

金字塔结构逻辑运用二值脉冲对简单图形处理

王 上¹

摘 要 本文根据元胞自动机模型划分方法, 将二维图像分解为 2×2 矩阵单元结构. 提出了几种逻辑运算式, 用以分类由黑白二值点构成的 2×2 矩阵图形. 通过 CNN 神经网络的多层结构形式, 分析了金字塔结构逻辑在相似的组合形式下, 对二值图形边缘检测和池化的功能. 通过同步脉冲形式能将灰度图像, 分解为多个时间维度的二值图形, 方便多层金字塔逻辑运算处理. 分析了如何采用延时继电器使金字塔结构逻辑具有记忆的特性. 讨论了 3×3 输入金字塔模型, 在不规律脉冲情况下, 通过逻辑运算对线性交点检测的可能.

关键词 元胞自动机, 金字塔结构, 布尔逻辑, 脉冲, 延时继电器

引用格式 王上. 金字塔结构逻辑运用二值脉冲对简单图形处理. 自动化学报, 2022, 48(2): 615–626

DOI 10.16383/j.aas.c190619

Pyramid Structural Logic Using Binary Pulse for Simple Graphics Processing

WANG Shang¹

Abstract In this paper, two-dimensional image is decomposed into 2×2 matrix unit structure according to the method of cellular automata model partition. Several logic operations are proposed to classify 2×2 matrix graphs composed of black and white binary points. The functions of edge processing and pooling of binary graphics in the similar combination form of pyramid structure logic are analyzed through the multi-layer structure form of CNN neural network. The gray scale image can be decomposed into binary graphics with multiple time dimensions by synchronous pulse form, which is convenient for multi-layer pyramid logic operation. This paper analyses how to use delay relay to make pyramid structure logic have the characteristics of memory. This paper discusses the possibility of detecting linear intersection points by logic operation under irregular impulses based on the 3×3 input pyramid model.

Key words Cellular automata, pyramid structure, Boolean logic, impulse, delay relay

Citation Wang Shang. Pyramid structural logic using binary pulse for simple graphics processing. *Acta Automatica Sinica*, 2022, 48(2): 615–626

从大禹采取疏导治水的方法, 到排水系统, 再到化工流体设计; 从踏板纺织机, 到詹姆斯·瓦特的离心调速器, 再到机械臂; 从算盘, 到布莱斯·帕斯卡尔等的齿轮驱动计算, 再到 William Shockley 等的晶体管电路^[1–7]. 前述的或相似的, 每种方法或设备的运用, 都为人类生产、生活带来巨大效率提升及能耗降低. 这些进步都源于各位先贤对事物自然规律更加深刻的认知及巧妙运用. 有时进步是新的自然规律发现及应用; 有时进步是多种事物根据自身不同规律, 按照特定流程巧妙地组合为的复杂系统^[8]. 复杂系统按照时间顺序自动化运行, 从而完成目标任务. 人类创建的自动化运行的复杂系统, 除

了由人按自身心理、行为规律构建的社会系统^[9], 还有由物体构建的各种自动化系统^[5].

目前的计算机是在冯·诺依曼体系结构^[10]下, 按照脉冲时间顺序, 进行二进制布尔运算^[7]的电子自动化系统. 计算机不仅能按人类给定的程序, 高效完成各种复杂的十进制数学运算, 还能模拟事物的自然变化规律, 甚至能构建一个虚拟的平行系统^[11]. 在虚拟平行系统里, 人们不仅可以完成各种图形图像的产品和工程设计, 还能创造出比现实更美妙的音乐及影像作品. 计算机对图像处理和图像识别的应用, 催生出各种算法进行数据分析处理. 边缘检测是图像分析处理的第一步, 主要是为提取图像中形状这一重要特征信息^[12–13]. 边缘检测也是视觉通过水平细胞抑制作用处理图像的重要步骤^[14]. 边缘检测后, 图像会生成很多线性交点. 如果这些交点作为特征点, 应该会在图像识别、图形定位、三维重构中有较大应用价值. 由于目前的图像边缘检测在视角和光照变化影响下交点位置变化较大, 边缘检

收稿日期 2019-09-02 录用日期 2020-02-21
Manuscript received September 2, 2019; accepted February 21, 2020
本文责任编辑 王立威
Recommended by Associate Editor WANG Li-Wei
1. 重庆中容宏策机械设备有限公司 重庆 400033
1. Chongqing Zhongrong Hongce Mechanical Equipment Co., Ltd, Chongqing 400033

测最大缺点是对纹理和图像层次信息损失非常大。

1980 年, Fukushima 根据生物学家 Huble 和 Wiesel 的层级模型, 发明了由输入层、卷积层、池化层、全连接层及输出层构成的 CNN 神经网络^[15]. CNN 神经网络, 使得原有的机器学习方法下的图像识别技术取得重大进展. 然而, 机器学习和图像处理算法, 并不符合动物记忆特性, 也不符合计算机的布尔运算规则. 图像学习和处理过程中, 需要消耗大量的数据资源和计算资源. 目前, 符合计算机布尔运算的并在 CAD 等平面设计软件中应用的, 二维图形处理算法, 是基于交点遍历的算法和简单片链算法^[16-17].

早在 20 世纪 40 年代末, 冯·诺依曼就提出了适合大型并行运算且符合布尔逻辑运算的元胞自动机模型方法^[18]. 随着时间推移, 在众多研究者的努力下, 元胞自动机发展出类似于数学形态学腐蚀、膨胀的布尔逻辑规则用于图像处理^[19-23]. 该规则除了采用原有的边缘检测用于二值图像的处理, 还采用坐标逻辑把灰度图像分解成多个不同坐标系的二值图像, 两者用 CA 并行处理, 获得了很好的实验结果^[19, 21]. 文献^[24]运用不同的元胞自动机规则逐级加密生成水印图像, 有效克服了部分水印算法在安全性方面存在的不足. 元胞自动机不仅广泛用于图形图像处理, 它对空间和时间划分方法, 对于物理扩散现象研究也具有启发性意义^[18, 25]. 本文尝试根据 Margolus 邻域元胞自动机模型二维网格划分方法^[8], 运用布尔逻辑的脉冲运算规则, 采用 CNN 神经网络分层结构, 对图形进行边缘检测和进一步的研究.

1 金字塔结构逻辑对黑白二值图形的处理

目前, 对于黑白二值图像处理的应用, 主要是对形状结构有要求, 而对灰度特征没有太大要求的文字识别和字迹鉴别. 文献^[26]中, 刘成林等通过对文字二值图像多通道分解方法, 使字迹鉴别的计算量有效降低, 准确率有效提升. 多通道分解的方法, 也说明合理的图像分解非常重要.

1.1 Margolus 元胞自动机矩阵类型

Margolus 的 2×2 邻域元胞自动机模型划分, 不同于冯·诺依曼邻域由上、下、左、右 4 个元胞组成^[22], 也不同于摩尔邻域由上、下、左、右、左上、右上、右下、左下 8 个元胞组成^[22], 它能使二维空间分块和规则复杂性降低^[18].

如图 1, 有 A、B、C、D 黑 (0) 或白 (1) 二值点, 构成二维 2×2 矩阵. 这 4 个点分别为黑或白状态

下, 可构成 16 个图形. 这 16 个图形可以分为 5 种组合类型:

第 1 种为 4 个点为黑 (0) 的无.

第 2 种为 1 个点为白 (1) 构成的点.

第 3 种为 2 个点为白 (1) 构成的最短相连线.

第 4 种为 3 个点为白 (1) 构成的角, 或具有多个方向的最短相连线.

第 5 种为 4 个点为白 (1) 构成的单元面.

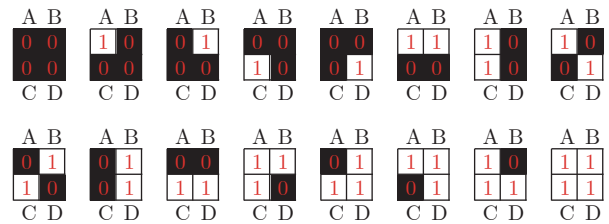


图 1 二值点构成的 2×2 矩阵所有组合图

Fig. 1 All combination graphs of 2×2 matrix constituted by binary points

1.2 黑白点组合分类运算

单元金字塔结构 (如图 2) 输入的布尔逻辑对 2×2 矩阵黑白点构成的 5 种情况, 分别列出布尔逻辑分类判断运算式:

判断第 1 种情况, 4 个点为黑 (0), 逻辑运算式为

$$R = \neg(A \vee B \vee C \vee D) \quad (1)$$

判断第 2 种情况, 1 个点为白 (1), 逻辑运算式为

$$R = (A \wedge \neg B \wedge \neg C \wedge \neg D) \vee (\neg A \wedge B \wedge \neg C \wedge \neg D) \vee (\neg A \wedge \neg B \wedge C \wedge \neg D) \vee (\neg A \wedge \neg B \wedge \neg C \wedge D) \quad (2)$$

判断第 3 种情况, 2 个点为白 (1), 逻辑运算式为

$$R = (\neg A \wedge \neg B \wedge C \wedge D) \vee (A \wedge \neg B \wedge \neg C \wedge D) \vee (A \wedge B \wedge \neg C \wedge \neg D) \vee (\neg A \wedge B \wedge C \wedge \neg D) \vee (A \wedge \neg B \wedge C \wedge \neg D) \vee (\neg A \wedge B \wedge \neg C \wedge D) \quad (3)$$

判断第 4 种情况, 3 个点为白 (1), 逻辑运算式为

$$R = (\neg A \wedge B \wedge C \wedge D) \vee (A \wedge \neg B \wedge C \wedge D) \vee (A \wedge B \wedge \neg C \wedge D) \vee (A \wedge B \wedge C \wedge \neg D) \quad (4)$$

判断第 5 种情况, 4 个点为白 (1), 逻辑运算式为

$$R = A \wedge B \wedge C \wedge D \quad (5)$$

1.3 二值多边形图形的边缘检测

黑白二值点构成的四边形面 (如图 3), 每个点被四个相邻的不同 2×2 输入单元金字塔逻辑连接运算, 如图 4. 红色的金字塔逻辑是, 根据式 (3) 运

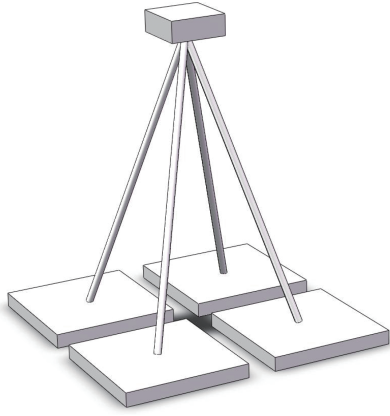


图2 2×2 矩阵输入的单元金字塔结构图

Fig.2 2×2 element pyramid structure of matrix input

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
7	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
8	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
9	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
12	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
13	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图3 黑白二值点构成的四边形面输入图

Fig.3 Quadrilateral input diagram composed of black and white binary points

算, 输入 2 点为白激活状态. 黄色金字塔逻辑是, 根据式 (5) 运算, 4 点为白激活状态. 蓝色金字塔是 1 点为白或 0 点为白不激活状态.

根据图 4 分析, 红色金字塔逻辑被四边形面的边激活, 黄色金字塔逻辑被四边形面的面激活. 如果整个单层都为根据式 (3) 运算的金字塔逻辑, 将激活如图 5 阵列的金字塔.

对直角三角形面边缘检测, 如果是 2 点激活的单元金字塔逻辑阵列只能被直边上的点激活. 如图 6 (a) 三角形面上的斜边上对应的单元金字塔逻辑, 有 3 个输入都为白 (1), 不能激活根据式 (3) 运算的金字塔逻辑, 但是能激活根据式 (4) 运算的金字塔逻辑. 如果是 2 点或 3 点激活的单元金字塔逻辑

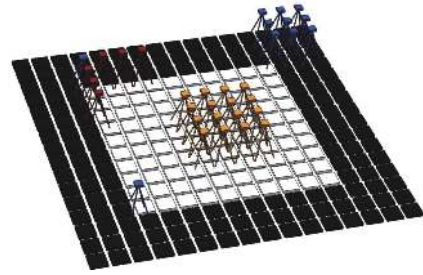


图4 不同特性金字塔逻辑对四边形面不同特征运算图

Fig.4 Pyramid logic operational diagrams of different characteristics for quadrilateral surfaces

辑阵列, 就能对直角三角形进行边缘检测, 构成如图 6 (b) 的图形. 因为含有曲线的面的边可以视为多条直线段和斜线段的组合, 所以 2 点或 3 点激活的单元金字塔逻辑阵列, 不仅能处理有斜边的面, 还能对含有曲线的异型面进行边缘检测.

2 点或 3 点激活的单元金字塔结构逻辑运算式为

$$R = \{[(A \vee B) \wedge (C \vee D)] \vee [(A \vee C) \wedge (B \vee D)]\} \wedge \neg(A \wedge B \wedge C \wedge D) \quad (6)$$

文献 [19, 21] 中的逻辑运算式, 根据冯·诺依曼的元胞自动机模型提出, 也能对异形结构的二值图形进行边缘检测. 本文运算式的不同之处在于, 根据不同的划分模型得出.

1.4 金字塔结构逻辑多层阵列的扩散效应

第 1 层, 输入层的每个点被 4 个相邻的 2×2 输入的单元金字塔逻辑连接, 并构成阵列, 如图 5 轴测图. 在式 (6) 作用下, 能方便快捷地完成黑白二值面的边缘检测, 并且向输入面相对位置横向和纵向各扩大 1 像素位.

第 2 层阵列和第 1 层阵列结构相同, 也进行式 (6) 运算. 由于, 第 1 层的边缘检测, 图形已经是线性状态, 并且第 1 层逻辑的输出成为第 2 层 4 个相邻的不同单元金字塔逻辑的输入. 第 2 层金字塔结构逻辑阵列被激活的会是第 1 层被激活金字塔逻辑阵列边缘的两侧. 这样就使得第 2 层金字塔结构逻辑阵列, 除了将单点排除以外, 仅仅具有扩散 1 像素位的效应.

第 3 层, 将第 2 层外延 1 像素位, 且进行了单元面的抑制去除.

通过如图 7 金字塔逻辑多层阵列处理, 输入层的四边形面处理后的边缘不断向内和外扩散, 并且是具有波状形态扩散. 由于像素点较少, 方形边缘扩散的过程中外缘角很快变成了斜边. 在像素点较多的情况下, 扩散图形变形相对会慢些. 边缘扩散, 可以用作一定程度的图像缩放处理.

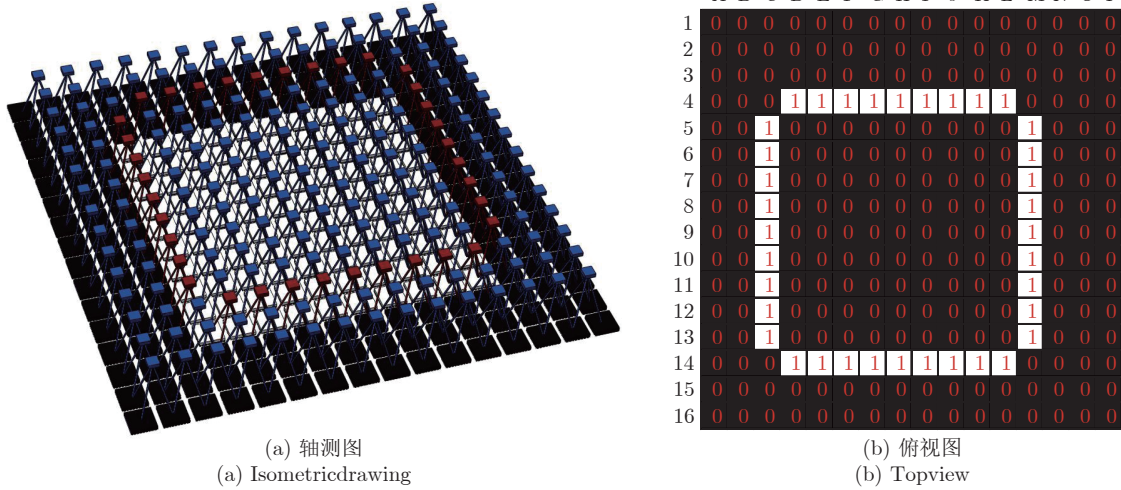


图 5 四边形面输入的边缘检测阵列图
Fig.5 Edge detection array with quadrilateral input

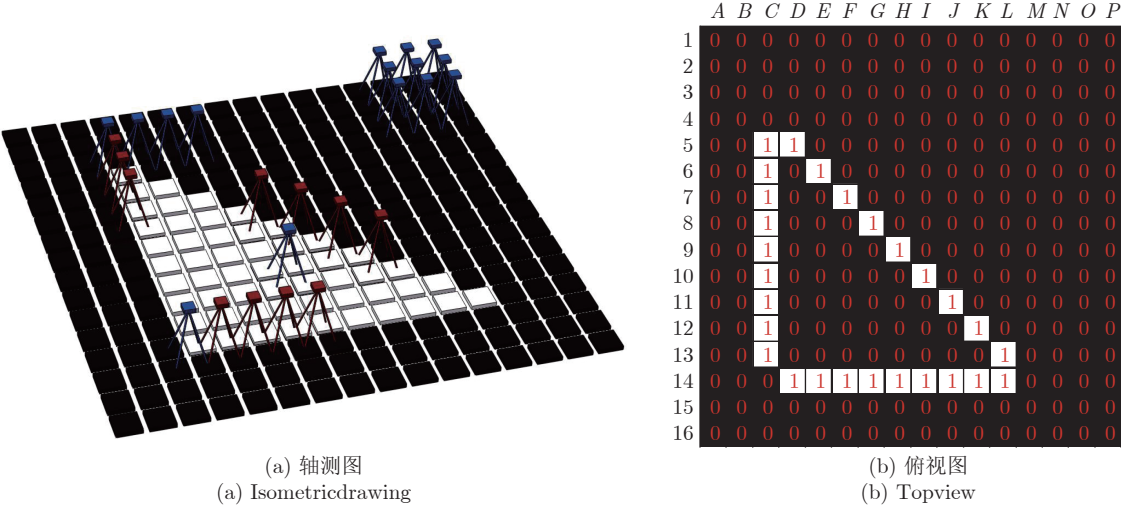


图 6 三角形面输入的边缘检测阵列图
Fig.6 Edge detection array of triangle input

如果两个独立的图形在相同金字塔逻辑多层阵列中扩散, 它们的相交位置会出现干涉现象.

因为后 1 层输出值的位置在前 1 层位置的左下角, 所以图形处理过程中, 后 1 层的图形总是朝着前 1 层左下角偏移.

1.5 图形的规则抽样池化及汇聚

1.5.1 图形的规则抽样池化

正四边形面图形, 通过第 1 层金字塔逻辑阵列边缘检测, 再完成第 2 层扩散后, 将图形像素按照 2×2 矩阵的形式, 分为各个小组. 每个小组同时抽样左上角、右上角、左下角、右下角像素形成 4 幅图形, 如图 8 (b). 将这 4 幅图中比较分析, 4 幅图较为相似, 也和图 7 第 1 层的边缘检测图相似. 它们都

是 4 条直边组成并且相对位置都是相同的, 但相对于第 1 层边缘图缩小了 4 倍. 虽然这 4 幅图较为相似, 但是由于之前的扩散处理和抽样位置不同, 它们在细微处仍有不同. 不同之处在于图形位置稍有偏移, 且有个角点存在位置不同.

如果将池化的图形, 再进行扩散后规则抽样处理. 那么之前的 4 幅图像, 将变为 16 幅相似图像, 它们会再缩小 4 倍. 那么 1024×1024 像素大小的图像, 经过 4 次如前所述的规则抽样池化, 图像将分解为 256 张 64×64 像素的小图像. 如果图形缩小倍数太大, 虽然每张图包含有不同的信息, 但图形变形会偏大, 以致于与输入图形完全不同. 在规则抽样池化过程处理中, 最好使图形保留 8×8 、 16×16 、 32×32 像素, 以使其图形结构信息较为完整.

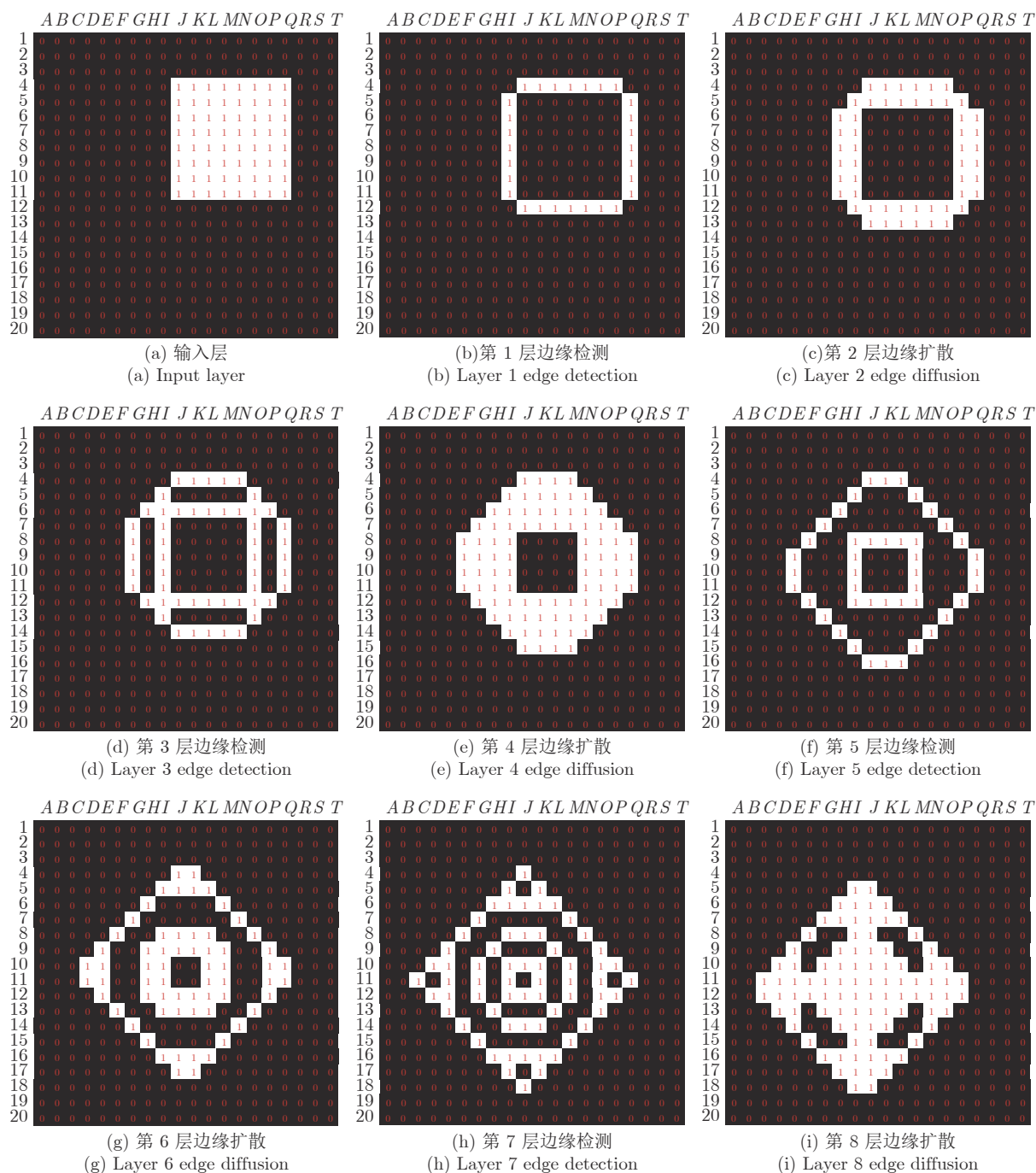


图 7 金字塔结构逻辑多层阵列对四边形处理图

Fig.7 Pyramid structural logic multilayer array for quadrilateral processing graph

对于大图中比较小的局部结构, 通过多次抽样可能会损失这部分结构信息. 是否可以将大图形, 再分解为多个局部图形, 或通过变焦的方法, 依次解决局部问题. 如何减少信息的损失, 较大限度地保持图形图像的信息, 还需要进一步研究优化.

1.5.2 多层组合金字塔结构逻辑的汇聚

图形在 2×2 矩阵输入中, 每 4 个相邻点与 1 个金字塔结构逻辑相连, 且每个点只成为 1 个金字塔

逻辑的输入, 那么后 1 层图形每次会相对于前 1 层图形也会缩小 4 倍. 如图 9, 由于 4 个组合金字塔结构阵列, 每次位置都有些许偏移, 导致单元金字塔对应的输入点不同. 由于单元金字塔的输入点不同, 那么输入点的组合会发生变化, 最终激活顶层汇聚点金字塔逻辑的形式不同.

逻辑根据式 (6) 运算时, 金字塔逻辑每次偏移使汇聚点下层有时会出现 2 个或 3 个激活状态的逻辑

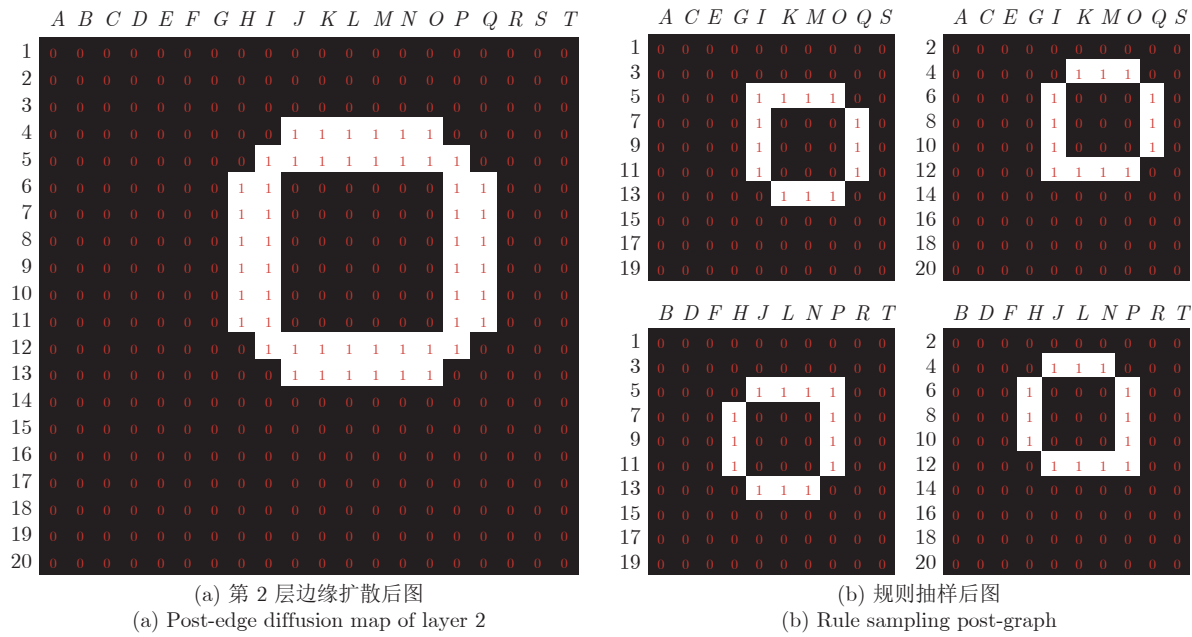


图 8 规则抽样池化图
Fig.8 Rule sampling pooling diagram

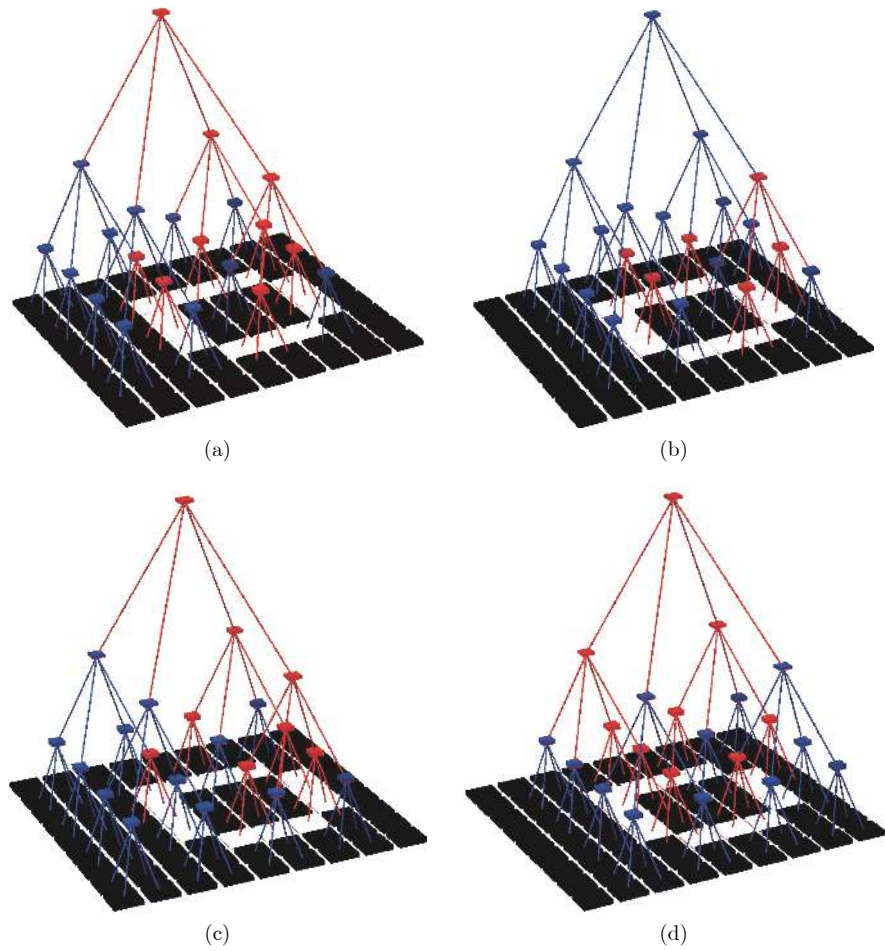


图 9 金字塔结构逻辑相连构成的组合金字塔图
Fig.9 Composite pyramid diagram with logically connected pyramid structures

辑, 激活汇聚点; 有时汇聚点下层, 会出现 0 个、1 个、4 个逻辑被激活状态, 从而无法激活汇聚点逻辑. 如果是图 6 的三角形结构输入也会如图 9 得到汇聚点. 但它们的结构重心不同, 最终的汇聚点会根据重心偏移, 导致不同的组合金字塔被激活.

如果先通过规则抽样为多个图形, 再通过组合金字塔汇聚, 那么 1 个图形将被多个独立的组合金字塔结构逻辑运算. 类似于多通道^[26], 不同组合形式进行运算. 虽然有些组合金字塔不一定能激活汇聚点, 通过池化处理成的多个金字塔中, 总会有几种组合形式将汇聚点金字塔逻辑激活. 每个被激活的汇聚点包含的组合信息都有一定的差异, 并且每个被激活的汇聚点值都与金字塔下部输入范围的点相关.

这种方法的汇聚处理过程中, 会使每个组合金字塔包含的信息都有所偏差, 也会损失很多信息.

2 同步脉冲对灰度图像切分

现实中的物体在光照下, 经常呈现为灿烂多彩、层次分明的图像. 物体的形状、纹路包含了丰富的信息. 色彩对图形分类的影响不是最大的, 而图像的灰度所构成的多层次图形对分类起到决定性作用. 在布尔逻辑运算中, 无法直接运算十进制数据. 十进制数据转换为二值脉冲方式, 再进行逻辑电路计算, 是目前计算机进行十进制运算的解决方式. 灰度图像是否可以通过二值脉冲形式进行转换呢?

2.1 三角逻辑多层阵列对灰度连线的亮度统计

假设, 在 $\rightarrow E$ 方向有像素点构成的连线 AB 亮度为 5, BC 之间连线亮度为 2, 连线 CD 亮度为 3. 线上各点各对应 1 个光敏传感器. 50 ms 内, 光敏传感器根据点的不同亮度发放相应不同次数 (如图 10) 的同步脉冲数量. 光敏传感器将信号输出至如图 11 的多层网状结构逻辑, 每个下层逻辑输出点与上层两个相邻逻辑相连. 每一个三角结构逻辑运算式为

$$R = O \wedge P \quad (7)$$

最终, 50 ms 时间内, 连线 AB 值 Y' 将被激活统计为 5, 连线 CD 值 Y'' 将被激活统计为 3, 连线 AD 值 Y 将被激活统计为 2.

多层三角逻辑对连线亮度统计, 能统计出具有灰度值的独立连线亮度和组合连线的亮度.

2.2 二维灰度图像的切分

将具有多值的亮度信号, 转换为多个具有二值信息的脉冲信号, 能使布尔逻辑对灰度信息图像进行处理. 如图 12, 具有 5 个亮度等级的灰度图像,

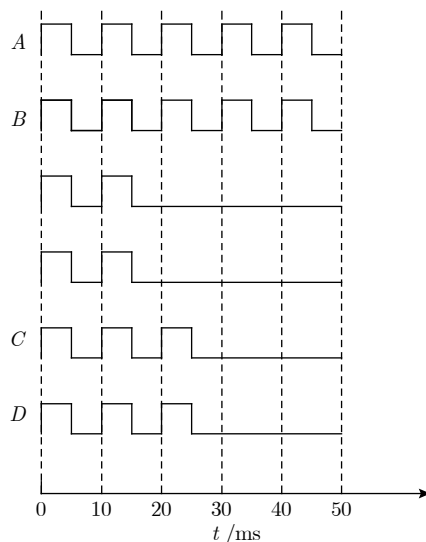


图 10 灰度线 AD 上各点在 50 ms 内发放的脉冲数量图

Fig. 10 The number of pulses emitted by each point on the gray line AD in 50 ms

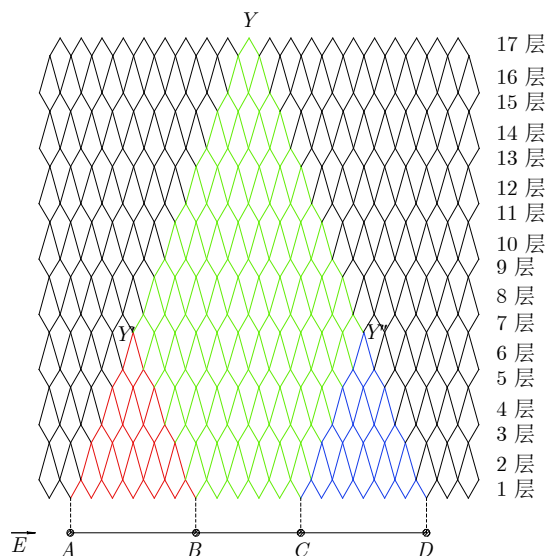


图 11 灰度线 AD 激活的多层三角结构逻辑运算图

Fig. 11 Gray line AD activated multilayer triangular structure logic operational graph

通过将亮度转换为二值同步脉冲信号后, 产生如图 13 的 4 个不同时间的图形. 图 12 中的灰度图像可以分解为大的方形、三角形、梯形、小的方形. 图 13 中的图形虽然也分解为大的方形、三角形、梯形、小的方形, 但缺点是分解的数量比图 12 中可分解图形少.

此种方法的处理方式, 特点是先从大的轮廓到小的轮廓, 因为一般图像都是局部亮度稍高. 如果大的面亮度较高那么图像无法体现局部. 如果图像的外周亮度较高, 中心位置局部亮度较高, 在图像

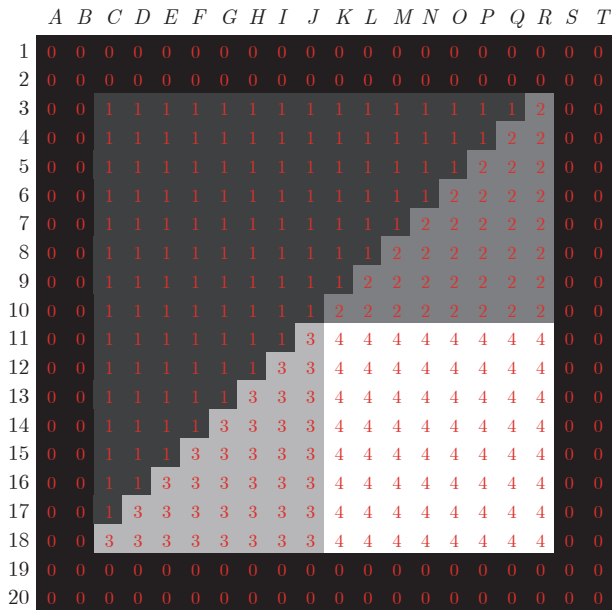


图 12 具有 5 个亮度等级的灰度图

Fig.12 Grayscale image with 5 brightness levels

分解过程中, 将会在较后的脉冲次数中将大的轮廓和中心位置局部独立显示出来.

通过二值脉冲形式, 将灰度图像切分为多个不同时间顺序的二值图形后, 可以再运用二值金字塔结构逻辑对图形按时间顺序进行各种处理.

汪海明等^[21]所述的通过多个坐标分解方式实现灰度图像边缘检测. 本文方法不同之处在于, 通过脉冲形式, 只在输入层将多值数据进行时间维度二值切分, 最后在输出层进行单位时间统计. 这样不仅方便前述的多层处理, 也减少了数据运算量. 如果需要获得灰度边缘, 只需通过第 1 层边缘检测后, 在单位时间内, 对输出层每个点进行脉冲数量统计获得. 亮度等级设置还需要根据应用场景, 配合摄像机实时变焦、实时改变光圈大小, 运算设备性能等实际情况, 进行进一步研究.

3 异步脉冲对金字塔结构逻辑运算影响

3.1 脉冲延时对逻辑运算的影响

假设, 有 A 、 B 、 C 、 D 这 4 个逻辑电路输出至 Y 逻辑电路, 而每个逻辑电路至 Y 逻辑电路的路径上各有 1 个延时继电器. 该逻辑电路系统有下述特点:

- 1) 4 个逻辑和 Y 逻辑, 脉冲输出特性是相同的, 脉冲幅宽 3 ms, 1 个脉冲周期为 10 ms.
- 2) 延时继电器将每个输入脉冲信号延迟 5 ms 时间. 如果, 延时继电器在 5 s 时间内, 被激活大于 100 次, 延时继电器突然失效, 脉冲信号延迟 0 ms

时间.

3) 如图 14, A 逻辑脉冲输出至延时继电器 A' , 延时 5 ms (图 14 红色部分). B 逻辑脉冲输出至延时继电器 B' , 延时 5 ms. C 逻辑脉冲输出至延时继电器 C' , 由于延时继电器 C' 单位时间内经过多次激活而失效, 延时继电器 C' 延时 0 ms. D 逻辑脉冲输出至延时继电器 D' , 由于延时继电器 D' 单位时间内经过多次激活而失效, 延时继电器 D' 延时 0 ms.

4) 逻辑 Y 在不响应期结束后, 进入等待期. 不响应期 7 ms. 当逻辑 Y 的输入条件满足激活条件时, 等待期进入反应期. 等待期可以是极短的. 反应期也不再对其他输入响应.

5) 逻辑 Y 在等待期, 根据式 (6) 被 2 个或 3 个同步脉冲高电平激活. 逻辑 Y 被激活后进入反应期, 产生 1 个 3 ms 幅宽的脉冲信号, 然后进入 7 ms 不响应期. 不响应期逻辑 Y 保持低电平, 不对输入产生任何反应.

根据式 (6) 分析, 由于 0 ~ 60 ms 时间内, 有 4 个同步脉冲输入, 逻辑 Y 在这段时间内, 不应被激活. 如图 14, 逻辑 Y 在 105 ms 时间内却产生 10 个脉冲, 前 6 个脉冲由 C' 和 D' 的同步脉冲共同激活产生, 后 4 个脉冲却是由 A' 和 B' 的同步脉冲共同激活产生.

根据上述假设现象分析, 逻辑 Y 虽然是根据式 (6) 进行运算. 但由于延时继电器的延时和延时失效作用, 逻辑 Y 对逻辑 A 、 B 、 C 、 D 这 4 个逻辑输入的反应发生了变化. 如图 14, 逻辑 Y 将只被逻辑 A 和逻辑 B 、逻辑 C 和逻辑 D , 产生的同步脉冲激活. 逻辑 Y 将不被逻辑 A 和逻辑 C 、逻辑 A 和逻辑 D 、逻辑 B 和逻辑 C 、逻辑 B 和逻辑 D , 产生的同步脉冲激活.

如果, 有 A 、 B 、 C 、 D 这 4 个逻辑输出构成的 2×2 矩阵输入中, 逻辑 Y 根据式 (4) 运算, 只被 3 个同步脉冲激活, 且逻辑 Y 的输入路径上存在延时继电器有 A' 、 B' 、 C' 、 D' . 当 A' 延时继电器延时失效和 B' 、 C' 、 D' 延时继电器未失效; A' 延时继电器延时未失效和 B' 、 C' 、 D' 延时继电器都失效, 逻辑 Y 将只被有 B 、 C 、 D 这 3 个逻辑输出的同步脉冲激活. 那么, 可以将逻辑 Y 的该种情况, 视为对 B 、 C 、 D 这 3 个点构成的角进行了记忆. 如图 9 中的多层组合金字塔结构逻辑, 由于输入的图形进行了边缘检测和规则抽样, 4 个点同时存在同步脉冲的情况, 概率很小. 对于延时记忆方法, 边缘检测和规则抽样具有一定的必要性, 否则金字塔逻辑输入路径上的延时继电器会经常性的一起失效. 如果 2×2 金字塔逻辑输入路径的 4 个延时继电器都失效后, 金

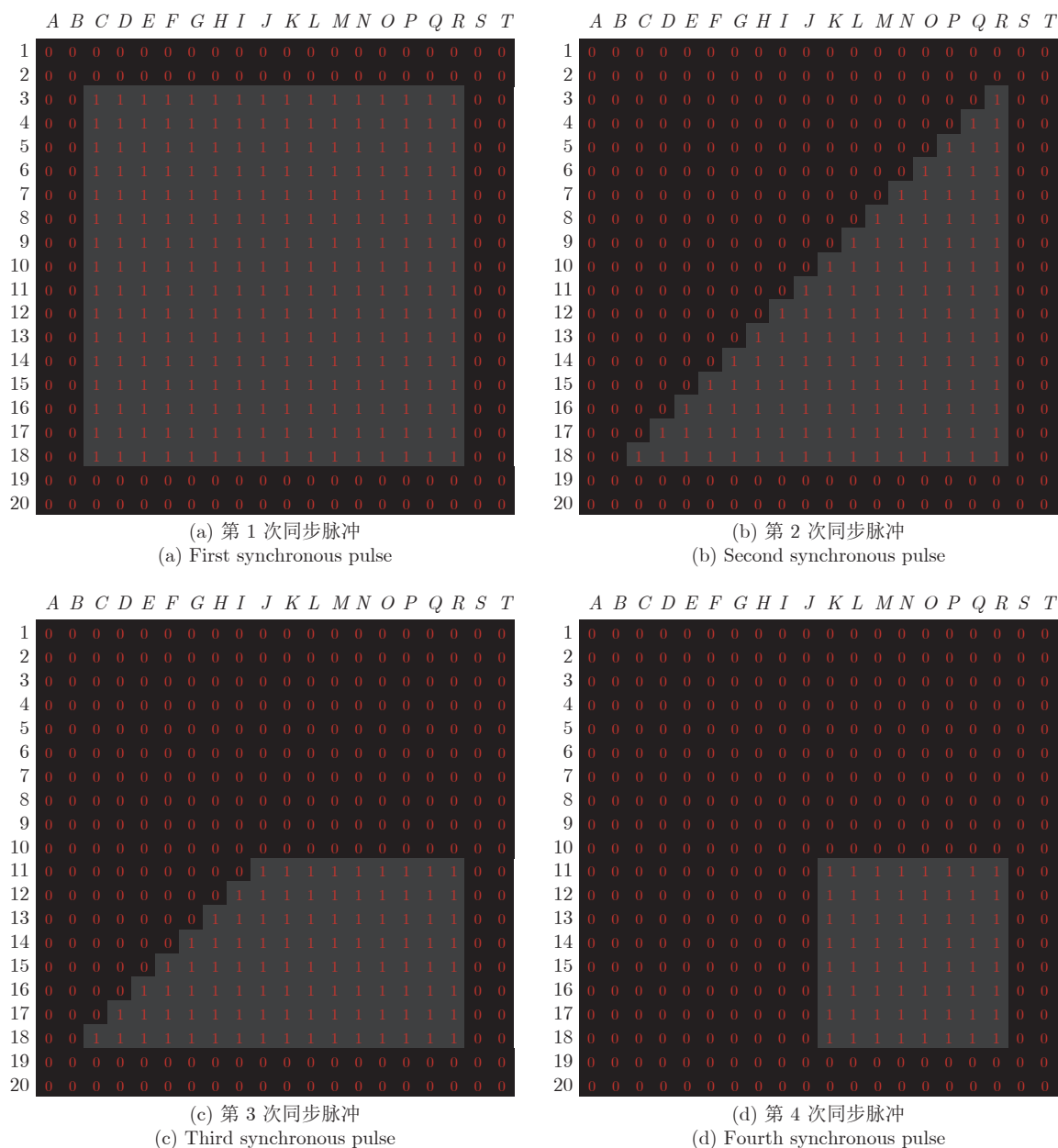


图 13 不同脉冲次数下生成的二值阵列图

Fig. 13 Binary array diagram generated at different pulse numbers

字塔逻辑将只具有边缘检测或扩散的作用。

具有正向延时记忆的金字塔结构逻辑, 再次被激活的方式是必要的输入条件满足. 然而, 脉冲在多层金字塔结构中, 经过多次延时处理后, 可能会导致本来不同步的脉冲同步, 激活有延时记忆的单元金字塔. 虽然出现的概率较低, 但此种情况是延时记忆的最大缺陷。

3.2 线性交点的检测

假设, 有如第 3.1 节所述特性的逻辑电路系统, 它的区别在于, A 、 B 、 C 、 D 这 4 个逻辑电路输出至

Y 逻辑电路的脉冲信号是断续的. 该逻辑电路系统的延时继电器的延时功能, 不是突然性的失效, 而是根据单位时间内延时继电器激活次数与延时时间线性相关的缩短. 逻辑 Y 根据式 (4) 运算, 在等待期内有 3 个高电平同时存在被激活。

如图 15, 该逻辑电路系统的脉冲输入输出, 在时间轴上的脉冲信号是凌乱不同步的. 4 个逻辑的脉冲输入, 使逻辑 Y 在 105 ms 内产生了 6 次脉冲. 如果, 将 4 个逻辑输入任意减少 1 个, 都将使逻辑 Y 在 105 ms 内产生的脉冲次数少于 6 次. 说明, 该逻辑系统在不规则输入的情况下, 处于等待期的逻辑

金字塔结构逻辑阵列不仅能高效、可靠地对具有二值特性的图形进行边缘检测、扩散. 金字塔结构逻辑构成的二值图形, 还能通过规则抽样池化的方法, 较为准确地形成多个相似图形, 并且能有效缩小二值图形. 同步脉冲方式, 能将灰度图像处理为不同时间维度的多个二值图形. 该方法较大幅度地保留了灰度图像的信息, 按时间顺序逻辑处理后, 经过单位时间统计, 能得到灰度边缘, 但仍然有部分信息损失. 金字塔结构逻辑输入路径上加入延时

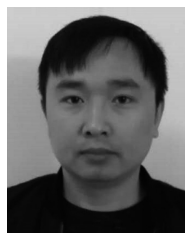
继电器, 在组合金字塔结构下, 对图形具有一定的记忆特性. 不同输入刺激, 产生不同组合金字塔结构性记忆. 这种记忆模式不是很稳定, 也不易被提取, 更加难以局部复制, 否则会导致混乱.

本文所述的方法, 便于计算机程序模拟实现, 且方便整体复制, 但是运行效率会比通过电子电路实现效率低. 电子电路实现的难点, 在于带有计数功能的可变延时继电器大规模、小型化的实现和脉冲同步性的协调, 更重要是它难以被标记和复制信息. 本文的方法, 还有很多不足和未考虑到部分, 期望下一步, 能进行实质性应用探索和更深入细致研究.

References

- 1 Wu Wen-Xiang, Ge Quan-Sheng. The possibility of occurring of the extraordinary floods on the eve of establishment of the Xia dynasty and the historical truth of Dayu's successful regulating of flood warts. *Quaternary Sciences*, 2005, **25**(6): 741-749
(吴文祥, 葛全胜. 夏朝前夕洪水发生的可能性及大禹治水真相. 第四纪研究, 2005, **25**(6): 741-749)
- 2 Liu Xu-Yi. Ancient drainage system: Integration of conscience, wisdom and system. *The People's Congress of China*, 2016, **15**: 52-54
(刘绪义. 古代排水系统: 良心、智慧和制度的交融. 中国人大, 2016, **15**: 52-54.)
- 3 Zhang Hong-Liu. *Principles of Chemical Engineering: Fluid Flow and Heat Transfer*. National Defense Industry Press, 2009
(张洪流. 化工原理: 流体流动与传热分册. 国防工业出版社, 2009)
- 4 You Zhan-Hong. The treadle mechanism of the ancient spinning wheel and loom. In: *Proceedings of History of Mechanical Technology (2) — Proceedings of the Second Sino Japanese International Conference on the History of Mechanical Technology*. Beijing: Chinese Mechanical Engineering Society, 2000. 251-261
(游战洪. 踏板机构在古代纺织机械中的运用. 机械技术史(2) —— 第二届中日机械技术史国际学术会议论文集. 北京: 中国机械工程学会, 2000. 251-261)
- 5 Chai Tian-You. Development directions of automation science and technology. *Acta Automatica Sinica*, 2018, **44**(11): 1923-1930
(柴天佑. 自动化科学与技术发展方向. 自动化学报, 2018, **44**(11): 1923-1930)
- 6 Liang Bin, Liu Liang-Dong, Li Geng-Tian, Xu Yang-Sheng. Dynamics equivalence manipulator for a space manipulator. *Acta Automatica Sinica*, 1998, **24**(6): 761-767
(梁斌, 刘良栋, 李庚田, 徐阳生. 空间机器人的动力学等价机械臂. 自动化学报, 1998, **24**(6): 761-767)
- 7 J Glenn Brookshear [Author], Liu Yi, Xiao Cheng-Hai, Ma Xiao-Hui, Mao Qian-Qian [Translator]. *Computer Science An Overview Eleventh Edition*. Posts&Telecom Press, 2011
(J Glenn Brookshear [著], 刘艺, 肖成海, 马小会, 毛倩倩 [译]. 计算机科学概论: 第11版. 人民邮电出版社, 2011)
- 8 Qian Xue-Sen, Yu Jing-Yuan, Dai Ru-Wei. A new discipline of science — The study of open complex giant system and its methodology. *Chinese Journal of Nature*, 1990, **13**(1): 3-10
(钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论. 自然杂志, 1990, **13**(1): 3-10)
- 9 Qian Xue-Sen. Systems science, noetic science, somatic science. *Chinese Journal of Nature*, 1981, **4**(1): 3-9
(钱学森. 系统科学. 思维科学与人体科学. 自然杂志, 1981, **4**(1): 3-9)
- 10 Gu Zong-Hua, Pan Gang. Brain-like computational study of neuromimicry. *Communications of CCF*, 2015, **11**(10): 10-20
(顾宗华, 潘纲. 神经拟态的类脑计算研究. 计算机学会通讯, 2015, **11**(10): 10-20)
- 11 Wang Fei-Yue. Software-defined systems and knowledge automation: A parallel paradigm shift from Newton to Merton. *Acta Automatica Sinica*, 2015, **41**(1): 1-8
(王飞跃. 软件定义的系统与知识自动化: 从牛顿到默顿的平行升华. 自动化学报, 2015, **41**(1): 1-8)
- 12 Duan Rui-Ling, Li Qing-Xiang, Li Yu-He. Summary of image edge detection. *Optical Technique*, 2005, **31**(3): 415-419
(段瑞玲, 李庆祥, 李玉和. 图像边缘检测方法研究综述. 光学技术, 2005, **31**(3): 415-419)
- 13 Sun Da, Liu Jia-Feng, Tang Jiang-Long. Edge detection based on density grandient. *Chinese Journal of Computers*, 2009, **32**(2): 299-307
(孙达, 刘家锋, 唐降龙. 基于概率密度梯度的边缘检测. 计算机学报, 2009, **32**(2): 299-307)
- 14 Zhang Yong-Ping, Zheng Nan-Ning, Zhao Rong-Chun. An algorithm of image edge detection based on visual model. *Acta Electronica Sinica*, 2000, **28**(1): 101-103
(张永平, 郑南宁, 赵荣椿. 基于视觉模型的图像边缘检测算法. 电子学报, 2000, **28**(1): 101-103)
- 15 Zhou Fei-Yan, Jin Lin-Peng, Dong Jun. Review of convolutional neural network. *Chinese Journal of Computers*, 2017, **40**(6): 1229-1251
(周飞燕, 金林鹏, 董军. 卷积神经网络研究综述. 计算机学报, 2017, **40**(6): 1229-1251)
- 16 Zhu Zhen-Hua, He Yuan-Jun. Queer problems on 2D Boolean operation. *Computer Application and Software*, 2009, **26**(4): 24-27
(朱振华, 何援军. 二维布尔运算中的奇异问题. 计算机应用与软件, 2009, **26**(4): 24-27)
- 17 Zhang Yi, Yu Hai-Yan, He Yuan-Jun. Two-dimensional Boolean operation. *Journal of Shanghai Jiao Tong University*, 2010, **44**(11): 1486-1490
(章义, 于海燕, 何援军. 二维布尔运算. 上海交通大学学报, 2010, **44**(11): 1486-1490)
- 18 Bastien Chopard, Michel Droz [Author], Zhu Yu-Xue, Zhao Xue-Long [Translator]. *Cellular Automata modeling of physical systems*. Tsinghua University Press, 2003
(Bastien Chopard, Michel Droz [著], 祝玉学, 赵学龙 [译]. 物理系统的元胞自动机模拟. 清华大学出版社, 2003)
- 19 Xu Tao, Luo Ming. A novel edge detector using multi-structure element based on coordinate logic. *Journal of Data Acquisition & Processing*, 2002, **17**(3): 252-255

- (徐涛, 骆明. 一种新颖的基于坐标逻辑的多结构元图像边缘检测方法. 数据采集与处理, 2002, **17**(3): 252-255)
- 20 Ding Yong-Sheng, Shao Shi-Huang, Wan Qing-Xuan. Cellular automata combined with soft computing and their applications. *Control and Decision*, 1996, **11**(6): 617-622
(丁永生, 邵世煌, 万庆萱. 元胞自动化与软计算的集成及其应用. 控制与决策, 1996, **11**(6): 617-622)
 - 21 Wang Hai-Ming, Guo Shi-De, Yu Dao-Heng. A new method for image processing based on morphology and coording logic. *Application Research of Computers*, 2004, **21**(1): 243-245
(汪海明, 郭仕德, 余道衡. 基于形态学和坐标变换的二维 CA 图像处理技术研究. 计算机应用研究, 2004, **21**(1): 243-245)
 - 22 Sun De-Shan. Developments of the study of the cellular automata. *Journal of WUYI University (Natural Science Edition)*, 2011, **25**(4): 22-28
(孙德山. 元胞自动机研究进展. 五邑大学学报(自然科学版), 2011, **25**(4): 22-28)
 - 23 Liu Song-Tao, Yang Shao-Qing, Zhou Xiao-Dong. Cellular automata and its application to image processing. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, **35**(s4): 455-460
(刘松涛, 杨绍清, 周晓东. 元胞自动机及其在图像处理中的应用. 红外与激光工程, 2006, **35**(s4): 455-460)
 - 24 Ji Feng, An Ling-Ling, Deng Cheng, Gao Xin-Bo. Encryption for image watermarking based on multiple cellular automata. *Acta Automatica Sinica*, 2012, **38**(11): 1824-1830
(冀峰, 安玲玲, 邓成, 高新波. 基于多重元胞自动机的图像水印加密算法. 自动化学报, 2012, **38**(11): 1824-1830)
 - 25 Zhang Hong-Jun, Gao Feng. Cellular automata modeling of diffusion systems. *Journal of Anhui Institute of Education*, 2006, **24**(3): 17-21
(张宏军, 高峰. 扩散系统的元胞自动机模拟. 安徽教育学院学报, 2006, **24**(3): 17-21)
 - 26 Liu Cheng-Lin, Liu Ying-Jian, Dai Ru-Wei. Writer identification by multichannel decomposition and matching. *Acta Automatica Sinica*, 1997, **23**(1): 56-62
(刘成林, 刘迎建, 戴汝为. 基于多通道分解与匹配的笔迹鉴别研究. 自动化学报, 1997, **23**(1): 56-62)



王 上 重庆中容宏策机械设备有限公司天然气撬装工程师. 主要研究方向为天然气液化工艺, 自动控制.
E-mail: wangshang86@163.com
(WANG Shang Natural gas skid engineer at Chongqing Zhongrong Hongce Mechanical Equipment Co., Ltd. His research interest covers natural gas liquefaction process and automatic control.)