

基于细胞神经网的道路图像快速分割算法*

徐国保^{1,2}, 尹怡欣¹, 殷路¹, 郝彦爽¹, 周美娟²

1. 北京科技大学信息工程学院, 北京 100083

E-mail: xuguobao@126.com

2. 广东海洋大学信息学院, 湛江 524088

摘要: 针对非结构化道路的阴影和水迹等环境因素的影响, 利用细胞神经网络并行图像处理能力, 提出一种基于细胞神经网的道路图像快速分割算法。采用细胞神经网的灰度阈值分割, 膨胀腐蚀, 边缘检测等操作。实验结果表明: 该算法具有较强的环境适应能力, 不仅能实现结构化道路和非结构化道路快速分割, 而且能消除阴影和水迹对道路图像分割效果的影响, 快速有效地分割出道路区域。

关键词: 细胞神经网络, 道路检测, 图像分割, 视觉导航

A Fast Road Image Segmentation Algorithm Based on Cellular Neural Networks*

Xu Guobao^{1,2}, Yin Yixin¹, Yin Lu¹, Hao Yanshuang¹, Zhou Meijuan²

1. School of Information Engineering, University of Sci.&Tech. Beijing, Beijing 100083, P.R.China

E-mail: xuguobao@126.com

2. Information School, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, P.R. China

Abstract: The main factors that affect segmentation of unstructured road images are shadows and water marks on the road surface. Taking advantage of the parallel image processing capability of cellular neural networks, a fast algorithm for road image segmentation based on cellular neural networks was proposed. In the algorithm, gray threshold segmentation, dilation and erosion, and edge detection using CNN are performed successively. Experimental results demonstrated that the algorithm has strong environmental adaptability, which can fast segment structured and unstructured roads. The proposed method can segment the lane area quickly, effectively and robustly, and can eliminate the influence of shadows and water marks on the segmentation of road images.

Key Words: Cellular Neural Networks, Road Detection, Image Segmentation, Vision Navigation

1 引言(Introduction)

视觉导航技术是移动机器人的关键技术, 国内外许多学者在这方面做了大量研究工作^[1,2]。机器视觉对各种道路场景的快速识别和理解能力较差是目前研究视觉导航遇到的主要难题, 其原因主要是室外道路环境具有复杂多变性的特点。目前对结构化道路环境的检测和识别算法相对成熟些。相反, 对于非结构化道路环境来说, 由于受光照、阴影和水迹等因素的影响, 其算法研究还有许多有待解决的难题^[3]。

细胞神经网络(Cellular neural / nonlinear network)简称为 CNN, 是一种局部互连的模拟并行信息处理

系统^[4]。它具有高速并行的实时处理能力, 因而, 可利用细胞神经网络来解决图像处理的实时性问题。到目前为止, CNN 已应用于视频信息处理^[5], 模式识别^[6], 移动机器人^[7,8]等研究领域。

本文在没有障碍物这个假设前提下, 研究一般性非结构化道路图像的快速分割算法。利用细胞神经网络并行图像处理能力, 提出一种基于细胞神经网的道路图像快速分割算法。所谓快速是相对于其他分割算法来说, 其处理的系统是具有并行处理能力的 CNN 通用机硬件系统。CNN 分割算法有望真正实现并行处

理, 当然比在 PC 机上串行处理的一般分割算法快得多。

2 细胞神经网络(Cellular Neural Networks)

定义 1 给定整数 r 、 k 、 l 且 $r \geq 0$, $1 \leq k \leq n$, $1 \leq l \leq m$, i 、 j 表示中心细胞 c_{ij} 在网络中的位置。若 N_r 为网络中满足下式所有细胞的集合, 则称 N_r 为中心细胞 c_{ij} 的 r 阶邻域:

$$N_r(i, j) = \{c_{kl} | \max(|k-i|, |l-j|) \leq r\} \quad (1)$$

并将 N_r 内不含中心细胞 C_{ij} 的所有细胞集合称为 C_{ij} 的空心 r 阶邻域表示为 N_r^0 。

定义 2 对于 m 、 n 、 r 给定的一个细胞神经网络, 如果某一细胞的 r 阶邻域中不包含边界像素点, 则称其为常规细胞, 否则称为边界细胞。

定义 3 给定 2 维 $m \times n$ 细胞神经网络, 有 $m \times n$ 个空间离散的细胞排列成 m 行 n 列, 称位于网络中第 i 行第 j 列细胞为 c_{ij} , 则

① 细胞 c_{ij} 动力学特性通过状态方程描述如下:

$$C \frac{dx_{ij}(t)}{dt} = -\frac{1}{R_x} x_{ij}(t) + \sum_{kl \in N_r} A_{ij,kl} y_{kl}(t) + \sum_{kl \in N_r} B_{ij,kl} u_{kl} + z \quad (2)$$

不失一般性, 通常令 C 和 R_x 为 1。

② 细胞 c_{ij} 的输出方程为

* 此项工作得到国家自然科学基金资助, 项目批准号: 60374032。

$$y_{ij}(t) = f(x_{ij}(t)) = 0.5 \left[|x_{ij}(t) + 1| - |x_{ij}(t) - 1| \right] \quad (3)$$

以上各式中 $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$, $i-r \leq l \leq i+r$, $j-r \leq k \leq j+r$; $x_{ij}(t), u_{ij}(t), y_{ij}(t)$ 分别代表细胞 c_{ij} 的状态变量, 输入变量和输出变量, z 为阈值, $A_{ij,kl}$ 称为线性反馈模板, $B_{ij,kl}$ 称为线性控制模板, 且满足限制条件 $|x_{ij}(0)| \leq 1, |u_{ij}| \leq 1$ 。

一个细胞神经网络细胞的运算结构可以由图 1 直观描述。

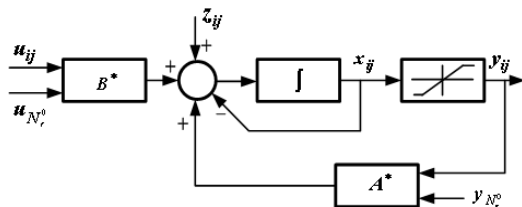


图 1 细胞运算结构图
Fig.1 Cellular operation frame

3 基于 CNN 的道路图像分割算法(Road Images Segmentation Algorithm Based on the CNN)

基于 CNN 的道路图像分割通常包含两种情况: 一种是分道线清晰的结构化道路图像; 另一种是非结构化道路图像。对于第一种情况比较简单, 一般通过灰度阈值分割就能较好地分割提取出分道线。相反, 对于后一种情况就比较复杂, 一般需要通过灰度阈值化, 腐蚀膨胀, 边缘提取等几步, 其中每一步又通过若干模块运算来实现。图 2 是本文提出的基于 CNN 图像分割算法的流程图。下面简单介绍下各模块的基本功能及如何在 CNN 中如何实现。

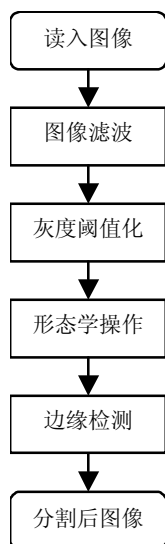


图 2 CNN 分割算法流程图
Fig.2 CNN algorithm Flowchart

(1) 图像滤波

由于机器人道路图像不可避免都存在一些噪声, 因此在灰度阈值分割前应该滤波去除掉, 否则会后续

的图像分割。在 CNN 里我们采用了凸性恢复操作, 较好地实现噪声去除。

(2) 灰度阈值化及边界线提取

由于结构化道路路面图像灰度具有相似性, 且分道线的灰度一般比路面大, 因而, 可采用灰度阈值分割提取分道线。

阈值 z^* 的大小直接影响分割效果。一般来说 z^* 越小, 越易过分割; 相反 z^* 越大, 越容易欠分割。对于分道线灰度比较大的结构化道路分割, 可以选取阈值 z^* 大些, 如 0.4。相反, 由于非结构化道路路面图像灰度较暗, 可选取阈值 z^* 小些, 这样基本上可以分割出道路区域和非道路区域。

(3) 腐蚀和膨胀

灰度道路图像阈值化后成为二值图像, 不可避免存在一些不必要的无关信息, 我们采用了数学形态学相应方法(腐蚀、膨胀等)可以去除。

(4) 边缘检测

为了较好地得到道路边缘, 需先空洞填充运算, 之后再作边缘检测运算。

以上是 CNN 图像快速分割算法的几个重要环节。接下来我们通过实验检测该分割算法的性能。

4 实验结果与分析 (Experimental Results and Discussion)

为了验证本文提出算法的有效性和鲁棒性, 对于不同场景的道路图像进行分割实验。实验的平台和系统为: 在 CPU 为 Intel Pentium 4 1.7 GHz, 内存 512 MB 的 PC 机上, 以 window xp 操作系统为平台。采用 Analogic Computers Ltd. 的 Aladdin V1.3 Visual mouse Platform 细胞神经网络系统。

对于结构化道路图像, 提取道路的分道线比较简单。选用合适的阈值, 进行灰度阈值分割就能实现。图 3(a) 为结构化道路图像, 采用 CNN 灰度阈值分割, 提取出分道线如图 3(b)。从结果表明该算法能简单快速实现结构化道路分道线的提取。

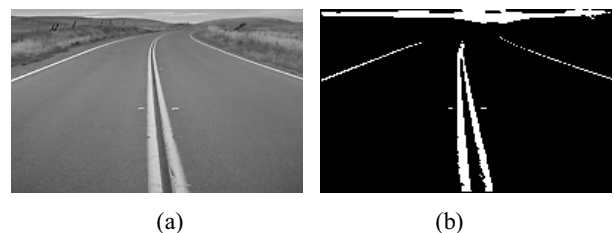


图 3 CNN 结构化道路图像分割

Fig.3 CNN structured road segmentation

由于非结构化道路路面结构没有规律, 路边的环境变化大, 一般分割算法很难实现快速有效地分割。本文的基于 CNN 图像快速分割算法结果如下所示。图 4(a) 为非结构化道路图像, 图 4(b) 为 CNN 灰度阈值分割。图 4(c) 为阈值分割后经过膨胀处理的结果。图 4(d) 为阈值分割后, 先腐蚀后膨胀处理的结果。图 4(e) 为道路边缘检测的结果。从实验结果可知, 该算法能快速地实现非结构化道路路面的分割和路边缘

的检测。

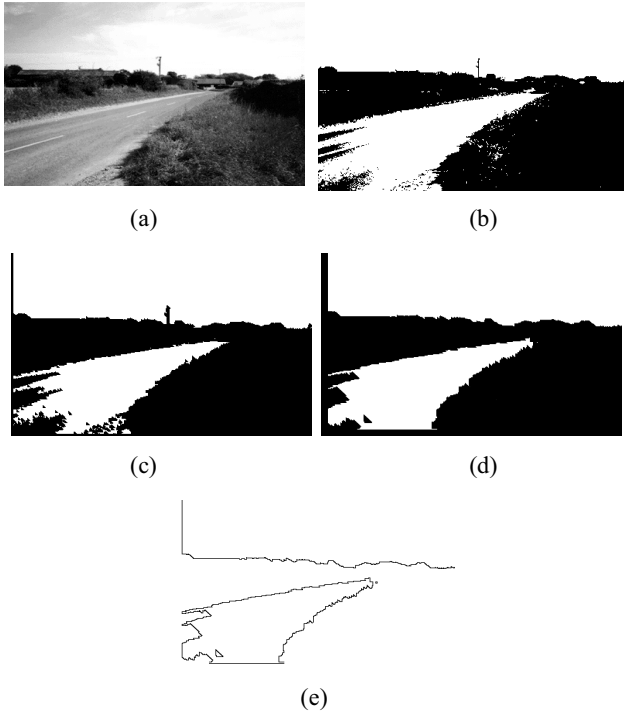


图4 CNN非结构化道路图像分割
Fig.4 CNN unstructured road segmentation

对于非结构化道路分割一个难点问题是有阴影和水迹路面如何分割。选用合适的阈值,本文提出的算法能有效克服阴影和水迹对分割的影响。图5(a)为有阴影的非结构化道路图像,对于有阴影的道路如采用 $z=0$ 的阈值分割,结果为图5(b)所示。此时将道路的阴影分割为非道路,显然是不合理的。调整阈值 $z=-0.4$,重新灰度阈值分割,结果如图5(c)所示。基本上将道路区域分割出来。对上述分割结果进行凸性恢复滤波去噪操作,结果如图5(d)所示。对阈值分割的结果进行处理,利用数学形态学的腐蚀和膨胀,去除不必要的孤立点和空洞,得到较为准确的道路区域模型,如图5(e)所示。

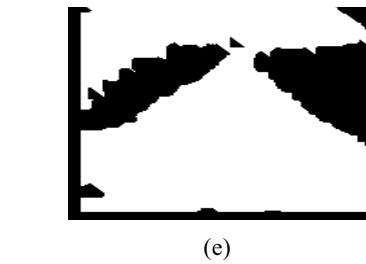
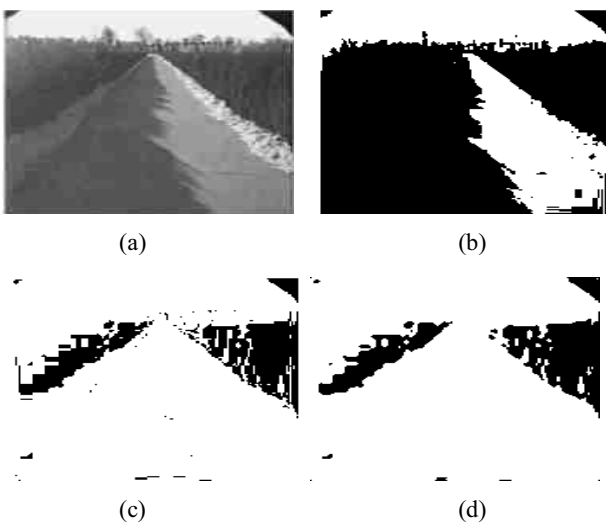


图5 CNN非结构化阴影道路图像分割

Fig.5 CNN unstructured shadow road segmentation

从分割结果可以看出,在没有障碍物的前提下,无论对结构化道路还是一般非结构化道路状况下,本文提出的算法具有较强的环境适应能力,特别是能消除阴影和水迹对图像分割效果的影响,能得到阴影条件下的道路边缘,实现道路的合理分割。

5 结论(Conclusions)

路面的阴影和水迹是影响道路分割效果的主要因素,道路分割的快慢直接影响后续道路的检测和识别的快慢。为此,本文提出基于细胞神经网的道路图像快速分割算法。实验结果表明:本文提出的算法具有较强的环境适应能力,不仅能实现结构化道路快速分割,而且能实现一般非结构化道路快速分割,能快速消除阴影和水迹对道路图像分割效果的影响,分割效果较好。为后续移动机器人在道路上实现自主导航奠定良好的基础。

参考文献(References)

- [1] Vander W, Groen F. Stereo Based Navigation in Unstructured Environments, Hungary// IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001: 2038-2042.
- [2] Hariyama M, Takeuchi T, Kameyama M. VLSI Processor for Reliable Stereo Matching Based on Adaptive Window-Size Selection, Korean// Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001: 1168-1173.
- [3] Guilherme N D, Avinash C K. Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(2): 237-267.
- [4] Chua L O, Yang L. Cellular neural network: theory and applications. IEEE Trans on Circuit and System, CAS, 1988, 35(10): 1257-1290.
- [5] Kananen A, Paasio A, Laiho M. CNN applications from the hardware point of view: Video sequence segmentation. International Journal of Circuit Theory and Applications, 2002, 30: 117-137.
- [6] Costantini G, Casali Daniele, Carota M. CNN based unsupervised pattern classification for linearly and non linearly separable data sets. Transactions on Circuits and Systems, 2005, 4(5): 448-452.
- [7] Tiponut Virgil, Gavrilut I, Căleanu Catalin, Gacsadi A. Development of a neural network guided mobile robot collectivity. Transactions on Circuits and Systems, 2006, 5(6): 805-812.
- [8] Xavier Vilasis-Cardona, Sonia Luengo, Jordi Solsona, et al. Guiding a mobile robot with cellular neural networks. International Journal of Circuit Theory and Applications, 2002, 30(6): 611-624.