机器人视觉系统模糊识别抓取物算法

黄荣瑛

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191)

摘　　要：针对机器人视觉系统对抓取物的模糊识别问题，参照人眼-脑识别对象的过程，建立了包括区域分割与模糊识别两个环节的识别算法. 以视觉图像的灰度与色度特征作为区域分割与模糊识别的依据，从灰度、色度及形体特征上提取特征集的指标，并根据经 walsh 变换后图像灰度迅速向低频聚集的特点，提出基于 walsh 变换的基元模式识别特征的定义方法. 在构建识别目标矩阵与关系矩阵的基础上，应用模糊关系合成与最大隶属度原则建立识别算法. 该算法可从少量的采样点中识别出对象，具有较好的实时性.

关　键　词：视觉；图像分析；模式识别；walsh 变换；内积

中图分类号：TP 391

文献标识码：A　　**文 章 编 号**：1001-5965(2009)02-0197-04

Fuzzy recognition and object-capture algorithm for robot vision systems

Huang Rongying

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: With reference to the object recognition process of human eyes and minds, the region segmentation and fuzzy recognition algorithms were established for robot vision systems in order to deal with the problem of the object-capture recognition. The gray-scale and chromaticity of images were taken as a basis for region segmentation and fuzzy recognition, the index of the characteristics were taken from gray-scale, chromaticity and body features, and the definition method for feature recognition on the basis of walsh transform meta-models was put forward with the sharp low-frequency gathering tendency of the gray-scale. Then, the recognition algorithms was worked out utilizing the fuzzy relation composition and maximum subjection according to the object recognition matrix and relation matrix was established. With the algorithms, the objects within small samplings spots can be recognized, which has practical values in the object-recognition in the capture control of robots.

Key words: vision; image analysis; object recognition; walsh transform; inner product

针对助残服务的实用要求，将视觉系统与行走控制综合到系统中来，期望机器人能实现助残与助老的室内操作及室外小范围内的生活操作.

具有视觉的助残机器人系统的抓取操作类似于人眼、手、脑系统. 首先，由视觉摄像机拍摄的数字图像作为视觉系统采集的数据，经数据压缩算法压缩编码后，以最少比特流传输给系统的动态数据库，这一过程相当于人眼的功能. 其次，通过译码提取图像数据，并由识别算法辩识抓取对象. 同时，将抓取对象的相关位置、距离等数据转换成机器手抓取运动的控制参数，传输给控制系统，相当于人脑功能. 机器手对抓取对象的抓取过程相当于人手的动作. 当然，对手的抓取运动与运动姿态的控制是脑手合一的过程[1-2].

本文考虑到视觉系统在拍摄图像中，传感器制造的聚焦误差、成像光源的强度变化、成像射线的散射作用及物体边缘的形状误差，都将引起图像边界模糊，从而导致视觉系统对抓取对象的识别更为困难. 因此，针对机器手从冰箱抓取物体时的环境约束及抓取对象(啤酒、矿泉水、盒式牛奶、

收稿日期：2008-07-20

作者简介：黄荣瑛(1955—)，女，甘肃甘谷人，副教授，buaahry@sina.com.cn.

盒式饮料等)是规则边缘实体的特点提出模糊识别算法,能有效降低视觉系统的不确定性对识别的影响,其算法简单.

1 识别结构

1.1 前提条件

机器手从冰箱里抓取物体,抓取空间被限制在冰箱以内的范围.因此,在视觉摄像机拍摄的图片中,包括冰箱的外壳体、抓取对象(啤酒、矿泉水、盒式牛奶、盒式饮料等)、机械手.为使识别算法简化,特作如下假设:①在抓取空间不存在散装的包装物体;②为避免抓取操作中相邻被抓取物的干涉,特作限定:被抓取物离散放置,相邻物体之间有间隙;③每个抓取物的放置朝向一致,例如:全部竖置或横置,本文选择全部竖置;④同类物体可以多余一件,可以不相邻放置.

以上假设不失一般性.对于实际情况与此假设不符时,只须通过识别实验,对某些算法参数作一些调整,尚能适用.

1.2 识别算法的结构

识别算法的核心是要认出被抓取物,同时,要确定它在抓取空间内的方位.因此,它是一个分类问题.本文提出的模糊识别算法,分2个层次,3个组成部分.第1个层次是低通滤波:由视觉系统拍摄的图像经压缩编码、传输与解码后送给识别算法.由于视觉系统存在聚焦误差、成像光源的强度不确定性、成像射线的散射作用和物体边缘的形状误差等等,这些误差会对图像产生高频噪音,使图像模糊.高频噪音会影响识别的准确性,因此,在识别之前,首先通过低通滤波消除高频噪音,低通滤波采用滤波模板滤波,这部分工作也被称作识别算法的预处理.第2个层次是模糊识别算法,它由3部分组成:①结构二分法的区域分割算法;②基于抓取物形体与色彩构造模糊识别特征集;③模糊识别算法.

2 结构二分法的区域分割算法

二分法的区域分割法实际上是一种递归分割的方法,是将分割集合按照某个尺度依次二分为2个集合,这个过程不断继续,直到每个子集合中只包含1个元素为止.根据1.1节的假设,对于视觉系统的区域二分法,首先要识别抓取空间的对象数目,也就是对应于图像中的对象数目.其次,再将图像分割成只包含单个对象的子空间.同时,考虑识别算法的实时性要求,需尽量用少数离散采样点的数据实现图像分割.因此,围绕着图像的区域分割,主要解决以下2个问题:①确定分割区域的数目;②结构二分法的区域分割算法.

2.1 确定分割区域数目

图像分割的目的是将图像分割成只包含单个对象(物体)的子空间,因此,分割区域数目就是抓取空间(例如冰箱内的空间)存在的对象(物体)数目.由于抓取物(啤酒、盒式牛奶,盒式饮料等)及机械手都是实体,其外边界多为规范的线性与曲线边缘.它们的图像灰度值聚类性好,因此,利用离散采样点的灰度值与平均色彩值作为区域分割的指标.基本思路是用离散采样点表示分割数目,通过算法依次删除采样点中的背景采样点和同一物体上的重复采样点,剩下的采样点就是要被识别的对象数目,即分割区域数目.具体做法是:

1) 采样

用均布间距在图像子区域采样,获得采样点的灰度值与色彩值:

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{f}&=[f_i]\\ \boldsymbol{s}&=[s_i] \end{aligned}\right\} \quad i=1,2,\cdots,n \tag{1}$$

其中,f_i 为采样点的灰度值;s_i 为采样点的色彩值,取三基色的平均值.

2) 初定采样点

由先验知识提供对象的灰度阈值 T_f,色彩阈值 T_s,有

$$\left.\begin{aligned} T_f&=\min[T_1^f \quad T_2^f \quad \cdots \quad T_k^f]\\ T_i^f&\in Z_f\\ T_s&=\min[T_1^s \quad T_2^s \quad \cdots \quad T_k^s]\\ T_i^s&\in Z_s \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

其中,Z_f 和 Z_s 分别为对象集合的灰度集合与色彩集合;T_i^f 和 T_i^s 为对象集合中的某一物体的灰度值与色彩值,它是集合中的元素.

采样值依次与阈值比较,若:$f_i \geqslant T_f \cap s_i \geqslant T_s$,保留采样点;$f_i < T_f \cup s_i < T_s$,取消采样点.

3) 确定采样点

这一过程主要是删除同一物体上的重复采样点.利用相邻采样点的灰度差值与色度差值作为检验的指标.即有由经验知识提供对象的灰度差值阈值 ΔT_f 和色度差值阈值 ΔT_s.

$$\left.\begin{aligned} \Delta T_f&=\min[\Delta T_1^f \quad \Delta T_2^f \quad \cdots \quad \Delta T_k^f]\\ \Delta T_i^f&\in \Delta Z_f\\ \Delta T_s&=\min[\Delta T_1^s \quad \Delta T_2^s \quad \cdots \quad \Delta T_k^s]\\ \Delta T_i^s&\in \Delta Z_s \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

在采样矩阵中相邻采样点的灰度值依次相减,若灰度差值小于阈值 ΔT_f 或色度差值小于阈

值 ΔT_s，需要计算这两点之间的距离，并与最小限定距离相比较，若距离小于最小的限定距离，认为是同一物体上的重复采样点，则删除该采样点，否则保留该采样点. 遍历采样矩阵后，最后得到的采样点数就是区间数.

2.2　结构二分法分割区间

结构二分法[3]是应用特征值作为分割指标，在特征值的最大差值处实现分割. 本文采用灰度差值作为横向分割的指标，色彩差值作为纵向分割的指标. 具体过程如下：

特征矩阵 $\boldsymbol{A}$ 作为分割矩阵，它以前一过程的采样点的灰度值与色度值作为它的元素. 有

$$\boldsymbol{A}=[a_{ij}]_{2\times l} \tag{4}$$

$$a_{1j}=f_j \quad a_{2j}=s_j$$

$$i=1,2 \quad j=1,2,\cdots,l\leqslant n$$

其中，l 为最终确定的采样点数(区间数目)；n 为最初的采样点数.

为表示区间分割的递阶过程，将初始分割矩阵 $\boldsymbol{A}$ 记为 $\boldsymbol{A}^0$，并将其元素按行升序(或降序)排列，有

$$\boldsymbol{A}^0=[a_{ij}^0] \tag{5}$$

$$a_{ij}^0>a_{ij-1}^0 \text{ 或 } a_{ij}^0<a_{ij-1}^0$$

以行比较运算，用后一项元素减前一项元素，并选出每行中的最大差值，即

$$\left.\begin{aligned}\Delta a_{1\max}^0&=\max[\Delta a_{1j}^0]\\ \Delta a_{2\max}^0&=\max[\Delta a_{2j}^0]\\ \Delta a_{ij}^0&=a_{ij}^0-a_{ij-1}^0\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

比较两差值，若 $\Delta a_{1\max}^0>\Delta a_{2\max}^0$，则在水平方向分割区间，反之，在垂直方向分割区间.

分割矩阵 $\boldsymbol{A}^0$ 分裂为 $\boldsymbol{A}_1^1$ 与 $\boldsymbol{A}_2^1$，重复上述过程直到特征矩阵中只有 1 个元素为止.

3　构造模糊特征集

对于抓取对象的识别是一个模式匹配的过程. 需要解决 2 个关键问题：一是构造识别特征集合，二是建立匹配运算的关系矩阵. 参照人在抓取物体时的识别过程：把用眼获取的物体总体形态、亮度和色彩特征，与脑中的已有模式作匹配来识别对象. 因此，在构造模糊特征集[4-5]时从图像中提取灰度、色彩及总体形态参数作为识别特征.

3.1　灰度参数

因被抓取物(啤酒、饮料、盒式牛奶等)的包装体的材料与色彩图案不同，对同一光源照射时吸收的光能不同，反射光能也不同，因此，在图像中不同物体的灰度值不同. 另外，由于 walsh 函数[6]正交、对称，对图像作 walsh 变换具有消除象元之间的相关性，使灰度能量集中向低频聚集的性质. 因此灰度参数定义在 walsh 变换后的基本灰度模式值上.

1) 采样值

对区域分割后的单一子空间均布离散采样，并提取各个采样点的灰度值，构成初始的灰度采样矩阵. 有

$$\boldsymbol{f}^0=[a_{ij}] \quad a_{ij}\geqslant 0 \tag{7}$$

$$i=1,2,\cdots,m \quad j=1,2,\cdots,n \quad n\neq m \quad n>m$$

2) 规范化处理

通过规范处理，使灰度采样矩阵的元素值在 0 或 1 之间取值. 取

$$a_{\max}=\max[a_{ij}] \tag{8}$$

$$\boldsymbol{f}^1=[a_{ij}/a_{\max}]=[a_{ij}^1] \tag{9}$$

$$a_{ij}^1=\begin{cases}1 & a_{ij}^1\geqslant T_f\\ 0 & a_{ij}^1<T_f\end{cases} \tag{10}$$

其中 T_f 是灰度的先验阈值.

3) 提取灰度参数

作 walsh 变换

$$\boldsymbol{F}=\frac{1}{n^2}\boldsymbol{W}_n\boldsymbol{f}^1\boldsymbol{W}_n=[c_{ij}] \tag{11}$$

得到灰度参数

$$H_F=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{2}{2^{i+j}}c_{ij} \tag{12}$$

其中 N 表示 $c_{ij}\neq 0$ 的个数.

依据小波理论[7]，对 walsh 变换之后的灰度参数按多尺度概念定义灰度集中系数 $\frac{2}{2^{i+j}}$.

3.2　色度参数

由于人眼对于绿色的敏感性，在色度参数的提取中选择绿色参数与三基色的综合平均值作为识别的色度参数. 定义：

$$G_g=\frac{1}{(n+m)}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}g_{ij}\Big/255 \tag{13}$$

$$G_s=\frac{1}{(n+m)}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{r_{ij}+g_{ij}+b_{ij}}{3\times 255} \tag{14}$$

3.3　形体参数

形体参数选取相对长度、相对宽度、规范径长比等参数.

1) 相对长度

$$L_h^0=\overline{l_h}$$

规范化：

$$L_h=c_i\frac{\overline{l_h}}{l_{\max h}} \qquad i=1,2 \tag{15}$$

其中，$i=1$ 为瓶子系列系数，$i=2$ 为盒式系列系数.

2) 相对宽度. 同理定义规范化相对宽度:

$$L_w = d_i \frac{\overline{l_w}}{l_{\max w}} \tag{16}$$

3) 规范化径长比

$$L_g = \frac{1}{L_{g\max}} \frac{\overline{l_h}}{l_w} \tag{17}$$

在形体参数的获取中,形体相对长度、宽度的获取,采用距离搜索算法解决.

4 模糊识别算法

在构造出模糊特征集后,应用模糊综合决策法就可以实现对抓取对象的识别. 其中,最为关键的部分就是依据模糊特征集的定义构造关系矩阵. 通过被识别对象的特征矩阵与关系矩阵的内积,实现识别对象的特征集到决策集的转换,即得到决策矩阵,最后,应用最大决策原则就可从决策矩阵中识别出被抓取对象. 模糊识别算法主要包括2个过程:模糊识别算法与模糊调整过程.

4.1 模糊识别算法

1) 构造被识别对象的特征矩阵

依据对模糊特征集的定义,识别特征矩阵由识别对象对特征参数的隶属度构成,矩阵中的元素表示某一识别对象对这一特征参数的隶属度. 行数对应被识别的对象数目,列数表示特征参数的数目.

$$\boldsymbol{U} = [u_{ij}]_{m\times n} \qquad n = 6 \tag{18}$$

其中,i 为第 i 个被识别的对象;j 为第 j 个识别特征参数. 即有 $u_{i1} = H_{Fi}, u_{i2} = G_{gi}, \cdots, u_{i6} = L_{gi}$.

2) 构造识别关系矩阵

构造识别关系矩阵是模糊识别算法中的关键步骤. 识别关系矩阵是按式(18)的特征参数定义逐一实测与计算出来,并经一致化算法将 r_{jl} 归于[0,1]之内. 其中,行为识别特征参数,列为识别元素集中的元素. $\boldsymbol{j}$ 为第 j 个特征参数项;l 为识别元素集中的第 l 个识别元素. 有

$$\boldsymbol{R} = [r_{jl}]_{n\times k} \tag{19}$$

3) 决策矩阵

决策矩阵为识别特征矩阵与关系矩阵的合成,即

$$\boldsymbol{V} = [v_{il}]_{m\times k} = \boldsymbol{U} \circ \boldsymbol{R} = [u_{ij}]_{m\times n} \circ [r_{il}]_{n\times k} \tag{20}$$

其中

$$v_{il} = \bigvee_{j=1}^{n} (u_{ij} \wedge r_{jl}) \tag{21}$$

4) 模糊识别

依据最大隶属度原则,按行选最大值,得到的矩阵就是识别结果

$$\boldsymbol{z} = [\max_{l=1}^{n} v_{il}]_{m\times 1} \tag{22}$$

4.2 模糊调整过程

在模糊识别运算中,不确定因素多. 因此,须根据实验结果对特征矩阵、关系矩阵和决策矩阵作一致化的加权调整与规范化处理,经常利用数据分布的界限值来解决.

5 结束语

本文建立了助残机器人视觉系统模糊识别抓取对象的算法,主要分为2部分:识别区域的分割和对抓取物的识别算法. 识别区域分割采用结构二分法实现,从离散采样数据中提取灰度与色度特征值作为区域分割的指标. 在模糊识别算法中分别从识别对象的图像要素、形体要素中提取识别特征,并提出 walsh 变换的灰度基元模式特征参数的定义,在建立识别矩阵和关系映射矩阵之后,应用模糊综合决策方法和最大决策原则识别抓取对象.

参考文献 (References)

[1] Christian Martens. Teilautonome aufgabenbearbeitung bei rehabilitionsrobotern mit manipulator[M]. Aachen: Shaker Verlag, 2004:2-24

[2] Dipl-Ing Thomas Trittin. Methode der virtuellen punkte zur autonomen bildbasierten roboterregelung [D]. Bremen: Institute of Automation, Universitaet Bremen, 1999:28-35

[3] Dipl-Ing Constantin V, Altrock M O R. Fuzzy logic, band 1 technologie[M]. Muenchen Wien: Oldenbourg Verlag, 1995: 18-23

[4] Dipl-Ing ConstantinV, Altrock M O R. Fuzzy logic, band 3, werkzeuge[M]. Muenchen Wien: Oldenbourg Verlag, 1995: 35-41

[5] 孙仲康. 数字图象处理及应用[M]. 北京:国防工业出版社, 1985:50-58
Sun Zhongkang. Digital image manipulation and application [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1985:50-58(in Chinese)

[6] 梁学章,何甲兴,王新民,等. 小波分析[M]. 北京:高等教育出版社, 2005:100-115
Liang Xuezhang, He Jiaxing, Wang Xinmin, et al. Wavelet analysis[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005:100-115(in Chinese)

[7] 郑君里,应启珩,杨为理. 信号与系统(下册)[M]. 北京:高等教育出版社, 2000:154-163
Zheng Junli, Ying Qiheng, Yang Weili. Signal and system [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000:154-163(in Chinese)