成与帧内预测模块 660 的第二输入端、运动补偿器 670 的第一输入端、和参考画面缓冲器 680 的第二输入端信号通信。

[0070] 运动补偿器 670 的输出端被连接成与开关 697 的第一输入端信号通信。帧内预测模块 660 的输出端被连接成与开关 697 的第二输入端信号通信。开关 697 的输出端被连接成与组合器 625 的第一非反相输入端信号通信。

[0071] 输入缓冲器 610 的输入端可作为解码器 600 的输入端用于接收输入位流。去块滤波器 665 的第一输出端可作为解码器 600 的输出端用于输出输出画面。

[0072] 由于量化步骤,在最终重构块中存在量化噪声。也就是说,我们已经认识到,在当前现有技术的视频编码器和解码器(例如,与国际标准化组织/国际电工委员会(ISO/IEC)运动图像专家组 4(MPEG-4)第 10 部分高级视频编码(AVC)标准/国际电信联盟,电信部门(ITU-T)H.264 建议书(下文称为“MPEG-4 AVC 标准”)、ISO/IEC MPEG-2 标准等有关的那些)中,当量化参数较粗糙时,量化噪声造成更大的性能损失。这样的量化噪声是由块残差的变换系数的量化和逆量化造成的。

[0073] 依照本原理,我们提出了减小量化噪声影响的方法和装置。在一个实施例中,本原理提出了减小量化噪声的非线性重构方法。所提的重构可以部分作为去噪方法。另外,本原理还提供只编码变换系数的一个子集以降低位速率的新压缩感测编码方法。将新非线性重构方法应用于补偿量化噪声和恢复截断变换系数两者。

[0074] 我们所提的方法试图解决现有技术的上述局限性,因此,得出具有更高编码效率以及更快速实现的解决方案。

[0075] 在本文中,我们提出了编码变换系数的新方法和恢复图像块的新重构算法。我们引入了基于压缩感测理论的新编码模式(即,压缩感测模式或 CS 模式)。在这种模式中,我们只编码变换系数的一个子集并应用稀疏信号恢复算法从编码系数中恢复块。编码器在现有编码模式与所提出的 CS 模式之间选择以便编码块残差。

[0076] 编码块残差的新式 CS 编解码模式

[0077] 如果我们遵循压缩感测框架下的习惯做法,则变换系数的随机子集选择或随机投影对于不相干保证是最适合的。但是,这些感测矩阵在压缩应用中给不出良好性能。其理由如下。在压缩感测框架下和在图像压缩中的性能准则是相当不同的。虽然前者在给定重构信号质量(PSNR)下是大约度量的个数,而后者在给定重构信号质量下是大约编码位的数量。应该注意到,编码位的数量不仅取决于编码度量的个数,而且取决于这些度量的统计分布。因此,对于图像压缩应用来说好的感测运算符必须产生既不相干又高度可压缩的度量。尽管随机投影产生高度不相干性,但它的度量趋向于难以压缩的高斯分布。因此,随机投影对于压缩应用来说是低效的。

[0078] 我们不应用随机投影或编码块残差的所有变换系数。取而代之,我们提出只编码变换系数的一个子集而忽视其余变换系数。在一个实施例中,以曲折次序扫描变换系数,并将第一系数选作子集。将这个变换系数的子集放入称为块残差的度量矢量的矢量中。度量获取用数学表示如下:

$$[0079] \quad y_{\text{res}} = A(x_{\text{res}}), \quad (7)$$

[0080] 其中 x_{res} 表示块残差, y_{res} 表示包括块残差的变换系数的子集的矢量, 并且 A 表示变换块残差(例如, 经由 2-D DCT 变换或整数 MPEG-4 AVC 标准变换), 并且然后针对曲折扫描次序选择第一项的子集的运算符。

[0081] 这个感测运算符 A 被设计成 (i) 最大程度地捕获块残差的能量以及 (ii) 对于简单积分与当前 MPEG-4 AVC 标准整数变换一致。我们提出的感测方法在不相干性与可压缩性之间达到良好平衡, 导致较高的压缩性能。

[0082] 块重构的新式方法

[0083] 为了重构图像块, 我们在可以随着量化参数自适应调整的像素域中应用 TV 最小化块重构。应该懂得, 与方程(4) 或(5) 有关的有约束优化等效于如下无约束优化:

$$[0084] \quad x^* = \arg \min \{TV(x) + \mu |y - A(x)|^2\}, \quad (8)$$

[0085] 其中 μ 是往往称为 TV 加权系数的某个正实数。我们采用这种无约束优化手段是因为它往往可以比有约束形式快得多地求解。另外, 应用自适应 TV 加权系数来补偿量化噪声。

[0086] 给定预测块(针对当前块) 和当前块的块残差的度量矢量(其中当前块的块残差 y_{res} 的度量矢量包括块残差 y_{res} 的变换系数的子集), 正在重构的当前块的块重构的新式方法按如下提出。

[0087] 步骤 1: 生成包括表示成 y_{pred} 的预测块的有意义变换系数的子集的预测块的度量矢量:

$$[0088] \quad y_{pred} = A(x_{pred}) \quad (9)$$

[0089] 步骤 2: 通过将块残差的度量矢量加入预测块的度量矢量中生成(中间) 重构块的度量矢量:

$$[0090] \quad y = y_{res} + y_{pred} \quad (10)$$

[0091] 步骤 3: 按如下求解最终重构块的如下优化:

$$[0092] \quad x_{rec} = \text{Min} \{ \Psi(x) + \mu * |y - A(x)|^2 \} \quad (11)$$

[0093] 其中 x_{rec} 是最终重构块, Ψ 是作用在 x 上的运算符, 以及 μ 是加权因子。 Ψ 可以是任何运算符, 但该算法在 Ψ 映射到信号稀疏的空间时有效。关于这一点, 总变差(TV) 是一个很好的示例, 因为画面中的许多块在梯度域中是稀疏的。优化变量是 x 。

[0094] 转到图 7, 用标号 700 总体指示块重构的示例方法。方法 700 包括将控制交给功能块 720 的开始块 710。功能块 720 生成预测块的度量矢量, 该度量矢量是预测块的变换系数的子集, 并将控制交给功能块 730。功能块 730 将预测块的度量矢量加入块残差的(逆量化) 度量矢量中得出重构块的度量矢量, 块残差的度量矢量是块残差的变换系数的子集, 并将控制交给功能块 740。功能块 740 利用重构块的度量矢量最小化目标函数, 并将控制交给结束块 799。

[0095] 当量化(然后逆量化以便重构) 块残差 y_{res} 的度量矢量时, 会引入量化噪声。为了补偿这种量化噪声, 如图 8 所例示, 随着量化步长自适应地调整因子 μ 。转到图 8, 用标号 800 总体指示涉及自适应调整加权因子的量化噪声补偿的示例方法。方法 800 包括将控制交给功能块 815 的开始块 810。功能块 815 通过加权因子 μ 将最小化函数公式化成信号稀疏度和度量误差的加权和, 该度量误差代表重构度量与估计度量之间的差值, 该信号稀疏度在图像域中确定, 并将控制交给功能块 820。功能块 820 将加权因子 μ 设置成对量化

参数自适应,并将控制交给功能块 830。功能块 830 利用自适应加权因子 μ 最小化目标函数,并将控制交给结束块 899。

[0096] 新式视频编码和视频解码

[0097] 本原理将新压缩感测编解码模式和新块重构算法并入现有视频编码器和解码器(例如, MPEG-4 AVC 标准、MPEG-2 标准等)中。可以应用本原理的视频编码器如图 5 所示和结合图 5 所述,而可以应用本原理的视频解码器如图 6 所示和结合图 6 所述。

[0098] 转到图 9,用标号 900 总体指示编码一个画面的图像数据的示例方法。方法 900 有利地依照本原理并入新式压缩感测模式和新式块重构。方法 900 包括将控制交给循环限制块 910 的开始块 905。循环限制块 910 使用变量 i 开始循环,变量 i 具有等于 $1, \dots$, 块数($\#$)的范围,并将控制交给功能块 915。功能块 915 进行帧内 / 帧间预测,并将控制交给功能块 920。功能块 920 将 DCT 变换应用于残差以获取变换系数,并将控制交给功能块 925。功能块 925 进行系数截断以获取度量矢量(只保留变换系数的子集),并将控制交给功能块 930。功能块 930 量化(截断)变换系数,并将控制交给功能块 935。功能块 935 熵编码量化变换系数,并将控制交给功能块 940。功能块 940 将量化变换系数逆量化,并将控制交给功能块 945。功能块 945 使用,例如,图 7 中的方法 700 进行块度量生成,并将控制交给功能块 950。功能块 950 通过求解描述在方程(8)中的优化问题获取 TV 最小重构块,并将控制交给功能块 955。功能块 955 进行率失真计算以获取率失真值 J_1 ,并将控制交给判定块 990。判定块 990 确定 $J_1 < J_2$ 是否成立。如果是,则将控制交给功能块 992。否则,则将控制交给功能块 994。功能块 992 选择压缩感测(CS)编解码方法,设置 $CS_Flag=1$,并将控制交给循环限制块 996。循环限制块 996 结束循环,并将控制交给结束块 999。功能块 960 量化变换系数,并将控制交给功能块 965。功能块 965 熵编码量化变换系数,并将控制交给功能块 970。功能块 970 将量化变换系数逆量化,并将控制交给功能块 975。功能块 975 将离散余弦逆变换(IDCT)应用于逆量化变换系数以获取重构残差,并将控制交给功能块 980。功能块 980 将重构残差(通过功能块 980 获得)加入预测量(通过功能块 915 获得)以获取预测补偿重构块,并将控制交给功能块 985。功能块 985 进行率失真计算以获取率失真值 J_2 ,并将控制交给判定块 990。

[0099] 转到图 10,用标号 1000 总体指示解码一个画面的图像数据的示例方法。方法 1000 有利地依照本原理并入新式压缩感测模式和新式块重构。方法 1000 包括将控制交给循环限制块 1010 的开始块 1005。循环限制块 1010 使用变量 i 开始循环,变量 i 具有 $1, \dots$, 块数($\#$)的范围,并将控制交给功能块 1015。功能块 1015 熵解码位流并获取残差的量化变换系数、帧内 / 帧间预测模式等,并将控制交给功能块 1020。功能块 1020 读取 CS_Flag ,并将控制交给判定块 1025。判定块 1025 确定 $CS_Flag=1$ 是否成立。如果是,则将控制交给功能块 1030。否则,将控制交给功能块 1050。功能块 1030 将量化变换系数逆量化以获取残差的变换系数,并将控制交给功能块 1035。功能块 1035 使用,例如,图 7 中的方法 700 进行块度量生成,并将控制交给功能块 1040。功能块 1040 通过求解方程(8)中的优化问题获取 TV 最小化重构块,并将控制交给循环限制块 1045。循环限制块 1045 结束循环,并将控制交给结束块 1099。功能块 1050 将残差的量化变换系数逆量化以获取变换系数,并将控制交给功能块 1055。功能块 1055 将逆变换(例如,离散余弦变换(DCT))应用于残差的变换系数以重构残差,并将控制交给功能块 1060。功能块 1060 通过将当前块的重构残差加入当前块的

预测量中获取预测补偿重构块,并将控制交给循环限制块 1045。

[0100] 我们提出的块重构途径试图在图像 / 像素域中重构块,而不是像上述第一种现有技术途径那样重构块残差。这源自我们的观察:自然图像块往往比它的残差更加梯度稀疏。因此,在像素域中求解 TV 最小化将导致较高的信号重构质量。另外,我们应用(i)2-D DCT 变换(或整数 MPEG-4 AVC 标准变换)而不是先前的途径中的 1-D DCT 以及(ii)基于曲折扫描次序的不同采样模式(即,我们以曲折扫描次序分类变换系数,然后使用第一项选择子集)。我们的目的是在给定恒定个数编码系数的情况下捕获较大的块残差能量。为了重构信号,我们应用快得多和更有效 TV 最小化算法来加速块重构。另外,我们将块重构视作去噪过程。因此,为了补偿量化噪声,我们随量化步长或量化参数自适应地调整方程(7)中的因子 μ 。

[0101] 根据率失真(RD)优化,编码器决定使用现有编码模式还是压缩感测编解码模式编码块残差。对于每个块,将一个标志发送给解码器以指示编码器是否应用压缩感测模式。解码器读取 CS_Flag,以获得在编码器上选择的编码模式的信息,然后执行适当重构算法。

[0102] 现在对其中一些上面已经提及的本发明的许多附带优点 / 特征的一些加以描述。例如,一个优点 / 特征是含有视频编码器的装置,所述视频编码器用于通过生成图像块的度量矢量,编码度量矢量,以及通过最小化响应于编码度量矢量的图像块的信号稀疏度重构图像块,来编码画面中的图像块,该度量矢量包括与图像块有关的变换系数。

[0103] 另一个优点 / 特征是如上所述的含有视频编码器的装置,其中响应为图像块确定的残差确定度量矢量,该残差代表图像块的原始版本与图像块的预测量之间的差值。

[0104] 又一个优点 / 特征是含有视频编码器的装置,其中响应为图像块确定的残差确定度量矢量,该残差代表图像块的原始版本与图像块的预测量之间的差值的,其中度量矢量包括残差的变换系数的子集。

[0105] 再一个优点 / 特征是如上所述的含有视频编码器的装置,其中度量矢量使用量化和熵编解码来编码。

[0106] 此外,另一个优点 / 特征是如上所述的含有视频编码器的装置,其中信号稀疏度在图像域中确定。

[0107] 并且,另一个优点 / 特征是如上所述的其中信号稀疏度在图像域中确定的含有视频编码器的装置,其中信号稀疏度通过总变差来量度,该总变差是图像块中的相继像素之间的差值的函数。

[0108] 此外,另一个优点 / 特征是如上所述的含有视频编码器的装置,其中使用公式化成信号稀疏度和度量误差的加权的最小化函数使图像块的信号稀疏度最小化,该度量误差代表图像块的重构度量与估计度量之间的差值。

[0109] 基于这里的教导,相关领域的普通技术人员可以容易地确定本原理的这些和其它特征及优点。应当理解,可以以硬件、软件、固件、专用处理器或它们的组合的各种形式来实现本原理的教导。

[0110] 最优选地,作为硬件和软件的组合来实现本原理的教导。此外,可以作为在程序存储单元上有形地包含的应用程序来实现所述软件。所述应用程序可以被上载到包括任何适当架构的机器并由其执行。优选地,在具有诸如一个或多个中央处理单元(“CPU”)、随机存取存储器(“RAM”)和输入 / 输出(“I/O”)接口之类的硬件的计算机平台上实现所述

机器。该计算机平台还可以包括操作系统和微指令代码。在此描述的各种处理和功能可以是可由 CPU 执行的微指令代码的一部分或应用程序一部分或者它们的任何组合。此外,诸如附加的数据存储单元和打印单元之类的各种其它外围单元可以连接到该计算机平台。

[0111] 还应当理解,因为优选地用软件来实现在附图中示出的一些组成系统组件和方法,所以这些系统组件或处理功能块之间的实际连接可以根据本原理被编程的方式而不同。给出这里的教导,相关领域的普通技术人员将能够想到本原理的这些和类似的实现或配置。

[0112] 尽管在这里参照附图描述了说明性实施例,但是应当理解,本原理不限于那些精确的实施例,并且相关领域的普通技术人员可以在其中进行各种改变和修改,而不背离本原理的范围或精神。所有这样的改变和修改都意欲被包括在如所附权利要求阐述的本原理的范围内。

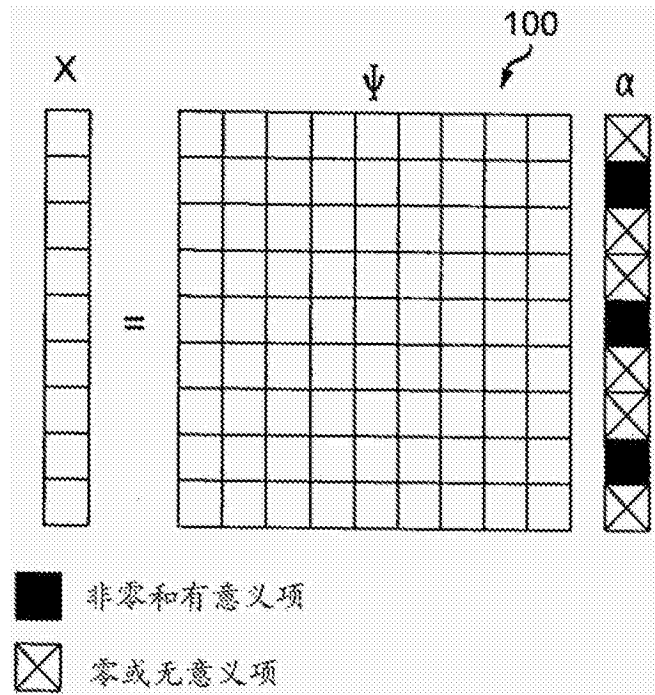


图 1

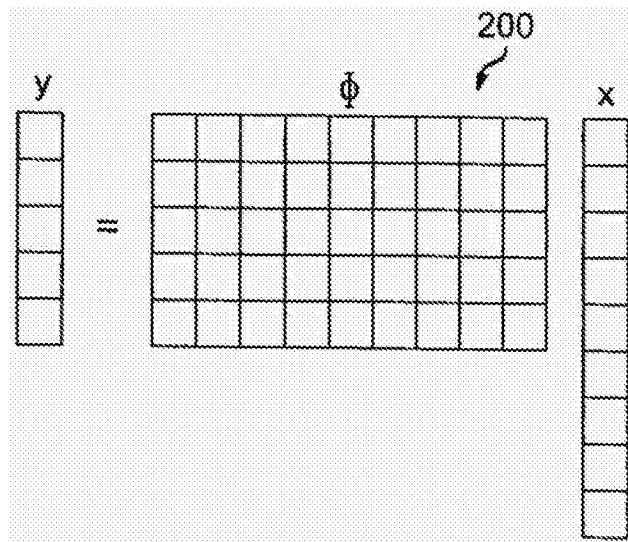


图 2

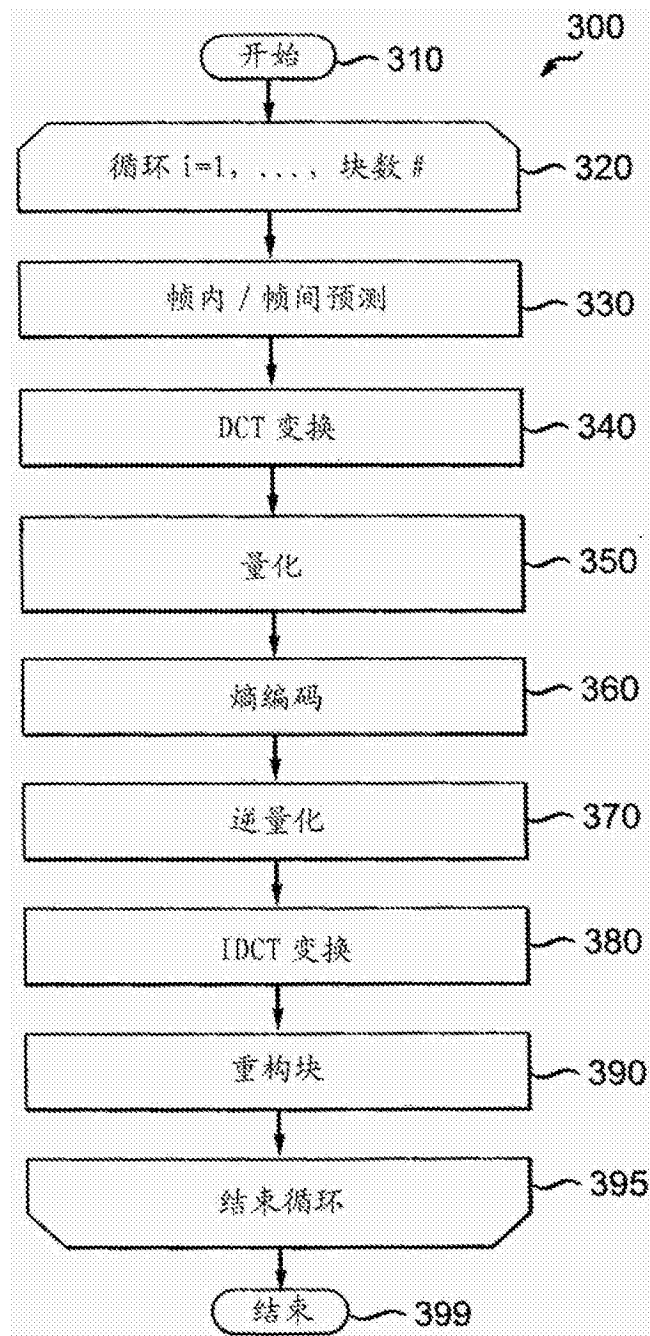


图 3

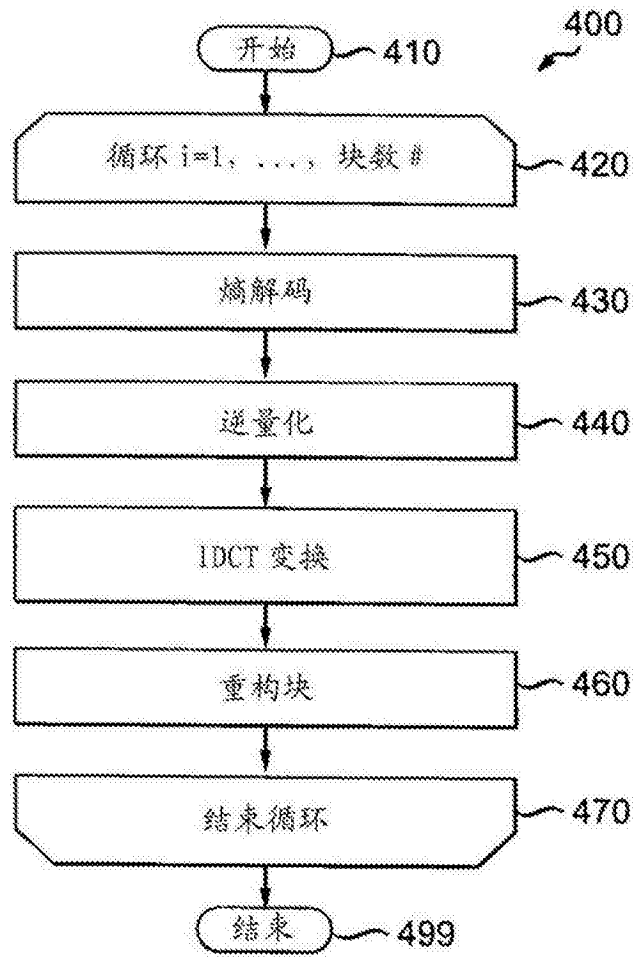


图 4

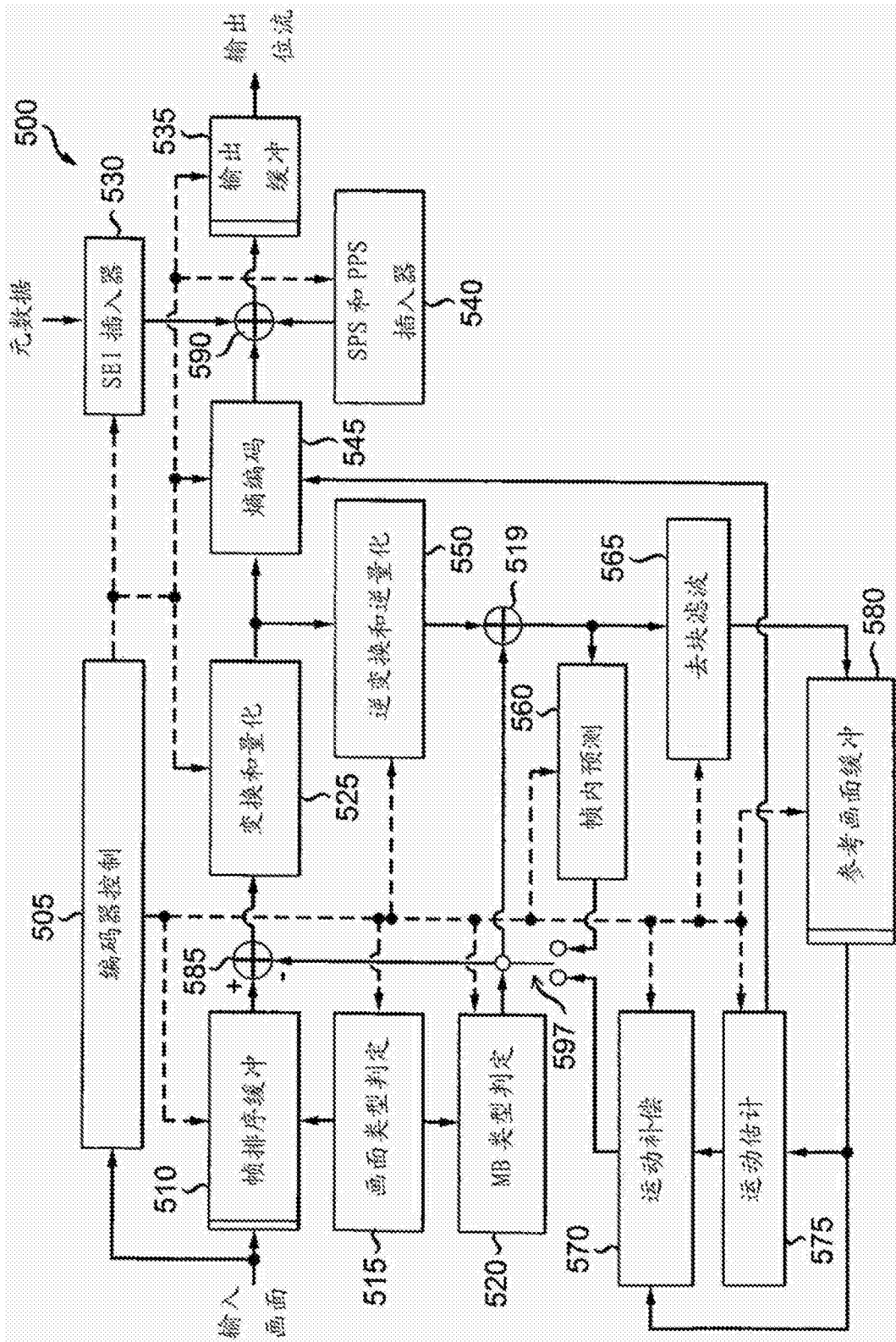


图 5

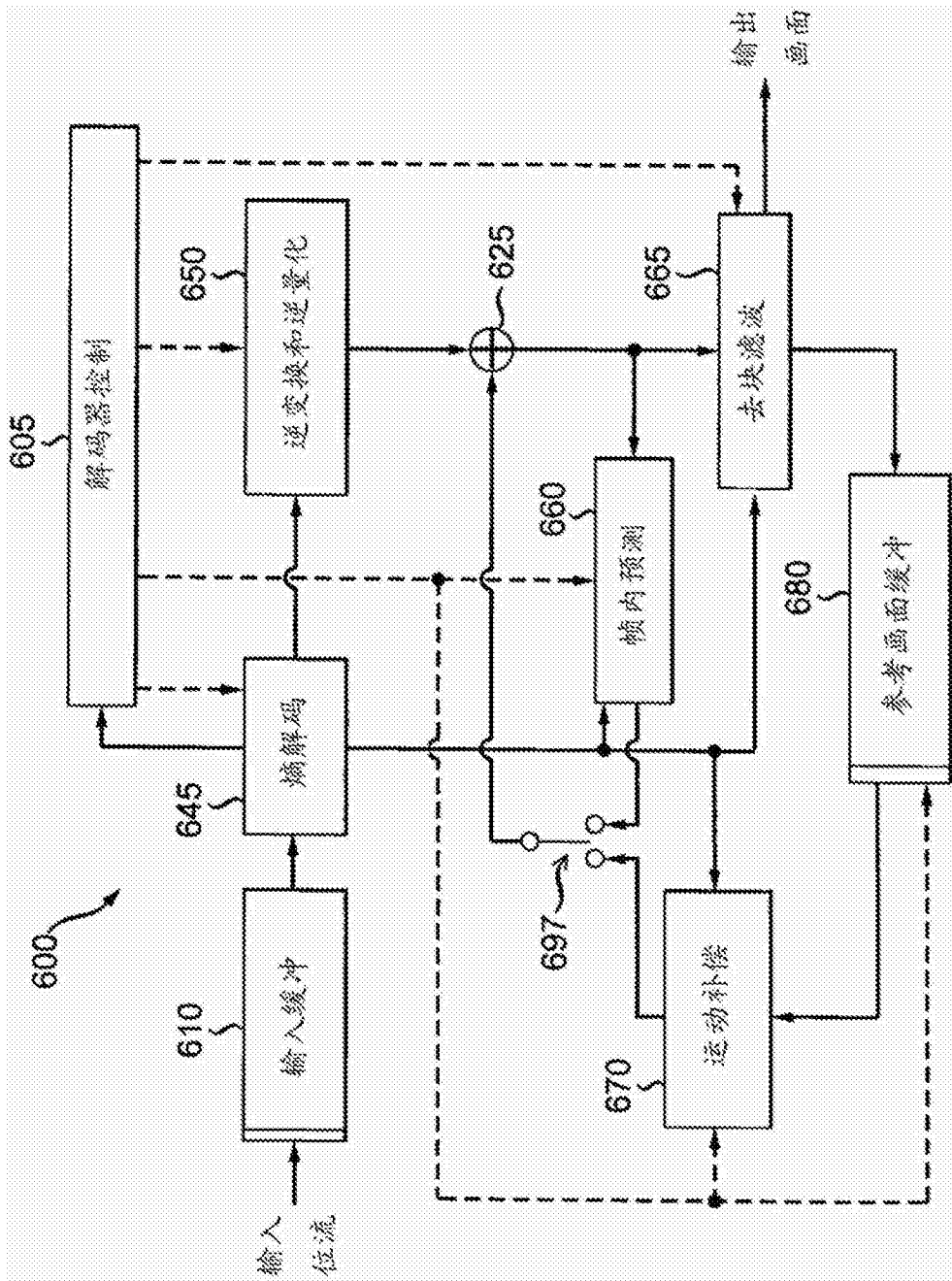


图 6

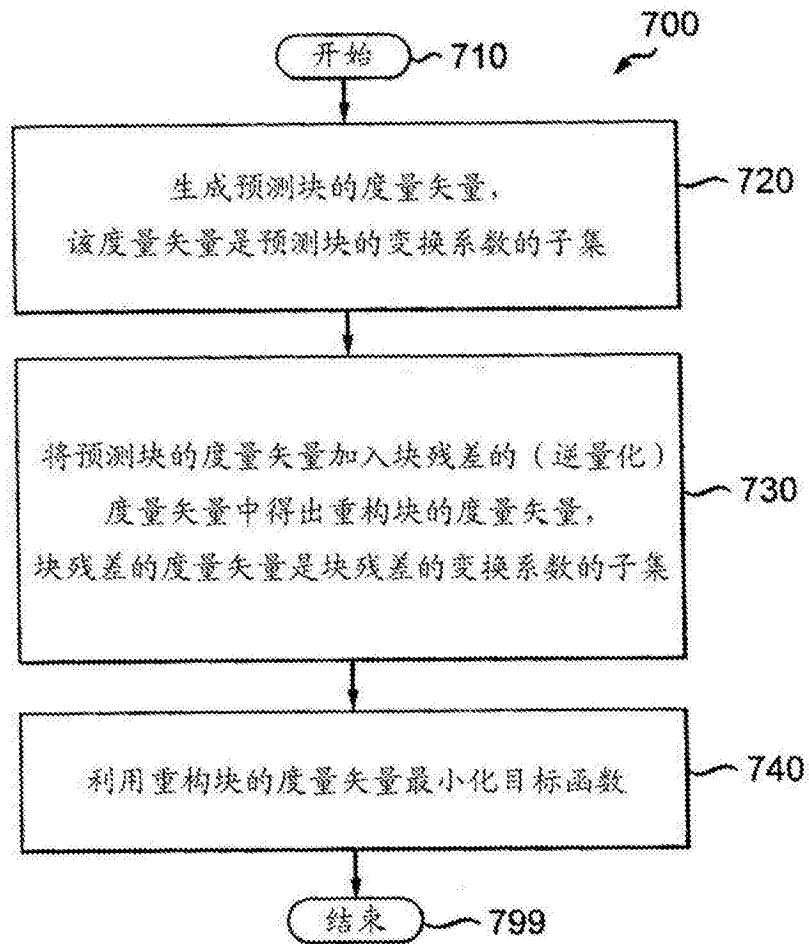


图 7

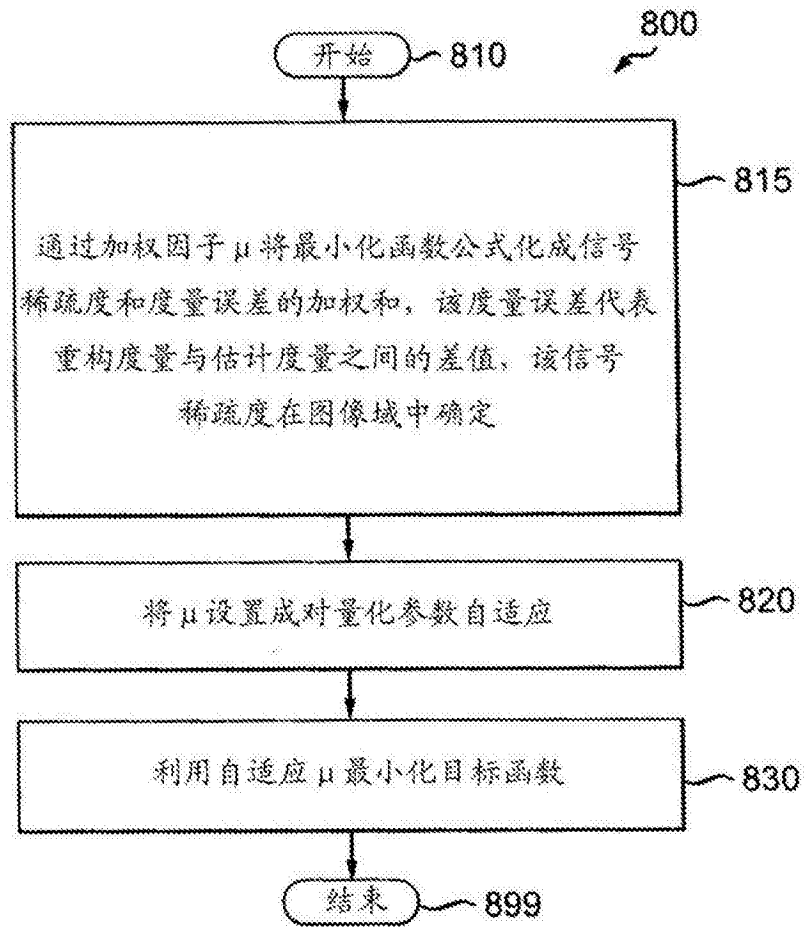


图 8

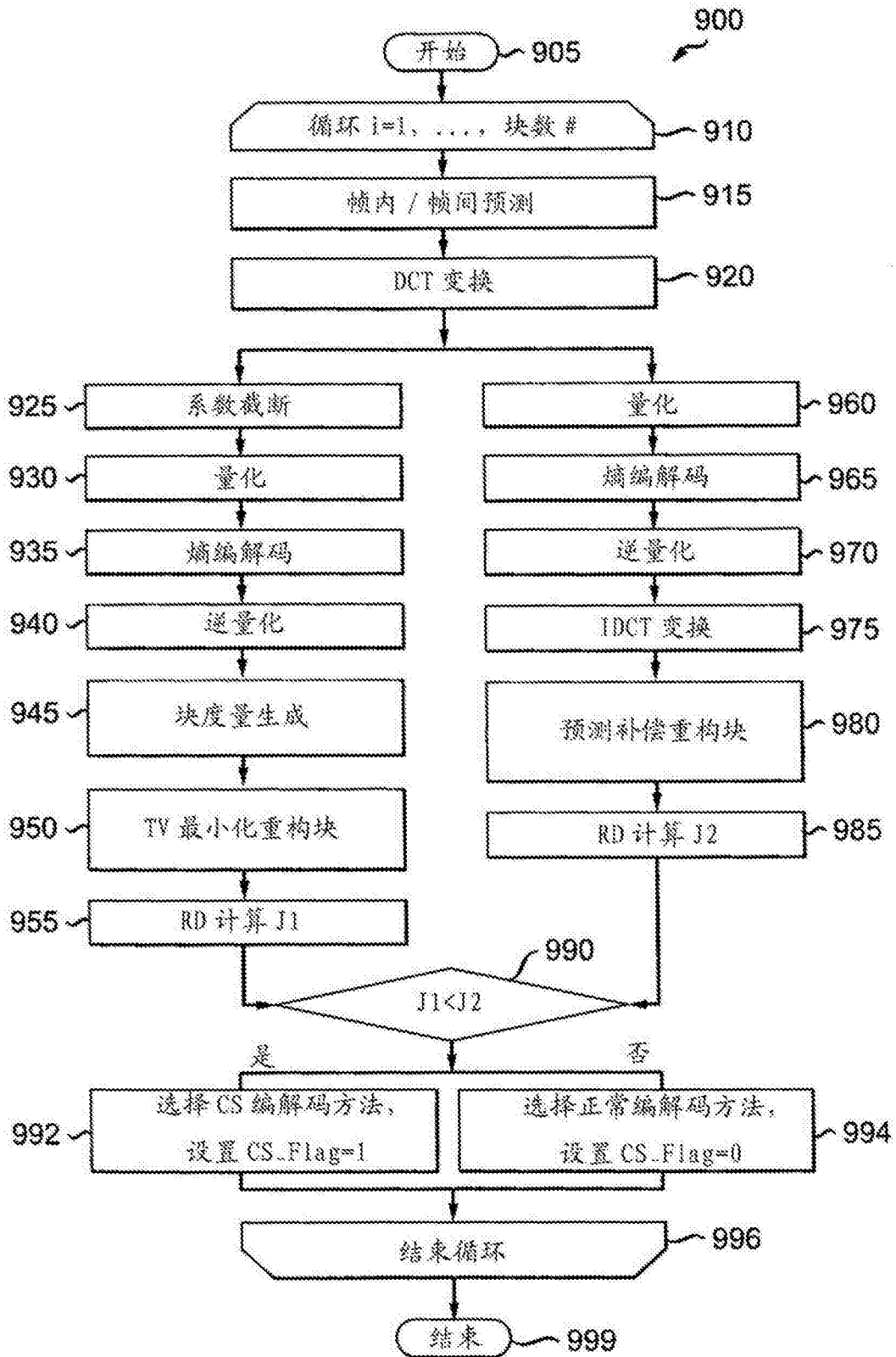


图 9

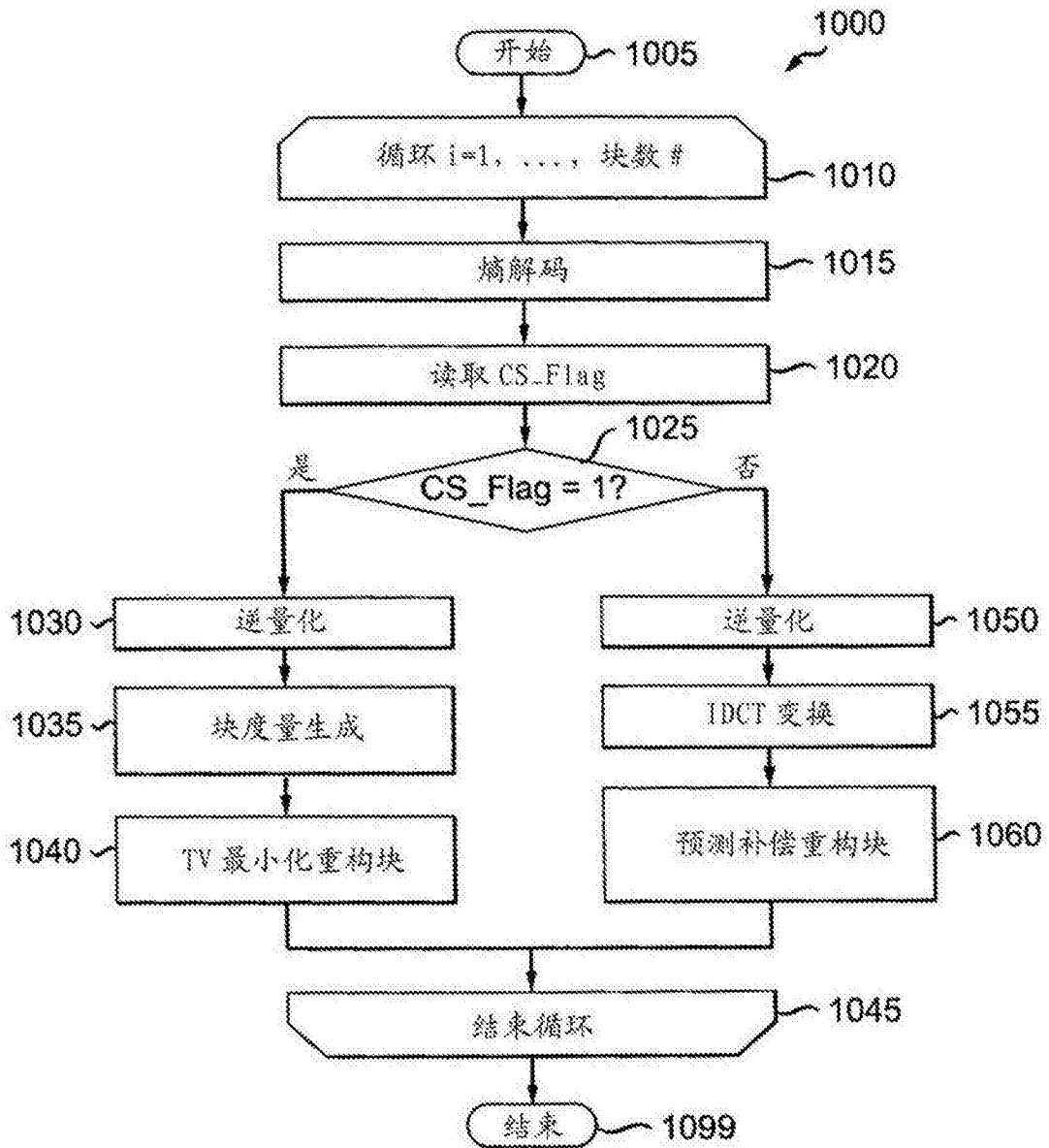


图 10