

# 基于综合特征的 Bp\_adaboost 工业仪表 图像分类方法

吴学礼<sup>1,2</sup>, 赵萌<sup>1</sup>, 孟凡华<sup>2</sup>, 刘浩南<sup>1</sup>

(1 河北科技大学电气工程学院, 河北石家庄 050018; 2 燕山大学电气工程学院, 河北秦皇岛 066000)

**摘要:**针对工业场景图像背景复杂,受多种因素影响、利用单个特征完成工业仪表图像分类不能达到满意效果的问题,提出了一种综合利用图像的颜色和纹理特征,通过 Bp\_adaboost 的方法对工业仪表图像进行分类的方法。首先基于 HSV 空间进行低阶颜色矩特征提取;然后基于灰度共生矩阵进行纹理特征提取;最后用 17 维综合特征向量对工业仪表图像进行 Bp\_adaboost 分类学习和测试。实验结果表明,该方法对液位控制系统工业仪表与液位容器设备图像能取得较好的分类结果。

**关键词:**颜色矩;灰度共生矩阵;分类器;BP 神经网络

**中图分类号:**TP391.4      **文献标志码:**A

## Industrial instrument image classification based on comprehensive characteristic and Bp\_adaboost

WU Xueli<sup>1,2</sup>, ZHAO Meng<sup>1</sup>, MENG Fanhua<sup>2</sup>, LIU Haonan<sup>1</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China;  
2. School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066000, China)

**Abstract:** The industrial scene images, affected by various factors, always have complex background, so a single feature cannot achieve satisfactory result for classification. In this paper, a method using the image color and texture features through the Bp\_adaboost method to classify the industrial instrument image is proposed. It first extracts the low order color moment features in HSV space, and then extracts the texture features based on the gray level co-occurrence matrix. Finally, the 17-dimensional integrated feature vector for industrial instrumentation image is adapted to the Bp\_adaboost classification learning and testing. Experimental results show that the method can achieve better classification results for the industrial level control system instrumentation equipments and level container images.

**Key words:** color moment; gray level co-occurrence matrix; classifier; BP neural network

随着多媒体技术、模式识别等科学领域的进一步发展,图像分类的基础理论和方法诞生并运用到包括精确制导、无人地面车辆、移动机器人视觉导航、道路图像检测系统、对图片特别是对航空照片和卫星照片的识别、理解以及地图绘制等等各个方面。

近几年来,机器人视觉的研究和工程应用越来越受到人们的重视。目前,对于工业现场工业仪表的机器

视觉研究主要应用在仪表的指针及读数识别方向<sup>[1]</sup>。识别装置多为固定装置。基于工业现场仪表和设备具有较强颜色纹理差异的特点,通过基于颜色、纹理综合特征的 Bp\_adaboost 工业仪表图像分类方法的研究,可以更好的为实现复杂工业控制现场移动机器人的移动和工作提供有效的理论基础,有助于机器人在工业现场对仪表进行定位。对于在存在辐射,有毒气体等不适宜人工操作的复杂工业控制现场工作的移动机器人的视觉分类应用有很广泛的应用前景。

## 1 图像特征抽取

### 1.1 颜色特征提取

颜色特征是描述图像的重要特征之一,它是人类最直观的感知和区分事物的基本特征。相对于其他特征而言,颜色特征具有描述简便直观的特点,而且对大小、方向都不敏感,在一些情况下表现出相当强的鲁棒性<sup>[2]</sup>。另一方面,彩色图像所携带的信息远远超过了灰度图像。因此考虑从图像颜色方面入手,可以有效地保留一部分由于图像灰度化处理所丢失的信息,提高分类的准确率。

有效地提取颜色特征首先要选择合适的颜色空间,常用的颜色空间<sup>[3]</sup>有:RGB,HSV,HIS。光谱中最重要的是红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色。所有颜色都可以由三基色相加而成。因此 RGB 空间是一种常用的也是最基本的颜色空间。RGB 空间如图 1 所示。但 RGB 颜色空间与人眼感知差异很大,因此本文采用最符合人的视觉特性的 HSV 空间作为颜色空间<sup>[4]</sup>。HSV 空间如图 2 所示。在进行图像处理时需将 RGB 空间转换到 HSV 空间,转换公式见式(1)一式(4):

$$V = \frac{1}{\sqrt{3}}(R+G+B), \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{\sqrt{3}}{V} \min(R+G+B), \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \theta, & G \geq B, \\ 2\pi - \theta, & G < B, \end{cases} \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right]. \quad (4)$$

颜色特征可以采用灰度直方图、颜色直方图、颜色矩、颜色集等方法表示<sup>[5-7]</sup>。本文采用颜色矩方法,色彩的统计低阶矩不仅能描述图像区域中主要色彩分量,而且可以反映区域中的色彩分布情况。仅利用低阶矩就可以近似表示颜色矩分布的特征<sup>[8-10]</sup>。因此,仅采用颜色的一阶矩(色彩均值),二阶矩(色彩标准差),三阶矩(色彩偏度)对图像进行特征提取,其数学定义<sup>[11]</sup>见式(5)一式(7):

$$\mu_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_{i,j}, \quad (5)$$

$$\sigma_i = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_{i,j} - \mu_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

$$s_i = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_{i,j} - \mu_i)^3 \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (7)$$

其中: $P_{i,j}$ 表示彩色图像第*i*个颜色通道分量中灰度为*j*的像素出现的概率; $N$ 表示图像中像素的个数。

图像的 3 个分量  $H, S, V$  的前三阶颜色矩组成一个 9 维特征向量,即图像的颜色特征表示如下:

$$\mathbf{F}_{\text{color}} = [\mu_h \mu_s \mu_v \sigma_h \sigma_s \sigma_v s_h s_s s_v].$$

### 1.2 纹理特征提取

纹理特征也是图像的一个重要特征,自 20 世纪 80 年代以来,纹理分析方法可大致分为 4 类:统计法、结

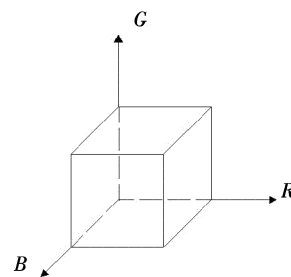


图 1 RGB 空间坐标示意图

Fig. 1 RGB space coordinates

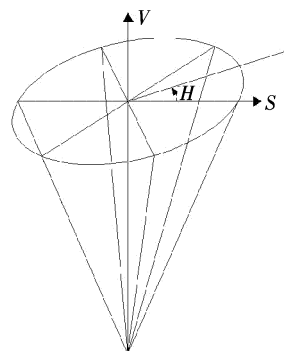


图 2 HSV 空间坐标示意图

Fig. 2 HSV space coordinates

构分析法、基于纹理模型的方法和信号处理法<sup>[12]</sup>。其中,纹理特征的统计是早期关注的热点之一<sup>[13]</sup>。常用的基于统计的纹理分析方法有:矩、自相关函数、灰度共生矩阵、边缘频率等。其中,灰度共生矩阵是由文献[14]提出的一种用来分析图像纹理特征的重要方法。共生矩阵是由图像灰度级之间的联合概率密度  $P(i, j, d, \theta)$  所构成的矩阵,它是以灰度级  $i$  为起点,在给定空间距离  $d$  和  $\theta$  时,出现灰度级  $j$  的像素的概率。反映了图像中任意两点间灰度的空间相关性。其数学表达如式(8)所示:

$$P(i, j, d, \theta) = \frac{\# \{[(x_1, y_1), (x_2, y_2)] \mid f(x_1, y_1) = i, f(x_2, y_2) = j \mid d, \theta\}}{\# S}, \quad (8)$$

式中: $i, j = 0, 1, 2, \dots, L-1$ ;  $x, y$  为图像中的像素坐标; $L$  为灰度级的数目; $d$  为空间距离; $\theta$  为空间角度,通常情况下  $\theta$  一般取  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  几个方向,以  $ox$  轴为起始轴,逆时针方向计算; $\#$  代表数量; $S$  为像素对总和的个数。这样得到的共生矩阵是归一化的。根据灰度共生矩阵可以提取大量的纹理特征。HARALICK 等用灰度共生矩阵提取了 14 种纹理特征<sup>[14]</sup>。但由于 14 维纹理特征计算量很大,本文所采用以下 4 种最常用且统计效果最好的特征来提取图像纹理特征<sup>[15]</sup>:

#### 1) 角二阶矩(能量)

$ASM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j)^2$ , 角二阶矩反映了图像灰度分布的均匀性,粗纹理的能量矩较大,细纹理的能量矩较小。

#### 2) 熵

$ENT = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j) \lg P(i, j)$ , 熵是图像所有信息的度量。图像分布的纹理多,则图像熵值大;如图像分布着较少的纹理,则该图像熵值较小。

#### 3) 对比度(主对角线惯性矩)

$CON = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i-j)^2 P(i, j)$ , 对比度反映了纹理的清晰度和纹理的沟纹深浅。

#### 4) 相关性

$CORRLN = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} ijP(i, j) - u_1 u_2}{\sigma_1^2 \sigma_2^2}$ , 其中:  $u_1 = \sum_{i=0}^{L-1} i \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j)$ ;  $u_2 = \sum_{i=0}^{L-1} j \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j)$ ;  
 $\sigma_1 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - u_1)^2 \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j)$ ;  $\sigma_2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - u_2)^2 \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j)$ 。

相关性可以用来衡量灰度共生矩阵的元素在行或列方向上的相似度。矩阵元素值相差越小则相关值越大,相反,若矩阵元素值相差很大则相关值就小。

本文首先将彩色图像转化为灰度图像。接着将灰度图像量化成为 16 个灰度级,空间距离取值为 1,  $\theta$  取  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  和  $135^\circ$  四个方向。分别对角二阶矩、熵、对比度、相关性 4 个特征向量求取均值和标准差。组成了一个 8 维的纹理特征向量,如下所示:

$$F_{\text{texture}} = [A_m \quad A_s \quad E_m \quad E_s \quad CN_m \quad CN_s \quad CR_m \quad CR_s]。$$

## 2 分类器

BP 神经网络学习算法是由正反向传播 2 部分组成的,又被称作是多层前向反馈式神经网络训练算法。首先是正向传播过程,由输入层输入模式,经由隐层神经元传向输出层,如果所得输出没有达到期望值则进入反向传播过程,误差从输出层反向传入输入层,调整连接权值和阈值,不断减小误差直到达到期望输出为止<sup>[16]</sup>。主要的思想是利用确定的样本模式对网络进行训练,然后利用训练好的网络进行图像的处理和识别。

BP 神经网络学习算法具有自适应、自学习能力强、在线计算量小等优点在图像处理 and 图像识别领域广泛被人们使用。但是同样 BP 网络存在着泛化能力不够理想;容易陷入局部极小而得不到全局最优等缺点。针对这些局限性,将 BP 神经网络结合带有权值更新的集成学习算法,形成了增强的 BP 神经网络分类算法,即 Bp\_adaboost 算法,将该方法应用到工业仪表图像分类识别中,取得了较好的效果。

Bp\_adaboost 分类器算法是通过改变数据分布来实现的,通过增大错分样本权重,降低正确分类样本权重来得到新的样本分布。然后,将更新过权值的新数据集送给下层分类器进行训练,最终将每次训练得到的

分类器融合,作为最后的决策分类器。算法主要步骤如下。

1) 数据选择、权重初始化 从样本空间中随机选择  $m$  组训练数据,  $n$  组测试数据。初始化训练数据的分布权值  $D_t(i) = \frac{1}{m}$ 。

2) 弱分类器预测 首先对训练样本进行归一化处理,根据样本输入输出维数确定神经网络结构,初始神经网络权值和阈值。对测试数据进行神经网络训练,得到训练数据预测误差  $e_t$  :

$$e_t = \sum_i D(i), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad g(t) \neq y,$$

式中:  $g(t)$  为实际输出序列;  $y$  为期望输出。

3) 计算预测权重序列 预测权重序列公式为

$$a_t = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1 - e_t}{e_t} \right).$$

4) 测试数据权重调整 根据预测数据权重调整下一轮训练样本的权重,调整公式为

$$D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i)}{B_t} \exp[-a_t y_i g(x_i)], \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

式中  $B_t$  是归一化因子,目的在权重比例不变的情况下使权重分布和为 1。

5) 强分类器输出 由  $T$  组弱分类函数  $f(g_t, a_t)$  组合得到了强分类函数  $H(x)$ ,

$$H(x) = \text{sign}[a_t f(g_t, a_t)].$$

### 3 实验结果与分析

本文针对液位控制系统工业操作平台最主要的 2 个组成部分工业检测仪表和液位容器设备进行分类图像采集。图像采集装置采用 CMOS 摄像头,200 万像素,采集到的图像尺寸为 1 024 像素  $\times$  1 280 像素。具体分类样本图像示例见图 3 与图 4,共 35 幅待分类图像。实验在 MatlabR2010b 环境下编程实现上述算法,首先基于 HSV 空间进行前 3 阶颜色矩特征提取,提取 9 维颜色特征向量。然后基于灰度共生矩阵进行 8 维纹理特征提取,最后用 17 维综合特征向量组成样本空间。针对 BP 神经网络,设置隐含层神经元 6 个,最多迭代次数 500 次,网络学习速度 0.01,误差要求 0.000 04。分类训练和测试。

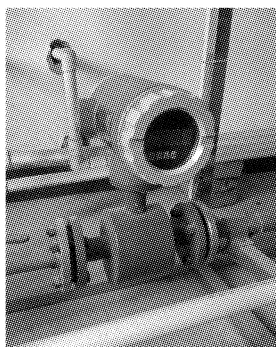


图 3 第 1 类样本图像示例

Fig. 3 First kind of sample images



图 4 第 2 类样本图像示例

Fig. 4 Second kind of sample images

随机抽取样本总数的 85% 作为训练图像。剩余图像作为测试图像。分别用 BP 弱分类器, BP 强分类器和朴素贝叶斯分类器进行分类测试。测试结果见表 1。另取样本总数的 80% 和 75% 作为训练图像。测试所得数据分别见表 2 和表 3。

表 1 取样本总数的 85% 作为训练图像数据对比

Tab. 1 Data comparison with 85% of the total number of samples as training image

特征名称	特征维数/维	BP 弱分类器准确度/%	朴素贝叶斯分类器准确度/%	BP 强分类器准确度/%
颜色特征	9	80	100	100
纹理特征	8	70	40	80
综合特征	17	90	80	100

表 2 取样本总数的 80% 作为训练图像数据对比

Tab. 2 Data comparison with 80% of the total number of samples as training image

特征名称	特征维数/维	BP 弱分类器准确度/%	朴素贝叶斯分类器准确度/%	BP 强分类器准确度/%
颜色特征	9	71.43	85.71	100
纹理特征	8	57.14	57.14	71.43
综合特征	17	85.71	85.71	100

表 3 取样本总数的 75% 作为训练图像数据对比

Tab. 3 Data comparison with 75% of the total number of samples as training image

特征名称	特征维数/维	BP 弱分类器准确度/%	朴素贝叶斯分类器准确度/%	BP 强分类器准确度/%
颜色特征	9	50	66.67	66.67
纹理特征	8	61.11	88.89	66.67
综合特征	17	66.67	100	100

综合表 1—表 3 中 BP 弱分类器准确度数据,可以得到特征向量 BP 神经网络分类准确率对比图,如图 5 所示。综合表 1 数据可以得到分类器准确率对比图,如图 6 所示。

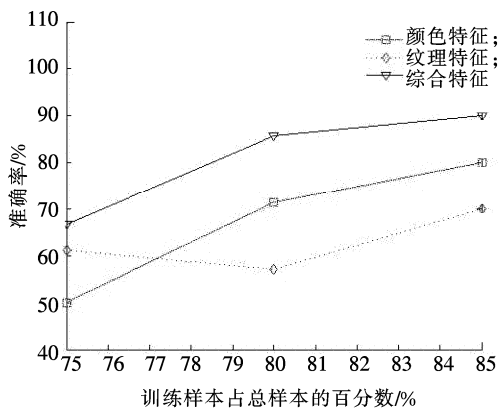


图 5 特征向量 BP 神经网络分类准确率对比图  
Fig. 5 Classification accuracy of feature vector of BP neural network

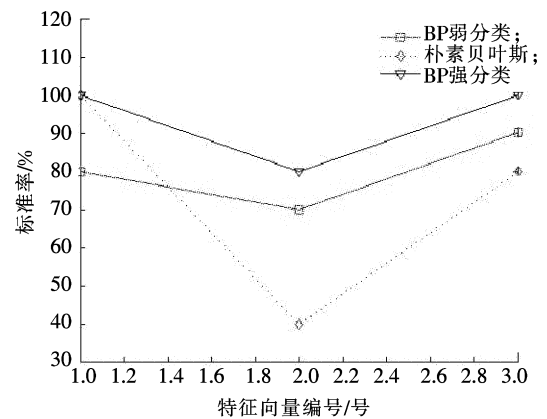


图 6 分类器准确率对比图  
Fig. 6 Accuracy of classifier

综合对比 3 个表格的数据和图 5、图 6 的图像可知:在特征向量选择方面,通过特征的组合,综合特征分类准确度要明显高于单纯使用颜色特征和纹理特征的分类准确度。以 BP 神经网络弱分类器为例。综合特征分类准确率比较颜色特征分类准确率平均高出 13.65%,较纹理特征分类准确率平均高出 18.04%。其次,在分类器选择方面,以表 1 数据为例,带有权值更新的 BP 强分类器准确度分别平均高于 BP 弱分类器 13.33%,高于朴素贝叶斯分类器 20%。

#### 4 结 语

基于颜色矩和灰度共生矩阵的综合特征提取能够提供更加丰富的图像整体统计信息,补充了单纯颜色特征提取和单纯纹理特征提取在特征描述上的缺失。通过综合特征的构造,为分类提供了更加有效的样本参数,提高了图像分类的准确度。在有效提取综合特征的基础上,运用带有权值更新的 Bp\_adaboost 神经网络分类器,相对 BP 弱分类器和朴素贝叶斯分类器对工业仪表与设备图像能取得较好的分类结果。

#### 参考文献/References:

[1] 唐 磊, 毕明德, 孙志刚. 基于视频图像的工业仪表高速自动识别[J]. 机电工程, 2010, 27(9): 69-75.

- TANG Lei, BI Mingde, SUN Zhigang. An high-speed and automatic recognition method of the industry meter based on video image[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2010,27(9):69-75.
- [2] 曹建. 图像目标的表示与识别[M]. 北京:机械工业出版社, 2012.  
CAO Jian. Representation and Recognition of Image Target[M]. Beijing: Mechanical Engineering Press, 2012.
- [3] MANJUNATH B S, OHM J R. Color and texture descriptors[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(6):703-715.
- [4] KONSCAN A, ABIDI M. 彩色数字图像处理[M]. 章毓晋,译. 北京:清华大学出版社, 2010.  
KONSCAN A, ABIDI M. Color Digital Image Processing [M]. ZHANG Yujin, translation. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.
- [5] 王业琴, 王克奇, 白雪冰,等. 计算机视觉木材表面色差检测的研究[J]. 林业科技, 2005,30(2):36-38.  
WANG Yeqin, WANG Keqi, BAI Xuebing et al. Wood surface color difference detection of computer vision research [J]. Journal of Forestry Science and Technology, 2005, 30(2): 36-38.
- [6] 秦志新, 裴东兴. 基于内容的图像检索技术概述[J]. 数字技术与应用, 2012(1):159-161.  
QIN Zhixin, PEI Dongxing. Overview of content-based image retrieval technology [J]. Digital Technology & Application, 2012 (1) : 159-161.
- [7] 杨红菊, 张艳, 曹付元. 一种基于颜色矩和多尺度纹理特征的彩色图像检索方法[J]. 计算机科学, 2009,36(9):274-277.  
YANG Hongju, ZHANG Yan, CAO Fuyuan. Based on multi-scale texture characteristics and color moments of color image retrieval method [J]. Journal of Computer Science, 2009, 36(9): 274-277.
- [8] 徐琨, 李燕. 基于分块颜色矩和纹理特征的图像检索方法[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2005,20(2):77-79.  
XU Kun, LI Yan. Based on the block color moment and texture features of image retrieval methods [J]. Journal of Xi'an Petroleum University(Natural Science Edition), 2005, 20(2): 77-79.
- [9] 戴天虹, 王克奇, 杨少春. 基于颜色特征对木质板材分级的研究[J]. 系统仿真学报, 2008,20(5):1 372-1 376.  
DAI Tianhong, WANG Keqi, YANG Shaochun. Based on the color features of wooden plank classification research [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(5):1 372-1 376.
- [10] 曾传华, 陈红, 高云,等. 基于SVM和颜色矩的竹条颜色分级方法[J]. 湖北农业科学, 2010,49(2):455-457.  
ZENG Chuanhua, CHEN Hong, GAO Yun, et al. Bamboo color classification method based on SVM and color moment [J]. Hubei Province Agricultural Science, 2010,49(2): 455-457.
- [11] SRICKER M, ORENGO M. Similarity of color images[J]. Proc SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases, 1995,2420: 381-392.
- [12] 马莉, 范影乐. 纹理图像分析[M]. 北京:科学出版社, 2009.  
MA Li, FAN Yingle. Texture Image Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [13] BERGEN J R, ADELSEN E H. Early vision and texture perception[J]. Nature, 1988, 333(5):363-364.
- [14] HARALICK R M, SHANMUGAM K, DINSTEN I H, Texture features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 1973, 3(6):610-621.
- [15] 冯建辉, 杨玉静. 基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像的研究[J]. 北京测绘, 2007,3(5):19-22.  
FENG Jianhui YANG Yujing. Based on the research of gray level co-occurrence matrix to extract features [J]. Journal of Surveying and Mapping in Beijing, 2007, 3(5):19-22.
- [16] 许振伟. BP神经网络分类器在储粮害虫图像检索中的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2010,25(1):103-106.  
XU Zhenwei. Introducing stored-grain pest image retrieval based on BP neural network[J]. Journal of The Chinese Cereals and Oils Association. 2010,25(1):103-106.

## 向本期载文的审稿专家致谢

本期《河北科技大学学报》共发表论文 20 篇。这些论文的发表是与有关专家的认真审读、细查资料、推敲分析、中肯评价分不开的。对此,本编辑部特向这些专家表示敬意,对他们的辛勤劳动表示感谢。本期载文的审稿专家名单如下(按姓名的汉语拼音顺序排列):

安忠 白雪峰 陈德智 陈嘉兴 程久龙 杜玉民 郭奋 郭永 何华  
 贺亚峰 李争 李文明 李新福 李玉现 刘正耀 孟祥慧 米据生 倪有源  
 邱保胜 沈敏德 施龙飞 苏连青 孙光永 唐原广 王书香 魏宏安 魏世泽  
 吴保卫 武春彬 杨立峰 杨秋生 于永江 轧刚 翟学良 张嘉钰 张少军  
 张占恩 张占辉 郑刚 周伟澄 周雪琴

(本刊编辑部)