

14

基于局部兴奋全局抑制振荡网络的图像分割

1) 杨小康 2) 余波 1) 张文军 1) 余松煜

(1) 上海交通大学图像通信与信息处理研究所, 上海, 200030;

(2) 复旦大学电子工程系, 上海, 200433)

TN 919.8

摘要 将局部兴奋全局抑制振荡网络(Locally Excitatory Globally Inhibitory Oscillator Network, 简称 LEGION)应用于图像分割, 将侧电势引入振荡子的动态行为, 有效地克服了噪声对主要区域的影响. 用含噪声的二值图模拟了 LEGION 的时间演化. 根据大脑区域分割特征聚合原理的相近性、相似性和连通性原则, 设计了分割灰度图的网络连接权. 用 HSI 色空间设计了突出 H 分量的连接权, 得到了比基于 RGB 色空间分割更为满意的分割效果.

关键词 图像分割, 神经网络, 时间相关性, 局部兴奋全局抑制振荡网络.

引言

动物的视觉神经系统为基于神经网络的图像分割技术提供了参照物. 大脑生理学中的区域分割特征聚合原理^[1]是基于神经网络的图像分割的理论基础, 其基本思想是存在同一物体各种特征的时间相关性可以编码大脑中一个物体的全部信息. 据此, Wang 和 Terman 提出了 LEGION 网络^[2,3], 解决了实现神经网络基本单元之间时间同步和反同步问题.

本文将侧电势引入振荡子的动态行为, 解决了噪声图像分割中存在的碎片问题, 使得 LEGION 适用于自然图像. 用含噪声的二值图模拟了 LEGION 的时间演化. 根据区域分割特征聚合原理的相近性、相似性和连通性原则, 设计了分割灰度图的网络连接权. 采用 HSI 色空间设计了突出 H 分量的连接权, 得到比基于 RGB 色空间分割更好的效果.

1 模型描述

LEGION 的基本元素是振荡子和全局抑制子^[2], 描述单个振荡子的微分方程为

$$\dot{x}_i = 3x_i - x_i^3 + 2 - y_i + I_i H(P_i + \exp(-\alpha t) - \theta_x) + S_i + \rho, \quad (1a)$$

$$\dot{y}_i = \epsilon(\gamma(1 + \tanh(x_i/\beta)) - y_i), \quad (1b)$$

式中, x_i 和 y_i 分别为振荡子内部兴奋神经元和抑制神经元的活性, $H(\cdot)$ 为阶跃函数, I_i 为振荡子受到的外部刺激, S_i 为振荡子 O_i 与其它振荡子之间的耦合, ρ 为高斯噪声的幅度, ϵ 为一个小的正数, 变量 P_i 称为振荡子 O_i 的侧电势, 引入侧电势的目的是为了更好地区分图像中的主要区域和噪声碎片. 其基本思想是区域中必须包含一个被称为领导的振荡子, 它领导主要区域中振荡子块的行为. P_i 满足以下微分方程:

稿件收到日期 1998-05-19, 修改稿收到日期 1998-09-17

$$P_i = \lambda(1 - P_i)H \sum_{k \in N(i)} T_{ik}H(X_k - \theta_k) - \theta_p) - \mu P_i. \quad (2)$$

式中, $\lambda > 0$, T_{ik} 是振荡子 O_i 与 O_k 的固定连接权, 设 $N(i)$ 是振荡子 O_i 的邻域, 式(1a)中的耦合项 S_i 定义为

$$S_i = \sum_{k \in N(i)} W_{ik}H(X_k - \theta_k) - W_z H(z - \theta_{zx}). \quad (3)$$

式中 W_{ik} 是 O_i 与 O_k 之间的动态连接权, W_z 是 Z 与各振荡子的连接权, θ_{zx} 是能够抑制各振荡子的阈值, z 是全局抑制子的活性, 它满足

$$z = \varphi(\sigma - z). \quad (4)$$

在 LEGION 网络中, 只要有一个振荡子进入兴奋状态, 这个振荡子就触发全局抑制子对所有振荡子的抑制. 另一方面, 这个振荡子将兴奋向其领域扩散, 而其领域又向领域的领域扩散, 依次类推. 这样, LEGION 就形成了所谓的局部兴奋全局抑制, 同一物体对应的振荡子块内部趋于同步, 不同物体的振荡子块之间趋于反同步. 同步的振荡子块代表物体在场景中属于同一区域, 而振荡子块之间的反同步则代表它们分别属于场景中的不同区域.

2 计算机模拟

图 1(a) 是由 S、J、T 和 U 加入 10% 噪声的 64×64 二值图. 为了模拟 LEGION 进行图像分割的时间动态演化, 我们构造了一个 64×64 二维栅格四近邻的 LEGION, 方程 1~4 中参数设置为: $I_i = 0.2$, $\epsilon = 0.02$, $\alpha = 0.005$, $\beta = 0.1$, $\gamma = 6.5$, $\theta = 0.9$, $\lambda = 0.1$, $\theta_z = -0.5$, $\theta_p = 7.0$, $W_z = 1.5$, $\eta = 1.0$, $\varphi = 3.0$, $\theta_{zx} = \theta_{xz} = 0.1$, $T_{ik} = 2.0$, $W_{ik} = 2.5$. 图 1(b)~(f) 表示整个振荡子平面动态演化的不同时期, 图 1(b) 表示振荡子平面动态演化的初始状态, (c)~(f) 分别表示字母 T、S、U 和 J 以稳定的周期依次“弹出”.

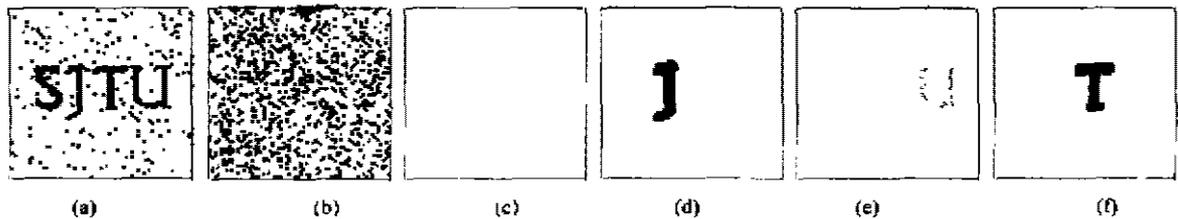


图 1 整个振荡子平面的时间演化
Fig. 1 Temporal evolution of stimulation oscillator

图 2(a)~(d) 分别表示字母 T、S、U 和 J 所对应的振荡子块内部的时间演化, 在 4 个时间周期后, 块内部振荡子块达到较好的同步“锁相”, 不同振荡子块之间相位差保持恒定. 图 2(e) 表示背景噪声所对应的振荡子, 在 4 个周期后, 被全面抑制, (f) 表示全局抑制子的时间演化.

3 LEGION 用于自然图像的分割

3.1 灰度图的分割

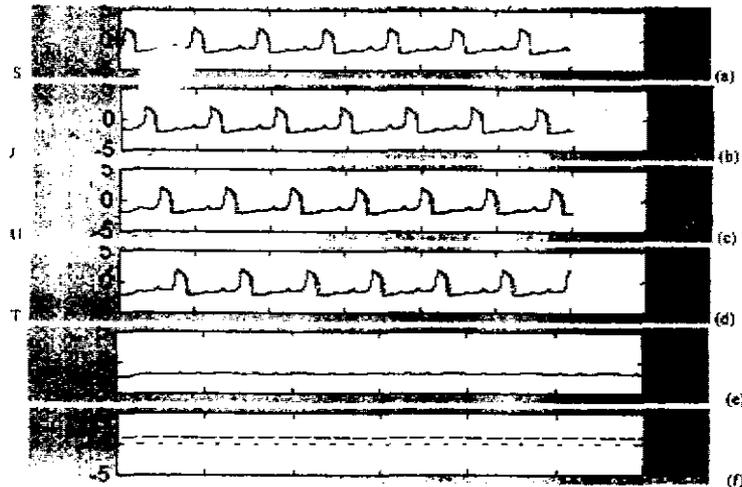


图 2 LEGION 振荡子块的时间演化

Fig. 2 Snapshot of LEGION at various stage of dynamic evolution

用 LEGION 分割灰度图与分割二值图之间的主要区别在于如何设计振荡子之间的动态连接权. 根据区域分割特征聚合原理的相近性、相似性和连通性原则, 有于分割灰度图的 LEGION 的动态连接权 W_{ik} 可定义为

$$W_{ik} = \begin{cases} G_M - l|G_i - G_k|, & 0 \leq |G_i - G_k| < G_M/3 \\ G_M - |G_i - G_k|, & G_M/3 \leq |G_i - G_k| < 2G_M/3 \\ G_M - |G_i - G_k|/l, & 2G_M/3 \leq |G_i - G_k| < G_M \end{cases} \quad k \in N(i) \quad (5)$$

式(5)中 G_i 是像素 i 的灰度值, G_M 为最大的可能灰度值, l 参数用于调整相信像素相似性, 并有 $l \leq 1$. 在保证连通性的前提下, 方程(5)中相邻像素灰度差属于 $[0, G_M/3]$, 即像素相似性较大时, 参数 l 放大灰度差, 增大相邻振荡子之间的动态连接权 W_{ik} 的差别, 有利于细节的分割, 相邻像素灰度差属于 $[2G_M/3, G_M]$, 即像素相似性较小时, 参数 l 缩小灰度差, 相当于一平滑滤波器以减小高频噪声的干扰.

在自然场景分割中, 分割的结果往往不是唯一的, 这在本质上也符合动物的视觉特征. 因此, 场景分割系统应具备可伸缩性. 而 LEGION 正具备这样的可伸缩性, 该性质集中反映在两个重要的参数 θ_p 和 W_s 上. 图 3(a) 是 128×128 的灰度图; (b) 是在 $W_s = 100, \theta_p = 1000$ 时, 原图被分割成 23 个区域; (c) 是在 $W_s = 130, \theta_p = 1000$ 时, 原图被分割成 40 个区域; (d) 是在 $W_s = 100, \theta_p = 1500$ 时, 原图被分割成 15 个区域. 实验结果表明: θ_p 越大, 网络产生越少的区域; W_s 越大, 网络分割出越多越小的区域.

3.2 彩色图的分割

在彩色图像处理中, RGB 系统是彩色图像数字化的最经典的物理颜色系统, 但 RGB 系统与人眼彩色视觉神经模型相去甚远, 本文采用较符合人眼视觉特性^[4]的 HSI 系统.

根据实验, 在利用 HSI 色空间分割彩色图时, 通常情况下, H 分量的信息比 I 或 S 分量

的信息更有利于分割. 在对彩色图进行分割的 LEGION 中, 输入到振荡子 O_i 的特征 C_i 可以定义为

$$C_i = \frac{1}{3} (P_H \frac{H_i}{H_M} + P_S \frac{S_i}{S_M} + P_I \frac{I_i}{I_M}). \quad (6)$$

式中 H_M, S_M 和 I_M 分别是 H, S 和 I 最大的可能值; P_H, P_S, P_I 满足 $P_S = P_I, 0 < P_S < P_H < 1$ 且 $P_H + P_S + P_I = 1$. 振荡子之间的动态连接权 W_k 与灰度图的情况类似.

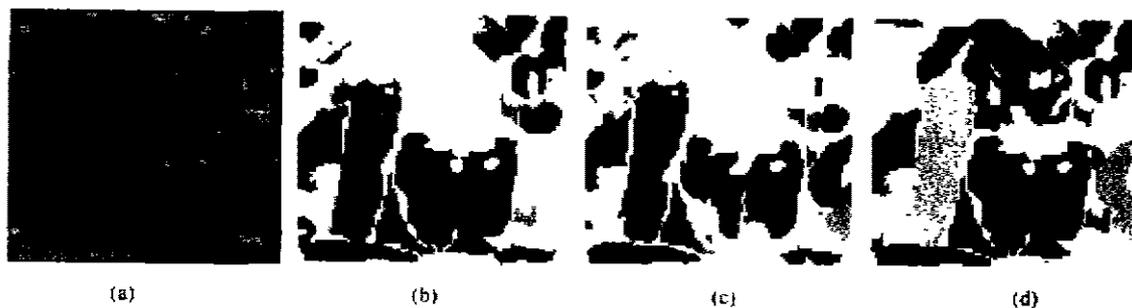


图3 灰度图的分割

Fig. 3 Segmentation of a gray level image

图4(a)是 128×128 的 256 色原始图, (b) 是基于 RGB 色空间^[5]的分割结果, (c) 是基于 HSI 色空间的分割结果. 实验结果表明: 对同一场景而言, 基于 HSI 色空间的分割效果, 在连通性、完整性和精确性等各方面, 都优于基于 RGB 色空间的分割效果.



图4 彩色图的分割

Fig. 4 Segmentation of a color image

4 结论

我们认为基于侧电势的 LEGION 对灰度图和彩色图进行分割能取得良好的效果, 它具备场景分割可伸缩性的优点, 是实现自然图像分割的有效技术手段. 其突出的优点还表现在每个振荡子具有完全的并行性, 非常适用于场景的实时处理, 并且其规整简单的网络结构有利于 VLSI 芯片的实现.

REFERENCES

- 1 Rock I, Palmer S. *SCI. AM.*, 1990, **263**:84—9
- 2 Terman D, Wang D. *Physica D*, 1995, **81**:148—176
- 3 Wang D, Terman D. *Neural Computation*, 1997, **9**:805—836
- 4 Ohta Y I, Kanade T, Sakai T. *Computer Graphics and Image Processing*, 1980, **13**:222—241
- 5 Russ J C. *The Image Processing Handbook*, second edition. N. W. . Boca Raton, CRC Press, 1995. 350—353

IMAGE SEGMENTATION BASED ON LOCALLY EXCITATORY GLOBALLY INHIBITORY OSCILLATOR NETWORK

¹YANG Xiao-Kang ²YU Bo ¹ZHANG Wen-Jun ¹YU Song-Yu

(¹Institute of Image Communication & Information Processing, Shanghai Jiaotong University,
Shanghai 200030, China)

²Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract An image segmentation scheme was presented on the basis of locally excitatory, globally inhibitory oscillator network (LEGION). Based on the concept of the lateral potential, a solution to remove noisy regions in an image was proposed for LEGION. The temporal evolution of every stimulated oscillator and network properties were illustrated by computer simulation. The dynamic connection weight addressing the grouping principles of proximity, similarity and connectedness was setup. Using HSI space, the dynamic connection weight emphasizing the Hue information was established, and better experimental results than that based on RGB space were obtained.

Key words image segmentation, neural network, temporal correlation, LEGION.