

面向个性化服装推荐的判断优化模型

王安琪, 刘 骊, 付晓东, 刘利军, 黄青松

WANG Anqi, LIU Li, FU Xiaodong, LIU Lijun, HUANG Qingsong

昆明理工大学 云南省计算机技术应用重点实验室 信息工程与自动化学院 计算机科学系, 昆明 650500
Computer Technology Application Key Lab of Yunnan Province, Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

WANG Anqi, LIU Li, FU Xiaodong, et al. Judgement and optimization model for personalized clothing recommendation. Computer Engineering and Applications, 2000, 0(0): 1-000.

Abstract: Judgement and optimization model for personalized clothing recommendation is proposed, which aims to solve the problem of clothing recommendation algorithm inconsistent with the color characteristics of the user color by combination of four seasons color theory and computer vision. Firstly, the four seasons color judgment model is applied to classify the user color feature based on the input face image. Secondly, the optimization processing model is established, according to the results of the four seasons color judgment model and user's required style to optimize the processing and get the clothing pre-recommendation results. Finally, the user scoring and feedback mechanism are used to improve the optimization result and get the final recommendation result. Experiments show that this method can realize personalized clothing recommendation which is compatible with user color characteristics with high accuracy in practical application.

Key words: clothing recommendation; judgement model; optimizing model; computer vision; image understanding

摘 要: 针对已有服装推荐算法中服装色调与用户颜色特征不协调的问题, 将服装搭配的四季色彩理论与计算机视觉领域的推荐方法相结合, 提出一种面向个性化服装推荐的判断优化模型。首先, 提出四季色彩判断模型, 对根据输入的人脸图像提取得到的用户颜色特征集进行分类; 然后, 建立优化处理模型, 根据四季色彩判断模型结果和用户所需风格进行优化处理并获得服装预推荐结果; 最后, 通过用户评分及反馈机制, 提高优化结果, 得到最终推荐结果。实验表明, 该方法能实现与用户颜色特征相协调的个性化的服装推荐, 并且在实际应用中具有较高的准确率。

关键词: 服装推荐; 判断模型; 优化模型; 计算机视觉; 图像理解

文献标志码: A 中图分类号: TP391.41 doi: 10.3778/j.issn.1002-8331.1612-0318

基金项目: 国家自然科学基金 (No.61462051, No.61462056, No.81560296, No.81360230); 云南省应用研究基础计划面上项目 (No.2014FB133); 云南省应用研究基础重点项目 (No.2014FA028); 昆明理工大学自然科学基金资助项目 (No.KKSY201403119)。

作者简介: 王安琪(1991—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机图形学、图像处理、计算机视觉; 刘骊(1979—), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为计算机图形学、图像处理、计算机视觉, E-mail: kmust_mary@163.com; 付晓东(1975—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为服务计算、决策理论与方法; 刘利军(1978—), 男, 讲师, 研究方向为图像处理、云计算、信息检索。黄青松(1962—), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为机器学习、数据挖掘、智能信息系统。

1 引言

随着服装产业的迅速壮大,中国的服装零售总额已经从2004年的164.5亿美元增长到2015年的1132.6亿美元,平均增长率为26.58%,已经成为“全球发展最快的市场”之一。由于服装产业的飞速发展,通过计算机视觉技术解决服装领域相关问题已经成为近年来的研究热点。本文所研究的服装推荐方法在电子商务等方面有广泛应用。例如,目前许多知名电子商务平台(如淘宝,唯品会,京东等)能够通过分析用户所购买过、浏览过的商品,得到该用户的偏好,并为其推荐服装商品。但是,仅考虑用户在电子购物平台上的喜好,购物之前不能对商品进行试穿,会经常导致所购买的商品穿着效果与期望有较大差距。因此,如何实现能够推荐最适合用户肤色、发色、瞳色及风格的服装成为人们关注的问题。目前,除了通过造型师为用户推荐服装外,还能通过计算机为用户进行个性化服装推荐。

近年来,图像检索、图像分割和图像推荐等研究工作受到大量关注,在服装推荐方法上已取得了很大进展,研究者们也能够通过不同方式对用户进行服装推荐,但仍存在一定的不足。第一,目前的服装推荐方法仅能够根据用户所提出的场景、服装颜色等条件向用户进行推荐,未考虑所推荐的服装是否真正适合该用户,导致推荐的服装与用户肤色、发色、瞳色、风格等不协调的问题,在服装的个性化推荐方面仍有所欠缺。第二,由于服装产业的急速发展,服装款式和服装风格的多样性与复杂性很大程度上增加了个性化服装推荐的难度。第三,目前所拥有的服装推荐的准确率仍有待提高。

四季色彩理论^[1-4]最早是由色彩大师卡洛尔·杰克逊提出,之后由佐藤泰子引入日本,进行修改后形成了适合亚洲人的色彩体系。1998年,该体系由

“中国色彩第一人”于西蔓女士引入中国,从而开创了中国色彩咨询业的先河,引爆了中国的色彩革命。目前“四季色彩理论”给世界各国女性的着装带来巨大的影响,同时也引发了各行各业在色彩应用技术方面的巨大进步。其原理是将所有色彩按照基调的不同,进行冷暖、明度和纯度的划分,形成四组和谐的色彩群。而由于每一组色彩群恰好与大自然的四季色彩特征相吻合,因此被称为四季色彩理论。其中“春”和“秋”为暖色系,“夏”和“冬”为冷色系。本文所提出的服装推荐方法受到四季色彩理论^[1-4]的启发,借鉴该理论的颜色搭配准则为用户进行个性化的服装推荐。

本文提出的面向个性化服装推荐的判断优化模型是对提取人脸图像的颜色特征,并利用经训练的四季色彩判断模型对其进行判断分类,得到用户所属色彩季节作为后期服装推荐依据。根据四季色彩判断模型结果与用户所需的不同风格服装数据集建立优化处理模型,并根据四季判断模型的分类得到预推荐结果。接着,根据用户评分及反馈机制更新用户偏好数据集。用户偏好数据集的内容作为新的训练数据训练优化处理模型。该方法有效地提高了服装推荐的准确度,减少了推荐服装与用户肤色、发色、瞳色的不协调,增加了服装推荐的个性化需求。本文方法总体流程图如图1所示。

本文的创新之处在于:(1)将服装搭配的四季色彩理论与计算机视觉领域的推荐方法相结合,实现更个性化的服装推荐。(2)基于用户个性化的颜色特征与服装风格需求,建立优化处理模型,提高了个性化服装推荐的准确性。(3)引入用户评分反馈机制,并通过交互方式更新用户偏好数据,满足用户的个性化服装需求。

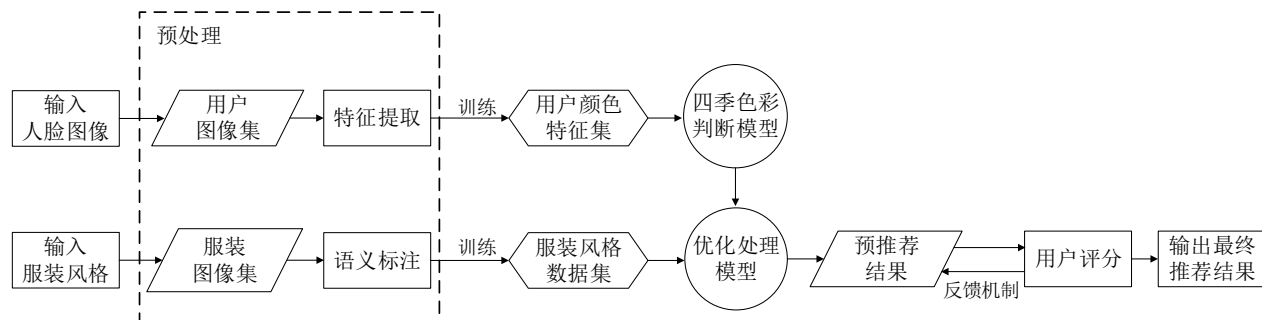


图1 本文提出方法的总体流程图

2 相关工作

本文将四季色彩理论^[1-4]方法与计算视觉技术相结合, 对用户进行个人四季色彩判断, 得出该用户所属季节色彩类别。根据该季节的颜色群为用户推荐适合的服装。该方法能自动为用户推荐出适合该用户个人特征的服装, 大大满足用户的个性化需求和推荐的准确性。

此外, 由于服装的多样性及复杂性, 使得分类的方法多种多样, 对于不同类型的服装也有专门的分类方法。在已有的个性化推荐方法^[5-7]中, 能够根据多种方法对服装分类, 其中包括颜色分类、面料分类、款式分类, 甚至更加具体的细粒度分类^[8]。而在本文中我们将服装按照风格进行分类, 用户不用拘于服装的款式, 而是能够根据所需要打造的造型风格得到所需的服装推荐。

推荐系统^[9-11]可以根据所推荐的方式分为两个基本类型, 基于内容的推荐^[12]和协同过滤推荐^[13]。基于内容的推荐 (content-based recommendation) 是通过一些形式来呈现 (通常是文本形式), 用户的需要和物品的特征是首选。基于内容的推荐通过这些表示去预测一个用户对于新事物的兴趣。协同过滤推荐 (collaborative filtering recommendation) 是推荐给用户与他品味和喜好相似用户曾经喜欢的。协同推荐系统是基于其他相同兴趣的人来预测用户对于新事物的兴趣。相对于内容检索和内容分析, 而协同推荐系统则依靠的是整个参与成员的兴趣概率。

通过概率框架来建模和应用着装准则^[14]是由 Yu 等人提出的一种服装推荐方法, 这个框架利用了由实景服装图像来进行训练的贝叶斯网络。通过最优价值函数来获得所推荐的服装, 这个价值函数可以引导服装的选择来最大化的匹配颜色和着装准则。这个系统可以适用于常见的四种场合: 休闲场合、运动场合、商务休闲场合和正式场合。魔法衣橱^[15]是 Liu 提出的一个实用的系统, 通过一个 LSVM^[16] (隐支持向量机, Latent Support Vector Machines) 框架学习服装推荐模型。这个 LSVM 模型由四方面组成: 1) 视觉特征对属性 2) 视觉特征对场景 3) 属性对场景 4) 属性对属性。前三项是属于服装与场景的联系, 最后一项是属于服装对

服装的联系。他们将上述规则植入隐支持向量机模型中, 所推荐的服装能够保证用户着装适当并且满足大众审美要求。然而, 以上两种服装推荐方法只是简单地根据场合为用户推荐服装, 并没有考虑到用户的个性化需求。

由于每个用户喜好的差异性, 很多已有的推荐方法中都加入了用户反馈的功能。Grouplén 方法^[17]通过用户反馈中显示评分的方法为因特网新闻提供了推荐服务。根据用户对文章做出的评价, 系统可以为用户下一次的使用进行新闻推送。除了显示评分外, 用户反馈中的隐式评分则是通过监视用户的点击次数、停留时间等数据评估出用户的兴趣。为了加强方法的个性化, 本文采用用户反馈中显示评分的方式收集用户的偏好信息, 在后期为该用户进行服装推荐时能够根据该用户的个人偏好调整推荐结果, 进一步满足用户的个性化需求。

3 基于判断和优化模型的个性化服装推荐方法

3.1 四季色彩判断模型

四季色彩理论^[1-4]是近年来服装搭配和彩妆等时尚领域的热门话题。由于个人的肤色、发色和瞳色的差异, 使得其所属不同颜色群, 而在服装搭配过程中, 只有当服装的颜色和个人特征的颜色在同一颜色群时, 才可以称为是一个协调的搭配^{[18][19]}。

$$h = \begin{cases} 0^\circ, & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 0^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 120^\circ, & \text{if } \max = g \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 240^\circ, & \text{if } \max = b \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } \max = 0 \\ \frac{\max-\min}{\max}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$v = \max$

本文提出的四季色彩判断模型能够根据用户

所输入的人脸图像得到该用户所属不同季节的颜色,得到的判断结果是优化处理模型的基础。本文采用 HSV 颜色模型^[20],它是由 Hue 色相、Saturation 饱和度、Value 明度组成。在多种颜色模型中它是最适宜表达颜色冷暖度的模型。常用的 RGB 模型与本文所用 HSV 模型转换方法见公式 1。其中, h 为 HSV 中的色相, s 为饱和度, v 为明度。

首先基于文献[2]中的自我诊断色彩季型内容,结合色彩搭配领域公认季型搭配色卡进行归纳,建立了用户颜色集 P 。其中,肤色颜色图像共有 40 张,每个色彩季型图像 10 张。发色颜色图像共 60 张,每个色彩季型图像 15 张。瞳色颜色图像共收集 28 张,每个色彩季型图像 7 张。用户颜色集共归纳整理颜色图像 128 张。

将用户颜色集 P 中颜色分别进行颜色特征提取,经过颜色模型转换得到 HSV 颜色模型下的颜色特征集,其形式如下:

$$T = \{T_i | i = s, h, e\} \quad (2)$$

上式中有三种取值情况, T_s 、 T_h 和 T_e , 分别表示肤色、发色和瞳色的颜色特征。其中, T_i 为包含三个元素的向量,具体的形式如下表示:

$$T_i = [T_{ih}, T_{is}, T_{iv}]^T \quad (3)$$

式中各分量分别表示该颜色特征 H、S、V 值。

用户颜色特征集 F 为用户颜色集 P 经过特征提取后的数据集。将 F 作为训练样本得到四季判断模型 A , 具体定义如下:

$$A = A(T, S) \quad (4)$$

式中 T 为对该用户颜色图像所提取的颜色特征。 S 为该颜色图像所属季节标注结果, $S = \{0, 1, 2, 3\}$, 数值分别代表春夏秋冬四个色彩季节。用户颜色特征数据集中部分数据如表 1 所示。

本文采用一对一的 SVM(支持向量机, Support Vector Machines) 多类分类方法(1-vs-1 SVM)^[20] 对用户色彩季节进行分类。由于需将用户分为四种颜色类型,在面向 m 类分类问题时, SVM 方法需要构造 $k(k-1)/2$ 个分类平面,其中 $k > 2$ 。本文方法中 m 取值为 4。本文从用户颜色数据集中取出

所有满足 $y_i = s$, $y_i = l$ 的数据集进行训练,并通过两类 SVM 算法构造出最优决策函数:

$$f_{sl}(x) = w_{sl} \phi(x) + b_{sl} = \sum_{i=sv} \alpha_i^{sl} y_i K(x_i, x) + b_{sl} \quad (5)$$

其中, x_i 为第 i 个样本, y_i 为样本 x_i 所属类别, w_{sl} , b_{sl} , α_i^{sl} 为函数中的系数。 $y_i = s$, $y_i = l$, 且 $1 \leq s, l \leq k, s \neq l$ 。

用同样的方法对 m 类样本中每一对构造一个决策函数,由于 $f_{st}(x) = -f_{ts}(x)$, 因此一个 m 类问题所需要的分类平面个数为 $m(m-1)/2$ 。预测方法采用投票机制,若有一个决策函数判定 x 属于第 s 类,则意味着第 s 类获得了一票,用所有决策函数判断完后,最后得票数最多的类别就是最终 x 的所属类别。

表 1 用户颜色特征数据集部分数据

	春季 (H (角 度)S(%)V(%))	夏季 (HSV)	秋季 (HSV)	冬季 (HSV)
发 色	(13,63,69)	(160,0,0)	(34,73,55)	(26,29,33)
	(352,44,28)	(160,0,30)	(24,73,69)	(0,0,75)
	(35,76,67)	(24,73,69)	(29,72,72)	(345,76,40)
	(160,0,30)	(24,73,40)	(25,86,82)	(160,0,0)
瞳 色	(42,100,98)	(14,44,42)	(14,44,42)	(160,0,0)
	(13,63,80)	(24,73,40)	(24,73,40)	(14,44,42)
肤 色	(46,11,96)	(4,6,94)	(46,11,92)	(44,7,88)
	(32,29,88)	(34,50,99)	(33,55,100)	(55,30,90)
	(46,11,92)	(39,27,96)	(29,42,100)	(4,6,94)
	(30,30,100)	(47,16,98)	(30,30,100)	(47,16,98)

3.2 优化处理模型

优化处理是本文方法的核心,利用已规定好的推荐原则和条件在图像集中进行服装的筛选,通过一系列的优化过程得到推荐的服装结果。

基于建立的服装数据集,利用隐支持向量机方法 (LSVM)^[16] 训练优化处理模型,服装数据集表示如下:

$$W(x, a_u, a_l, s) \quad (6)$$

其中, x 为上下身服装的视觉特征向量 $x = [x_u, x_l]$, 在本文中视觉特征为服装颜色值。 a_u 为上装的属性

向量, 被定义为 $a_u = [a_u^u, a_u^s]$ 。同理, a_l 为下装的属性向量, 被定义为 $a_l = [a_l^l, a_l^s]$ 。其中 $s \in S$, S 为四季判断模型中的指定的四季类型集合。其中 a_l 、 a_s 和 s 分别表示我们在预处理过程中通过土耳其机器人^[21]对图像集中所有服装图像的分类、风格与服装所属色彩季节的标注。

本文通过 N 个图像数据 $\{(x^n, a_u^n, a_l^n, s)\}_{n=1}^N$ 对模型进行训练, 使得优化处理模型能够根据四季判断模型所得判断结果和用户所需风格向用户进行服装推荐, 所推荐的服装图像来自服装数据集 W 。在实际推荐过程中, 作为测试样例的推荐过程将忽略服装数据集中已经标注的服装属性。

为了衡量所推荐服装的优劣, 我们定义一个得分函数, 如下:

$$f_w: X \times S \rightarrow \mathbb{R} \quad (7)$$

该得分函数与服装图像 x 和指定的季节 s 相关, 式中 w 为函数 f_w 的参数。在推荐过程中, 通过计算 f_w 的值, 我们能够得到推荐条件下最适合的服装推荐结果 x^* , x^* 为满足 $f_w(x, s)$ 取得最大值的变量, x^* 计算方式如公式 8:

$$x^* = \arg \max_{x \in A} f_w(x, s) \quad (8)$$

在服装图像的低级视觉特征和高级语义之间, 本文添加了中级属性, 并将它作为隐变量处理。由于在该方法中, 服装得分仅与该服装图像中服装的特征、上下装属性及所标注季节相关, 因此我们将基于优化处理模型的得分函数定义如下:

$$f_w(x, s) = \max_{a_u, a_l} w^T \Phi(x, a_u, a_l, s) \quad (9)$$

其中 $\Phi(x, a_u, a_l, s)$ 为特征向量, 取决于当前图像的特征向量 x , 上下装属性以及季节标注。 w 为得分函数参数。则最终得分最高的服装搭配表示如下:

$$x^* = \arg \max_{x \in A} \left[\max_{a_u, a_l} w^T \Phi(x, a_u, a_l, s) \right] \quad (10)$$

为了能够根据一定的推荐的条件向用户推荐出适合的服装, 还需要考虑属性和属性之间的搭配原则 (a_j, a_k) 。在风格属性和服装的类别属性中, 若用户需要得到“通勤 OL”风格的服装推荐, 则“短裤”和“T恤”将是不符合着装准则的推荐。因此, 本文采用无向图 $G = (V, E)$ 的方式表达服装属性的

关联关系。其中, 无向图 G 中的一个顶点 $j \in V$ 表示一种属性的一个确定值。无向图 G 中的一个边 $(j, k) \in E$ 表示一个属性确定值 a_j 与另一个属性确定值 a_k 之间拥有关联关系。

相比于其它仅根据属性或视觉特征推荐服装, 本文方法具有更多的约束条件, 综合这些约束条件与规则能够更加准确地为用户推荐出适合的服装。本文方法从“魔法衣橱”^[15]受到启发, 将基于优化处理模型的服装推荐函数定义如下:

$$\begin{aligned} w^T \Phi(x, a_u, a_l, s) = & w_s^T \phi(x, s) + \sum_{j \in a_u \cup a_l} w_{a_j}^T \phi(x, a_j) + \\ & w^T \omega(x_c^u, x_c^l) + \sum_{(j, k) \in E, m \in [u, l]} w_{a_j, a_k}^T \psi(a_j^m, a_k^m) \end{aligned} \quad (11)$$

其中, $w_s^T \phi(x, s)$ 代表从服装图像中的特征向量去预测服装图像的季节色彩。它是只基于低级特征而忽略属性的标准线性模型。 $\phi(x, s)$ 为特征向量 x 与季节色彩 s 之间的特定映射。首先, 我们忽略掉训练样本中的属性标注, 仅根据特征向量 x 与季节色彩 s 训练得到一个多类 SVM 分类器。然后通过 $\phi(x, s)$ 表示根据季节色彩分类视觉特征向量的分数。若有唯一使 $\phi(x, s)$ 不为零的元素, 该元素的值就是该季节色彩的分类分数。

$w_{a_j}^T \phi(x, a_j)$ 描述了服装图像中特征向量的取值与属性间的对应关系。它是一个通过视觉特征向量 x 预测第 j 个属性值的标准线性模型。 $\phi(x, a_j)$ 为这个标准多类线性 SVM 的置信度。在该推荐方法中, 一张服装图像拥有多个属性, 而每一个属性又有多个取值, 因此, 我们需要训练一个多元多类分类器。若第 j 个属性为风格, 且它有 6 个值, 则 a_j 特征图维度为 6。向量 $\phi(x, a_j)$ 中只有第 a_j 个元素有一个非零值, 该值为多类分类器中分配得分。

$w^T \omega(x_c^u, x_c^l)$ 描述了图像中上身下身服装特征向量取值之间的关联或排斥关系。它表示服装图像中上装视觉特征向量 x_c^u 与下装特征向量 x_c^l 之间的相互关系。由于在本文方法中将颜色仅分为红、粉等进行属性标注是不够的。因此, 我们直接通过颜色特征向量之间的相互关系进行训练。 $\omega(x_c^u, x_c^l)$ 近似于上身下身颜色特征的和谐度得分。

$w_{a_j, a_k}^T \psi(a_j^m, a_k^m)$ 表示图像中两种属性间取值的

关联关系。它用于描述属性 a_j 与属性 a_k 之间的关联关系。图 2 为本文对服装数据集 W 中风格属性与类型属性之间的同现关系统计图。 $\psi(a_j^m, a_k^m)$ 的值近似于上装或下装中，两个属性间的同现概率。在本文方法中，我们只考虑服装风格属性与类型属性。

	甜美淑女	基础百搭	通勤OL	休闲运动	文艺森女	民族风
衬衫	562	577	372	691	662	53
西装	121	42	206	0	0	0
长裤	360	1073	402	802	408	210
短裤	396	941	23	554	329	602
连衣裙	887	134	624	13	442	1105
半身裙	438	86	390	441	967	834
T恤	7	608	36	1005	941	593
毛衣	254	653	12	19	415	233

图 2 属性间（风格与类型）的同现关系统计图

本文利用如下 LSVM 公式对模型进行学习：

$$\begin{aligned}
 \min_{w, \xi} & \beta \|w\|^2 + \sum_{n=1}^N \xi^{(n)} \\
 s.t. & \max_{a_u, a_l} w^T \Phi(x^{(n)}, a_u, a_l, s^{(n)}) - \\
 & \max_{a_u, a_l} w^T \Phi(x^{(n)}, a_u, a_l, s) \geq \Delta(s, s^{(n)}) - \\
 & \xi^{(n)}, \forall n, \forall s \in S
 \end{aligned} \quad (12)$$

式中 β 为权衡参数， $\xi^{(n)}$ 为处理 n 次训练样本软边缘的松弛变量。该目标函数保证了适合于该人物季节色彩的服装得分高于不适合的得分。 $\Delta(s, s^{(n)})$ 为损失函数，其定义如下：

$$\Delta_{0/1}(s, s^{(n)}) = \begin{cases} 1 & \text{if } s \notin s^{(n)} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

3.3 用户评分反馈

个性化服装推荐系统的推荐结果其重要特征是能够根据每个用户的偏好而推荐不同的服装。根据用户的评分结果组成用户偏好数据集，将它用于优化处理模型中，可以大幅度提高该推荐方法的准确性。用户反馈对该算法的推荐起着重要的作用。用户的反馈结果经过处理用于更新用户偏好数据集的数据，使该方法的优化能够更准确地为用户进行个性化推荐。

本文采用显式评分^[17]的方法，反馈功能通过如下步骤来实现对推荐系统结果的优化。

Step1，对用户个人特征进行颜色提取，通过四季色彩判断模型得到用户色彩季节。

Step2，通过优化处理模型为用户推荐服装。

Step3-1，系统根据 Step1 判断结果为用户推荐初始化服装。

Step3-2，通过交互的方式让用户对推荐结果进行判断（0~10 分）。

Step3-3，通过用户的评分结果提取用户偏好的服装特征、属性并获取用户基本信息。

Step3-4，通过已有的用户反馈机制算法学习用户反馈，得到新的推荐结果，转到 Step3-2。Step3-2 至 Step3-4 循环进行，直到用户对所推荐的结果满意，结束循环。

Step4，将以上数据信息更新（添加）到用户偏好数据集中，为下一次为该用户推荐提供依据。

4 实验结果与分析

4.1 实验数据集

实验选用 Intel Core i5 CPU @ 3.30GHz，8GB DDR Ram 的硬件平台以及 MATLAB 的软件平台。实验中用到 3 个数据集，其中包括用户颜色特征数据集、服装数据集和用户偏好数据集。第一个是用户颜色特征集，为用户颜色集经过特征提取后的数据集。它作为训练样本对四季判断模型进行训练。其中包括对用户颜色图像所提取的颜色特征和所属季节标注。用户特征集数据组数与用户颜色集数量相同，为 128 组。

第二个是服装数据集，我们在服装图像集中存储了 18600 张服装图像，包括六种服装风格，每种风格的服装图像各 3100 张，每张服装图像规格为 190*290。通过土耳其机器人^[21]对服装图像集中的服装图像添加释文，包括风格、服装类型和季节色彩。最终由图像地址、图像基本信息和图像释文得到服装数据集。

第三个是用户偏好数据集，目的是记录每个用户的用户基本信息、偏好的服装类型和属性，用于优化推荐过程，满足用户的个性化需求。

4.2 实验与结果分析

4.2.1 用户颜色特征判断结果分析

为检验本文方法中四季色彩判断模型的准确率, 我们在网络上随机搜索 150 张证件照作为测试样本, 并对所有测试样本的四季色彩进行人工判断。为保证人工判断结果的权威性, 我们邀请 15 位北京服装学院服装艺术与工程学院在校学生与 25 位中央美术学院时装设计专业在校学生分别对我们的测试样本进行四季色彩人工判断。去除有争议的样本后, 剩余 127 张经过人工判断后的证件照片作为我们四季色彩判断模型的测试样本。通过本文方法的四季色彩判断模型对测试样本进行判断, 将得到的判断结果与人工判断结果进行对比, 正确率达到 81.1%, 基本能够满足大部分用户的四季色彩判断需求。图 3 为部分四季色彩判断模型的判断结果。

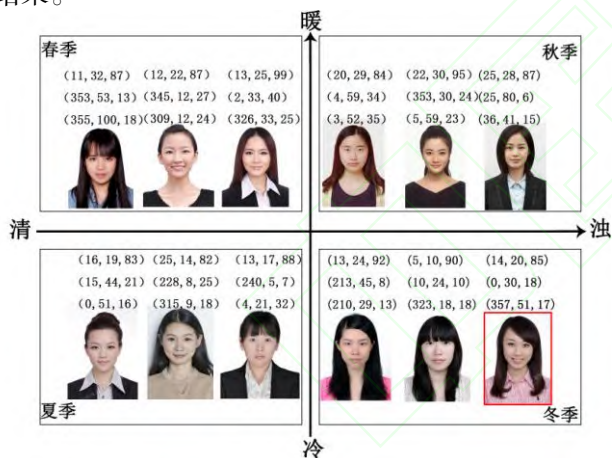


图3 部分四季色彩判断模型判断结果

4.2.2 用户颜色特征判断结果分析

为了满足用户的进一步个性化需求, 我们在本文方法中添加了用户反馈。每一位用户能够根据自己的个人偏好对推荐结果进行评分。系统能够根据评分结果对用户偏好数据集的数据进行更新, 并用于再次向该用户进行推荐的优化准则。为了验证用户评价次数与用户对推荐结果满意度之间的关系, 我们设定了以下实验。通过该推荐方法为组名分别为 A、B、C 的 3 组同学 (每组 100 名同学) 进行服装推荐, 每位同学对六种风格的 5 个预推荐结果分别进行 10 轮评分 (6×5×10), 并且在每一轮评分后对再次推荐的服装进行满意度调查。实验所得到

的用户评价次数与每组同学对服装推荐结果平均满意度之间的关系如图 4 所示。通过实验表明, 在用户对推荐结果进行 4 次以下的评分反馈后得到的服装推荐结果满意度有大幅度提高, 之后随着反馈次数的增加, 用户满意度逐渐收敛。实验表明, 当用户对推荐结果进行 2~3 轮的交互反馈后, 在用户偏好数据集数据更新作用下, 该用户能够对系统的服装推荐结果具有较高满意度, 并满足该用户个性化需求。

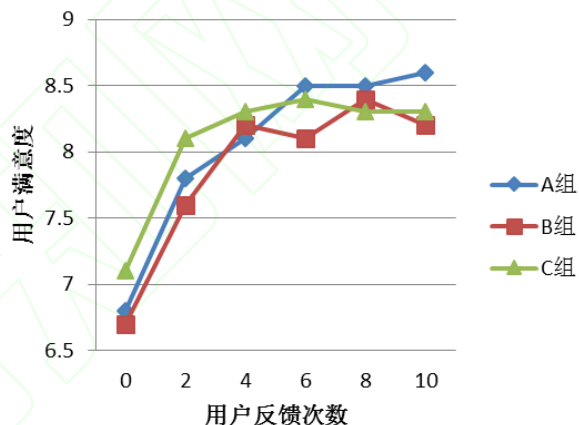


图4 用户反馈次数与用户满意度之间关系图

4.2.3 推荐结果与性能分析

本方法利用训练过的优化处理模型向用户推荐与用户个人颜色相协调的服装, 该模型推荐函数如公式 11 所示。为测试公式中各影响因子对于该模型整体推荐正确率的影响, 我们将文中的推荐方法与两个基于 SVM 的线性模型性能进行对比。第一个线性模型仅通过特征向量直接对已知的季节进行服装推荐。第二个线性模型通过特征向量进行属性判断后, 考虑属性同现约束条件对其进行服装推荐。通过归一化折损累积增益 (Normalized Discounted Cumulative Gain, NDCG) [22][23] 评判它们的性能。NDCG 定义如下:

$$NDCG @ k = \lambda \sum_{j=1}^k \frac{2^{rel(j)} - 1}{\log(1 + j)} \quad (14)$$

式中, $rel(j)$ 为评分等级设定, 本文将评分设为 10 个等级, 其中 10 为用户最满意的服装推荐, 0 为用户最不满意的服装推荐。

图 5 为本文推荐方法分别与两个基于 SVM 的

线性模型和魔法衣橱系统^[15]性能对比结果图。从图 5 的实验结果图我们可以看出, 仅根据服装图像特征间对应关系和属性间对应关系进行服装推荐有一定的准确率, 但较本文提出的优化处理模型仍具有一定的差距。本文方法在返回 5 个结果时性能最佳, 但随着返回结果的增加, 性能逐渐降低。该结果表明了本文对于服装图像特征、属性、季节之间相互作用的匹配原则分析较为准确, 并且, 所建立的服装推荐优化处理模型能够较好地为用户进行服装推荐。

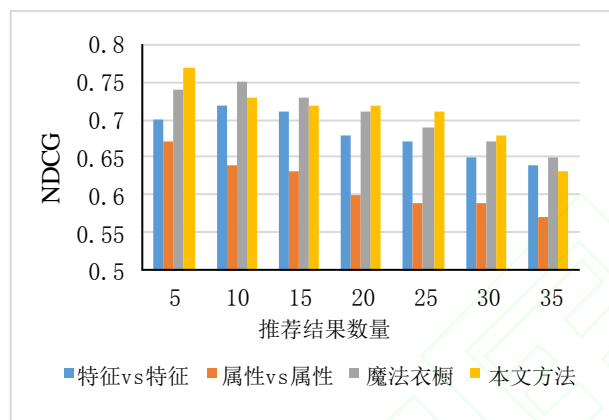


图 5 本文推荐方法与相关方法性能对比

为了衡量本文方法的服装推荐结果, 我们对图 3 中四种色彩季节人脸图像进行服装推荐。并且, 令评分组 (30 位北京服装学院服装艺术与工程学院在校学生与 30 位中央美术学院时装设计专业在校学生) 对所有推荐结果分别进行“颜色符合度”与“风格符合度”打分。“颜色符合度”为本文服装推荐结果与该季型人群肤色、发色、瞳色匹配程度。“风格符合度”为该服装推荐结果与所属风格类型的匹配程度。每项评分分为 5 星。(5 星为最符合, 0 星为最不符合)。再根据两项得分取平均值, 作为本文方法总体服装推荐结果匹配程度, 为 89.7%。图 6 为根据不同四季色彩人群所推荐服装结果样例及评分。图中可以看出, 为各个季节色彩用户所推荐的服装色调有显著差异, 其中为春季、秋季人群所推荐服装颜色基色为暖色调, 而夏季、冬季人群所推荐服装为冷色调。并且春季与夏季人群较为适合浅色系服装, 而秋冬季人群更适合深色系服装。另外, 从推荐结果匹配程度可以看出, 使用该方法为用户所推荐的服装基本符合用户个性化需求, 能

够根据用户所属季节为其推荐所需风格的服装。

5 结束语

本文提出了一种面向个性化服装推荐的判断优化模型。该方法将时尚领域的四季色彩理论与计算机视觉技术相结合, 通过输入的人脸图像自动为用户划分色彩季节类型, 并为用户推荐适合用户颜色特征的服装。此外, 还加入了用户反馈, 可根据用户评分记录生成用户偏好数据集, 进一步满足用户的个性化需求。

经实验表明, 本文方法所推荐的服装能够与用户颜色特征相协调, 提高了推荐的个性化, 并且在实际应用中具有较高的准确率, 但是在推荐效率上有待提高。在今后工作中, 可以在优化算法效率上进行进一步研究。另外, 还可考虑允许用户将自己所拥有的服饰图像上传到服务器, 由服务器自动进行分类后加入数据库, 方便为该用户用已有的服饰而推荐各个场合不同的搭配。

参考文献:

- [1] Jackson C. Color me beautiful: discover your natural beauty through the colors that make you look great & feel fabulous! [M]. New York: Ballantine Books, 1985: 15-21.
- [2] 于西蔓. 女性个人色彩诊断[M]. 广州: 花城出版社, 2006.
- [3] 刘琳. “色彩诊断”在日常自我形象设计中的运用[C]//2012 中国流行色协会学术年会学术. 2012.
- [4] 周晓蓉. 浅析个人形象设计中色彩季型的重要意义与诊断方法[J]. 美术教育研究, 2016(10).
- [5] E. Shen, H. Lieberman, and F. Lam. What am i gonna wear?: scenario-oriented recommendation. In IUI, 2007.
- [6] C. Cheng, M. Chung, M. Yu, M. Ouhyoung, H. Chu, and Y. Chuang. Chromirror: a real-time interactive mirror for chromatic and color-harmonic dressing. In CHI, 2008.
- [7] T. Iwata, S. Wanatabe, and H. Sawada. Fashion coordinates recommender system using photographs from fashion magazines. In IJCAI, 2011.
- [8] Di W, Wah C, Bhardwaj A, et al. Style Finder: Fine-Grained Clothing Style Detection and Retrieval[C]//Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. IEEE, 2013:8-13.
- [9] 杨武, 唐瑞, 卢玲. 基于内容的推荐与协同过滤融合的新闻推荐方法[J]. 计算机应用, 2016, 36(2):414-418.
- [10] Liu Z, Luo P, Qiu S, et al. DeepFashion: Powering Robust Clothes Recognition and Retrieval with Rich Annotations[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2016:1096-1104.
- [11] Aimé X, George S, Hornung J. Vetivoc: A modular ontology for the fashion, textile and clothing domain[J].

- Applied Ontology, 2016, 11(1): 1-28.
- [12] 王国霞, 刘贺平. 个性化推荐系统综述[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(7):66-76.
- [13] Pazzani M, Billsus D. Learning and Revising User Profiles: The Identification of Interesting Web Sites[J]. Machine Learning, 1997, 27(3):313-331.
- [14] Yu L F, Yeung S K, Terzopoulos D, et al. DressUp!:outfit synthesis through automatic optimization[J]. Acm Transactions on Graphics, 2012, 31(6):1-14.
- [15] Liu S, Feng J, Song Z, et al. Hi, magic closet, tell me what to wear![C]// ACM International Conference on Multimedia. ACM, 2012:619-628.
- [16] Wang Y, Mori G. A discriminative latent model of object classes and attributes[C]// European Conference on Computer Vision. Springer-Verlag, 2010:155-168.
- [17] Resnick P, Iacovou N, Suchak M, et al. GroupLens: an open architecture for collaborative filtering of net-works[C]// ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work. ACM, 1994:175-186.
- [18] 刘元杰, 论形象设计中色彩的搭配[J]. 艺术百家, 2010, 26(s2):207-209.
- [19] 陈慧. 服装色彩搭配研究[J]. 染整技术, 2016, 38(6): 7-9.
- [20] 陶晨, 段亚峰, 印梅芬. 基于 HSV 的服装色彩特征数量化方法研究[J]. 丝绸, 2015, 52(6):22-26.
- [21] Lee Y S. Evaluating Amazon's Mechanical Turk Workers for Making Profit-Maximizing Decisions with Decision Support[J]. Social Science Electronic Publishing, 2016.
- [22] Siddiquie B, Feris R S, Davis L S. Image ranking and retrieval based on multi-attribute queries[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2011:801-808.
- [23] 郭彩云, 王会进. 改进的基于标签的协同过滤算法[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(8):56-61.

	基础百搭	运动风	民族风	甜美淑女风	通勤OL	文艺森女风
春季						
颜色符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
风格符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
夏季						
颜色符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
风格符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
秋季						
颜色符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
风格符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
冬季						
颜色符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
风格符合度	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★

图6 根据不同四季色彩人群所推荐服装结果样例及评分