



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01801568.9

[45] 授权公告日 2005 年 8 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 1213611C

[22] 申请日 2001.3.26 [21] 申请号 01801568.9

[30] 优先权

[32] 2000.4.4 [33] EP [31] 00400932.0

[86] 国际申请 PCT/EP2001/003456 2001.3.26

[87] 国际公布 WO2001/076255 英 2001.10.11

[85] 进入国家阶段日期 2002.2.1

[71] 专利权人 皇家飞利浦电子有限公司  
地址 荷兰艾恩德霍芬[72] 发明人 B·菲尔茨  
B·佩斯奎特 - 波佩斯库  
审查员 郑 直

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

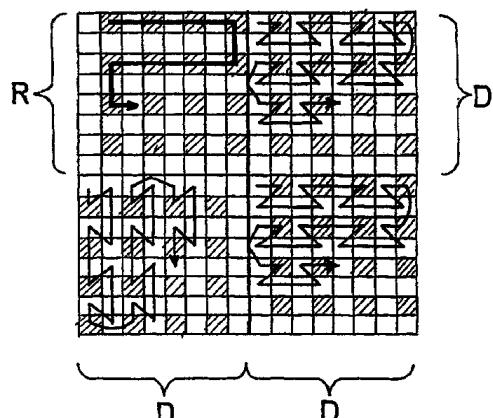
代理人 杨 凯 傅 康

权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 5 页

[54] 发明名称 利用小波变换的视频编码方法

[57] 摘要

本发明涉及用于压缩视频序列的编码方法，该视频序列划分成通过小波变换分解的帧。所述方法基于称为“用分级树分割集合”(SPIHT)的分级子频带编码过程，从视频序列的原始象素集合导出用二进制编码的小波变换系数。这些系数成树形组织，通过振幅测试排序成为对应于各重要性等级的分集，该振幅测试促成三个有序表的划分：非重要集合表(LIS)、非重要象素表(LIP)、重要象素表(LSP)。本发明提出特殊的 LIS 初始化顺序。而且，描述小波分解的分级金字塔关系的定向树从最低分辨率开发至最高分辨率，同时保持相邻象素在一起，并兼顾图象细节的取向。



1. 一种用于压缩包含连续帧的视频序列的编码方法，每个帧通过  
二维(2D)小波变换分解，所述小波变换导出对应于所述变换的分解等  
5 级的给定的连续分辨率等级数；所述编码方法基于称为“用分级树分  
割集合”(SPIHT)的分级子频带编码操作，从视频序列的原始像素集合  
导出用二进制编码的小波变换系数；所述系数组织成空间定向树，所  
述树起植于最低频率，或空间近似性、子频带，结束于高频子频带的  
某子集；所述树中的系数被进一步排序成为对应于各重要性等级的分  
10 集，并通过振幅测试来定义；所述振幅测试促成把“重要性”信息划  
分为三个有序表：非重要集合表(LIS)、非重要像素表(LIP)、重要像素  
表(LSP)；所述测试根据分解过程将所述原始像素集合分解成所述分  
集，所述分解过程持续至对所述二进制表示中每个重要系数进行了编  
码；所述方法的特征在于包括以下步骤：

15 (A) 初始化步骤，所有坐标为(x, y)的像素分别从 0 变化到 x, 从 0  
变化到 y, 用所述空间相似子频带的系数(坐标为 x=0(模 2)和 y=0(模 2)  
的除外)将所述 LIS 表初始化，初始化顺序如下所述：

(a) 把所有 x=1(模 2)和 y=0(模 2)的像素列入所述表中，  
先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

20 (b) 把所有 x=1(模 2)和 y=1(模 2)的像素列入所述表中，  
先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(c) 把所有 x=0(模 2)和 y=1(模 2)的像素列入所述表中，  
先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

25 (B) 开发步骤，从最低分辨率到最高分辨率开发定义小波分解的分  
级子频带金字塔空间关系的空间定向树，同时保持相邻像素在一起，  
并兼顾图像细节的定向；多亏子系数的特定锯齿扫描顺序，所述子系  
数得以开发，其中每次扫描两组 4 子系数，对于较好分辨率，所述扫  
描顺序参照地理近似性。

2. 一种用于压缩包含连续帧组的视频序列的编码方法，每个帧组通过三维(3D)小波变换分解，所述小波变换导出对应于所述变换分解等级的给定的连续分辨率等级数；所述编码方法基于称为“用分级树分割集合”(SPIHT)的分级子频带编码操作，从视频序列的原始像素集合导出用二进制编码的小波变换系数；所述系数组织成时空定向树，所述树起植于最低频率，或时空近似性、子频带，结束于高频子频带的某子集；所述树中的系数被进一步排序成为对应于各重要性等级的分集，并由振幅测试来定义；所述振幅测试促成把“重要性”信息划分为三个有序表：非重要集合表(LIS)、非重要像素表(LIP)、重要像素表(LSP)；所述测试根据分解过程将所述原始像素集合分解成所述分集，所述分解过程持续至对所述二进制表示中每个重要系数进行了编码；所述方法的特征在于包括以下步骤：

(A) 初始化步骤，3D 小波变换导致的时空相似子频带包括时间相似子频带中两帧的空间相似子频带，以  $z=0$  和  $z=1$  标记，同时，所有坐标为  $(x, y, z)$  的像素的  $x$  和  $y$  分别从 0 变化到  $x$ ，从 0 变化到  $y$ ，用所述时空相似子频带的系数(坐标为  $z=0$ (模 2)、 $x=0$ (模 2)和  $y=0$ (模 2)的除外)将所述 LIS 表初始化，初始化顺序如下所述：

(a) 把所有  $x=0$ (模 2)、 $y=0$ (模 2)和  $z=1$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(b) 把所有  $x=1$ (模 2)、 $y=0$ (模 2)和  $z=0$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(c) 把所有  $x=1$ (模 2)、 $y=1$ (模 2)和  $z=0$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(d) 把所有  $x=0$ (模 2)、 $y=1$ (模 2)和  $z=0$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(B) 开发步骤，从最低分辨率到最高分辨率开发定义小波分解的分级子频带金字塔时空关系的时空定向树，同时保持相邻像素在一起，并兼顾图像细节的定向；多亏子系数的特定锯齿扫描顺序，所

述子系数得以开发，其中每次扫描两组4子系数，对于较好分辨率，所述扫描顺序参照地理近似性。

## 利用小波变换的视频编码方法

5 本发明涉及用于压缩分成帧或帧组的视频序列的编码方法，该  
帧或帧组通过小波变换分解，该小波变换导出对应于所述变换分解  
等级的给定的连续分辨率等级数，所述编码方法根据称为“用分级  
10 树分割集合”(SPIHT)的分级子频带编码处理、并且从视频序列的原  
始像素集合导出用二进制格式编码的小波变换系数；所述系数成树  
形组织并且按次序排列成对应于各重要性等级的分集；所述分集通  
15 过振幅测试来定义，该振幅测试促成“重要性”信息划分成三个有  
序表：非重要集合表(LIS)、非重要像素表(LIP)、重要像素表(LSP)；  
进行所述测试以便随着分划处理将所述原始像素集合分解成所述分  
集，直至所述二进制表示中每个重要系数都被编码。

15 可认为传统视频压缩方案包括四大模块：运动估计和补偿、系  
数变换(例如，离散余弦变换或小波分解)、系数量化和编码、以及平  
均信息编码。当一视频编码器可升级时，这意味着它须能从低比特  
率到高比特率编码图像，以随比特率增加提高视频信号质量。小波  
20 分解的变换方法自然提供图像的分级显示，显然比传统的离散余弦  
变换(DCT)更适合于可升级的方案。

25 小波分解允许原始输入信号由子频带信号集合描述。每个子频  
带实际上代表给定分辨率等级的、一定频率范围内的原始信号。通常  
采用一套一维滤波器组将图像分解成互不关联的子频带，该滤波器  
组先滤波当前图像行，再滤波滤波后的图像列。该操作的例子描  
述见 S.S.Goh 著的“图像的小波分解置换”，Signal Processing, 卷 44,  
No. 1, 1995 年 6 月, 27 页至 38 页。实际采用两个滤波器——低通和  
高通滤波器来分离图像的低频和高频。首先对图像行进行该操作，  
再用因数 2 进行二次抽样操作，接着对二次抽样后的图像列进行该

操作，再用因数 2 对取得的图像进行下降抽样。这样就取得 4 个比原图像小 4 倍的图像：一个低频子图像(或“平滑图像”), 它包括相关的原始图像的初始内容的主要部分，因此显示了所述图像的近似性；三个高频子图像，它们仅包括所述原始图像的水平、垂直及对角细节。该分解处理过程一直持续到显然不再有有用信息从上一平滑图像中导出。

有一种采用二维(2D)小波分解的计算上更为简单的图像压缩技术，描述见 A.Said 和 W.A.Pearlman 著的“基于分级树分割集合(SPIHT)的新型、快速而有效的图像编解码器”，IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 卷 6, No. 3, 1996 年 6 月, 第 243 页至 250 页。如所述文件中解释的，原始图像可用一组像素值  $p(x, y)$  定义(其中  $x$  和  $y$  是像素坐标)，并通过分级子频带变换编码，表示为以下公式(1)：

$$c(x, y) = \Omega(p(x, y)) \quad (1)$$

其中， $\Omega$  表示变换，而每个元素  $c(x, y)$  称为“像素坐标( $x, y$ )的转换系数”。

主要目的是选最重要的信息先发送，这样就可使这些转换系数按照它们的振幅排序(具备大振幅的系数包含较多信息内容，应优先发送，或至少将它们的最高有效位先发送)。如果该排序信息以显式的方式发送给解码器，那么发送相对小部分的像素坐标，便可恢复较好质量的图像。如果该排序信息未能以显式的方式发送，那么可设想该编码算法的执行路径由关于其分支点的比较结果定义，并且采用

同样分类算法的解码器如果收到该振幅比较结果便能复制该编码器的这一执行路径。然后可从该执行路径中恢复该排序信息。

所述排序算法中重要一点是不必对所有系数排序，只需排如  $2^n < |c_{x,y}| < 2^{n+1}$  ( $n$  按每个通道递减) 的系数。给定  $n$ ，如果  $|c_{x,y}| > 2^n$  ( $n$  称为重要性等级)，那么某系数便是重要系数；否则就不重要。该排

序算法将像素集合分成分隔子集  $T_m$  并执行振幅测试(2):

$$\max_{(x,y) \in T_m} \{|c_{x,y}|\} \geq 2^n ? \quad (2)$$

如果解码器收到信息“否”(所有相关子集不重要), 就知子集  $T_m$  的系数不重要。如果答案是“是”(所述子集是重要的), 那么编码器和解码器所分享的预定规则用于将  $T_m$  分成新子集  $T_{m,\epsilon}$ , 重要性测试继续用于这些新子集。该集合分割处理一直持续到对所有单坐标重要子集都进行了振幅测试, 以便标示每一个重要系数, 并允许对其进行二进制编码。

为减少发送的振幅比较(即、关于信息位)的次数, 可定义集合分割规则, 它采用子频带金字塔所定义的期待的分级排序。目的是要创建新的分割使认为不重要的分集包含大量元素, 而使认为重要的分集只包含一个元素。为弄清楚振幅比较与信息位之间的关系, 可采用以下公式:

$$S_n(T) = \begin{cases} 1, & \max_{(x,y) \in T} (|c_{x,y}|) \geq 2^n. \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

15

来表示坐标子集  $T$  的重要性。

另外, 曾观察到子频带间存在空间自相似性。若沿同样空间方向在金字塔上向下移, 可期望系数有更好的振幅排序。例如, 如果期望低活动率区在金字塔最高等级上标示出, 那么它们会以较低级别复制在相同空间位置, 但具备更高分辨率。称为空间定向树的树结构自然定义小波分解的分级子频带金字塔的空间关系。图 1 显示出在由递归的 4-子频带分割构成的金字塔中如何定义空间定向树。树的每个节点或者没有子节点(叶)或者有 4 子节点(其常形成  $2 \times 2$  相邻像素组), 它们由此与有相同空间指向的像素相对应。图 1 中, 箭

头从母节点指向其子节点。金字塔最高级别的像素是树的根部，并且按  $2 \times 2$  相邻像素进行分组。然而，它们的子节点分支规则是不同的，并且每一组中，它们中间的一个(图 1 中以墨点表示)没有后代。

以下坐标集合用以表示该编码方法， $(x, y)$  表示系数位置：

5       $O(x, y)$ : 节点 $(x, y)$ 的所有子节点的坐标集合；

$D(x, y)$ : 节点 $(x, y)$ 的所有后代节点的坐标集合；

$H$ : 所有空间定向树根(金字塔最高级别节点)的坐标集合；

$L(x, y)=D(x, y)-O(x, y)$ 。

正如所观察到的，测试子集重要性等级所遵循的顺序是重要的，  
10      实际操作时“重要性”信息存储在三个有序表中，称为非重要集合表(LIS)、非重要像素表(LIP)、重要像素表(LSP)。所有这些表中，每个条目都由坐标 $(x, y)$ 标识，在 LIP 和 LSP 中该坐标表示各个像素，在 LIS 中或者表示集合  $D(x, y)$  或者表示集合  $L(x, y)$ (称表示  $D(x, y)$  的 LIS 条目为 A 类，表示  $L(x, y)$  的为 B 类，以示区别)。SPIHT 算法实际上是以操纵 LIS、LIP 和 LSP 三个表为基础的。  
15

对于平均信息编码模块来说，算术编码技术比 Huffman 编码对视频压缩更有效，因为：取得的码长非常接近于最佳长度，该方法尤其适用于自适应模块(高速评估源统计数字)，并且可分为两个独立的模块(建模模块和编码模块)。下面主要介绍建模模块，包括某些源串操作(source-string)事件及其上下文的确定，和估计相关统计数字的方法。  
20

上下文用来捕捉相关的整个源串操作集合的冗余。在原始视频序列中，像素值实际上取决于其周围的像素值。小波分解后，所有子频带仍保持同样的“地理”互依性。如果系数发送的顺序保持着这种互依性，那么就有可能利用有界记忆树源的通用编码框架中的“地理”信息，例子描述见 M.J.Weinberger 等的《通用有限记忆源》，  
25      IEEE Transactions on Information Theory, 卷 41, No. 3, 1995 年 5 月，643 页至 652 页。有限记忆树源有这样的特点，即下一符号概率取决于

于最近符号的实际值。有限记忆树源的二进制顺序通用源编码处理经常采用上下文树，在给定考虑的上下文的情况下它包括每个串(上下文)中 0 和 1 出现的次数。在给定 d 个先前的比特的情况下，该树允许估计符号概率：

5            $\hat{P}(X_n | X_{n-1} \dots X_{n-d})$ , 其中,  $X_n$  是所检查的比特值,  $X_{n-1} \dots X_{n-d}$  表示上下文, 即先前的比特序列。当条件事件因上下文稀度问题或模型成本而增多时, 评估任务会比较艰巨。

10          解决这一问题, 一个办法是上下文树加权, 详见 F.M.J.Willems 等的《上下文树加权方法: 基本特性》, IEEE Transactions on Information Theory, 卷 41, No. 3, 1995 年 5 月, 653 页至 664 页。该法的主旨是采用所检查的比特的最有效上下文估计来加权概率。实际上, 有时采用更短的上下文来对某比特位编码(如果上下文中后面的比特位对当前比特位没有影响, 可以不予考虑)会更有效。该技术缩短了最终码长。因此在算术编码中, 有效模型和上下文的确定是关键一步。

15          2D SPIHT 算法主要是拿与不同分辨率的同一图像区对应的像素集与先前称为“重要性等级”的值作比较, 它的基础是一重要概念: 利用原始图像中固有的自相似性预测小波分解范围的重要信息的缺席。这意味着如果小波分解最低等级的系数不重要, 那么同区域其他等级的系数也极可能不重要。不幸的是, 利用子频带之间冗余的 SPIHT 算法“破坏”了每个子频带内相邻像素间的互依性。

因此, 本发明第一目的是改进 SPIHT 算法的扫描顺序, 以重建每个子频带内像素间的相邻关系。

25          为此目的, 本发明涉及用于压缩包含连续帧的视频序列的编码方法, 每个帧通过二维(2D)小波变换分解, 该小波变换导出对应于所述变换的分解等级的给定的连续分辨率等级数; 所述编码方法基于称为“用分级树分割集合”(SPIHT)的分级子频带编码处理, 从视频序列的原始像素集合导出用二进制格式编码的小波变换系数; 所述系数组织成空间定向树, 该树起植于最低频率, 或空间近似性、子

频带，结束于高频子频带的某子集；所述树中的系数被进一步排序成为对应于各重要性等级的分集，并通过振幅测试来定义；该振幅测试促成把“重要性”信息划分为三个有序表：非重要集合表(LIS)、  
5 非重要像素表(LIP)、重要像素表(LSP)；所述测试根据分解过程将所述原始像素集合分解成所述分集，该分解过程持续至对所述二进制表示中每个重要系数进行了编码；所述方法的特征还在于包括以下步骤：

(A) 初始化步骤，所有坐标为(x, y)的像素分别从 0 变化到 x, 从 0 变化到 y, 用所述空间相似子频带的系数(坐标为 x=0(模 2)和 y=0(模  
10 2)的除外)将所述 LIS 表初始化，初始化顺序如下所述：

(a) 把所有 x=1(模 2)和 y=0(模 2)的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(b) 把所有 x=1(模 2)和 y=1(模 2)的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(c) 把所有 x=0(模 2)和 y=1(模 2)的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(B) 开发步骤，从最低分辨率到最高分辨率开发定义小波分解的分级子频带金字塔空间关系的空间定向树，同时保持相邻像素在一起，并兼顾图像细节的定向；多亏子系数的锯齿扫描顺序，所述子系数得以开发；对于水平和对角的细节子频带，图 7 显示出 4 子系数组及该组沿水平方向导向下一组的路径，图 8 显示出 4 子系数组及该组沿竖直方向导向下一组的路径，图 9 和图 10 分别显示最差分辨率和较好分辨率的情况。

本发明的又一目的是用三维(3D) SPIHT 算法贯彻同样的原理。

为此目的，本发明涉及用于压缩包含连续帧组的视频序列的编码方法，每个帧组通过三维(3D)小波变换分解，该小波变换导出对应于所述变换分解等级的给定的连续分辨率等级数；所述编码方法基于称为“用分级树分割集合”(SPIHT)的分级子频带编码处理，从视

频序列的原始像素集合导出用二进制编码的小波变换系数；所述系数组织成时空定向树，该树起植于最低频率，或时空近似性、子频带，结束于高频子频带的某子集；所述树中的系数被进一步排序成为对应于各重要性等级的分集，并由振幅测试来定义；该振幅测试促成把“重要性”信息划分为三个有序表：非重要集合表(LIS)、非重要像素表(LIP)、重要像素表(LSP)；所述测试根据分解过程将所述原始像素集合分解成所述分集，该分解过程持续至对所述二进制表示中每个重要系数进行了编码；所述方法的特征还在于包括以下步骤：

(A) 初始化步骤，3D 小波变换导致的时空相似子频带包括时间相似子频带中两帧的空间相似子频带，以  $z=0$  和  $z=1$  标记，同时，所有坐标为  $(x, y, z)$  的像素的  $x$  和  $y$  分别从 0 变化到  $x$ ，从 0 变化到  $y$ ，用所述时空相似子频带的系数(坐标为  $z=0$ (模 2)、 $x=0$ (模 2)和  $y=0$ (模 2)的除外)将所述 LIS 表初始化，初始化顺序如下所述：

(a) 把所有  $x=0$ (模 2)、 $y=0$ (模 2)和  $z=1$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(b) 把所有  $x=1$ (模 2)、 $y=0$ (模 2)和  $z=0$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(c) 把所有  $x=1$ (模 2)、 $y=1$ (模 2)和  $z=0$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(d) 把所有  $x=0$ (模 2)、 $y=1$ (模 2)和  $z=0$  的像素列入所述表中，先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(B) 开发步骤，从最低分辨率到最高分辨率开发定义小波分解的分级子频带金字塔时空关系的时空定向树，同时保持相邻像素在一起，并兼顾图像细节的定向；多亏子系数的锯齿扫描顺序，所述子系数得以开发；对于水平和对角的细节子频带，图 7 显示出 4 子系数组及该组沿水平方向导向下一组的路径，图 8 显示出 4 子系数组及该组沿竖直方向导向下一组的路径，图 9 和图 10 分别显示最差分

分辨率和较好分辨率的情况。

LIS 初始化在该算法中扮演重要角色。该表的特殊组织、子系数的特殊扫描及原始算法的细小改动都可深层探测所述树，同时保持相邻像素在一起，并兼顾图像细节的定向。

5 下面参照附图更详细地描述本发明，附图中：

图 1 显示 2D 情况下空间定向树的母-子互依性的实例；

图 2 显示在水平细节子频带中具有子系数的根子频带系数的建议的扫描顺序；

10 图 3 显示在对角细节子频带中具有子系数的根子频带系数的建议的扫描顺序；

图 4 显示在竖直细节子频带中具有子系数的根子频带系数的建议的扫描顺序；

图 5 显示对细节子频带有组织的定向扫描；

图 6 显示时空定向树(3D SPIHT)的母-子互依性的实例；

15 图 7 显示具有 4 子系数的组的建议的扫描顺序及从一个组水平导向另一组的路径(子频带细节在水平或对角方向)；

图 8 显示具有 4 子系数的组的建议的扫描顺序及从一个组竖直导向另一组的路径(子频带细节在竖直方向)；

图 9 显示最低分辨率子频带系数的扫描顺序；

20 图 10 显示对具有水平取向细节的子频带两种分辨率等级的扫描顺序(在像素附近，特别注意从一像素组导向另一像素组的路径)。

可以看得出，将算术编码有效插入 SPIHT 算法的主要挑战在于保持上下文中的相邻。LIS 的初始组织和读取子集的特殊顺序允许部分重建系数的地理扫描，这在仅限于亮度分量的 2D SPIHT 算法中首先解释，之后又在作为扩展的包含色度分量的 3D SPIHT 算法中解释。

2D SPIHT 算法扫描所有采用母-子互依性的空间子频带的像素，以原先储存在 LIP 表的根子频带系数(一部分储存在 LIS 中)作为起

点。通过对空间子树的根的不同排序，可以一个接一个地重建较高水平子频带的连贯检查顺序，甚至兼顾细节的空间取向(当考虑用最佳方向扫描时可以更好开发细节的取向)。

因此，建议采用以下扫描方法用相近子频带(坐标为(x,y)的像素，  
5 x 从 0 变化到  $x$ , y 从 0 变化到  $y$ )的系数将 LIS 初始化：

(a) 通过水平扫描子频带，将所有  $x=1(\text{模 } 2)$  和  $y=0(\text{模 } 2)$  的像素(x,y)列入所述表中(第一例对应于图 2);

(b) 通过水平扫描子频带，将所有  $x=1(\text{模 } 2)$  和  $y=1(\text{模 } 2)$  的像素(x,y)列入所述表中(第二例对应于图 3);

10 (c) 通过竖直扫描子频带，把所有  $x=0(\text{模 } 2)$  和  $y=1(\text{模 } 2)$  的像素(x,y)列入所述表中，该例对应于图 4 的第三种情况( $x=0(\text{模 } 2)$  和  $y=0(\text{模 } 2)$  的像素(x,y)未插入 LIS)。多亏 LIS 如此组织，2D 算法以规定的细节检查顺序扫描子频带：先读取包含水平细节的子频带，再读取包含对角细节(顺序对其不是很重要)的子频带，最后读取包含竖直细节的子频带，从最低分辨率到最高分辨率，如图 5 所示(R=根；  
15 D=细节)。

依据本发明的技术措施可扩展至三维的情况。3D SPIHT 算法的描述见例如“采用三维的分级树分割集合(SPIHT)的嵌入式小波视频编码器”，B.J.Kim 和 W.A.Pearlman 所著，Proceedings of DCC'97, 1997 年 3 月 25-27, Snowbird, Utah, USA, 251 页到 260 页，它与之前二维的情况差别不大。对帧组(GOF)进行 3D 小波分解操作。按照所述时间方向实现运动补偿和时间滤波。3D 时空集合代替空间集合(2D)，也可定义系数树具备同样的时空取向并依赖母-子关系连结。3D 情况下的这些连结见图 6。树根由最低分辨率的相近子频带的像素组成(“根子频带” )。3D SPIHT 算法中，除叶子外的所有子频带中，每个像素有 8 个子像素，相应地，每个像素有一个母像素。该规则的一个例外是：树根中，8 个像素有一个没有子像素。  
20  
25

2D 的情况下，时空定向树自然定义分级小波分解的时空关系，

采用了以下系数集合：

$O(x, y, z \text{ chroma})$ : 节点 $(x, y, z \text{ chroma})$ 的所有子节点的系数集合；

$D(x, y, z \text{ chroma})$ : 节点 $(x, y, z \text{ chroma})$ 的所有后代节点的系数集  
合；

5  $H(x, y, z \text{ chroma})$ : 所有时空定向树根(最高金字塔级别的节点)的  
系数集合；

$L(x, y, z \text{ chroma}) = D(x, y, z \text{ chroma}) - O(x, y, z \text{ chroma})$ ；

其中， $(x, y, z)$ 表示系数位置，“chroma”表示 Y、U 或 V。有  
10 三个有序表：LIS(非重要集合表)、LIP(非重要像素表)、LSP(重要像  
素表)。所有这些有序表用坐标 $(x, y, z \text{ chroma})$ 标示每个条目，它在 LIP  
和 LSP 中表示个体像素，而在 LIS 中表示  $D(x, y, z \text{ chroma})$  或  $L(x, y,$   
 $z \text{ chroma})$  集合。将表示  $D(x, y, z, \text{ chroma})$  的 LIS 条目称为 A 类，表  
示  $L(x, y, z, \text{ chroma})$  的 LIS 条目称为 B 类，以示区别。同先前 2D  
的情况一样，3D SPIHT 算法也以操纵 LIS、LIP 和 LSP 三个表为基  
15 础。

根据本发明对该方法的 3D 扩展没有对时间轴进行任何特别的初  
始化。时间近似子频带的两个帧用  $z=0$  和  $z=1$  标记，现建议以下初  
始化顺序：

20 (a) 将所有  $x=0$ (模 2)、 $y=0$ (模 2) 和  $z=1$  的像素列入所述表中，  
先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(b) 将所有  $x=1$ (模 2)、 $y=0$ (模 2) 和  $z=0$  的像素列入所述表中，  
先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

(c) 将所有  $x=1$ (模 2)、 $y=1$ (模 2) 和  $z=0$  的像素列入所述表中，  
先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V；

25 (d) 将所有  $x=0$ (模 2)、 $y=1$ (模 2) 和  $z=0$  的像素列入所述表中，  
先是亮度分量 Y 接着是色度分量 U 和 V。

(d) 是竖直扫描，而其他是水平扫描。

本方法的第二主要方面是子系数的不同的校验顺序。大致原则

是沿每个子频带的细节取向扫描。这使得大量使用 1S 和 2S 的几率增大，算术编码器能容易地压缩这些 1S 和 2S。每种分辨率等级扫描两个 4 子系数集合(或图中 GOC 指定的子集合)，图 7 显示出水平和对角的细节子频带的情况，图 8 显示出竖直的细节子频带的情况。

5 图 9 描述像素电平的扫描顺序，举例说明最低分辨率等级的扫描。  
像素的扫描以 4 个组来进行，图 6 描述一个组指向另一个组的路径(该路径方向亦沿每个子频带的细节取向(见 1、2、3 点))。较好分辨率的扫描顺序参照“地理”近似性，即可以尽可能的不从一行跳至另一行。取而代之的是，可以采用图 10 给出的扫描顺序。4 像素的组的扫描同以前一样。图 10 描述一个组指向另一个组的路径，图 6 描述组等级的情况(4、5、6 点)。

10  
15 需要注意的是，根据所描述的编码方法，可提出任何不超越本发明范畴的修正或改进。例如，很显然可以用有线电路实现本编码方法，也可以通过一套储存在电子、磁或光学计算机可读介质或其它类型存储器中的指令来实现，所述指令应至少取代所述电路的一部分，而且在合适的计算机、数据处理器、中央处理单元、专用集成电路或任何其他类型处理器的控制下可以实施，以便执行被代替电路所实现的相同的功能。本发明也可采用这样一种计算机可读介质，该介质包括含有计算机可执行指令的软件模块，用以执行所述方法的步骤或部分步骤。

20  
根据以上提及的文件“新型、快速而有效的图像编解码器……”中描述的编码方法和相关软件，以 3D 的情况为例，根据本发明所修改的算法如下所示：

### 1. 初始化：

25  
输出  $n = \lceil \log_2(\max_{(x,y,z,chroma)} \{ |C_{x,y,z}^{chroma}| \}) \rceil$ ，设置 LSP 为  
空表，以预定的顺序，把坐标  $(x,y,z,chroma) \in H$  加到 LIP，并且把那  
些有后代的也加到 LIS，作为 A 类条目。

### 2. 排序扫描：

2.1 对于 LIP 中的每个(x,y,z,chroma)条目进行:

2.1.1 输出比特=Sn(x,y,z,chroma);

2.1.2 如果(bit=1), 那么:

将(x,y,z,chroma)移到 LSP, 并输出比特= sign(x,y,z,chroma);

5 2.2 对于 LIS 中的每个(x,y,z,chroma)条目进行:

2.2.1 如果该条目属 A 类, 那么:

输出比特=Sn(D(x,y,z,chroma));

如果(bit=1), 那么:

a) 对于每个(x',y',z', chroma) ε0(x,y,z,chroma)进行:

10 输出比特=Sn(x',y',z',chroma);

如果(bit=1), 那么:

将(x',y',z', chroma)移到 LSP 末尾, 并输出比特= sign(x',y',z', chroma); 或者

将(x',y',z',chroma)移到 LIP 末尾

15 b) 如果 L(x,y,z,chroma) ≠ 0, 将(x,y,z,chroma)作为 B 类移到 LIS 末尾, 重复步骤 2.2.2, 或者将条目(x,y,z,chroma)从 LIS 中清除;

如果该条目是 B 类条目, 那么:

输出比特=Sn(L(x,y,z, chroma));

如果(bit=1), 那么:

20 a) 将每个(x',y',z',chroma) ε0(x,y,z,chroma)作为 A 类条目添加到 LIS 列尾;

b) 从 LIS 中清除(x,y,z,chroma)。

### 3. 提纯

对于 LSP 的每个条目(x,y,z,chroma), 除去那些最近的排序扫描所包含的条目(即有相同 n 的条目)外, 输出 C<sub>(x,y,z,chroma)</sub> 的第 n 个最重要比特;

4. 更新量化步骤: n 减去 1, 回到步骤 2.

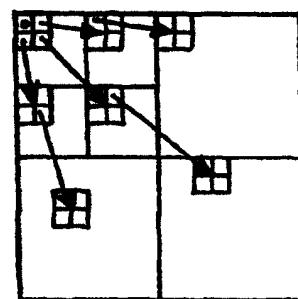


图 1

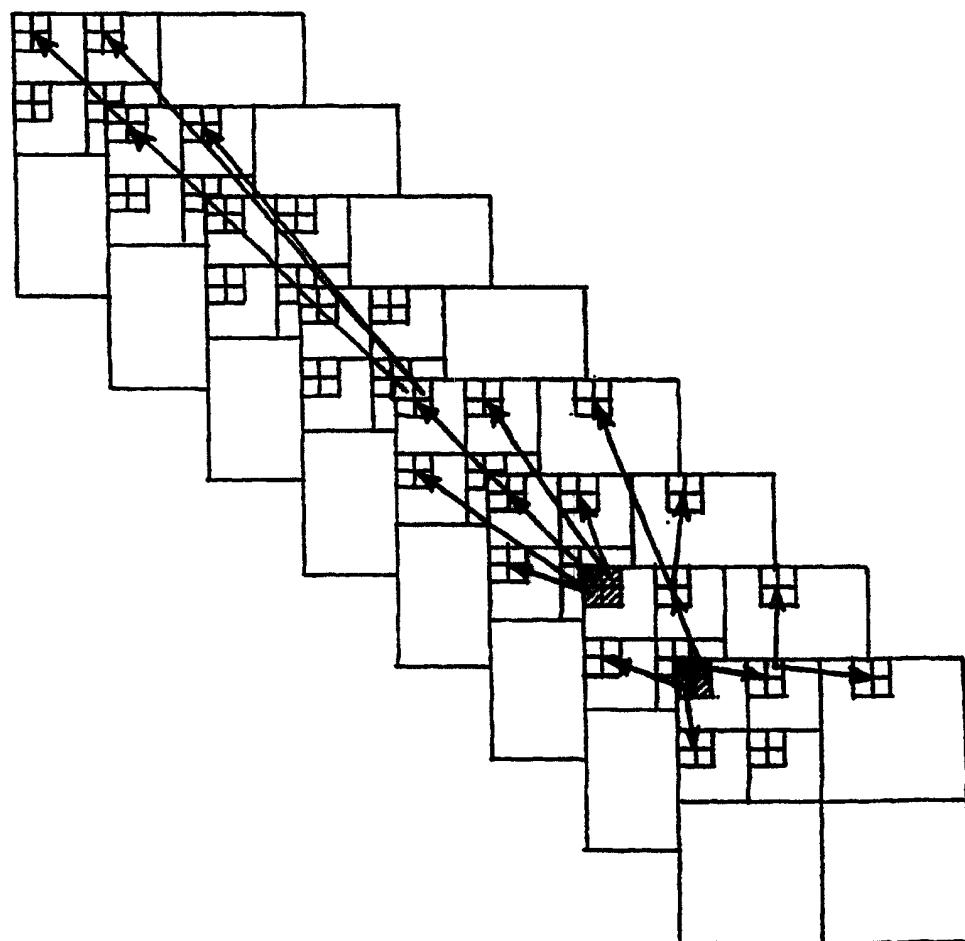


图 6

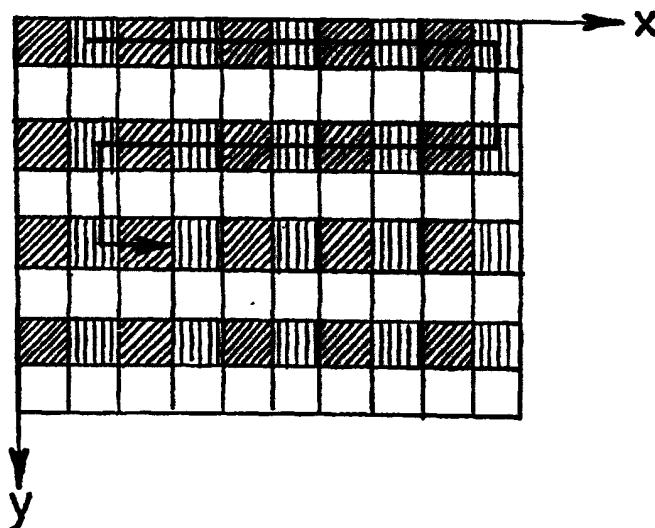


图 2

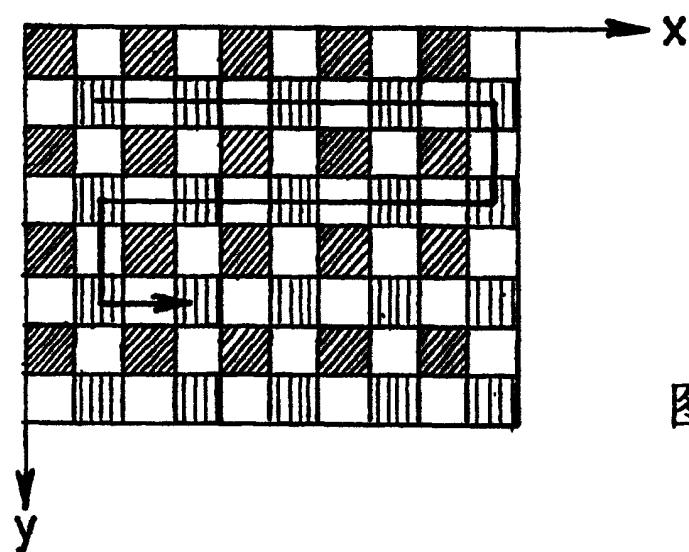


图 3

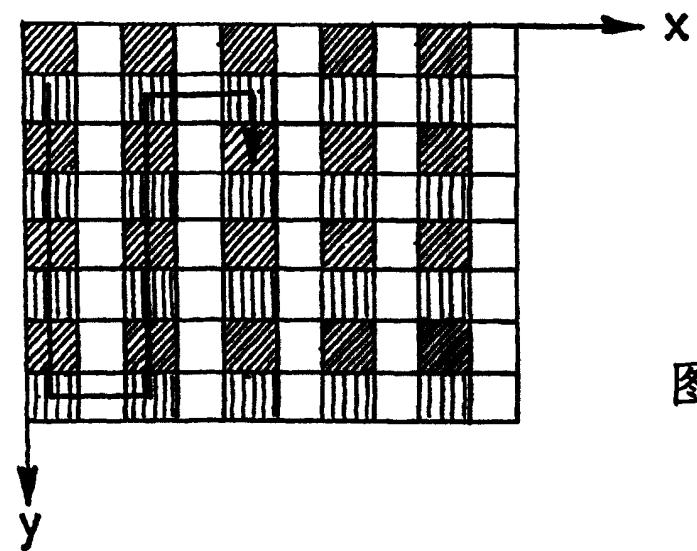


图 4

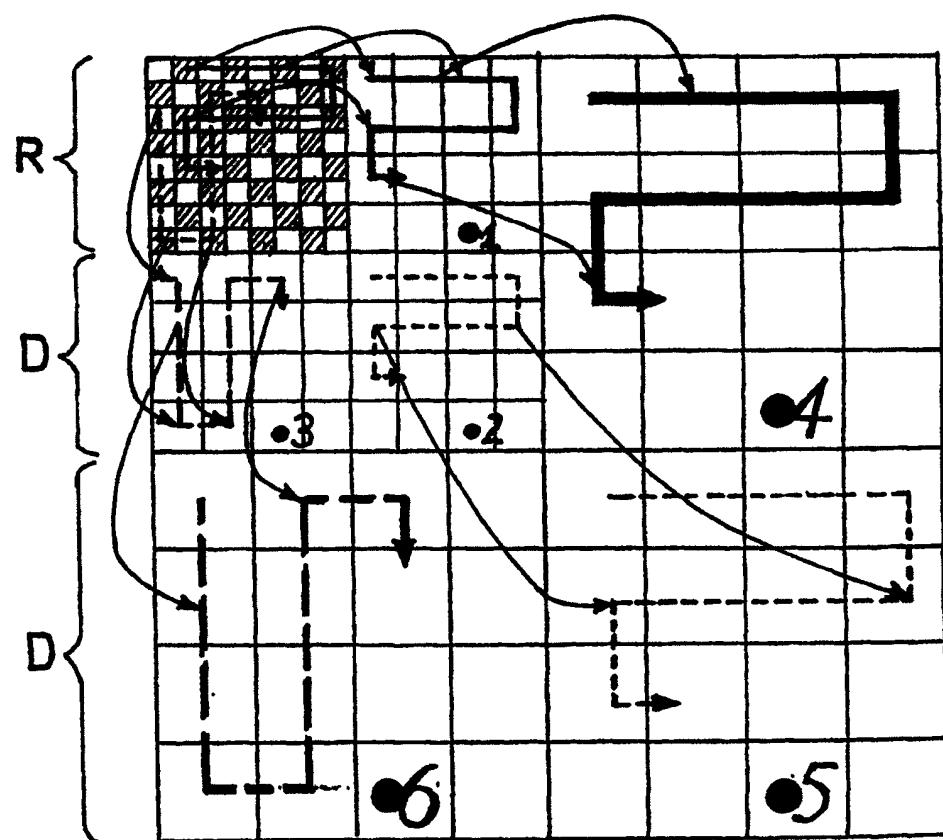


图 5

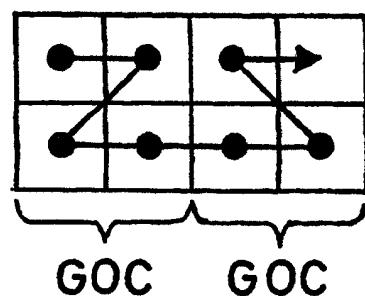


图 7

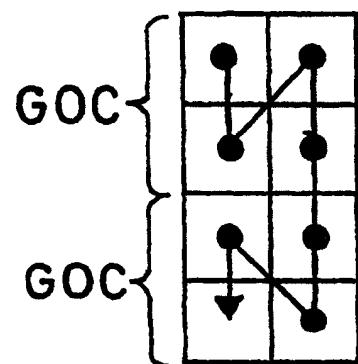


图 8

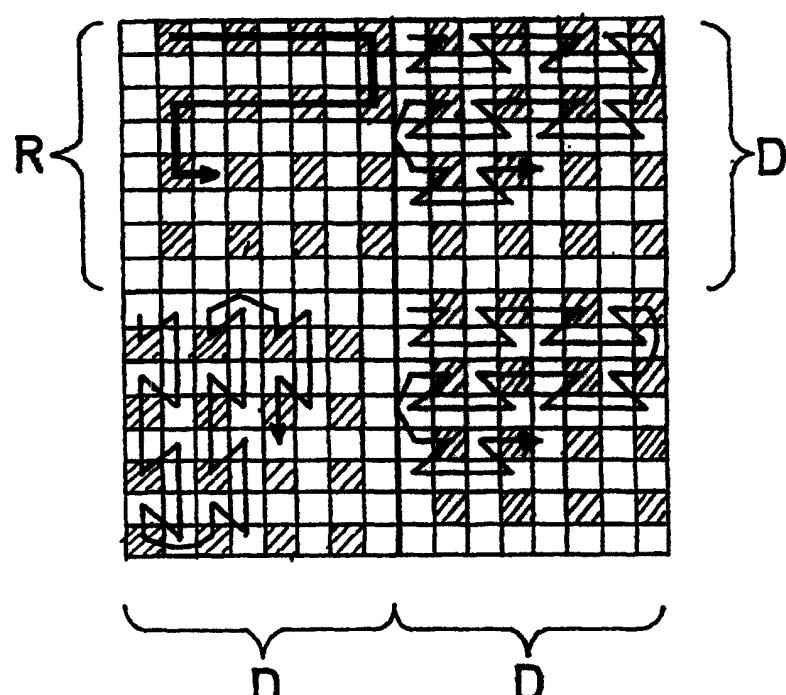


图 9

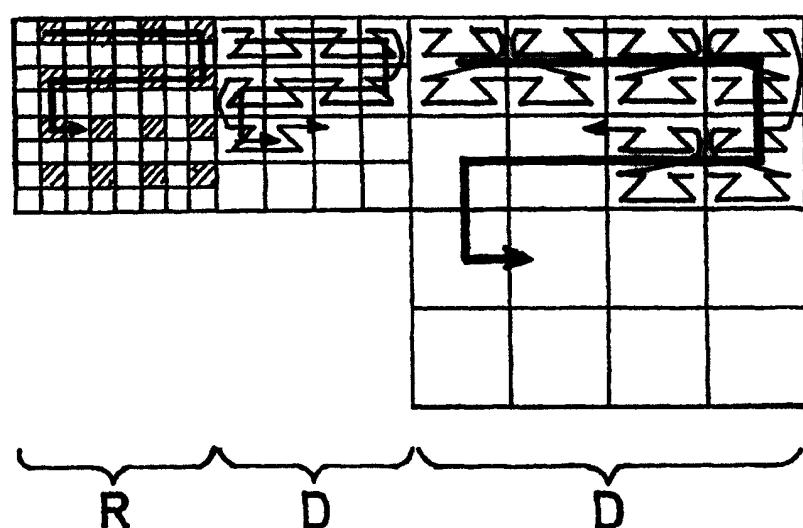


图 10