

基于颜色和纹理特征过滤的图像检索

李清波¹, 高守平¹, 欧阳军林²

(1. 湘南学院, 湖南 郴州 423000; 2. 湖南科技大学, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 由于单一特征不足以准确地描述图像, 提出了一种结合颜色、纹理特征的图像检索方法。提出了新的用二值信息来表示图像的主色、全局色和纹理特征的方法, 并由此特征构造2个过滤器, 快速地过滤图像库中明显不相同的图像, 以提高检索速度; 采用改进的颜色直方图和新的旋转复合小波纹理特征进行相似度计算, 为进一步提高图像检索质量, 引入了将半监督学习和主动学习相结合的相关反馈方法。实验结果表明该方法优于其它方法。

关键词: 颜色直方图; 相关反馈; 图像检索

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)03-0082-05

Image Retrieval for Filtering Based on Color and Texture Features

Li Qingbo¹, Gao Shouping¹, Ouyang Junlin²

(1. XiangNan University, Chenzhou Hunan 423000, China;

2. Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

Abstract: A new method of content-based image retrieval which integrates color and texture features is presented. In order to improve image retrieval speed and accuracy, a new method is presented to show the mayor color, global color and texture feature of image using binary information feature, and two filters with these binary information are constructed to filter irrelevant images from image database. Then, similar measure is based on improved color histogram and new rotation complex wavelet feature. In order to improve retrieval performance, a relevance feedback mechanism is introduced. This feedback enhances the retrieval effectiveness by combining semi-supervised and active learning. Experiments show that the proposed system is not only superior to other methods but also effective.

Key words: color histogram; relevance feedback; image retrieval

为了能从大量的不同类型的图像数据中快速、准确地找到用户所需内容的图像, 基于内容的图像检索技术正越来越成为人们研究的焦点。现有的系统主要采用颜色、形状、纹理和空间关系等特征进行图像检索。颜色特征是图像检索中应用最为广泛的视觉特征, 常用的颜色技术包括颜色直方图^[1], 该方法具有特征提取和相似度计算简便的优点, 可变级数的颜色直方图^[2]根据图像中颜色数目的不同, 量化的级数也不同, 相对一般直方图效果要好; 颜色相关图^[3]是基于颜色-空间的方法, 该方法能在一定程度上提取图

像的颜色信息和空间信息。除了图像的颜色特征外, 纹理信息是另一种重要的图像低层特征。常用描述纹理的方法有多维自回归纹理特征(MRSAR)、Gabor特征、TWT小波变换、PWT小波变换、改进的Tamura特征、粗糙度直方图、方向性直方图和传统Tamura特征。文献[4]中提出了两级纹理图像检索提高检索速度, 文献[5]提出了二叉树旋转复合小波与二叉树复合小波相结合, 提取12个不同方向的纹理特征。

然而, 单一特征很难准确地描述图像, 特别是图像数据库中有各种不同类型的图像时表现更明显。而

收稿日期: 2008-02-29

作者简介: 李清波(1969-), 男, 湖南桂阳人, 湘南学院教师, 硕士研究生, 主要研究方向为图像检索, 计算机网络;

高守平(1965-), 男, 湖南常德人, 湘南学院教授, 博士, 主要从事网格计算方面的教学与研究。

多特征图像检索会影响图像检索速度, 同时计算机和人眼视觉间对图像的理解存在一定的差异。针对这些问题, 本文提出基于过滤方法的多特征快速图像检索, 同时采用基于机器学习的相关反馈方法, 缩小计算机和人眼视觉间对图像理解的差距。首先, 从查询图像中提取主色 (MC)、颜色直方图 (CH)、旋转复合小波纹理 (RCWFS) 等特征; 然后, 采用二值表示

的主色和纹理特征 (EDBI) 与图像库中提取的特征进行比较, 过滤图像库中明显不同图像, 提高检索速度和准确性; 最后, 利用从图像中提取的颜色直方图和旋转复合小波纹理特征, 与候选图像特征进行相似度计算。为提高图像检索质量, 引入一种基于机器学习的相关反馈方法——半监督学习和主动学习相结合的相关反馈方法, 整个系统检索过程如图 1 示。

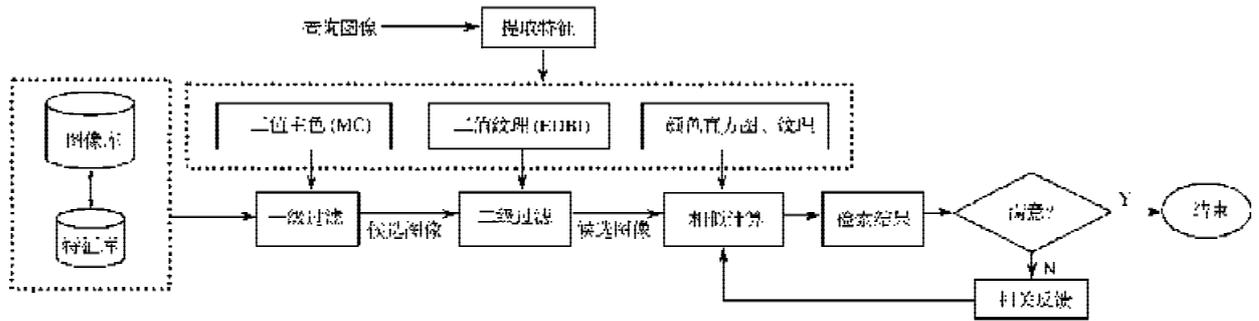


图 1 系统检索结构框图

Fig. 1 Structure diagram of system retrieval

1 颜色特征的提取与表示

1.1 加权颜色直方图

颜色直方图由于对图像旋转、缩放、变形等的不变性, 因此广泛运用于图像检索系统。颜色直方图的横轴表示颜色等级, 纵轴表示在某一个颜色等级上具有该颜色像素的数目。2 个图像的相似性可以通过各自的颜色直方图, 采用欧氏距离或是直方图求交的方法得到。然而, 颜色直方图也存在一定的缺陷。首先, 同样一个对象在不同的背景中得到的 2 幅图片, 它们的颜色直方图可能存在较大的差别, 因而被认为不相似 (特别是对对象在图像中所占的比例较少时), 而对于人眼视觉来说, 这 2 幅图片是相似的; 其次, 2 个直方图很相似, 只是互相错开了一个 bin (区间), 如果采用直方图求交的方法求相似度, 会得到很小的值。

产生上述第一个问题的主要原因是, 颜色直方图把图像中的每一个像素看成对图像有相同的重要性。其实, 图像中并不是所有的像素一样重要, 可能只有小部分像素有用, 其余的像素对图像可能无关紧要。一般地, 处于图像中间部分的像素对图像起着重要的作用, 而四周仅仅是图像背景。因此, 可以给图像中间位置的像素分配较大的权值, 而远离中心位置的像素分配较小的权值。根据这一思想, 采用文献[6]的方法, 设置如下权值系数公式:

$$k(r) = \begin{cases} 1-r^2, & r \leq 1; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

图像颜色分布 $P = \{P^{(c)}\}_{c=1, \dots, b}$ (公式中 b 表示颜色直方图量化的级数) 可用下面的公式计算:

$$\begin{cases} P^{(c)} = \frac{1}{norm} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k\left(\frac{|x_{ij} - \bar{x}|}{a}\right) \delta[f(i, j) - c], \\ norm = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k\left(\frac{|x_{ij} - \bar{x}|}{a}\right), \end{cases} \quad (2)$$

其中: δ 为狄拉克函数 $\delta(x)$, $\delta(x-x_0)$ 对所有 $x \neq x_0$ 的点都为零; c 表示量化的某个颜色索引;

$f(i, j)$ 表示像素 x_{ij} 的颜色值映射到颜色直方图中对应的颜色索引;

$|x_{ij} - \bar{x}|$ 表示像素 x_{ij} 到图像中心 \bar{x} 的距离;

a 表示图像长度的一半; $norm$ 为归一化因子。

1.2 主色和全局色的二值信息表示

基于图片颜色的规律以及对数据库中大量的图片进行观察, 可以得出下面的结论: 给定 2 幅图像, 如果它们有多种相似颜色, 那么它们有相似的可能; 如果 2 幅图像没有一种、或者仅有很小的颜色是相同的, 那么可以认为这 2 幅图像相似的可能性是极小的。基于这样的结论, 可以通过从被查询图像中提取出几种主色与图像数据库中的全局色进行比较, 如果没有一种相似颜色, 那么可以快速地把这幅图像过滤掉。

除了提取的颜色直方图的特征外, 从图像中提取出另外 2 个颜色特征——主色和全局色, 并用二值信息表示。颜色直方图主要用于 2 幅图像的相似计算, 而主色和全局色用于基于颜色的过滤机制中, 用来快速地把图像库中没有包含主色的图像过滤, 其中主色从查询图像中提取, 全局色则在图像库中离线提取。

一般人们往往只要通过 3 种颜色就能感知一副图像[7]。因此, 从查询图像中一般只需提取 4 种重要的颜色来表示主色。从改进的颜色直方图中选择频率最

大的4个颜色,且该颜色所占的比例超过1%作为主色,选为主色的颜色区间值为1,其它区间值为0,则该二值信息的长度为颜色量化区间的数目。全局色为颜色直方图中的所有颜色,如果在某颜色量化区间中该颜色所占的比例超过1%,则把该位置设为1,否则设为0。例如,假定某幅图片中的主色为红色、绿色、黄色、黑色,且这4种颜色是量化区间的前4个区间,颜色直方图量化的区间个数为10,则主色可以表示为:1 111 000 000。

2 纹理特征的提取与表示

2.1 旋转复合小波纹理特征(RCWFS)

文献[5]提出了一种新的纹理特征,实验结果证明该法比Gabor小波更有优势:首先由于采用12个不同方向提取纹理特征,因此有更好的查准率;其次检索速度比Gabor小波快3.3倍,且该法具有平移不变性。

文献[5]首先设计了一个带有小波过滤系数的2-D旋转复合小波过滤器,通过该过滤器得到纹理在6个方向有较强的方向信息。为了提高图像检索的速度和准确率,提出了结合二叉树旋转复合小波过滤(DT-RCWF)和二叉树复合小波过滤(DT-CWF),获得12个不同方向的纹理特征(每个有6个方向),总共12个方向为 $\{15^\circ, 45^\circ, 75^\circ, -15^\circ, -45^\circ, -75^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, -30^\circ\}$ 。对图像利用DT-RCWF和DT-CWF进行三级分解,提取出能量特征和标准方差特征(具体过程参考文献[5])为:

$$E_{mn} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |W_{mn}(i, j)|, \quad (3)$$

$$\sigma_{mn} = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W_{mn}(i, j) - \mu_{mn})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

其中: $W_{mn}(i, j)$ 表示第 m 级 n 方向小波分解子带中像素为 (i, j) 的灰度值;

$M \times N$ 表示小波分解子带的大小;

μ_{mn} 表示 m 级 n 方向小波分解子带的灰度均值,

则图像的纹理特征向量可以表示为:

$$f = [\sigma_{11}, \sigma_{21}, \dots, \sigma_{mn}, E_{11}, E_{12}, \dots, E_{mn}]. \quad (5)$$

2.2 能量分布二值信息(EDBI)

本文提出了新的用二值信息(能量分布二值信息EDBI)来表示纹理图像特征的方法,它用来快速过滤不相关的图像,加快检索速度。EDBI生成的步骤如下:

1)对图像实现金字塔式(PWT)三级小波分解,求出图像中9个高频子图的能量值 E_{mn} 。

2)对每个能量值进行归一化, $E_{mn}^{norm} = \frac{E_{mn}}{\sum_{m,n=1}^9 E_{mn}}$,
且能量均值 $\mu = \frac{1}{9}$ 。

3)对每个子图的能量根据下面的公式进行二值表示。其中 ϵ 为模糊容限值,它与通过粗检的图像数成正

比,决定了粗检的粗糙程度。根据 μ 和 ϵ 值,把能量分为4个区间,对每个区间用两比特编码,则9个子图可得到一个18位二值信息(EDBI)。

$$b_1 b_2 = \begin{cases} 11, & \text{if } E_{mn}^{norm} > \mu + \epsilon; \\ 10, & \text{if } \mu - \epsilon < E_{mn}^{norm} \leq \mu + \epsilon; \\ 00, & \text{if } \mu - \epsilon < E_{mn}^{norm} \leq \mu; \\ 01, & \text{else } E_{mn}^{norm} \leq \mu - \epsilon \end{cases} \quad (6)$$

3 图像的两级过滤方法

3.1 颜色过滤方法

图像过滤的目的主要有两个:一个是加快图像检索的速度;另一个是通过排除图像库中明显不相同图像,减少相似计算的误差。根据给定的一幅查询图像,按前述的方法,从中提取出该图像的主色并用二值信息表示,逐一与图像库中每幅图像的全局色二值信息进行按位“逻辑与”运算,如果运算后的值为0,则表明这2幅图像不相似,可以快速地该图像过滤掉,加快检索的速度。

3.2 纹理过滤方法

利用提取的二值纹理特征(EDBI)进行过滤,具体方法如下:

1)假定查询图像 Q 的 $Q_{EDBI} = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_{18})$,目标图像 T 的 $T_{EDBI} = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_{18})$;

2)分别从查询图像和目标图像中提取出奇数位和偶数位组成新的二值信息, $OQ = \{q_1, q_3, \dots, q_{17}\}$,
 $EQ = \{q_2, q_4, \dots, q_{18}\}$,
 $OT = \{t_1, t_3, \dots, t_{17}\}$,
 $ET = \{t_2, t_4, \dots, t_{18}\}$;

3)根据下面的公式进行如下逻辑运算:
 $V = (OQ \oplus OT) \wedge (EQ \vee ET)$,其中 \oplus, \wedge, \vee 分别表示逻辑异或运算、逻辑与运算和逻辑或运算。若 $V = 0$,则图像匹配,通过粗检;否则不匹配可把该图像过滤。

4 图像的检索过程

4.1 相似度计算

经过2次过滤以后,可以从图像库中得到候选的图像,候选图像再根据颜色特征和纹理特征与查询图像进行相似度的计算。颜色特征采用改进的颜色直方图,针对传统颜色直方图中存在的第二个问题,采用Bhattacharya^[7]方法,计算2个颜色直方图 $p = \{p^{(c)}\}_{c=1, \dots, 255}$ 和 $q = \{q^{(c)}\}_{c=1, \dots, 255}$ 之间相似度,公式定义如下:

$$S_1 = \sum_{c=1}^k \sqrt{p^{(c)} q^{(c)}}. \quad (7)$$

当2个完全一样的直方图进行计算时,相似度为1。

由纹理特征向量 f ,纹理相似度可以定义为:

$$S_2 = 1 - \sum_{m,n} \left(\frac{E_{mn}^x - E_{mn}^y}{\sigma(E_{mn}^x)} + \left| \frac{\sigma_{mn}^x - \sigma_{mn}^y}{\sigma(\sigma_{mn}^x)} \right| \right), \quad (8)$$

式中: m, n 分别表示小波分解的尺度和方向;

E_{mn}, σ_{mn} 为小波分解子带的能量值和标准方差;

$\sigma(E_{mn}), \sigma(\sigma_{mn})$ 表示整个数据库中各自特征的标准差用于归一化各自的特征向量。

则图像总的相似度为: $S = \alpha S_1 + (1 - \alpha) S_2$, (9)

其中 α 为参数。实验证明, 在系统中 α 取 0.72 较好。

4.2 相关反馈方法

相关反馈方法能缩小计算机和人之间对图像理解的差距, 因此成为图像检索系统中必不可少的一个部分。主要的相关反馈方法有: 权值调整、查询向量转移、基于概率框架的方法以及基于机器学习的方法等。文献[8]提出了一种把主动学习和半监督学习结合起来的相关反馈技术, 在半监督学习部分, 采用了协同学习的方法; 再把 2 个学习机器给出相反判断或都没有把握的图像作为最能提供信息图像, 用来询问用户。实验证明了该方法的有效性, 实现过程伪代码如下

(符号意义见表 1)。

重复下面步骤直到用户满意:

- 1) if 用户想进行反馈
获得反馈正例和负例 (P^*, N^*)
 $P \leftarrow P \cup P^*; N \leftarrow N \cup N^*; U \leftarrow U - (P^* \cup N^*)$
for $i \in \{1, 2\}$ do
 $P_i \leftarrow P \cup \left\{ \underset{x \in U}{\operatorname{argmax}} L_{i,j}(x, P, N) \right\}$
 $N_i \leftarrow N \cup \left\{ \underset{x \in U}{\operatorname{argmin}} L_{i,j}(x, P, N) \right\}$
- else for $i \in \{1, 2\}$ do $P_i \leftarrow P; N_i \leftarrow N$
- 2) for $x \in U$ do $\operatorname{Rank}(x) \leftarrow \frac{1}{Z_{norm}} \sum_{i=1,2} L_i(x, P, N_i)$
- 3) $Pool \leftarrow \Phi; Result \leftarrow \Phi$
- 4) for $i \{1 \dots poolsize\}$ do $Pool \leftarrow Pool \cup \{\operatorname{argmin} | \operatorname{Rank}(x) |\}$
- 5) for $i \{1 \dots resultsize\}$ do $Result \leftarrow Result \cup \{\operatorname{argmax} | \operatorname{Rank}(x) |\}$

表 1 符号意义

Tab. 1 Symbol meaning

P	N	P^*	N^*	U	L_i	$\operatorname{Rank}(x)$	$Poolsize$	$Resultsize$	Z_{norm}
正例	负例	反馈正例	反馈负例	未标记图像	学习机器	图像等级	最不相关图像数目	相关图像数目	图像等级标准化[-1,1]

学习机器模型如下:

$$L_i(x, P, N) = \frac{\left(\sum_{y \in P} \frac{\operatorname{sim}_i(x, y)}{|P| + \varepsilon} - \sum_{z \in N} \frac{\operatorname{sim}_i(x, z)}{|N| + \varepsilon} \right)}{Z_{norm}} \quad (10)$$

$$\operatorname{Sim}_i(x, y) = \frac{1}{\left(\left(\sum_{j=1}^d |\hat{x}_j - \hat{y}_j|^{c_j} \right)^{1/c} + \varepsilon \right)} \quad (11)$$

其中: c 确保分母不为 0;

$|P|$ 表示正例图像数目;

$|N|$ 表示负例图像数目;

\hat{x}_j, \hat{y}_j 表示图像 x, y 的 d 维特征向量。

系统中采用该相关反馈方法 d 的维数为 2, 即颜色直方图和纹理特征, 相似度公式 (11) 也可以用式 (7) 和 (8) 代替。

5 实验结果

在 XP 系统下使用 Visual C++6.0 作为开发环境, 图像库下载了 J. Z. Wang 的 SIMPLIcity 系统测试库, 该库中有 10 类共 1 000 幅图片。查准率和查全率是基于内容的图像检索系统性能的 2 个重要指标, 可以通过下面的公式表示:

$$\eta = \begin{cases} n/N, & \text{if } N \leq T, \\ n/T, & \text{if } N > T. \end{cases} \quad (12)$$

其中: n 表示查询相关图像; T 表示列表出的图像数目, N 表示图像库中与查询图像相关的总的图像。

当 $N < T$ 时, 表示查全率; 当 $N > T$ 时, 表示查准率。实验中取 N 为 100, 也就是查准率和召回率在这个测试库中是一个值。以“马”和“沙滩”图片为例, 检索部分结果如图 2、3 所示, 其中图 2、3 的第 1 张均为查询图片。

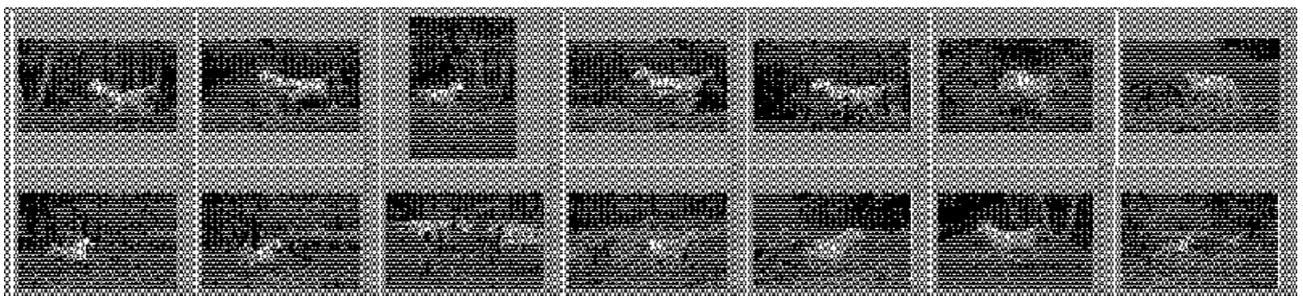


图 2 “马”检索结果部分图片

Fig. 2 Partial figures about “horse” after retrieval



图3 “沙滩”检索结果部分图片

Fig. 3 Partial figures about “sands” after retrieval

在第一次检索中，“马”和“沙滩”的检索时间分别为0.435 s和0.583 s，查准率分别为62%、68%。由于相关反馈机制的运用，经过2次反馈后，查准率分别达到了97%和94%。对其它图片进行测试，实验结果表明，一般用户只要反馈2~3次，就达到很高的图像检索性能，基本上能满足用户的要求。

为了评估系统性能，对本系统与其它方法进行对比，比较结果如表2所示。

表2 5种不同方法的查询结果比较

Tab. 2 Performance comparison of five different methods

查询方法	查询结果	
	平均查准率 / %	平均速度 / s
CH	55.2	1.232
CAC	59.2	1.570
TTS	27.3	1.080
RFWFS	42.8	1.014
Proposed	94.7	0.537

其中颜色直方图(CH)基于颜色的方法，颜色自动相关图(CAC)基于颜色和空间的方法，TTS^[4]基于纹理的两级检索，RFWFS^[5]基于结合二叉树旋转复合小波和二叉树复合小波提取12个不同方向纹理特征。从表2中可以看出，本文提出的方法查准率大约是TTS方法的4倍，与其它方法相比至少也提高了2倍，查询速度提高了2~3倍。

6 结语

为提高图像检索的性能，系统针对用单一特征进行图像检索时的不足，提出了结合颜色、纹理特征进行图像检索的方法。在2幅图像进行相似度计算之前，用二值信息表示颜色和纹理特征，过滤明显不相同的图像，加快检索速度。为进一步提高图像检索的质量，引入相关反馈机制——半监督学习和主动学习相结合

的方法。与其它4种单一特征的检索方法进行比较，结果表明：本文提出的方法在查全率与查准率方面是其它方法的2~4倍，查询速度是其它方法的2~3倍，且系统有较好的鲁棒性和优良的图像检索性能。

参考文献:

- [1] Swain M J, Ballard D H. Color indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- [2] Stehling R O. Color-shape histogram for image representation and retrieval[R]. Brazil: Institute of Computing, State University of Campinas, 2000.
- [3] Huang J. Image indexing using color correlograms[C]// Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington: IEEE Computer Society, 1997: 762-768.
- [4] HUANG P W, DAI S K. Image retrieval by texture similarity [J]. Pattern recognition, 2003, 36(3): 665-679.
- [5] Manesh Kokare P K, Biswas B N, Chatterji. Texture Image Retrieval Using New Rotated Complex Wavelet Filters[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 2005, 35(6): 1168-1178.
- [6] Comaneci D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [7] Biederman. Human image understanding Recent research and a theory[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 32(7): 29-73.
- [8] Zhou Z H, Chen K J, Jiang Y. Exploiting unlabeled data in content-based image retrieval[C]// Proceedings of ECML-04, the 15th European conference on Machine Learning. Italy: [s.n.], 2004.

(责任编辑:张亦静)