

基于算法评价的分割算法优化思想及其系统实现¹

罗惠韬 章毓晋

(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘要 本文提出了一种基于算法评价知识的图象分割算法优化思想,并以该思想为基础设计实现了一个分割算法优化专家系统。从实验结果看,这种思想是可行的并且是实用的,这也为优化不同的图象处理和分析算法提供了一种有效的方案。

关键词 图象分割, 算法评价, 算法优化, 专家系统

中图分类号 TN911.73

1 引言

在图象分析研究中,图象分割是最为活跃的领域之一。图象分割中的一个很大问题是缺少通用的理论体系作指导,现有算法之间的理论背景差别很大。然而诸多截然不同的分割算法的存在,又从客观上说明并不存在一个在所有情况下都最优的“最佳算法”。事实上不同算法在性能上是各有特点的,要把握算法的性能需要对算法进行客观的评价。文献 [1] 对近年来有关分割算法评价研究的主要情况进行了归纳总结并对现有评价方法进行了定量比较从而为在实际中正确地应用各种评价方法提供了依据。在此基础上怎样充分利用已有的分割算法知识以便在各种具体应用条件下取得最佳的分割效果,就成为所关注的问题。为此,我们设计和实现了一个图象分割专家系统——“图象分割算法优化系统”——以借助分割算法的评价知识进行图象分割。

前人在建立图象分析专家系统方面的工作多是广泛意义上的图象视觉系统或面向具体分析应用(如医学)的专用系统,但很少有专门的面向图象分割的专家系统报道。这些系统主要侧重于图象的模型表示,基于分析的场景描述和推理,以及利用目标驱动的控制策略,基本上没有考虑对分析算法本身的性能研究。如文献 [2] 报道了一个图象分割专家系统,但它没有涉及对分割算法的评价,仅在选定分割算法的前题下利用了一些主观的分割先验知识。

本文介绍的分割算法优化系统将算法评价工作与专家系统设计相结合,通过评价获取算法知识,借助专家系统将算法知识用于分割实践。这里我们把工作重点放在图象分割这一图象分析过程中的低层阶段,而不是象通常专家系统一样把重点放在图象内容的高层识别和理解阶段,因而我们对于算法的优化在很大程度上是自底向上(bottom-up)进行的。

2 分割算法评价

算法优化设计可归纳为六个基本问题^[3]: (1) 合理评价图象质量, (2) 选择合适的算法, (3) 选择合适的算法参数, (4) 选择合理的处理流程, (5) 尝试-误差(Trial-and-error),

¹ 1997-06-17 收到, 1997-10-11 定稿

国家教委博士点基金资助课题, 也得到国家自然科学基金部分资助

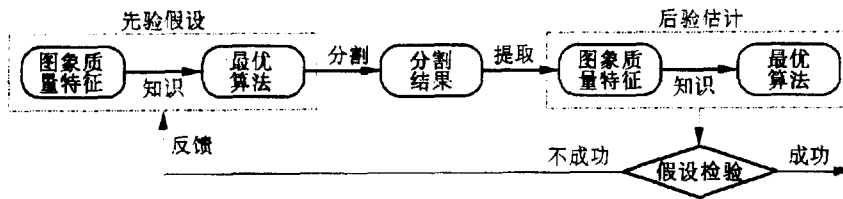


图2 评价知识驱动的假设-检验过程

设的最优算法应用于分割,所以图象分割的结果将不断趋向准确。从这样分割结果得到的对图象特征参数的估计也将逐次接近正确值。与此同时,最优的算法也将最终被选取出来。从整个系统来说,算法通过这个知识驱动的“假设-检验”反馈过程得到了优化。

在这种假设-检验工作方式下,对于分割算法的选择是用先验评价知识指导的。尽管这种指导还要在反馈中不断调整,但它与纯粹的尝试-误差模式不同,它并不需要尝试所有候选算法以得到最优解。由于这里采用的反馈方式基于分割环节的自身调整而不涉及高层目标分析,所以这是一种自底向上的处理过程,因而更为迅速和方便。我们称这一过程为知识导向的迭代过程。

应该看到,在上述优化思路中,对图象特征参数的选择在很大程度上影响着系统性能。这里参数的选择应该从两个方面考虑:首先所选特征参数应该对分割算法有公认的较明确的影响;其次对特征参数的估计,包括先验和后验的,都应该是方便可行的。在本文中,我们选择图象信噪比,目标面积,目标偏心率等参数作为图象合成参数^[5]。另外在机器参数估计的基础上,我们还加入人工参数估计的环节作为系统的补充。

下面我们进一步考虑前述合成图象模型的有效性问题。实际上,我们注意到并不是所有图象都可以严格精确地纳入到我们在图1所采用的图象模型中来,这将对前述先验知识的指导性产生一定的影响。我们从两个方面来看这个问题:

(1) 我们在设计分割评价合成图象模型时,考虑了影响分割的主要因素。这样所选择的图象合成控制参数具有通用的意义和明显的效果,因而基于模型的先验知识对分割具有较强的指导性作用。这种指导性如果不是充分的,至少也是必要的。

(2) 在实际工作中,同一具体应用领域中的待处理图象是具有内在联系的。这种联系实际上可以用一个内在图象模型来表征。尽管这个模型或许不能用显式数学公式来表示,但这并不妨碍我们采用图1的评价框架来获取相应的先验评价知识。从逻辑上讲区别只是以内在实际模型取代合成模型而已。当然在实际模型情况下没有“理想分割”可作为评价的参照,但这可以由人工专家分割近似得到。借助人工专家的知识,机器可以自动调整对评价算法的性能知识,我们称这一过程为“机器学习”。实际学习过程中,可以从待处理图象中选择若干“学习图象”对机器训练,以调整基于合成模型的算法知识,从而有效地提高优化专家系统对应用问题的针对性。

根据以上讨论我们可给出一个如图3所示的评价知识驱动的分割算法优化系统框图。

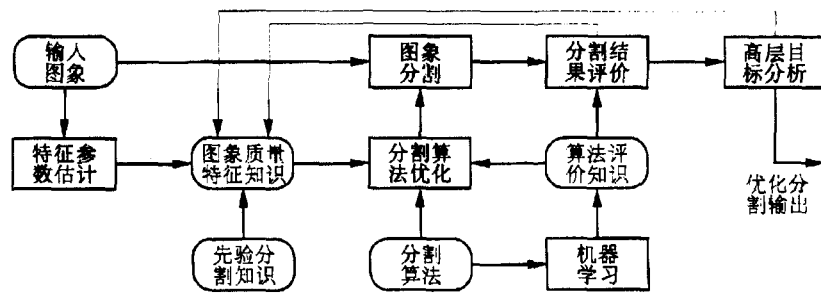


图3 分割算法优化系统框图

4 算法优化系统实现

由于图象分割算法的复杂性，算法评价知识的获取常受到各种限制。为提高优化系统的性能和增进优化系统的效率，我们在优化系统设计中还引进了启发性知识和基于高层目标分析的反馈知识作为评价知识的补充。这样，系统中包含了多种知识源也需要多种控制和反馈机制。基于这种情况，我们设计了基于公共数据黑板的控制系统结构，将控制知识划分为知识源的形式，各知识源通过公共数据黑板交换信息和协调运行。下面分别介绍。

在本系统中，公共数据黑板被分为四个区：图象数据区，图象特征区，控制数据区和分割目标区。其中图象数据区放置由分割算法所处理的图象数据，包括图象灰度，二值区域，二值边界，目标区域和目标边界五类数据。图象特征区放置第3节中估计所得到的图象特征。控制数据区用于记录系统优化运行的历史数据，它对多次反馈有很好的指导性作用。分割目标区记录用户指定的分割区域应该具有的特征，在本系统中，它主要用于激活高层反馈。

我们在本文中把优化系统看作一个控制系统，因而系统知识源即控制知识源，它不涉及符号和语义的推理操作。但是为了系统在逻辑设计上的清晰，我们仍对系统知识源进行建模。在本系统中，我们把所有知识归纳成两大类：第一类为静态知识，这类知识包括算法处理方式，如使用的算子类型；以及各算子间的组合关系，如边界检测→边界连接→边界细化的串行；第二类为动态知识，这类知识指系统中与系统动态状态相关的控制知识，如图象特征分析，算法结果评价，算子选择规划等等。

根据这种分类，我们把算法本身的处理过程以及算法优化的各个控制环节都纳入到系统知识的范畴。在系统实现中，采用“框架”结构来表示静态知识，用产生式规则和相应的附加过程来表示动态知识。另外我们还将产生式规则按其相关性分组，与对应的框架形成复合框架结构。从逻辑上看，复合框架结构中的“槽”(slot)记录了各基本算子间的组织关系，基本性能参数等静态知识；而复合结构中的产生式规则集又反映了算法/算子选择，参数调整，以及反馈等控制策略。这样复合框架结构就较好地构成了本系统中知识源的基本单位。

这里，本文主要参考了文献[6]的结构设计思想和术语，将算法处理抽象为三个概念：

- (1) 图象处理需求 指给定输入图象并对输出结果限制要求的基本过程。例如，给定一幅图象，要提取其中面积在一定范围内的目标，就是一个典型的图象处理需求。
- (2) 图象处理目标 指将图象处理需求转化成面向算子进行处理的具体操作目标的过程。例如选取阈值以进行分割，平滑滤波以消除噪声等。
- (3) 图象处理算子 指可以执行的，用来达到某一图象处理目标的计算方法和实现手段。例如为了完成阈值选取的目标，就可能用到矩保持算子，最小误差算子等。

上述三个概念之间的关系是: 由处理需求可以生成具体的处理目标, 而为了完成一个处理目标又可采用多个处理算子。这里处理算子还可以是复合的, 即一个处理算子又可以分解成多个子处理目标。例如基于边界的分割算子就可以分解成边界检测, 边界连接, 区域填充等若干子目标。在上述三个概念的基础上, 我们选择了三个基本的类框架: 需求框架, 目标框架和算子框架, 作为本系统的基本知识模型框架。在需求框架里将输入数据和输出数据记录在槽中, 而附加的规则库中则包括图象质量特征分析和结果分析两组规则集。在目标框架里将处理数据和参数记录在槽中, 而附加的规则库中则包括算子选择规则和评价规则。在算子框架里将处理数据和算子记录在槽中, 而附加的规则库中则包括参数初始化和算子调整规则。

为实现本系统, 我们选取了两种基本的基于边缘检测的分割算法(它们可用于分割灰度梯度较大的图象)和六种典型的阈值选取算法以构成算法库。这六种阈值选取算法为(参见文献[5]): 改进的直方图法(AHis), 二维最大熵法(Ent), 直方图分析法(His), 最小误差法(Min), 矩保持法(Mom)和简单统计法(Sim)。我们利用图1的评价框架对这些算法进行了评价并将所得到的评价知识纳入到优化系统中。

5 实验和结果

本优化系统在完成后, 已对五类不同方法采集的共40多幅图象进行了测试。实验表明系统在设计预期的范围内能达到满意的优化分割效果。下面我们介绍一个典型的实验, 其中所用测试图为尺寸 256×256 , 灰度256级的癌细胞切片图(见图4(a), 图4(b)为图4(a)的统计直方图)。本例没有借助人机交互(用户估计图象特征), 全部工作均自动完成。

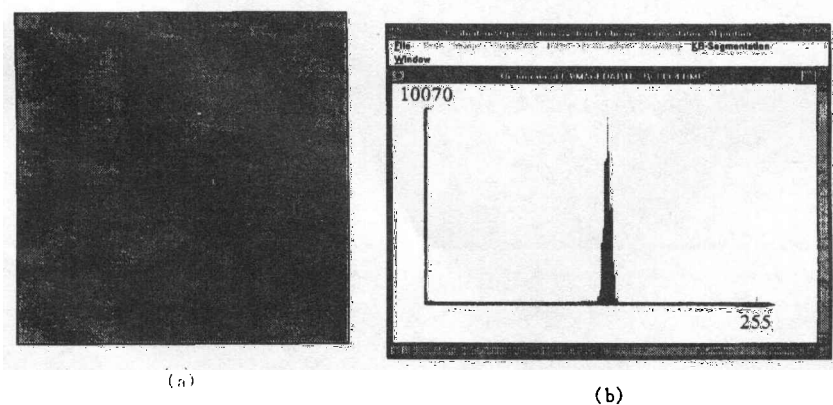


图4 测试图及其直方图

图5(a)–5(f)依次是为了验证系统效果用上述六种阈值分割算法对图4(a)分割而得到的结果。比较图5各图, 显然 His 和 Mom 算法的分割结果比其它算法好, 而且 His 比 Mom 视觉效果上更为准确。

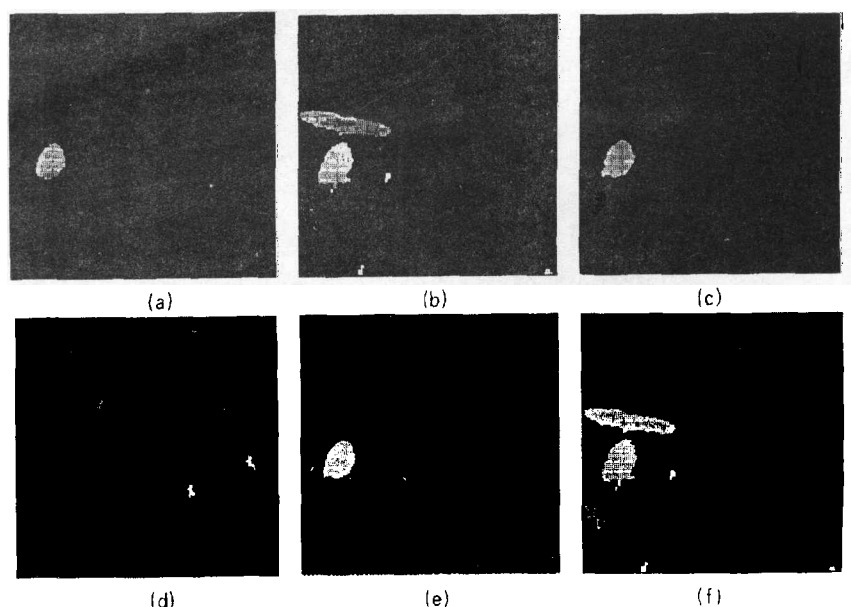


图 5 用六种阈值分割算法 AHis(a), Ent(b), His(c), Min(d), Mom(e), Sim(f) 对图 4(a) 分割的结果

图 6 为优化系统分割时的控制信息输出。可以看出, 优化系统经过了两次分割尝试, 选择了 His 为最优的分割算法。换句话说, 优化系统经过两次分割, 得到了六种候选算法中的最优结果。图 6 还显示了控制系统的调整过程: 首先 Threshold Expert 被激活; 然后 (1) 和 (2) 两段文字分别指示先后两次按第 3 节论述的“假设-检验”方式进行分割的过程。第一次选择 Mom 算法是因为根据对输入图像特征的先验估计由评价知识判定此时该算法为最优。但由于对 SNR 的原始估计有一定的偏差, 所选算法并非真是全局最优。而经 Mom 分割尝试后得到了更接近于真实值的 SNR 的后验估计。系统在此基础上经过后验调整, 又选择了 His 算法, 这是全局最优的算法, 它使系统反馈最终得到收敛, 即先验假设与后验检验达到了一致。

```

***** Threshold Expert *****
(1) Estimated Parameters: (SNR): 247.835220, (SIZE): 0.200000, (FORM): 1.000000
    Trying Moment Reserve (Currently best):
    Thresholding Model Estimation does not seem to meet...
(2) Estimated Parameters: (SNR): 31.147375, (SIZE): 0.048386, (FORM): 6.703891
    Trying Histogram Analysis (Currently best):
    Thresholding Model Estimation nearly meets...
! Threshold Expert reports the successful algorithm: Histogram Analysis
! Estimated Parameters: (SNR): 32.112274, (SIZE): 0.045670, (FORM): 6.993075
  
```

图 6 优化系统输出的控制信息

6 结 论

本文首次从算法评价的角度讨论分割算法优化的问题, 并提出了算法知识驱动的“假设-检验”优化模式。我们通过综合利用算法评价知识、启发知识和高层反馈知识的专家系统方法完成了算法优化系统的结构设计。从实验结果看, 算法评价知识驱动和优化思想是可行的和有效的。本文虽主要围绕图象分割算法的优化进行讨论, 但其基本思想对其它图象处理和分析算法的优化也有参考价值。

参 考 文 献

- [1] 章毓晋. 图象分割评价技术分类和比较. 中国图象图形学报, 1996, 1(2): 151-158.
- [2] Nazif A, Levine M. Low-level image segmentation: An expert system. IEEE Trans. on PAMI, 1984, PAMI-6(5): 555-577.
- [3] Matsuyama T. Expert system for image processing: Knowledge-based composition of image analysis processes. CVGIP, 1989, 48(1): 22-49.
- [4] 章毓晋. 一种评价图象分割的新方法. 模式识别与人工智能. 1994, 7(4): 99-304.
- [5] 罗惠韬, 章毓晋. 一个图象分割评价实例及讨论. 数据采集与处理. 1997, 12(1): 18-22.
- [6] Clement V, Thonnat M. A knowledge-based approach to integration of image processing procedures. CVGIP, 1993, 57(2): 166-184.

EVALUATION-BASED OPTIMALIZATION AND ITS SYSTEM REALIZATION FOR SEGMENTATION ALGORITHMS

Luo Huitao Zhang Yujin

(*Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084*)

Abstract In this paper, a novel idea for optimization of image segmentation algorithms based on algorithm evaluation is proposed. According to this idea, a segmentation expert system is designed and realized. Experimental results show that such an idea is feasible and such a system is workable. This also provides an effective way for the optimization of various image processing and analysis algorithms.

Key words Image segmentation, Algorithm evaluation, Algorithm optimization, Expert system

罗惠韬: 男, 1971年生, (现为美国哥伦比亚大学)博士研究生, 从事基于分割的图象编码研究.

章毓晋: 男, 1954年生, 教授, 博士生导师, 目前主要从事他倡导的图象工程(包括图象处理, 图象分析, 图象理解及图象技术应用)方面的教学和研究.