

基于多重约束条件的线特征多级匹配方法

李俊瑶¹ 顾宏斌^{1,2} 孙瑾^{1,2} 王德志¹

(南京航空航天大学民航学院 南京 210016)¹

(南京航空航天大学飞行模拟与先进培训工程技术研究中心 南京 210016)²

摘要 为解决直线断裂、遮挡以及图像对视差较大等造成的直线匹配困难,提出了一种基于多重约束条件的线特征多级匹配方法。该方法在已匹配的可靠种子点完成点-线匹配的基础上,基于单应性矩阵利用几何特征信息约束和核线约束完成同名直线搜索实现线-线匹配,最后提出一种自适应的直线相似性约束实现线-面匹配获得正确的同名直线。通过与现有直线匹配算法的对比实验表明,该方法提高了匹配精度,可以实现含有遮挡、直线断裂和视差较大的图像中的直线匹配。

关键词 直线匹配,单应性矩阵,核线,多级匹配,自适应

中图分类号 TP751 **文献标识码** A

Multi-lever Line Matching Method Based on Multiple Constraints

LI Jun-yao¹ GU Hong-bin^{1,2} SUN Jin^{1,2} WANG De-zhi¹

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)¹

(Engineering Research Center for Flight Simulation and Advanced Training, Nanjing University of

Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)²

Abstract To match the images of larger parallax change, blocked or linear fracture, this paper proposed a multi-level line matching method based on and multiple constraints. Firstly, constraint of the linesegment in the neighborhood with matched reliable seed points to accomplish point-line matching is based on seed points; Next, perform of the line-line matching within geometric feature constraints is based on homography matrix and epipolar line constraint; Finally, we completed line matching with line-surface matching using a adaptive linear similarity constraint method. Experiments show that this method can accurately match images of larger issues, blocked or linear fracture and solve the problems that existing line matching algorithm has lower accuracy and unable to fulfil large parallax changing.

Keywords Line matching, Homography matrix, Epipolar line, Multi-level matching, Adaptation

特征匹配是场景三维重建的关键技术,近年来在基于点匹配、区域匹配和形状匹配等算法方面取得了较大的进展^[1-3],直线特征作为图像信息的重要中层描述符号,普遍存在于人造目标和环境中,包含更丰富的几何和语义信息。国内外对于直线匹配问题提出了很多的解决方法,分为单直线的匹配和组直线的匹配两类。单直线的匹配方法通常基于直线的几何属性(长度、方向、重叠度)、主导点信息、邻域灰度信息等几何约束^[4-6],这类方法相对简单、计算量较小,但容易受到几何约束条件的限制产生误匹配,也无法满足视差变化较大或存在遮挡的图像对;组直线的匹配则利用两个直线段组之间的整体关系(两组直线段的旋转、平移、关系图),从整体的角度寻找最佳同名线段^[7,8],抗噪声能力强,但是算法复杂,计算量较大,无法应用于实时系统中,容易受端点的不可靠等因素影响。为解决直线断裂、遮挡问题,McIntosh提出了以图像支持区域作为直线段相似性度量的匹配方法,其充分利用直线段支持区域的几何和灰度特性,计算特性加权和

值来判断匹配直线^[9]。但该方法提取出的直线位置存在偏差,计算量很大,而且无法解决视差变化大的问题。

综合考虑现有直线匹配方法缺乏有效约束、成功率较低、无法满足直线断裂、遮挡、视差变换大的图像对等问题,本文提出了一种基于多重约束条件的线特征多级匹配方法。该方法利用单应性矩阵对直线进行仿射变换,计算直线几何信息,在此基础上利用核线约束、相似性约束等多重约束条件去除误匹配,逐渐缩小直线范围,逐步实现点-线、线-线和线-面多级匹配,最终得到同名直线段。

1 单应性矩阵

单应性矩阵定义了两幅图像之间的相互关系,一张图像上的任意一点可以在另一张图像上找到对应的点,且对应点唯一,反之亦然。两幅图像经过投影变换可以映射到同一坐标系下,通常采用8参数的单应性矩阵 H 作为投影变换模型^[10]。设 $p=(x,y)$ 是图像 I_1 上的一点, $q=(x',y')$ 是图像

本文受中央高校基本科研业务费专项资金(NS2013066)资助。

李俊瑶(1991-),女,硕士生,主要研究方向为计算机视觉、图像处理、三维重建,E-mail:lijunyao2@sina.com;顾宏斌(1957-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为航空器模拟与仿真、航空器运行管理、虚拟现实、飞行仿真视景建模。

I_2 上对应的同名像点,则 p, q 和 H 有如下投影关系:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

本文利用 SURF 算法提取特征点以及描述符,并在欧氏距离约束下进行特征点匹配,根据同名特征点计算待匹配图像与参考图像间的单应性矩阵 H 。利用仿射变换,可以将参考图像中的线特征相关属性转换成与待匹配图像一致,适用于视差变化大的图像对,能增大直线约束可靠性。

2 匹配约束条件

匹配的搜索范围和直线的相似性是直线匹配的关键问题。对于匹配的搜索范围,范围过大,会增加耗时和误匹配的几率;范围过小,正确的匹配也可能被排除。同样,对于直线的相似性测度也是如此。因此,为了提高直线匹配的可靠性,并保证匹配效率,需要确定合理的搜索范围以及相似性约束条件。

2.1 直线几何特征约束

2.1.1 方向约束

由提取直线的两端坐标可以计算得到直线的斜率 k ,即可求解出直线的倾角 $\theta, \theta = \arctan k$ 。本文以直线的倾角为方向信息,当图像对的两条直线的方向差在给定阈值范围内时,其才有可能为同名直线。

2.1.2 距离约束

建筑物的近景立体图像通常包含大量的相互平行的直线段组和重复纹理信息,因此,方向约束的约束能力有限,容易产生误匹配。本文选取部分已成功匹配的种子点,计算种子点到各直线的垂直距离,当距离差在给定阈值范围内时,其才有可能为同名直线。

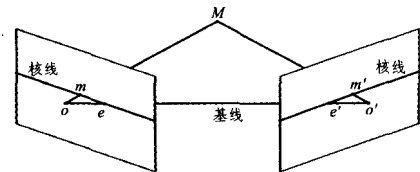
2.2 核线约束

摄像机与拍摄的目标之间存在如图 1 所示的几何关系。通过基线 o' 与任一物方点 U 所作的平面称为过点 M 的核面,核面与影像面的交线即为核线。图 1 中 me 和 $m'e'$ 是通过同名像点 m 和 m' 的一对同名核线。核线约束,指已知其中一张图像上的像点 m ,则另外一张图像上的对应像点 m' 一定在第二幅图像对应的核线上,反之亦然^[11,12]。

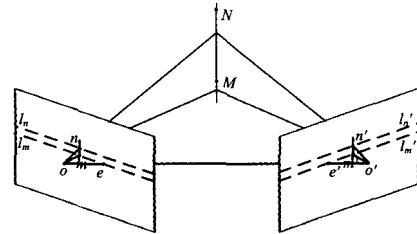
由上述的核线约束关系可知,要确定待匹配图像中特征点在参考图像上的同名点,只需要在参考图像中对应的核线上搜索即可。使用核线约束可以将立体匹配的二维搜索简化为一维搜索,减少计算量。由于遮挡、提取算法本身的问题,同名直线段的端点不能保证是相匹配的,因而破坏了同名直线邻域信息的属性一致性,因此,本文利用核线约束来确定同名直线段的重叠部分。其原理如图 2 所示。

在待匹配图像和参考图像上,已确定一对候选同名直线 L_1, L_2 。在参考图像上直线 L_1 的两端点 A, B 在待匹配图像上对应的核线分别为 H_A, H_B ,从图中可以看出,待匹配图像中的直线 L_2 与核线 H_B 交于 E 点,再找到 C, E 点在参考图像中对应的核线 H_C, H_E ,其中 H_C 与 L_1 交于点 F, H_E

过 B 点,因此 FB, CE 为候选同名直线段 L_1, L_2 的重叠部分。

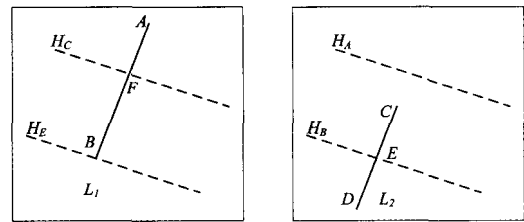


(a) 基于点的核线约束



(b) 基于直线的核线约束

图 1 核线约束基本原理



(a) 参考图像

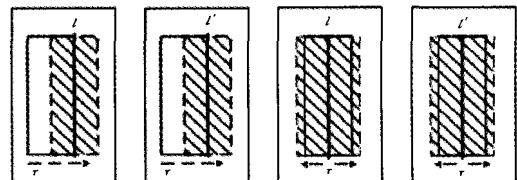
(b) 待匹配图像

图 2 根据核线约束确定候选同名直线的重叠部分

2.3 自适应的相似性约束

在核线约束及方向约束下,待匹配的直线仍可能有多余一条的直线候选匹配存在,需要进一步利用直线周围的灰度信息或颜色信息进行相似性测度计算,以确保正确匹配。一个有效的相似性测度,需要有一定的区分性,从而可以确定正确匹配的直线段^[12-14]。因此,本文提出一种基于移动窗口的自适应直线相关方法,作为直线的相似性测度。

该算法原理如图 3 所示,利用核线与直线的交点确定直线重叠部分,采用一个固定宽度为 w 的矩形窗口(针对本文实验使用的图像,取 $w=15$),窗口的一边与匹配的直线段 l 平行且等长,沿着垂直于直线段 l 的方向以一定的步长滑动(针对本文实验使用的图像,取步长 d 为 2),直线左右两侧滑动等长的距离,对于每一个窗口,计算出标准相关系数(NCC)(如式(2)所示)。



(a) 移动窗口

(b) 扩展窗口

图 3 自适应的直线相关系数

$$NCC(x, y, d) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m \{ [I_1(x+i, y+j) - \overline{I_1(x, y)}] \times [I_2(x+i, y+j+d) - \overline{I_2(x, y+d)}] \}}{w \times l \times \sqrt{\delta^2(I_1)} \times \sqrt{\delta^2(I_2)}} \quad (2)$$

$$\overline{I_k(x, y)} = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k(x+i, y+j)}{w \times l} \quad (3) \quad \delta(I_k) = \sqrt{\frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k^2(x, y)}{w \times l} - \overline{I_k(x, y)}} \quad (4)$$

其中, $m=(w-1)/2$ 。 $n=(l-1)/2$ 。式(3)为图像 I_k 中的矩形窗口的平均灰度值,式(4)为图像 I_k 中矩形窗口的灰度标准差。

在得到每个窗口的相关系数后,取其最大值作为该直线的标准相关系数,则该窗口为最佳窗口。

对于直线段所述矩形窗口内灰度信息、纹理信息较匮乏的图像,如果采用固定窗口计算相关系数,窗口过小,会导致直线特征相似性测度的可区分性下降。因此,在确定最佳窗口后,在该位置再进行一次自适应性的增长,即以一定的步长(本文取 2)沿垂直直线的方向进行增长,若最佳窗口在直线右侧,则向右每次以相同的步长进行增长,反之亦然。计算每一个扩展窗口的标准相关系数,直至相关系数不再增加或达到扩展次数最大值(实验验证次数为 4 时,结果最优)。

当直线位于断裂处时,该方法可以有效利用直线一侧的信息,而当直线位于非断裂处时,其可以有效利用直线两侧的信息;当直线段缓冲区域的灰度信息匮乏时,可以通过自适应的扩展纳入更多的有用信息,从而增加了直线段相似性测度的可区分性,提高了直线匹配的可靠性。

3 算法描述

本文直线匹配算法一共采用了 3 个约束条件:首先利用几何特征约束将直线候选匹配约束到一个较小的范围,以减少后续相似性的计算量;然后利用核线约束确定图像间直线的重叠范围,计算其相关系数,减少候选匹配直线数量;最后利用相似性约束,确定匹配直线。整个算法流程如图 4 所示。

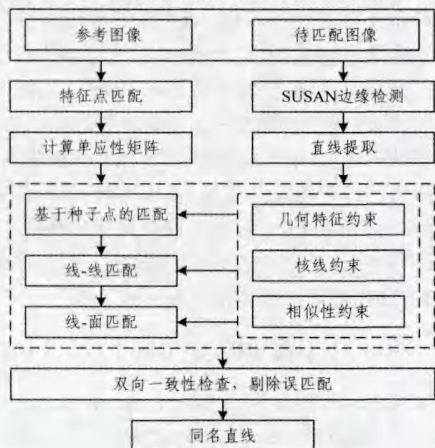


图 4 同名直线匹配流程

1) 预处理:利用 SUSAN 算法提取边缘^[15],并将提取结果细化为单像素边缘,在此基础上将曲线近似为折线段,对近似得到的线段进行最小二乘拟合,拟合的直线作为本文的直线匹配基元。然后对直线匹配基元按照长度排序,并记录端点坐标、中点坐标以及倾斜角,用于后续直线匹配使用。由于待匹配图像和参考图像往往来自不同视角,图像之间的纹理和颜色都存在一定的差异,或受成像环境的影响,光照不均匀,因此在特征提取之前先使用 Wallis 滤波对图像进行预处理以锐化图像的纹理并提高图像的信噪比^[16]。

2) 种子点匹配:考虑到 SURF 算法^[12]计算效率高、鲁棒性好的特点,采用 SURF 算法提取特征点,并利用欧氏距离在约束下匹配一定数量的种子点。在此基础上,利用最小二乘图像匹配计算每个同名点的相关系数,保留相关系数大于

0.75 的同名点,将其作为种子点约束的后续的直线匹配。获取种子点后,利用 RANSAC 算法求解单应性矩阵 H 。

3) 点-线匹配:利用种子点确定候选匹配,即循环选取每一对种子点,获取距离种子点在一定范围内(根据实验中种子点的分布情况,本文取 5 个像素)的直线集合,则待匹配图像和参考图像中都可能有多条直线存在。

4) 线-线匹配:利用方向、距离形成的几何约束过滤候选匹配,即将参考图像中提取的直线按单应性矩阵进行仿射变换,并计算变换后的各直线的倾斜角,再比较待匹配直线的方向,如果方向夹角在给定阈值内(针对本文实验使用的图像,取 15°),则转到步骤 5)。

5) 线-面匹配:利用自适应相似性测度确定直线匹配假设,即对于剩下的候选匹配,利用核线与直线的交点,计算直线的重叠部分,并计算标准相关系数。取相关系数极大值对应的直线为该直线的匹配假设。

6) 双向一致性检测:以步骤 4)中获取的匹配假设为待匹配直线,从待匹配图像到参考图像再进行一次匹配,如果两个方向的匹配结果一致,则认为获取了一组匹配直线。已匹配成功的直线不再参与其他直线的匹配。

7) 重复处理完当前种子点相关的所有直线,进入下一个种子点相关的直线匹配。

4 实验分析

4.1 匹配效率

为了验证本文方法的有效性,采用了两组实验数据进行实验,第 1 组为图 5 所示的图像对。该图像对为典型的建筑物近景立面图像,图像大小为 1000 像素 \times 750 像素,重复的纹理较多;第 2 组(如图 6 所示)为远距离拍摄的建筑物全景图像,图像大小为 1200 像素 \times 660 像素,存在大量的建筑物边缘。



图 5 建筑物近景立面图



图 6 远距离全景图

该两组图像对视差变换较大,其中近景立面图像突出水平方向的视差,而全景图突出竖直方向的视差。

实验过程中,在对每幅图像进行同名点匹配、单应性矩阵计算以及直线提取的基础上,利用本文方法进行直线匹配。为了进行对比分析,本文还实现了文献[11]的直线匹配方法。另外,为了对比分析本文的自适应直线相关系数的计算方法,还分别利用文献[10]采用的传统固定窗口直线相关系数法(窗口垂直于直线方向的宽度取 15)来代替本文的自适应直

线相关系数的计算。为了验证本文方法的可靠性,实验中采用人工方法判断直线匹配的正确率,直线匹配结果如表 1 所列。

表 1 直线匹配结果

图像对	提取直线结果 (参考/待匹配)	文献[11]方法		固定窗口		本文方法	
		共匹配(时间)	正确	共匹配(时间)	正确	共匹配(时间)	正确
近景立面图像	453/492	267(36s)	214 (80.1%)	283(49s)	261 (92.2%)	305(41s)	291 (95.4%)
远距离全景图	583/674	398(41s)	330 (82.9%)	342(51s)	317 (92.6%)	471(45s)	433 (91.9%)

对于近景立面图像对,利用 SURF 算法得到 802 个匹配的特征点,经过直线提取后,合并距离小于 7 个像素的线段,舍弃长度小于 5 的直线段,参考图像中一共有 453 条直线,待匹配图像有 492 条直线。利用本文方法,最终成功匹配 305 条直线,如图 7 所示。



图 7 本文方法直线匹配结果

使用文献[11]的方法一共匹配了 267 条直线,其中 214 条直线匹配正确,正确率为 80.1%,这主要是因为近景里面图像存在较多重复纹理,而核线束约束搜索范围较大,虽然匹配时间较短,但是容易产生较多的误匹配。通过比照正确匹配直线段的数目和正确率可以发现,对近景立面图像采用本文方法能够获取最多数目的匹配直线,且拥有最高的匹配正确率。

对于远距离拍摄的全景图像,利用 SURF 算法得到 1011 个匹配的特征点,经过直线提取后,合并距离小于 10 个像素的直线段,舍弃长度小于 3 的直线段,最后参考图像中一共得到 583 条直线,待匹配图像中得到 674 条直线。利用本文方法,最终成功匹配 328 条直线,如图 8 所示。虽然采用固定窗口的相关系数法得到了最高的正确率,但由于计算量大、运行时间较长,最终匹配的直线数目也较少,对于受遮挡或非连续的短直线的匹配数目较少。

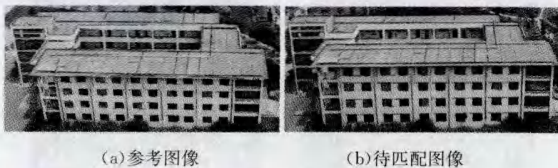


图 8 本文方法直线匹配结果

4.2 断裂情况下匹配结果

采用本文方法,58 条断裂直线匹配成功,截取匹配后的图像中左上角的窗户图像,如图 9 所示,待匹配图像中窗户纵向边缘线断裂,而参考图像中直线完好,本文方法成功匹配了两条直线,有效解决了断裂直线无法精确匹配的问题。



图 9 断裂直线匹配结果

4.3 遮挡情况下的匹配结果

受拍摄角度的影响,待匹配图像左上角的房屋边缘被突出的楼层遮挡,而参考图像中边缘完好,将该部分放大,如图 10 所示。可以看到,采用本文方法,两条直线成功匹配。

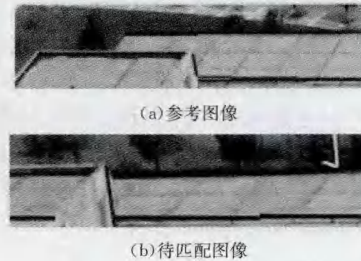


图 10 遮挡直线匹配结果

根据上述实验分析,本文提出的匹配方法在不降低运行速度的情况下,对视差较大的图像对有较高的正确率和较多的正确匹配数目,对受遮挡或非连续的短直线也可以做到正确的匹配。

结束语 本文在分析现有直线匹配算法不足的基础上,提出了一种基于单应性矩阵和多重约束的线特征多级匹配方法。该方法采用单应性矩阵,根据参考图像与待匹配图像之间直线段几何特征关系有效地减小了线特征匹配的搜索范围,提高了直线匹配的可靠性;引入移动窗口和扩展窗口,解决了现有直线匹配算法因直线断裂、遮挡造成的误匹配问题,克服了现有直线匹配算法的不足;提出多级线特征匹配方法,采用多重线特征约束条件,解决了现有算法线特征不明显、匹配搜索范围较大、容易产生误匹配等问题。本文算法在保证运行速度的同时,提高了线特征匹配的成功率。

参考文献

- [1] Tian Y, Gerke M, Vosselman G, et al. Automatic Edge Matching Across an Image Sequence Based on Reliable Points[C]//International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008
- [2] 寇媛,徐景中. 基于结构特征的遥感影像匹配[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(5): 565-573
- [3] 郁理,郭立,袁红星. 基于分级置信度传播的立体匹配新方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1): 103-109
- [4] 文贡坚. 一种基于特征编组的直线立体匹配全局算法[J]. 软件学报, 2006, 17(12): 2471-2484
- [5] 黄良明,彭立中,等. 利用几何代数进行线段模型匹配和运动估计[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(3): 270-274
- [6] Hartley R. A Linear Method for Reconstruction from Lines and Points[C]//Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Computer Vision. Cambridge, USA, 1995
- [7] Wilson R C, Hancock E R. Graph Matching with Hierarchical Discrete Relaxation[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(10): 1041-1052

[8] Zhang M, Hou Y, Hu Z. Accurate Object Tracking Based on Homography Matrix[C]//Computer Science & Service System (CSSS). 2012 IEEE International Conference, 2012;2310-2312

[9] McIntosh J H, Mutch K M. Matching straight lines[J]. CVGIP, 1988(43);386-408

[10] Schmid C, Zisserman A. The geometry and matching of lines and curves over multiple views[J]. International Journal of Computer Vision, 2000, 40(3);199-233

[11] Yang L, Wang J, Chao S, et al. A study on the correlation coefficient matching algorithm of general digital stereo under the approximate epipolar line constraints[C]//Multimedia Technology (ICMT). 2011 IEEE International Conference, 2011;954-957

[12] Liu Z, An J, Jing Y. A simple and robust feature point matching algorithm based on restricted spatial order constraints for aerial

image registration[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions, 2012, 50(2);514-527

[13] Yang Y, Wang H, Liu B. A new stereo matching algorithm based on adaptive window[C]//Systems and Informatics (ICSAI). 2012 International IEEE Conference, 2012;1815-1819

[14] Smith S, Brady M. A new approach to low level image processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1);45-78

[15] Zhang L. Automatic Digital Surface Model (DSM) Generation from Linear Array Images [D]. ETH Zurich, Switzerland; Institute of Geodesy and Photogrammetry, 2005

[16] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, et al. Speeded-Up Robust Features (SURF)[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3);346-359

(上接第 77 页)

也采用了相同参数对标准 BP 神经网络进行训练和预测。训练结束后,利用训练好的 3 层网络,分别输入测试的 10 组样本数据。计算结果分别如图 4 和图 5 所示。

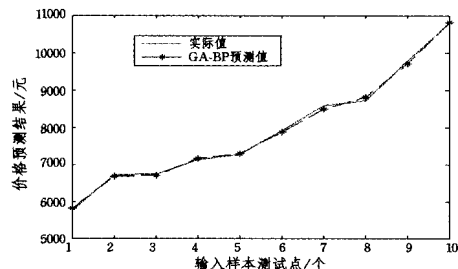


图 4 GA-BP 网络预测输出

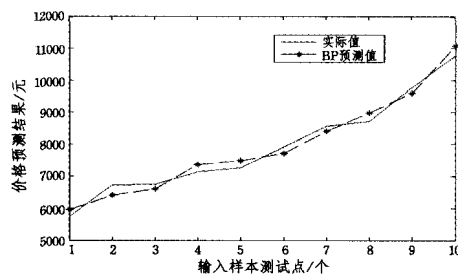


图 5 BP 网络预测输出

为了进一步说明 GA-BP 模型在房地产估价中的有效性,本文采用 BP 神经网络模型、市场比较法和 GA-BP 模型对房地产的估价进行了比较分析。3 种方法的预测结果如表 4 所列。

表 4 3 种方法预测结果相对误差表

样本编号	实际值	GA-BP 预测值	相对误差 (%)	BP 神经网络预测值	相对误差 (%)	市场比较法预测值	相对误差 (%)
1	5755	5811	0.97	5957	3.51	5987	4.03
2	6723	6675	0.71	6403	4.76	6418	4.54
3	6740	6711	0.43	6608	1.96	6638	1.51
4	7130	7164	0.48	7354	3.14	7304	2.72
5	7270	7298	0.39	7491	3.04	7491	3.04
6	7910	7875	0.44	7718	2.43	7709	2.54
7	8580	8498	0.96	8408	2	8389	2.23
8	8723	8809	0.99	8987	3.03	9056	3.82
9	9788	9693	0.97	9602	1.9	9543	2.5
10	10790	10822	0.3	11089	2.77	9989	7.42
平均相对误差			0.66		2.85		3.44

从表 4 中可以看出,与 BP 神经网络和市场比较法相比,GA-BP 网络的预测平均相对误差是 0.66%,标准 BP 网络的预测平均相对误差是 2.85%,而传统市场比较法的平均相对误差是 3.44%。这说明运用 GA-BP 模型进行房地产价格的估价具有更好的预测精度。

结束语 考虑到房地产估价的复杂性,本文提出了一套房地产价格评价指标体系,将 BP 神经网络与遗传算法结合的混合启发式算法应用于房地产估价。采用遗传算法对 BP 神经网络的初始连接权值进行训练寻优,再用 BP 神经网络进行训练,从而获得较高精度的解。仿真计算表明,基于遗传算法优化神经网络的房地产评估模型训练时间短,收敛速度快,在学习过程中不易陷入局部极小点,具有良好的预测精度和应用前景。

参考文献

[1] 赵财福,赵小红. 房地产估价[M]. 上海:同济大学出版社,2004

[2] 朱骏,张红. 基于时间序列与人工神经网络的房地产周期识别[J]. 清华大学学报:自然科学版,2006,46(6):781-784

[3] 杨励雅,邵春福. 基于 BP 神经网络与马尔可夫链的城市轨道交通周边房地产价格的组合预测方法[J]. 吉林大学学报:工学版,2008,38(3):514-519

[4] Liu X, Deng Z, Wang T. Real estate appraisal system based on GIS and BP neural network[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21:626-630

[5] 郭欣欣. 神经网络在住宅类房地产评估中的应用[D]. 北京:首都经济贸易大学,2012

[6] 李标. 基于神经网络的住宅房地产价格时间序列预测模型研究[D]. 浙江工业大学,2012

[7] 龙会典,严广乐. 基于实码加速遗传算法改进 TOPSIS 法在房地产预警体系中的应用[J]. 电子测试,2013(14):62-63,55

[8] 严蓓蓓,杨星光. 基于改进遗传算法的房地产投资项目风险评价模型[J]. 价值工程,2013(3):162-163

[9] 欧伟. 基于改进 PSO-BP 的房地产投资风险评价研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2013

[10] 修雪嵩,徐爱农. 国外房地产评估方法总括与借鉴[J]. 中国资产评估,2013(10):41-46