

医学图像的边缘克隆

张光玉, 朱维乐

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】医学图像边缘检测在医学图像处理中起着非常重要的作用, 基于克隆技术提出一种医学图像边缘克隆算法, 首先分析克隆技术并进行数学建模, 在此基础上, 分析医学图像边缘克隆原理, 提出激活因子猜想, 通过激活因子, 构造出权重因子函数。然后, 利用复制理论, 得到克隆函数。结合人类视觉特性, 给出边缘克隆的阈值选取方法。最后给出仿真结果, 并与Canny算子检测的边缘进行比较, 证明算法具有更好的边缘识别性能。

关键词 克隆技术; 数学建模; 视觉特性; 边缘检测

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

Edge Clone of Medical Image

ZHANG Guang-yu, ZHU Wei-le

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Edge detection of medical image is important in medical image processing. We suggested an algorithm of medical image edge clone based on clone technique. First of all, we analyzed the principal of clone technique and built mathematical model of clone technique, then we analyzed principal of edge clone, supposed activation gene and constructed weight gene function. We obtained clone function by using duplicating theory. With human visual properties, method of threshold choice in edge clone was suggested. As a result, simulation experiments compare with the result of edge detection of Canny Operator, and demonstrate better edge recognition capability of the algorithm.

Key words clone technique; mathematical modeling; visual properties; edge detection

克隆技术已成为生命科学研究热点。将克隆技术用于图像处理, 许多学者做了开创性工作, 文献[1]将克隆技术用于人脸三维动画, 文献[2]将克隆技术用于人体动画和人脸克隆, 都取得较好效果。本文将克隆技术用于医学图像边缘检测, 提出一种边缘克隆方法。

1 克隆技术及克隆数学模型

克隆是英文单词clone的音译, 本身含义是无性繁殖, 在微生物和植物中, 无性繁殖是极为正常的繁殖方式, 在低等无脊椎动物中也具有无性繁殖现象, 而脊椎动物在自然情况下无此种繁殖方式^[3]。动物克隆是用人工方法繁殖生物后代的一种方式, 是将一个双倍体细胞核与一个已经去掉细胞核的卵子重组在一起, 在一定激活条件下, 形成具有自我复制功能的核供体, 并最终发育成与供核个体遗传信息一样的动物个体^[4,5]。可见克隆是一种遗传信息的自我复制。

为了将克隆技术用于医学图像边缘检测, 首先建立数学模型。设 $\xi = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$, 其中 $S_n = \{a, b_n\}$, $a = a_1 a_2 \dots a_k$, $b_n = b_{n1} b_{n2} \dots b_{nk}$, ξ 为集类, 表示完整的克隆生物个体, S_n 为集合, 表示生物

收稿时间: 2004-05-17

资助项目: 国防科技预研基金(51417010301DZ02)

作者简介: 张光玉(1968-), 男, 博士生, 主要从事计算机视觉、图像处理及克隆技术方面的研究。

体中具有某种信息表现形式的单元, a 为生物个体具有的遗传信息, a_k 为 a 中第 k 条信息, b_n 为 S_n 中包含的激活因子, b_{nk} 对应 a_k , 是二进制数, 取0或1, 当 $b_{nk} = 0$ 时, a_k 处于非激活状态, 反之, a_k 处于激活状态, 设 $c_n = a\Delta b_n$, 其中 Δ 表示按位相乘(例如, $a = a_1a_2a_3a_4a_5$, $b = 10100$, 则 $a\Delta b = a_10a_300$), c_n 表示 S_n 具有的信息表现形式, k, n 为自然数, 取有限个数。设 $Cl(\pm g)$ 表示复制映射, g 取0或1, 克隆过程中, 若 $Cl(b_{ni} + 0) = b_{ni}$, 称为位偶对称复制, $Cl(b_{ni} - 0) = b_{-ni}$ 称为位奇对称复制, 当 $b_{ni} = 0$ 时, $b_{-ni} = 1$, 当 $b_{ni} = 1$ 时, $b_{-ni} = 0$, i 为自然数, 若 $Cl(a+1) = a$, 称为信息的正平移复制。因此, 生物的克隆过程可描述为: 从成熟的生物个体中得到遗传信息 a 和激活因子 b_i , 将 a 与 b_i 结合, 在一定激活条件下, 激活因子 b_i 被重新编程并回到初始状态 b_1 , 遗传信息 a 和激活因子 b_1 进一步结合最终形成具有自我复制功能的核供体 $\{a, b_1\}$, a 经过信息的正平移复制得到 a , b_i 的每一位都进行位偶对称复制得到 b_i , b_i 每经过若干次复制, 其中的某些位会进行奇对称复制, 使激活因子发生突变, 这样不断进行复制最终形成克隆生物个体 $\{\{a, b_1\}, \{a, b_2\}, \dots, \{a, b_n\}\}$ 。可见, 克隆得到的生物个体同核供体相比, 遗传信息并未改变, 只有信息的表现形式发生了改变。也可以理解为: 在生物克隆过程中遗传信息在激活因子的作用下, 逐渐得到表达, 生物的各种特征也逐渐显示出来。克隆是一种遗传信息的再现过程。

2 图像边缘克隆

2.1 图像边缘克隆原理

一幅图像可看作是一个矩阵, 设:

$$A_r = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nm} \end{bmatrix}$$

式中 $c_{ij} = a\Delta b_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$, A_r 表示由图像的像素值组成的矩阵, c_{ij} 为 (i, j) 处像素值, a 为图像所携带的信息, b_{ij} 为 (i, j) 处像素值对应的激活因子, 假设图像的像素值可看作图像信息的表现形式, 一幅图像所携带的信息可用 $a = 1111111$ 表示, 则 $b_{ij} = c_{ij}$, 即 (i, j) 处像素值对应的激活因子等于该点处的像素值。激活因子变化时, 图像的信息表现形式也发生变化, 图像的灰度改变, 从一个区域跃变为另一个区域。可见激活因子突变处是图像边缘。图像的信息是通过图像中的激活因子表达出来, 图像边缘处的像素值是图像信息的主要表现形式。为讨论方便, 设图像的激活因子函数 $f(x) = kU(x - x_0)$, $U(x - x_0)$ 为单位阶跃函数, 当 $x \geq x_0$ 时, $U(x - x_0) = 1$, $x < x_0$ 时, $U(x - x_0) = 0$, k 为常数, 可见 $x = x_0$ 处是图像边缘, 为了构造图像边缘的克隆函数 $\phi(x)$, 首先令:

$$g(x) = f(x) \otimes \phi(x) \quad (1)$$

两边求得:

$$\frac{dg(x)}{dx} = \frac{df(x)}{dx} \otimes \phi(x) = k\phi(x - x_0) \quad (2)$$

式中 \otimes 为卷积运算符, 令 $dg(x)/dx = k\phi(x - x_0) = 0$, 要使 $g(x)$ 在 $x = x_0$ 点取得一个局部极值, $\phi(x)$ 必须满足 $\phi(0) = 0$ 。因此, 只有找到满足 $\phi(0) = 0$ 的克隆函数 $\phi(x)$, 求式(1)的极值点, 找出激活因子函数跃变点, 才能克隆出图像边缘点。

图像克隆可看作是某种图像信息和激活因子的复制, 在克隆过程中, 图像信息不发生变化, 只有激活因子在图像边缘处突变。图像信息的主要集中在图像的边缘处, 图像通过边缘将主要信息和特征表达出来。可见, 激活因子在克隆过程中起着关键的作用, 不妨通过激活因子构造克隆函数, 假设图像激活因子可表示为 $b = 2^k * b_k + 2^{k-1} * b_{k-1} + \dots + 2^0 * b_0$, $k = 1, 2, \dots, 7$, 其中 2^k 为权重因子, b_k 为二进制数, 取值为0或1,

由此构造一种在区间 $[0, T]$ 上的权重因子函数 $\phi_1(\chi) = \begin{cases} 0 & \chi = 0 \\ c * 2^{\chi-T} & 0 < \chi \leq T \end{cases}$, 其中, c, T 均为常数, $\phi_1(\chi)$ 经

比例奇对称复制得函数 $\phi_2(\chi) = -\phi_1(T - \chi)$ ^[6]。由 $\phi_1(\chi)$ 和 $\phi_2(\chi)$ 构造克隆函数 $\phi(x)$, 不妨令:

$$\phi(\chi) = \begin{cases} \phi_1(\chi+T) & -T \leq \chi < 0 \\ 0 & \chi = 0 \\ \phi_2(\chi) & 0 < \chi \leq T \end{cases} \quad (3)$$

由式(1)、(2)可知, 克隆函数 $\phi(x)$ 可以检测出激活因子的突变点, 由人类视觉特性可知, 只有当图像边缘的灰度差超过某个阈值, 人眼才能识别出此边缘, 因此选择适当的阈值才能克隆出适合人类视觉特性的图像边缘。由式(2)、(3)知, $g(x)$ 在 $x = x_0$ 点取得极值, 由式(1)得:

$$g(x_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)\phi(x_0 - \tau)d\tau = \int_0^T k\phi_1(\tau)d\tau \quad (4)$$

式中 k 是点 x_0 两侧对应点的激活因子差值, 即图像中相应像素点两侧的灰度差; $g(x)$ 的极值点是激活因子突变点。人眼虽然对图像边缘刚能识别的灰度差随不同灰度背景变化, 但在一个很大变化范围内最小值保持不变, 由式(4)可得医学图像边缘克隆中的阈值选取公式:

$$T_c = \int_0^T k_c \phi_1(t)dt \quad (5)$$

式中 T_c 表示要选取的阈值; $k_c = k_1 \Delta c$, k_1 是常数, 可取 0.5~2.5 之间的任何值, Δc 是人眼对灰度图像边缘刚能识别的最小灰度差, 通常取 8。

2.2 算法实现

用双阈值法检测图像边缘^[7], 对式(3)离散化得克隆系数:

$$\phi = \{0, 2c, 2^2c, \dots, 2^{m-1}c, 0, -2^{m-1}c, \dots, -2^2c, -2c, 0\} \quad (6)$$

式中 m 为大于 1 的整数; c 为小于 1 的常数。由式(5)得最小阈值 $T_{\min} = 8k_{\min} \sum_{n=1}^{m-1} 2^n c$, 最大阈值 $T_{\max} = 8k_{\max} \sum_{n=1}^{m-1} 2^n c$, 然后执行如下的操作: 1) 根据克隆系数 ϕ 和式(1)对所给定图像每一行执行滤波; 2) 滤波极值的模中大于 T_{\min} 的点作为极值点保留, 其他点置为零; 3) 对给定图像的每一列重复步骤 1)、2); 4) 将得到的极值点相或得极值点图像 A_{r1} ; 5) 将阈值换成 T_{\max} , 滤波极值的模中大于 T_{\max} 的点作为边缘点, 重复步骤 1)、3)、4), 得边缘图像 A_{r2} 。

4	3	2
5	0	1
6	7	8

图1 腐蚀模板

4	3	2
5	0	1
6	7	8

图2 膨胀模板

这样克隆出的边缘图像 A_{r2} 中, 存在着许多过克隆点和不连续的边缘, 为了改善这种情况, 利用如图 1 所示的 3×3 模板首先对 A_{r2} 进行腐蚀, 具体方法是: 对 A_{r2} 的每一行进行逐点检测, 如序号 0 所对应的点为边缘点, 检测模板中其他序号所对应的边缘点总个数, 如大于 2, 保留所有边缘点, 否则将序号 0 所对应的点腐蚀掉, 如序号 0 所对应的点不是边缘点, 不检测模板中其他序号所对应的

点, 经腐蚀后得边缘图像 A_3 。由于 A_3 中还存在许多不连续的边缘, 必须对 A_3 进行膨胀, 首先定义两极值点之间的相关系数:

$$\rho_i = 1 - \frac{|g_i - g_0|}{|g_i| + |g_0|} \quad (7)$$

式中 ρ_i 为膨胀模板中序号 i 所对应点与序号 0 所对应点的相关系数; g_i 为序号 i 所对应点的极值; g_0 为序号 0 所对应点的极值。利用如图 2 所示的 3×3 模板对 A_3 的每一行进行逐点检测, 如序号 0 所对应的点为边缘点, 检测序号 1、6、7、8 所对应的边缘点总个数, 如为 0, 检测极值点图像 A_{r1} 中序号 1、6、7、8 所对应的极值点个数, 如大于 0, 求这些点与序号 0 所对应点如式(7)所示的相关系数, 将最大相关系数所对应的点膨胀为边缘点, 否则, 原边缘点不变, 如果序号 0 所对应的点不是边缘点, 不检测模板中其他序号所对应的点。同理, 也可检测序号 2、3、4、5 所对应的点, 对图像 A_3 膨胀。膨胀后的图像 A_3 就是最后的边缘图像。

3 结果与比较

本文对算法进行计算机仿真实验, 在式(6)中, 取 $m=6$, $c=0.416\ 701$, 计算出克隆系数 ϕ , $\phi=\{0, 0.026\ 0, 0.052\ 1, 0.104\ 2, 0.208\ 4, 0.416\ 7, -0.208\ 4, -0.104\ 2, -0.052\ 1, -0.026\ 0, 0\}$ 。

取 $k_{\min}=1.0$, $k_{\max}=1.5$, 利用式(1)对如图3所示的医学图像bacteria进行了边缘克隆, 图4是边缘克隆结果, 图5是Canny算子检测结果, 还对其他大量的医学图像进行了边缘克隆, 并同Canny算子检测结果进行了比较, 证明算法具有更好的边缘识别能力, 且克隆的边缘更准确。



图3 bacteria原始医学图像

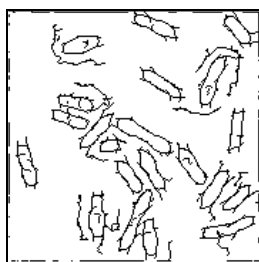


图4 本文算法检测结果

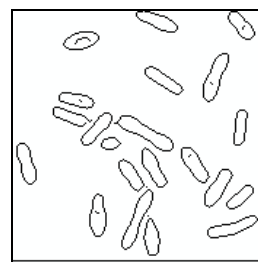


图5 Canny算子检测结果

4 结论

医学图像边缘检测在医学图像处理中起着非常重要的作用, 本文将克隆技术应用于医学图像边缘检测, 提出一种边缘克隆方法。文中首先分析克隆技术, 建立克隆数学模型, 分析边缘克隆原理, 提出激活因子猜想, 通过激活因子, 构造出权重因子函数, 然后, 利用复制理论, 得到克隆函数。结合人类视觉特性, 给出边缘克隆阈值选取方法, 最后给出计算机仿真结果, 并与Canny检测算子的实验结果比较, 证明算法具有更好的边缘识别性能, 提取的边缘更准确。将克隆技术应用于医学图像处理, 本文只作了初步的研究和探索, 还有许多问题需要研究和解决。

参 考 文 献

- [1] Escher M, Thalmann N M. Automatic 3D cloning and real-time animation of a human face[A]. Computer Animation'97[C]. Geneva Switzerland, 1997. 58-66
- [2] Magnenat-Thalmann N, Moccozet L. Some new challenging research topics in human animation[A]. Computer Graphics, Spring Conference[C]. Budmevice Slovakia, 2001. 12-20
- [3] Wilmut I, Schnieke A E, Mc Whir J, et al. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells[J]. Nature, 1997, 385-810
- [4] 韩之明. 动物克隆[J]. 生物学通报, 2001, 36(7): 3-5
- [5] 于政权, 李 宁. 动物克隆的机理与研究进展[J]. 生物技术通讯, 2001, 12(4): 324-328
- [6] 张其善, 金明录. 信号复制生成理论及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001. 3-4
- [7] Canny J F. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, PAMI-8(6): 679-98

编 辑 徐安玉