

Институт по математика и информатика
Българска академия на науките
София, България
2011

Нов метод за анализ на съдържанието на изображения от картинни колекции, използващ семантиката на цветовете

Автореферат на дисертация, представена за присъждане
на образователна и научна степен "доктор"

Красимира Иванова

Научни ръководители:

проф. д-р Куун Ванхооф
Хаселтски университет, Белгия

проф. д.м.н. Петър Станчев
Институт по математика и информатика,
Българска академия на науките

Институт по математика и информатика
Българска академия на науките
София, България
2011

**Нов метод за анализ на съдържанието
на изображения от картинни колекции,
използващ семантиката на цветовете**

Автореферат на дисертация, представена за присъждане
на образователна и научна степен "доктор"
по научна специалност 01.01.12 "Информатика"
направление 4.6 "Информатика и компютърни науки"

Красимира Иванова

Научни ръководители:

проф. д-р Куун Ванхооф
Хаселтски университет, Белгия
проф. д.м.н. Петър Станчев
Институт по математика и информатика,
Българска академия на науките

Авторефератът представя следния дисертационен труд:

Krassimira Ivanova

A Novel Method for Content-Based Image Retrieval
in Art Image Collections Utilizing Colour Semantics

A thesis submitted for the degree "Doctor of Science" in:
Hasselt University, Faculty of Science

Jury members:

Prof. Dr. Koen VANHOOF (Promoter),
University of Hasselt, Belgium

Prof. D.sci Peter STANCHEV (Copromoter),
Institute of Mathematics and Informatics, Bulgaria

Prof. D.sci Stefan DODUNEKOV,
Institute of Mathematics and Informatics, Bulgaria

Prof. Dr. Bart GOETHALS,
University of Antwerp, Belgium

Assoc. Prof. Dr. Tom BELLEMANS,
University of Hasselt, Belgium

Assoc. Prof. Dr. Toon CALDERS,
Eindhoven University of Technology, The Netherlands

Assoc. Prof. Dr. Benoit DEPAIRE,
University of Hasselt, Belgium

The thesis defence took place on November 15th, 2011 at 15:30 in
Auditorium H4/Building D; Hasselt University; Campus Diepenbeek;
Belgium

Резюме

Пред процеса на извличане на изображения стои голямо предизвикателство: той трябва да преодолее очевидната разлика между цифровите технологии, които са ограничени в рамките на улавянето на пикселите, и човешките очаквания за възприемане на различните семантични, естетически и културни послания, които произведението изпраща на зрителя.

Цветът играе важна роля в анализа на картините. Възприятието му зависи от редица аспекти, започвайки от физическата природа на светлината, физиологичните особености на човешкото зрение, психологическите особености и социокултурните влияния, в които е било създадено произведението, както и в които се намира възприемащия посланието.

Цветовото възприятие е свързано повече с човешките емоции, отколкото с рационалното мислене. Наличието на цветовете в различни пропорции предава различни послания, които могат да увеличат или да потиснат възприемането на наблюдаваните обекти. Успешните цветови комбинации се основават главно на закона, че човешкото око се чувства в равновесие, само когато са налични допълващите се цветове.

Основната цел на тази работа е да се направи подробен анализ на цветовите теории, особено на съществуващите взаимни връзки в успешните цветови комбинации, както и да се формализират с цел прилагане на автоматичното извличане от цифровизирани произведения. За целта използваме като отправна точка теорията за цветовете на Итън.

За постигането на тези цели предложихме използването на един цветови модел, изграден като комбинация от три други модели, подходящ за извличане на цветовите характеристики, определящи хармониите и контрастите. Моделът е лесно разбираем като едновременно позволява ефективно преобразуване от RGB.

Въз основа на този модел изработихме формално описание на хармониите и контрастите от гледна точка на трите основни характеристики на цвета – нюанс (Hue), наситеност (Saturation) и светлота (Luminance).

Предложихме примерна архитектура на система за анализ на съдържанието на изображенията като среда за прилагане и тестване на предложените алгоритми. На нейна база е разработена експериментална система APICAS (акроним от "Art Painting Image Colour Aesthetics and Semantics"). Чрез нея са проведени редица

експерименти, като: търсене на близки до избрано изображение по една или повече от извлечените характеристики; търсене на изображения, които задоволяват потребителски заявки, съдържащи дефинираните характеристики; изследване на възможностите за използването на тези характеристики за прогнозен анализ.

Предложените и реализирани функции за извличане на различните видове хармонии и контрасти целят намаляването на семантичната разлика между автоматично извличане на визуалните характеристики от ниско ниво и човешкото изразяване от високо ниво. Ние сме убедени, че предложените функции могат да бъдат използвани за индексирание и търсене в хранилища от картини в съответствие с дефинираните семантични характеристики като стъпка в прехода от Web 2.0 към Web 3.0.

Благодарности

Изпълнението на тази работа получи поддръжка от Хаселтския университет чрез проект R-1876 "Search in Art Image Collections Based on Colour Semantics", както и от Националния фонд научни изследвания по проект ДО 02-308 "Спецификации и стандарти за автоматизирано генериране на метаданни от електронни документи".

Бих искала да изразя своята благодарност към Института по математика и информатика – БАН и Хаселтския университет в Белгия за осигуряването на благоприятни условия за работа.

Специални благодарности на моите научни ръководители проф. Куун Ванхооф и проф. Петър Станчев, който направи много за моето научно израстване. Благодаря и на колегите и приятели Милена Добрева от Университета в Стратклайд (Великобритания), Илия Митов от Института по математика и информатика, Евгения Великова от Софийски университет, Беноа Депенер от Хаселтския университет (Белгия), Виктор Гладун от Института по кибернетика (Украйна), Левон Асланян и Хасмик Сахакян от Института по информатика и автоматизация (Армения) за помощта в обласите на цифровите библиотеки, статистическата обработка на данните и извличане на знания. Специални благодарности и на художника Красимир Желев, който ми помогна в областта на теория на изкуството.

И накрая, бих искала да изразя дълбоката си благодарност на майка ми и сестра ми за тяхната цялостна любов и подкрепа. С дълбока почит към светлата памет на баща ми, който вярваше в мен.

1 Въведение

1.1 Изкуството и цифровото пространство

Цифровизираните колекции дават възможност на потребителя да се потопи в океана от културни артефакти. В предишно време ние бихме могли само да мечтаем да видим някои шедеври. Сега нашите компютри ни пренасят на всяко избрано място и време. Нарастването на наличните цифрови ресурси увеличава очакванията на потребителите за по-лесното им откриване по различни критерии. Докато един потребител се интересува от картините на определен изпълнител или период, друг търси изображения от определена тематика или композиция, трети е привлечен от чисто естетическото възприятие, което предизвикват картините.

Както се твърди в [Chen et al, 2005]: "Изследванията върху значимите културни и исторически материали е важно не само за тяхното съхранение, но и за запазване на интереса и уважението към тях. Изследването на цифровото представяне на значими културни и исторически материали е наложително заради (1) неговата роля в насърчаването на културното разбиране, (2) значението му за образованието на всички нива, (3) неговият потенциал за консолидиране на много различни научни и инженерни дисциплини, (4) възможностите за подобряване на консолидацията между различните произведения на изкуството, и (5) своя принос за подобряване на нашето разбиране за произведенията на изкуството чрез тяхното опознаване".

Благодарение на съвременните цифрови технологии станаха реалност огромно количество виртуални изложби на произведения от различни култури. Едно от големите предимства на цифровизацията е подобряването на достъпността до културните артефакти, в частност до картините. Няколко големи проекти за цифровизация са фокусирани върху това. Например, Google Books подписа договора с петте най-големи библиотеки в Америка и с Националния архив във Вашингтон с цел да цифровизира и съхрани част от огромната колекция от материали, налични в тези хранилища. Друг подобен пример е Yorck Project, който осигурява достъп до сканираните изображения на 10 000 картини на стари западноевропейски художници със свободен достъп и по този начин разширява портфолиото от снимки в Wikipedia Commons. През последните години Europeana Project има за цел да обедини усилията на европейските институции по изграждане на обединена цифрова библиотека, представяща богатото наследство на Европа чрез

съчетаването на многокултурна и многоезична среда с предимствата на технологиите и новите бизнес-модели.

Съвременните търсачки, оглавявани от Google, проправят пътя в нашата информационна епоха. Google отговаря дневно на над 200 милиона заявки. Но силата на тези търсачки обикновено се ограничава до сходство на текст. Тъй като по-малко от 1% от уеб данните са в текстова форма, а останалите са с разнообразно мултимедийно съдържание, съществува необходимост от разширяване на следващото поколение търсачки към удовлетворяване на заявки за тези разнородни медии. Новите търсачки трябва да съчетават търсенето по текстово съответствие с други атрибути, които се извличат на базата на съдържанието. Конкретно в областта на изображенията развиващото се направление се нарича "извличане, базирано на съдържанието на изображенията".

1.2 Извличане, базирано на съдържанието на изображенията

Терминът "извличане, базирано на съдържанието на изображенията" (CBIR – Content-Based Image Retrieval) за пръв път се използва през 1992г от Тошикацу Като, когато обяснява свои експерименти за автоматично извличане на цвета и формата от картини, съхранени в база от данни. Сега така се нарича всяка технология, която по принцип помага да се организират цифрови изображения въз основа на тяхното съдържание.

По-ранните такива системи осигуряват търсене на базата на визуално сходство между дадена снимка или скица и снимки, съхранявани в цифров ресурс. Сегашните системи еволюират до полезни асистенти за търсене на обекти както чрез визуално, така и чрез семантично сходство, разширявайки по този начин възможностите за извличане на изображения.

1.3 Цели на дисертацията

Основната цел на настоящата дисертация е да се направи подробен анализ на цветовите теории, особено на съществуващите взаимни връзки в успешните цветови комбинации, както и да се формализират с цел прилагане на автоматичното извличане от цифровизираните произведения. Като отправна точка се използва теорията на Итън за цветовете.

За изпълнението на тези цели се решават няколко задачи:

1. Избира се цветови модел, чието представяне позволява лесна работа спрямо основните характеристики на цвета – нюанс, наситеност и светлота, на базата на които се класифицират част от хармониите и контрастите, разглеждани в теорията на Итън.

2. Извличат се визуални характеристики от ниско ниво, представящи разпределението на цветовете, квантувани по основните оси на цветовия модел. Анализът на тези характеристики очертава някои общи тенденции в картините. Тези резултати се използват на по-късен етап като нормализиращ фактор в процеса на определяне на дескрипторите на цветовете хармонии и контрасти.

3. Предлага се класификация на хармониите и контрастите, която от ена страна е в съответствие с човешкото възприятие на визуално изразяване и от друга страна е пригодена за автоматично извличане от цифровите изображения. Показан е и работният процес на извличане на тези описания от изображенията. Провеждат се серия от експерименти с цел проучване на възможностите за използване на тези характеристики от високо ниво в процеса на извличане на изображения спрямо пораждащите от тях емоционални реакции.

4. Предлагат се локални описатели, основани на векторно квантуване на MPEG-7 дескриптори над части от изображенията като целта е анализ на възможностите за улавяне на по-подробна информация за семантично съдържание в картините въз основа на MPEG-7 дескриптори със значително намаляване на размерността.

5. От друга страна се прави анализ на възможностите за използването на асоциативните класификатори за извличане на правила, които да бъдат използвани като профил на даден клас (в случая период, художник, жанр, тематика и др.).

6. И накрая се представя реализацията на предложените описатели в система, наречена APICAS, използвана като среда за провеждане на различни експерименти.

1.4 Описание на дисертацията

Работата е структурирана в осем глави и приложение, както следва:

1. Въведение.
2. Извличане, базирано на съдържанието на изображенията в колекции на изобразителното изкуство.
3. Реалният и цифровият свят на цвета.
4. Примери на системи за извличане, базирано на съдържанието на изображенията.
5. Формално описание на предлаганите атрибути.
6. Системата APICAS.
7. Експериментални резултати.
8. Заключение и планове за бъдеща работа.

По-долу е направен кратък преглед на отделните части.

Глава 2 предоставя литературен преглед на текущата работа по извличане, базирано на съдържанието на изображенията. Типичният работен процес се състои от три главни компонента: (1) дизайн на характеристики, (2) индексирание; (3) извличане. Разглеждат се и различни допълнителни техники, използвани за подобряване на качеството на извличане на ресурси. В тази глава се обсъждат и съществуващите разминавания, които се срещат в различни етапи – сензорно, семантично, субективно, естетично. Специфични за обектите от изобразителното изкуство са и т.нар. абстрактни аспекти, отразяващи културните влияния, емоционалните послания и чисто техническите специфики вложени в произведенията.

Глава 3 представя кратък преглед на теориите за цвета от различни гледни точки, които са станали основа за нашето по-нататъшно проучване. Цветовите комбинации, налични в картините, се подчиняват на множество закономерности и условности във възприятието на цвета от чисто физиологичните аспекти, през психичните нюанси, до социокултурните влияния. В главата е направен кратък преглед на предишните опити за определяне на взаимовръзките между цветовете. Разгледани са различни цветови модели и техните предимства и недостатъци при възприемането им от човека.

Глава 4 обсъжда някои съществуващи системи за анализ на картини. Повечето от тях са фокусирани върху анализа на много-спектрални цифрови копия на изображенията с висока резолюция, с приложения в различни области като виртуална реставрация, извличане на изображения, изучаване на художествените техники, доказване на автентичност и др. В допълнение се разглеждат и някои системи, базирани на MPEG-7 дескриптори, някои от които могат успешно да бъдат приложени в областта на цифровизацията на културното наследство за запълване някои части от семантичната пропаст, а също и за намаляване на абстрактната пропаст в културен и технически аспект.

Глава 5 представя в детайли предложените функции, които помагат за намаляване на семантичната и абстрактната пропасти между ниското ниво на автоматичното извличане визуални характеристики и високото ниво на човешкия изказ чрез концепти. Предлагаме три вида характеристики: (1) визуални характеристики от ниско ниво, представящи цветовото разпределение в картините, които се използват като конструктивни елементи в следващите; (2) глобални характеристики от по-високо ниво, отразяващи хармониите и контрастите в съответствие в цветовата теория на Итън от гледна точка на трите основни характеристики на цвета – нюанс, наситеност и светлота; (3) локални характеристики на основата на векторно квантуване на MPEG-7 дескриптори върху части от изображението.

Глава 6 представя системата APICAS ("Art Painting Image Colour Aesthetics and Semantics), разработена с цел да предостави подходяща среда за реализиране на разглежданите алгоритми и провеждането на експерименти с предложените описатели. Представена е архитектурата и функционалността на системата. Основните функции в APICAS могат да бъдат групирани както следва: функции за избор на колекция и задаване на параметри; функции, които обслужват извличането на текстови метаданни, използвани за проверка на резултатите; функции за извличане на предложените характеристики; различни видове функции за анализиране и визуализиране на извлечените елементи и връзка с други системи за по-нататъшен анализ на данните.

Глава 7 представя резултатите от направените експерименти с развитите инструменти в APICAS. Като експериментална база са използвани 600 картини от 18 художници, представители на 6 периода от класическото и модерното Западноевропейско изобразително изкуство и картини от Източноевропейската средновековна иконография.

Глава 8 съдържа заключения и насоки за бъдещи изследвания.

В приложението са дадени матриците на обръкване на разглежданите класификатори върху изследваните множества от данни.

Текстът на дисертацията е 210 стр. и съдържа 22 таблици, 81 фигури и 154 препратки към литературни източници.

2 Извличане, базирано на съдържанието на изображенията, в колекции на изобразителното изкуство

Цифровите обекти, представящи картинното изкуство, са важна част от културното наследство и представляват важно предизвикателство за откриването на ресурси, тъй като прилаганите методи в тази област трябва да бъдат комбинация от изпълнение на заявки върху метаданните и методи за извличане, базирани на съдържанието на изображения.

На различните етапи по цифровизацията и търсенето на обекти в онлайн пространството възникват различни пропасти (gaps). "Сензорната пропаст" (sensory gap) [Smeulders et al, 2000] е разликата между обекта в реалния света (първообраза) и способността на машината за представяне на този обект в цифровия свят. Следващата пропаст е "семантичната пропаст" (semantic gap) [Smeulders et al, 2000], изразяваща се в липсата на съвпадение между информацията, която машината извлича от визуалните данни и семантичните понятия,

използвани от човека за изразяване на търсенията си. Близко до нея се намира т.нар. "субективна пропаст" (subjective gap) [Agrawal, 2009], която възниква от разминаването на потребителските нужди и трудността да бъдат описани в рационална форма. Някои автори [Castelli and Bergman, 2002] идентифицират това ниво като междинно ниво на извличане от визуалното съдържание, свързано с емоционалното възприятие на изображенията. "Абстрактните аспекти" (abstract aspects) [Hurtut, 2010] са специфични за обектите на изкуството и се изразяват основно в: културните особености на средата, индивидуалната изразителност на автора и техническите специфики. Според American Dictionary [Pickett et al, 2000] стилът е "комбинация от отличителните черти на художественото изразяване, характеризиращи конкретно лице, група, школа или ера."

Опитвайки се да се определят основи за преодоляване на пропуските между тълкуването на информацията от хората и от компютрите се предлагат различни таксономии на съдържанието на изображението спрямо възприятието му от зрителя.

[Jaimes and Chang, 2002] се фокусират върху два аспекта – визуалните *възприятия* (*percepts*) от наблюдаваните изображения и абстрактната идея, която съответства на *концепциите* (*concepts*), свързани със съдържанието на образа.

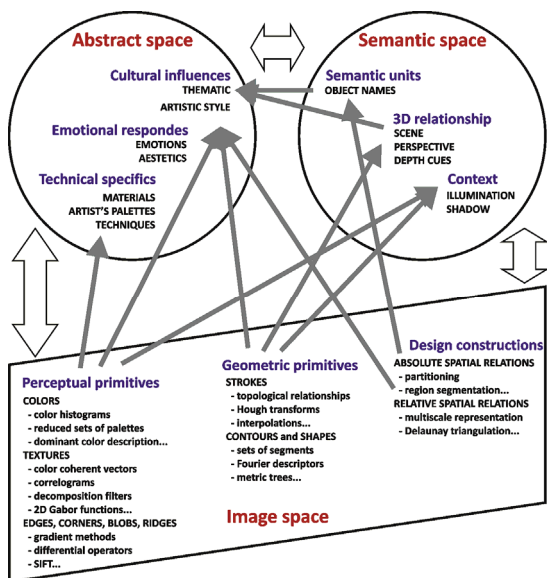
В блестящото си проучване за анализ на 2D художествени произведения Томас Хъртут [Hurtut, 2010] разширява една таксономия, предложена от Бърфорд, Бригс и Ийкинс [Burford et al, 2003], като профилира извличаните примитиви и концепции, отчитайки спецификата на произведенията на изкуството, в следните три групи: *визуално*, *обектно* и *абстрактно* пространства.

За целите на това изследване ние се придържаме към тази класификация (с леки изменения) като разделяме категориите във визуално, семантично и абстрактно пространства, както следва:

- *визуалното пространство* (*image space*) съдържа характеристиките, необходими за регистриране на изображението чрез визуалното възприятие. То включва примитиви на възприятието (*perceptual primitives*) – цвят, текстури, локални характерни области; геометрични характеристики (*geometric features*) – щрихи, контури, форми; конструкции на проектирането (*design constructions*) – пространствено разположение, композиция;
- *семантичното пространство* (*semantic space*) е свързано със смисъла на елементите, техния потенциал за семантично тълкуване. То включва семантичните единици (обекти), 3D-връзките между тях (сцена, перспектива, дълбочинни маркери) и контекста (осветление, сенки);

- *абстрактното пространство (abstract space)* е свързано с аспекти, които са специфични за картините и отразяват културни влияния, техники, както и емоционални реакции, предизвикани от изображенията.

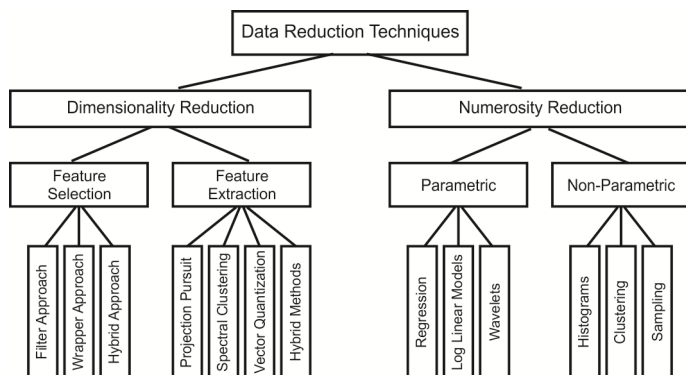
Фигура 1 отразява разпределението на категориите в съответните пространства, примери на използвани техники за извличане на визуални примитиви, както и някои от по-близките връзки между отделните понятия [Ivanova et al, 2010/MCIS].



Фигура 1. Съдържанието на картинните изображения спрямо възприемания

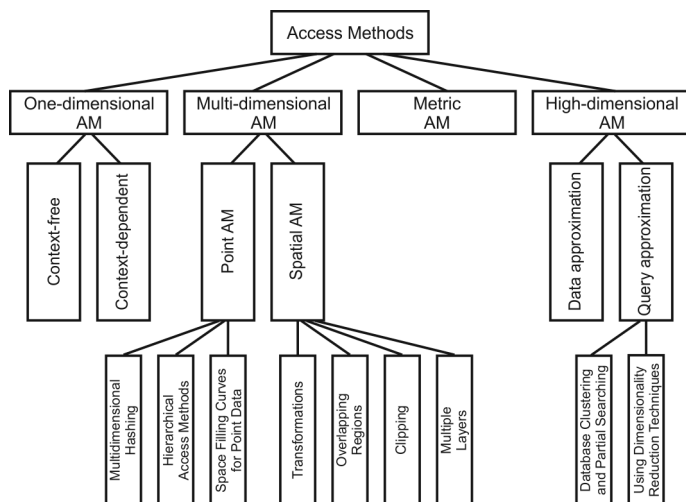
Обикновено всяка система за извличане, базирана на съдържанието, съдържа следните три компонента: (1) дизайн на характеристики, (2) индексирание, (3) извличане.

Процесът на дизайн на характеристики цели постигането на математическо описание на изображението за целите на извличането като негова сигнатура. Извличаните визуални характеристики се организират в различни видове комплексни структури от данни. Този процес неизбежно води до "проклятието на размерността" [Bellman, 1961], което налага прилагането на различни техники за облекчаване на процесите (data reduction techniques), включващи намаляване на размерността (dimensionality reduction) или намаляване на числовото разнообразие (numerosity reduction) (Фигура 2).



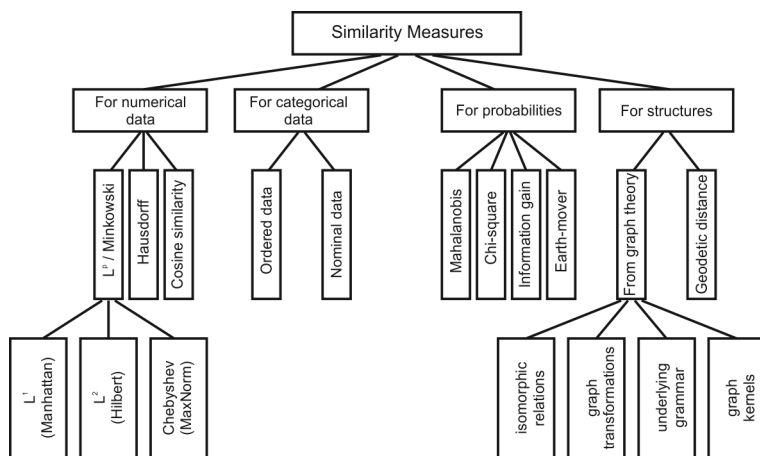
Фигура 2. Техники за обработка на данните (Data Reduction)

Вторият компонент на системите за извличане, базирани на съдържание, е индексирането. Ефективното индексирание е от решаващо значение за изграждането и функционирането на големите бази от данни и търсачките. В [Markov et al, 2008] ние предоставяме разширение на проучванията на различни пространствени методи за достъп, започнати в обзорите на [Ooi et al, 1993] и [Gaede and Günther, 1998]. Методите за достъп се класифицират в няколко категории: едномерни, многомерни пространствени; метрични и високо-размерни (Фигура 3).



Фигура 3. Класификация на пространствените методи за достъп

Третата компонента е процесът на извличането на ресурси. Извличащите машини изграждат мост между вътрешното пространство на системата и потребителските заявки. Независимо от конкретните детайли на задачата – търсене по асоциация, целево търсене или търсене по категории [Stanchev et al, 2006] процесът се свежда до измерване на сходството между обектите. Процесът на търсене на близост между две изображения се разпада на множество подпроцеси за намиране на прилики в различните нива и типове данни, представящи изображенията. В зависимост от типа на данните се използват различни видове мерки за сходство – числени, категориални, вероятностни, структурни и др. (Фигура 4).



Фигура 4. Типове мерки за близост

В процеса на извличане на ресурси се използват различни техники за подобряване на резултатите. *Групирането (clustering)* и *категоризацията (categorization)* са техники за извличане на данни, които значително ускоряват процеса на търсене в базите от изображения. Групирането е полезно при работа с големи неструктурирани цифрови хранилища. Категоризацията (класификацията) е удобна в случай на добре определени бази от изображения и в случая, когато разполагаме с доверени обозначени проби за обучение (labelled training samples). *Обратната връзка за съответствие (relevance feedback)* е важна стъпка в извличането на изображения, тъй като предлага компромис между напълно автоматизираната система без надзор и възможността да се отчетат конкретните нужди на потребителите чрез итеративна обратна връзка и усъвършенстване на заявката. *Многомодалният синтез (multimodal*

fusion) е свързан с интегрирането на информацията в интерактивната система, в която се предлагат на потребителя няколко комуникационни модалности. Потребителят може най-добре да опише своите заявки чрез комбинация от медийни възможности. Не на последно място *онтологията (ontologies)* предоставят полезен апарат за описване на взаимовръзките между понятията в дадена област, което позволява улесняване на намиране на отговора на потребителските заявки.

3 Реалният и цифровият свят на цвета

Природата на цвета е предмет на изследване от различни науки. *Физиката* изучава електромагнитната структура на светлинните вълни, природата на електромагнитните трептения на енергийните частици, които участват във феномена на светлината, на произхода на някои явления, свързани с цветския феномен като призматичната дисперсия на бялата светлина и оцветяването на наблюдаваните обекти при излъчващ източник или отражение. Измерването и класификацията на цветовете също са тема във физичните изследвания, но се допират и до *математиката*, която пък от своя страна предлага модели за структуриране на цветовете пространства и дефинирането на мерки за близост. *Инженерните дисциплини* търсят най-добрите начини за генериране на висококачествени цветове в различните устройства – от телевизията до малките преносими устройства. *Химията* изследва молекулярната структура на багрилата и пигментите, проблемите на устойчивостта на цветовете, а оттам и подготовката на качествени синтетични багрила. *Физиологията* изследва различни ефекти на светлината и цветовете върху зрителния ни апарат – очите и мозъка. Важно място заема изследването на адаптацията към светло и тъмно, на хроматичното зрение, на феномена послеобраз. *Психологията* се интересува от влиянието на цвета върху човешкия ум и душевност. Важни психологически проблеми са цветовата символика, както и субективното възприятие и дискриминация на цветовете. Експресивните цветови ефекти – това, което Гюте нарича етико-естетични стойности на цветовете – също попадат в рамките на психологическите изследвания. *Културните изследвания* и *семиологията* се фокусират върху влагания смисъл и интерпретацията на цветовете в различните култури. Създаването на специфични взаимоотношения между цветовете и цветовете ефекти с цел пресъздаване на определена идея е основна грижа на *твореца*. Зрителните, умствените и душевни феномени се пресъздават взаимосвързано в царството на цвета [Itten, 1961].

Физиологични основи на цветовото възприятие

През 1801г Томас Юнг предлага хипотезата, а по-късно Херман фон Хелмхолц разработва трихроматичната теория (Trichromatic Theory), в основата на която е предположението, че в ретината на човешкото око има рецептори, отговарящи на трите основни цвята и всички цветове се получават чрез смесването им с различна интензивност. Трихроматичната теория е потвърдена експериментално през 1956г от Гунар Светичин, който е идентифицирал три вида рецептори в ретината, чувствителни към червената, зелената и синята дължини на светлинните вълни.

Първото интегрално представяне на опонентната теория (Opponent Theory) е направено от Евалд Херинг през 1872г. Теорията предполага, че има три канала, които се противопоставят един на друг: червено срещу зелено, синьо срещу жълто и черно срещу бяло (последният носи информация за светлотата). Практически пример за тази теория е така нареченият феномен "послеобраз" (интензивното наблюдение на определен цвят води до "произвеждане" на цвят в окото, който в комбинация с първия дава неутрален). Опонентната теория е потвърдена през 1950г от Лео Хървич и Доротея Джеймисън, когато са открити противоположни цветови сигнали в областта на оптичните връзки между очите и мозъка.

Съвременните теории съчетават тези две теории: процесът започва от светлината, попаднала в окото, което стимулира трихроматичните колбички в ретината, и се подават чрез три противоположни сигнала към мозъка.

Последните развития са в предложената от Едвин Ланд ретинексна теория (Retinex Theory), доколкото експериментите показват, че хората имат значително постоянство към възприемането на цвета независимо от осветлението [Gevens, 2001].

Цветовото възприятие не е независим процес и се влияе от условията, при които този акт се извършва. От една страна физическата интерференция на светлинните вълни води до възприемането на два близко пазположени цвята като един (използвано от Съора за създаване на поантилизма като чисто нова техника за полагане на цветовете върху картината). От друга страна, възприемането на цветовете провокира взаимната индукция на нервните процеси, което според Павлов е един от основните закони на нервната физиология [Raychev, 2005]. Тази взаимна индукция води до промяна във възприемането на даден цвят в зависимост от стимулите в друга част на ретината (едновременно контраст) или стимули, приложени по-рано на същото място на ретината (последователен контраст).

Цветови хармонии и контрасти

Контрастите се проявяват при установяване на разлики между два наблюдавани ефекта. Когато тези разлики достигат максимални стойности, говорим за диаметрална разлика. Сетивата ни всъщност възприемат само чрез сравнение. Още от античността много хора изучават взаимозависимостта между цветовете. Интересната история на развитие на изучаването на това явление може да бъде видяна в текста на дисертацията. Тук ще се ограничим само с основния извод: че и двата основни типа контрасти – едновременния (Simultaneous Contrast) и последователния (Successive Contrast) – показват, че човешкото око е удовлетворено (или в равновесие) само когато са налични допълващите се цветове.

През първата половина на XX век школата "Баухаус" за визуално-пластични изкуства, дизайн и занаяти събира множество бележити творци и теоретици на визуалното изкуство. От гледна точка на нашите интереси следва да отбележим Адолф Хьолцел, Жозеф Алберс и Йоханес Итън, които създават своите теории за взаимодействие между цветовете.

Адолф Хьолцел предлага седем контрастни групи, като всеки контраст обръща внимание на определено качество на възприятието¹: (1) Контраст на нюанса; (2) Светло / тъмно; (3) Топло / студено; (4) Допълване; (5) Лъскаво / матово; (6) Много / малко; (7) Цветно / ахроматично [Gage, 1993].

Жозеф Алберс твърди, че цветовете си взаимодействат и се изменят спрямо останалите в съответствие с три водещи правила²: (1) Светло / тъмно; (2) Допълване; и (3) Изваждане [Albers, 1963].

Йоханес Итън дефинира стратегии за успешни цветови комбинации, базирайки се на вариации, използващи следните типове контрасти³: (1) Контраст на нюанса; (2) Контраст светло/тъмно; (3) Контраст топло/студено; (4) Контраст на допълване; (5) Едновременен контраст; (6) Контраст на наситеността; (7) Контраст на пропорциите [Itten, 1961].

Психологически аспекти на цвета

Влиянието на цветовете върху хората, зависи от много фактори, където законите на физиката и физиологията са само началото. Индивидуалното психологическо състояние, както и общата социално-културна среда също играят важна роля в този процес. Възприемането

¹ (1) Hue Contrast; (2) Light/Dark; (3) Cold/Warm; (4) Complementary; (5) Gloss/Mat; (6) Much/Little; (7) Colour/Achromatic

² (1) Light/dark value contrast; (2) Complementary reaction; (3) Subtraction

³ (1) Contrast of hue; (2) Light/dark contrast; (3) Cold-warm contrast; (4) Complementary contrast; (5) Simultaneous contrast; (6) Contrast of saturation; (7) Contrast of proportion

на цвета носи цялата емоционална и умствена идентичност на наблюдателя, неговия интелект, памет, идеология, етика, естетически чувства и други усещания. Тези чувства, както и философските, религиозни и други аспекти на възприятието на цветовете са от съществено значение за създаване символичните аспекти на цветовото възприятие.

Използването на цвета като символ датира от дълбока древност. Простото и естествено усещане, създавано от цвета, постепенно е било канонизирано в система от светски или религиозни символи. Това дълбоко напластяване на религиозни, социални, исторически, морални, етични, психологически и пр. символики понякога води до невъзможност да се открие каква е основната афективна стойност на даден цвят.

Цветови модели

Цветовият модел е абстрактен математически модел за описване на цвета като числов вектор, обикновено с три или четири стойности, които се наричат цветови компоненти.

Историята и практиката показват, че перфектен цветови модел не може да бъде създаден: един е подходящ за компактно кодиране с цел съхраняване или трансфер на цифрови изображения (напр. YCrCb модел), други се различават във възможностите си за предаване на цвета в зависимост от това дали обектите излъчват или отразяват светлината (RGB за монитори и CMYK за печат) и т.н. В повечето случаи, векторите, представлящи цветовото кодиране в технологичните системи, трудно се възприемат от хората.

От човешка гледна точка най-лесно цветът се възприема като композиция от три компонента – нюанс, насищане и светлота. Нюансът означава името на цвета – червено, зелено и т.н. Черното, различните нюанси на сивото и бялото се наричат ахроматични. Насищането определя чистотата на цвета – неговата бляскавост (по-близко до спектралния еквивалент на цвета) или приглушеност (по-голямо наличие на сиви нотки). Светлотата определя колко по-близко до бялото или черното е цветът [Holtzschue, 2006]. Такива цветови модели улесняват определянето на цветовете контрасти и хармонии, използвани в картините. Модел от този вид е HSL моделът (Hue-Saturation-Lightness) [Smith, 1978]. *Hue* представя цветовия тон, представя се като ъгъл върху цветовия кръг, представлящ дъгата (0° е червеният цвят) като ахроматичните се кодират с "-1"; *Saturation*



Фигура 5. Цветови кръг на художниците

индицира чистотата на цвета като варира от "0" (сивите тонове) до "1" (чистите цветове); *Lightness* показва светлотата на цвета като "0" съответства на черното, "1" на бялото, а спектралните цветове имат стойност "0.5". Моделът е удобен от гледна точка на това, че лесно се конвертира от стандартното представяне на пикселите (RGB-формат) в цифровите изображения. От друга страна има и някои недостатъци: единият е, че разположението на цветовете по цветовия кръг не съответства на възприетото виждане на художниците за противоположност на цветовете – в HSL модела срещу червеното (0°) е циановия цвят (120°), а не зеления; другият, е че във фотометрията понятия като светлота и яркост се отнасят до среднопретегления спектър, в който жълтото е много по-сияйно от лилавото докато в HSL модела дефиницията на *Lightness* не отчита зависимостта от нюанса.

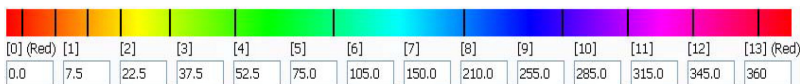
В нашата работа ние използваме цветови модел, който комбинира положителните качества на няколко модела. Дефиницията на нюанса е като в HSL модела, но по време на квантуването се взема пред вид изместването спрямо цветовия кръг на художниците (Фигура 6). Така се създава основа за лесно дефиниране на хармониите и контрастите спрямо нюанса като функции на квантовете, представящи ъглите. Наситеността се изчислява както в HSL модела. Компонентата за светлота се изчислява както е дефинирана *Luma* компонентата в YcrCb модела [ISO/IEC 15938-3]. Тази формула се използва в много продукти за преобразуване на цветните изображения в едноцветни (grayscale), напр. MathLab. По-долу са дадени формулите и квантуването за използвания от нас комбиниран модел "HSL-artists".

Ако $R, G, B \in [0, 255]$ са координатите на червеното, зеленото и синьото в RGB модела. $max = \max(R, \max(G, B))$, $min = \min(R, \min(G, B))$:

$$H = \begin{cases} 0 & \text{if } max = min \\ (60^\circ \times \frac{G - B}{max - min} + 360^\circ) \bmod 360^\circ & \text{if } max = R \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{max - min} + 120^\circ & \text{if } max = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{max - min} + 240^\circ & \text{if } max = B \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{if } max = min \\ \frac{max - min}{max + min} & \text{if } max + min \leq \frac{1}{2} \\ \frac{max - min}{2 - (max + min)} & \text{if } max + min > \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$L = \frac{0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B}{255}$$



Фигура 6. Квантуване на нюанса

4 Съществуващи системи за извличане, базирано на съдържанието на изображенията

През последните 20 години се наблюдава нарастващо развитие на изследванията в областта на извличането, базирано на съдържанието на изображенията. Докато по-ранните системи са насочени към извличането на подходящи визуални сигнатури, последните изследвания се фокусират върху ефективната обработка на визуалните данни чрез прилагане на различни техники с цел семантично интерпретиране и търсене.

Повечето от съществуващите специализирани системи се фокусират върху техники за анализ на цифровите копия на картините с цел виртуална реставрация на произведения на изкуството (възстановяване на повредени участъци, подобрене на цветовете, отстраняване на пукнатини и т.н.). Други са адресирани към анализ с цел техническа експертиза (идентификация, фалшификати и пр.). Нашият основен интерес е насочен към системите, изследващи спецификите на художниците и периодите (използвана цветова палитра, влияния на едни периоди върху други и пр.), както и емоционалния и естетически заряд, който носят съответните произведения на изкуството.

Разгледани са следните системи (по-подробно представяне на всяка от системите може да се види в дисертацията): *QBIC*; *PICASSO system*; *Analysis of the pictorial portrait database of miniatures of the Austrian National Library*; *Painting classification system*; *Art historian system*; *A lightweight image retrieval system for paintings*; *Collage*; *Brushwork identification*; *M4ART*; *ACQUINE*; *MECOCO*; *ALIPR*.

Развитието на системи, базирани на MPEG-7 дескрипторите, е сред активните теми за научни изследвания в извличането на изображения. Разработени и в процес на разработване са много демонстрационни системи, прототипи и търговски системи. MPEG-7 и MPEG-21 общностите събират заедно експерти от научните изследвания и промишлеността в областта на оперативната съвместимост на мултимедийните метаданни.

Някои от системите, базирани на MPEG-7 дескрипторите, са (отново подробности за всяка от системите може да се види в дисертацията): *PicSOM* (Picture Self-Organizing Map); *CIMWOS* (Combined IMage and WOrd Spotting); *VizIR* (a framework for Visual Information Retrieval); *Mirror* (MPEG-7 Image Retrieval Refinement based On Relevance feedback); *MARVEL*; *MPEG-7 Library in JOANNEUM Research*; *LIRE* (Lucene Image RETrieval) library и системите за извличане на характеристики към нея *Caliph* (Common and Lightweight PHoto Annotation) и *Emir* (Experimental Metadata-based Image Retrieval);

проект за разширяване на *Fedora Repository* с MPEG-7 дескриптори; *MUFIN Search* (Multi Feature Indexing Network).

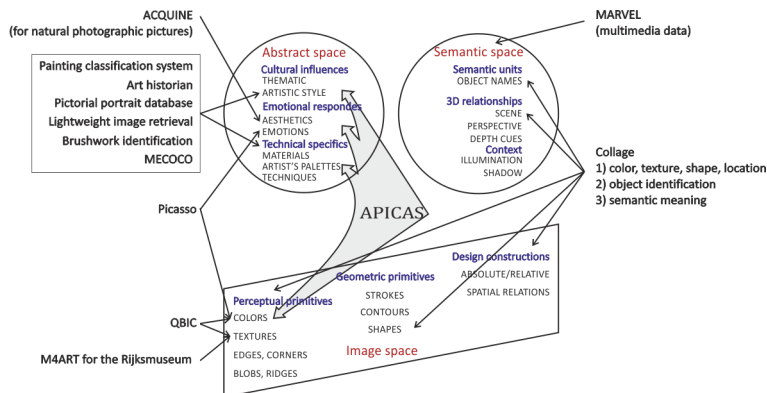
Разглежданите системи не са адресирани пряко към работа с изображения на изкуството. Въпреки това, анализът показва, че MPEG-7 е широко навлязъл като стандарт и се поддържа от няколко големи банки от изображения, съоръжени с подходящи метрики и оценки на близост, както и съответни индексни схеми. Тези доказателства подкрепят предположението, че си струва да се използват MPEG-7 дескриптори и в областта на колекциите от произведения на изобразителното изкуство.

Въпреки че всички представени системи общо взето имат обща задача, те се различават по своите цели, в зависимост от специфичните нужди, за които са създадени. Някои системи (като QBIC, Collage, M4ART и др.) са промишлени системи, които поддържат цялостния жизнен цикъл на обектите в процеса на извличане на изображения. Такива системи осигуряват широк набор от функции, започвайки от въвеждането на обектите в хранилището и осигуряването на стабилното им съхранение, създаването и поддръжката на метаданни, използване на подходящи техники за индексирание за осигуряване на лесен достъп, осигуряване на удобен потребителски интерфейс, индивидуализация на достъпа, администриране и т.н. Други са експериментални системи, целящи проучване на способностите на някои функции и/или алгоритмични техники за подобряване на извличането на изображения или решаването на определена класификационна задача. Такива системи не претендират да притежават изчерпателен набор функции, но са съсредоточени в изучаването на определена концепция или техника, която по-късно би влязла в промишлена употреба.

Връщайки се към нашата цел – проучване на начините за затваряне на различните видове разминавания – на Фигура 7 ние показваме нашата визия за връзка на някои от разглежданите системите с таксономията на съдържанието на картините. Тук ние не спираме вниманието си върху използваните функции и алгоритми в системите, а се фокусираме върху евентуалните резултати. Например, всички системи в правоъгълника са в областта на проучванията на артистичните практики и изследването на историята на изкуството, независимо, че всяка от тях използва различни визуални примитиви.

Фигурата показва и нашето виждане към кои аспекти е насочено нашето предложение APICAS, а именно – към изучаване на способността на анализа на цвета за покриване на повечето от елементите в пространството на абстракциите. Цветът винаги носи някаква символика, генерирана от културната среда. От друга страна всеки художник изгражда своя собствена визия за цвят, който изразява емоционалните и естетическите му чувства. Техническите аспекти също влияят не само върху техниките и палитрите, но индиректно и върху

тематиките. Демонстрация на това е например фактът, че развитието на химическата промишленост, която е осигурила производството на бои в лесно преносими туби, е довело до възможността художниците да започнат да работят на открито, с което възниква цяло направление в импресионизма, целящо изучаването на въздействието на въздуха и слънцето в картините.



Фигура 7. Връзките на разглежданите системи със съответните аспекти от таксономията на съдържанието на картините

5 Формално описание на предлаганите атрибути

Ние предлагаме набор от визуални характеристики, основани на човешкото възприятие на цветовете. С тях се опитваме да формализираме някои качествени постижения на теорията на Итън. Неговите изследвания на "субективния тембър" [Itten, 1961] показват, че съществуващите закони за комбиниране на цветовете не ограничават разнообразието на родените произведения, а по-скоро са ключ към идентифицирането на спецификата на създаденото.

5.1 Характеристики, описващи разпределението на цветовете

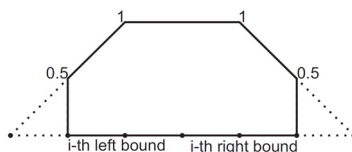
Като най-близка апроксимация на непрекъснатото разпределение на цветовете в изображението използваме хистограми [Ivanova et al, 2008]. Извлечените характеристики ще използваме в две направления:

- за анализ на разпределението на цветовете в картините;

- като база за дефиниране на функциите за извличане на цветовите хармонии и контрасти.

В основата на тези характеристики използваме HSL-artist модела. Пикселите в изображенията се конвертират в избрания цветови модел. Нюансът се квантува на 13 дяла ($ih = -1, \dots, NH - 1$, $NH = 12$), като една стойност се използва за ахроматичните цветове ($ih = -1$), а дванадесет нюанса разделят основните цветове ($ih = 0, \dots, NH - 1$). За HSL-artist модела квантуването е нелинейно, отчитайки изместването на цветовия кръг на художниците спрямо кръга в HSL модела.

В [Ivanova and Stanchev, 2009] ние използвахме проста функция за определяне на принадлежността на дадена цвѳтова характеристика към квантувания сегмент. По-късно в [Ivanova et al, 2010/IJAS] добавихме възможността при квантуването да се използва размита функция за изчисляване на квантовата част на цвѳтова характеристика (Фигура 8).



Фигура 8. Размита функция, изчисляваща квантовата част на цвѳтова характеристика

Като резултат, всяка картина се представя чрез тримерен масив, съдържащ фракциите на съответните цветове.

$$A = \{A(ih, is, il) \mid ih = -1, \dots, NH - 1; is = 0, \dots, NS - 1; il = 0, \dots, NL - 1\}.$$

Анализът на цвѳтовото разпределение може да се провежда върху трите размерности заедно или върху определени проекции.

5.2 Хармонии/контрасти

Обикновено, в съответствие с предложението на Йоханес Итън, цвѳтовият кръг, който представя отношенията между нюансите, е разделен на дванадесет сектора. Трите основни цвята са разположени в центровете на равноотстоящи секции. Вторичните цвятове са разположени между тях, като от една страна са средни точки между два основни цвята, а от друга страна са допълващи на третия цвят. Квантуването се разширява с междинни цвятове, които са в средата между съседни първични и вторични нюанси.

На Фигура 5 е показана позицията на нюансите в цвѳтовия кръг, възприет от художниците (описан в RYB (Red-Yellow-Blue) цвѳтовия модел). Това съотношение на нюансите се различава от възприетото в съвременните цвѳтови модели (вариации на RGB (Red-Green-Blue) модела). Но всички класически теории, свързани с определянето на контрастите се базират на противопоставянето на цвѳтовете спрямо разположението им в цвѳтовия кръг, възприет от художниците. По тази причина ние използваме HSL-artists цвѳтовия модел, основаващ се на

предимствата на моделите HSL и YCbCr, но отчитащ разположението на нюансите спрямо RYB модела. Тук представяме една класификация на различните видове от хармонии и контрасти от гледна точка на трите основни характеристики на цвета – нюанс, насищане и светлота.

Хармонии/контрасти спрямо нюанса (Hue)

Хармонии/контрасти, основани на взаимното разположение на нюансите върху цветовия кръг

Фигурите по-долу показват само относително разположение на нюансите. Някои от тези комбинации са обсъдени в [Holtzschue, 2006] и [Eiseman, 2006].

Ахроматични композиции: изображения, състоящи се от черни, сиви и бели тонове или съдържат цветове с много малка наситеност.

Монотонни композиции: използват един нюанс и изображението е изградено на базата на вариации в светлотата на тона (Фигура 9). Този похват се използва за да внуши определена емоция, тъй като всеки нюанс носи специфична психологическа интензивност.



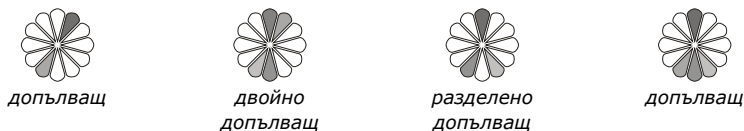
Фигура 9. Монотонна композиция

Аналогични нюанси: групи от цветове, които са съседни в цветовия кръг (Фигура 10), съдържат два, но никога три първични нюанса.



Фигура 10. Различни варианти на аналогични композиции

Допълващи контрасти: нюанси, разположени противоположно върху цветовия кръг. При наличието на повече от два нюанса хармоничната композиция се изгражда като комбинация от аналогични и допълващи се нюанси (Фигура 11).



Фигура 11. Варианти на допълващи контрасти

Триади: три нюанса, които са на еднакво разстояние един от друг върху цветовия кръг, образуват триада (което означава, че всички цветове са или първични, или вторични, или междинни). При анализа

на картините се наблюдава и наличието на "частични триади" (наличие само на два от трите цвята на дадена триада). В някои случаи се наблюдават "изкривени триади" (два от цветовете са част от триада, но третият е леко изместен спрямо третата позиция) (Фигура 12).



триада



частична триада



изкривена триада

Фигура 12. Триади

Тетради: включват четири нюанса, равноотстоящи един от друг върху цветовия кръг. Този контраст произвежда много сложна схема и може да доведе до дисхармония. Могат да се разглеждат и частични форми на тетради (Фигура 13). Обикновено тази схема се използва само в по-схематични изображения с прецизно координирани насищане и светлота, например в хералдически знаци, знамена и др.



тетрада



частична тетрада



частична тетрада

Фигура 13. Тетради

Контраст Топло-студено

Топли и студени са две противоположни качества на цветовете. Топлите цветове са нюансите около червеното и оранжевото; студени цветовете са тези около синия. Термините "топло" и "студено" са полезни за описване на семействата на цветовете. Такъв контраст се разглежда от Адолф Хьолцел [Gage, 1993] и Йоханес Итън [Itten, 1961].

Хармонии/контрасти спрямо наситеността (Saturation)

За разлика от нюанса, който е разположен върху кръг, насищането и светлотата са линейни. Тази разлика определя различните дефиниции на хармониите/контрастите за тези характеристики. Като цяло можем да определим три големи групи от хармонии и контрасти: мътни, чисти, различни съотношения на наситености.

Хармонии/контрасти спрямо светлотата (Lightness)

Цялостният ефект на светлота на изображението, както и използването на контрасти между светлото и тъмното е много мощен инструмент в изкуството. В някои случаи картините не съдържат контраст светло/тъмно – тогава изображението притежава монолитна вибрация. В други случаи контраста светло/тъмно се използва за да се съсредоточи вниманието в определени части от изображението.

5.3 Формално описание на хармониите/контрастите

За определяне на цветовете хармонии/контрасти ние използваме представянето на цветовото разпределение като тримерен масив:

$$A = \{A(ih, is, il) \mid ih = -1, \dots, NH - 1; is = 0, \dots, NS - 1; il = 0, \dots, NL - 1\}.$$

$NH = 12$ кореспондира с броя квантувани цветове в кръга на Итън. "-1" индексира процента на ахроматични тонове, от "0" до " $NH - 1$ " съдържат процентите на цветовете, подредени както е показано на Фигура 5, започвайки от червено и свършвайки с пурпурно. Използваме $NS = 5$ за дефиниране на описателите на хармониите и контрастите. "0" съдържа процента на сивите и почти ахроматични тонове, "4" съдържа процента на чисти (в частност спектрални) тонове. За квантуване на светлотата използваме $NL = 5$. "0" съдържа най-тъмните, а "4" – най-светлите тонове.

За опростяване на изчисленията използваме три масива, съдържащи проекциите по съответните характеристики:

- $H(h_{-1}, h_0, \dots, h_{NH-1})$ за нюансите ($A_H = \{A(ih, -, -)\}$, $ih = -1, \dots, NH - 1$);
- $S(s_0, \dots, s_{NS-1})$ за наситеността ($A_S = \{A(-, is, -)\}$, $is = 0, \dots, NS - 1$);
- $L(l_0, \dots, l_{NL-1})$ за светлотата ($A_L = \{A(-, -, il)\}$, $il = 0, \dots, NL - 1$).

Вектор на нюанса

Векторът на нюанса съдържа броя на доминантните стойности на нюанса nh и техните позиции, подредени в ред на намаляване на процентното съдържание. nh може да варира от 0 за ахроматичните картини до максималния брой дефинирани доминантни цветове. Когато изображението не е ахроматично nh е броят на доминантните нюанси, чиито сбор от проценти надхвърля x (експертно определена стойност). За целите на определянето на хармониите/контрастите на нюанса максималният брой доминиращи цветове е ограничен до 5.

$$(nh; p_1, p_2, \dots, p_{nh}) \text{ , } p_i \in \{-1, \dots, NH - 1\} : h_{p_i} \geq h_{p_{i+1}} \text{ , } h \in H \text{ , } i \in \{1, \dots, nh - 1\}$$

$$nh \in \{0, \dots, 5\} :$$

$$(nh = 0 \text{ if achromatic}); (nh = 1 \text{ if } h_{p_1} \geq x); \left(nh = \min(n, 5) \text{ if } \sum_{i=1}^{n-1} h_{p_i} < x \text{ and } \sum_{i=1}^n h_{p_i} \geq x \right)$$

Хармонии/контрасти спрямо нюанса

За дефинирането на хармониите/контрастите спрямо нюанса първо дефинираме функции, които отразяват взаимното разположение на два цвята. По-долу предоставяме математическите формулировки, както и графични примери. Тъмният лист съответства на разглеждан отправен

цвет p , а светлият лист показва относителното разположение на втория цвет за съответната функция:

Срещулежащ на p :

$$opposite(p) = \begin{cases} p + NH \div 2 & \text{if } p \leq NH \div 2 \\ p - NH \div 2 & \text{if } p \geq NH \div 2 \end{cases}$$

Ляв съсед на p :

$$l_neighbour(p) = \begin{cases} NH - 1 & \text{if } p = 0 \\ p - 1 & \text{if } p \in \{1, \dots, NH - 1\} \end{cases}$$

Десен съсед на p :

$$r_neighbour(p) = \begin{cases} 0 & \text{if } p = NH - 1 \\ p + 1 & \text{if } p \in \{0, \dots, NH - 2\} \end{cases}$$

Елемент от триада, от лявата страна на p :

$$l_triad(p) = (NH + p - NH \div 3) \bmod NH$$

Елемент от триада, от дясната страна на p :

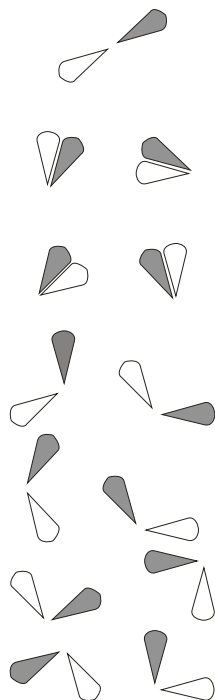
$$r_triad(p) = (p + NH \div 3) \bmod NH$$

Елемент от тетрада, от лявата страна на p :

$$l_tetrad(p) = (NH + p - NH \div 4) \bmod NH$$

Елемент от тетрада, от дясната страна на p :

$$r_tetrad(p) = (p + NH \div 4) \bmod NH$$



Ще разгледаме различните варианти композиции в зависимост от броя доминантни цветове nh :

$nh=0$

- *Ахроматична*: композицията е изработена от черно, бяло и сиви тонове. Може да се разглежда като специален случай на монохроматичната композиция;

$nh=1$

- *Монохроматична*: само един цвет доминира в картината;

$nh=2$

- *Аналогична*: когато $p_2 = l_neighbour(p_1)$ или $p_2 = r_neighbour(p_1)$;
- *Допълваща*: когато $p_2 = opposite(p_1)$;
- *Частична триада*: когато $p_2 = l_triad(p_1)$ или $p_2 = r_triad(p_1)$;

nh=3

- *Аналогична*: ако за един от доминантните цветове $p_i, i \in \{1, \dots, nh\}$ останалите два цвята са $l_neighbour(p_i)$ и $r_neighbour(p_i)$;
- *Разделено допълваща*: ако за един от доминантните цветове $p_i, i \in \{1, \dots, nh\}$ останалите два цвята са $l_neighbour(opposite(p_i))$ и $r_neighbour(opposite(p_i))$;
- *Триада*: ако спрямо първия цвят p_1 останалите два цвята са $l_triad(p_1)$ и $r_triad(p_1)$;

nh=4

- *Аналогична*: ако за един от доминантните цветове $p_i, i \in \{1, \dots, nh\}$ един от останалите три цвята е $p_j, j \in \{1, \dots, nh\}, j \neq i$: $p_j = l_neighbour(p_i)$ или $p_j = r_neighbour(p_i)$, а останалите два цвята са $l_neighbour(p_j)$ и $r_neighbour(p_j)$;
- *Двойно допълваща*: ако за един от доминантните цветове $p_i, i \in \{1, \dots, nh\}$ един от останалите три цвята е $p_j, j \in \{1, \dots, nh\}, j \neq i$: $p_j = opposite(p_i)$, а останалите два цвята са $l_neighbour(p_i)$ и $l_neighbour(p_j)$ или $r_neighbour(p_i)$ и $r_neighbour(p_j)$;
- *Разделено допълваща*: ако за един от доминантните цветове $p_i, i \in \{1, \dots, nh\}$ един от останалите три цвята е $p_j, j \in \{1, \dots, nh\}, j \neq i$: $p_j = opposite(p_i)$, а останалите два цвята са $l_neighbour(p_j)$ и $r_neighbour(p_j)$;
- *Тетрада*: ако спрямо първия цвят p_1 останалите цветове са $l_tetrad(p_1)$, $opposite(p_1)$, $r_tetrad(p_1)$;

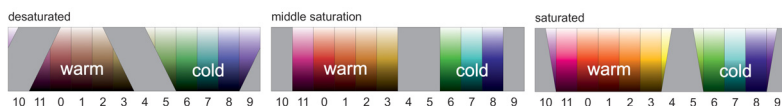
nh=5

- *Многоцветна*: в този случай може да се търсят определени комбинации, игнорирайки цвят с малко присъствие.

Контраст топло/студено

За определяне на контраста топло/студено използваме процентът на наличност на семействата от цветове, P_{warm} , P_{cold} и $P_{achromatic}$, като отчитаме факта на промяната на вида на цвета в зависимост от неговата наситеност и светлота [Koenig, 2010]. По тази причина използваме тримерния масив А (Фигура 14). Силните контрастни точки

са най-топлата "червено-оранжевата" ($ih = 1$) и най-студената "синьо-зелената" ($ih = 7$):



Фигура 14. Дефиниция на нюанса като топъл или студен в зависимост от наситеността и светлотата

Изображението се определя като топло, студено или неутрално ако съответната стойност е по-голяма от определен праг. Ако нито една от тези стойности не превишава определените параметри, изображението е топло-студено, топло-неутрално, студено-неутрално и т.н. в зависимост от реда на намаляване на съответните стойности.

Вектор на наситеността

Векторът на наситеността съдържа броя на доминантните стойности на наситеността ns , $ns \in \{1, \dots, NS\}$ и техните позиции, подредени в ред на намаляване на процентното съдържание. ns е броят подредени стойности на наситеността, чиято сума от проценти надвишава определена стойност y .

$$(ns; p_1, p_2, \dots, p_{ns}), p_i \in \{0, \dots, NS-1\} : s_{p_i} \geq s_{p_{i+1}}, s \in S, i \in \{1, \dots, ns-1\}$$

$$ns \in \{1, \dots, 5\} : (ns = 1 \text{ if } s_{p_1} \geq y) \text{ or } \left(ns = n \text{ if } \sum_{i=1}^{n-1} s_{p_i} < y \text{ and } \sum_{i=1}^n s_{p_i} \geq y \right)$$

Комбинации на наситеността

Ако $ns = 1$ картината се дефинира като моноинтензивна. При $ns > 1$ някои комбинации от доминанти наситености могат да бъдат специално отбелязани: ако p_0 и p_{NS-1} са доминантни, картината се разглежда като контрастна; ако позициите са съседни – наситеността е плавна, и т.н.

Контраст Чисто/мътно

В зависимост от глобалната светлота на изображението разпределението на насищане в изображението се дефинира и чрез друг атрибут, който получава стойности като меко/остро за светли изображения, земно/спектрално за средно светли изображения и чисто/мътно за тъмни снимки.

Вектор на светлотата

Векторът на светлотата $(nl, p_1, p_2, \dots, p_{nl})$ се дефинира по същия начин както този на наситеността. Той съдържа броя на доминантите стойности на светлотата nl , $nl \in \{1, \dots, NL\}$ и техните позиции, подредени в ред на намаляване на процентното съдържание. nl е броят подредени стойности на светлотата, чиято сума от проценти надвишава определена стойност z .

$$(nl, p_1, p_2, \dots, p_{nl}), p_i \in \{0, \dots, NL-1\} : l_{p_i} \geq l_{p_{i+1}}, l \in L, i \in \{1, \dots, nl-1\}$$

$$nl \in \{1, \dots, 5\} : (nl=1 \text{ if } l_{p_1} \geq z) \text{ or } \left(nl=n \text{ if } \sum_{i=1}^{n-1} l_{p_i} < z \text{ and } \sum_{i=1}^n l_{p_i} \geq z \right)$$

Комбинации на светлотата

Комбинациите на светлотата се дефинират по същия начин както тези на наситеността. Използват се същите функции с други параметри (Фигура 15).



Фигура 15. Варианти на комбинациите на светлотата

Контраст Светло/тъмно

Атрибутът, получаващ стойностите на контраста светло/тъмно, зависи от дефинирани от потребителя прагове. Изображения, които притежават l_0 повече от избрания праг за тъмно, са идентифицирани като *много тъмни*. Тези, за които $l_0 + l_1$ надхвърлят този праг са *тъмни*. По подобен начин изображенията с l_{NL-1} над прага за светло са *много светли*, а ако $l_{NL-2} + l_{NL-1}$ надвишават прага за светло се дефинират като *светли*. В зависимост от разпределението на светлота, изображенията могат да бъдат категоризирани като *тъмно-светли*, *светло-тъмни*, *средни* и пр.

5.4 Локални характеристики, основани на векторно квантуване на MPEG-7 дескриптори върху части от изображението

Третата група описатели са базирани на векторно квантуване на MPEG-7 дескриптори върху части от изображението [Ivanova et al, 2010/ICDEM]. Те се използват за анализ на възможностите за обхващане на по-детайлна информация за семантичното и абстрактно съдържание на картините. MPEG-7 дескрипторите са сложни описатели, които осигуряват добро представяне на различни видове визуални характеристики [ISO/IEC 15938-3]. Те са сложни структури, повечето от тях следва да се използват със специфични мерки за близост и не могат да бъдат ползвани директно в стандартните алгоритми за класификация. В нашата работа ние сме фокусирани върху следните MPEG-7 дескриптори, които служат за описание на съдържанието на изображението: Scalable Color (SC); Color Layout (CL); Color Structure (CS); Dominant Color (DC); Edge Histogram (EH); Homogeneous Texture (HT).

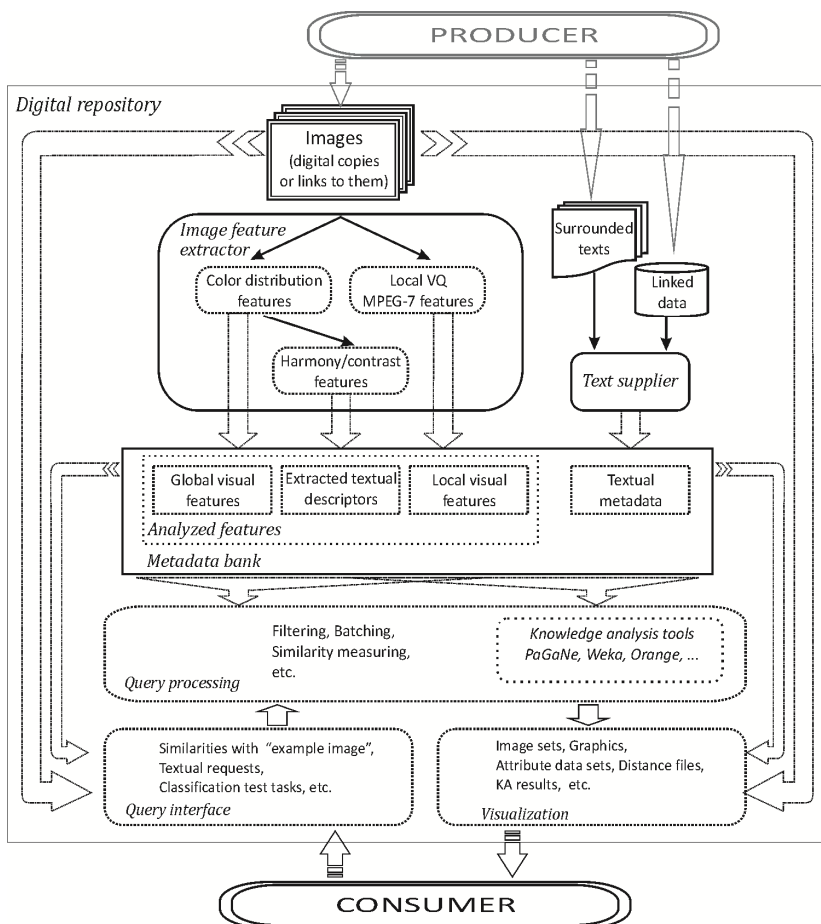
В нашия подход ние разделяме изображенията на $m \times n$ не-припокриващи се еднакви правоъгълника (плочки). Плочките са маркирани с (i, j) , $i \in 1...m$ и $j \in 1...n$. Индексът i се увеличава от най-лявата към най-дясната плочка, а j от най-горната към най-долната плочка. Множеството от картини се разделя на две части – обучаваща извадка и тестващо множество. За всеки MPEG-7 дескриптор $X \in \{SC, CL, CS, DC, EH, HT\}$ алгоритъмът се състои от следните стъпки:

- изчисляват се характеристичните вектори за всяка от плочките;
- върху плочките, принадлежащи на картините от обучаващата извадка, се прилага клъстеризация (броят на клъстерите се задава като параметър);
- всеки клъстер се именува с поредния номер на клъстерното множество;
- плочките от обучаващата извадка получават стойност за разглежданата характеристика равна на номера на клъстера, към който принадлежат;
- изчисляват се центроидите на всеки от клъстерите;
- плочките от тестващото множество получават стойност за разглежданата характеристика равна на номера на клъстера, до чиито центроид е най-близо, използвайки L^1 метрика.

Като резултат, всяко изображение се представя с характеристичен вектор с $x \times m \times n$ атрибута, където x е броят на MPEG-7 дескрипторите. Спецификата на този подход е, че получените атрибути са номинални.

6 Системата APICAS

Системата APICAS е разработена с цел да се създаде подходяща среда за тестване на различни видове визуални характеристики и характеристики от по-високо ниво, свързани с цвета и взаимодействието между цветовете в картините.



Фигура 16. Архитектурата на APICAS

Основните функции на APICAS са (Фигура 16):

- *въвеждане на данни*: избор на колекция; възможност за промяна на параметрите по подразбиране, използвани в различните алгоритми; избор на обучаваща извадка за клъстеризационните и класификационните алгоритми; функции по осигуряване на контролни текстови метаданни с цел проверка на резултатите;
- *извличане на предлаганите характеристики*: на практика това са функциите в сърцето на системата, които осигуряват извличане на базата на съдържанието на изображенията. В конкретния случай това са функции, отнасящи се до трите типа характеристики: (1) получаване на цветовото разпределение спрямо дефинираните квантове по трите основни характеристики или някои от проекциите; (2) извличане на дескрипторите за хармонии и контрасти; (3) извличане на локалните характеристики, основани на векторно квантуване на MPEG-7 дескрипторите върху парчета от изображението;
- *интерфейс за заявки*: част от функциите на потребителския интерфейс, свързани с получаване на заявките. Банката на изображенията се използва за избор на "пример" за търсене на изображения с най-голямо сходство до избраното. Банката от метаданни служи за изграждане на "контролиран речник" за избор на желана характеристика;
- *обработка на заявките*: анализ на извлечените метаданни, техният потенциал да отговорят на заявката на потребителя за получаване на изображения с определени характеристики или да бъдат използвани за изграждане на профил на художника или съответния период;
- *визуализация*: това е останалата част от функциите на потребителския интерфейс, свързани с визуализиране на получените резултати. Използват се различни изходни варианти, включващи визуализация на група изображения или парчета от тях, графики, файлове, съдържащи множества от данни, таблици на разстоянията, резултатите от анализа и др.

С цел улесняване на анализа системата пряко се свързва със средите PaGaNe, WEKA и ORANGE или с техни функции.

Основните цели на APICAS са в две направления:

- да анализира възможностите на дефинираните характеристики за намаляване на семантична пропаст;
- да разследва възможностите за намиране на закономерности между тези характеристики, които могат да бъдат използвани като семантични профили на художествените практики.

Системата е реализирана на CodeGear Delphi 2007 за Win32. Като пространство за съхранение на метаданните се използва Arm 32,

собственост на FOI Creative Ltd. За получаване на MPEG-7 дескрипторите APICAS се обръща към системата за управление на мултимедийно съдържание MILOS [Amato et al, 2004]. За получаване на резултатите от многомерното мащабиране (multidimensional scaling) се използва отвореният пакет за извличане на данни и машинно обучение ORANGE [Demsar et al, 2004]. Като клъстеризационен алгоритъм се използва програмата "vcluster", която е част от отворения софтуерен пакет CLUTO [Karypis, 2003]. Като среди за анализ на знания използваме WEKA, разработена от Университета в Уайкато, Нова Зеландия [Witten and Frank, 2005] и PaGaNe [Mitov et al, 2009], разработена в Института по математика и информатика, по-специално асоциативния класификатор PGN [Mitov, 2011].

7 Експерименти

Общата цел на научните изследвания е показване и доказване на добавената стойност на предложените конструкции за описание, класификация и извличане на изображения. Това се прави от една страна чрез описателен и прогнозен анализи, а от друга страна с изследване на конкретно приложение. Ето защо тази глава има пет части:

- обща рамка на експериментите;
- анализ на визуалните конструкции;
- анализ на характеристиките за хармонии/контрасти;
- анализ на локалните конструкции;
- приложения.

7.1 Обща рамка на експериментите

За нашите експерименти, ние подбрахме колекция от 600 картини от 18 художници от различни периоди на Западноевропейското изобразително изкуство и една група, която представя иконографския стил на Източната средновековна култура (Таблица 1). За опростяване на статистическата обработка, ние използвахме равен брой на картини за всеки художник, като само групата на иконите е двойно по-голяма.

В прогнозния анализ бяха използвани класификаторите OneR, JRip, J48 и PGN, които са представители на различни класификационни схеми (Decision Rules, Decision Trees, Associative Classifiers), но които създават правила (или могат да бъдат представени като правила), на чиято база се провежда процесът на разпознаване. Експериментите се провеждаха чрез трикратна или петкратна кръстосана проверка (cross validation).

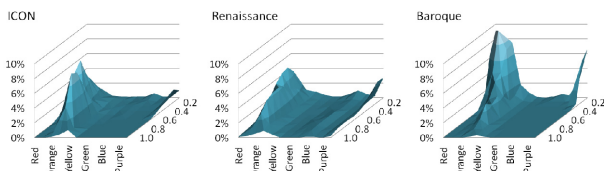
Таблица 1. Списък на художниците, групирани по периоди, чиито картини участват в експерименталната колекция

Периоди	Художници
Икони (60)	Икони (60)
Ренесанс (90)	Ботичели (30); Микеланджело (30); Рафаел (30)
Барок (90)	Караваджо (30); Рембранд (30); Рубенс (30)
Романтицизъм (90)	Фридрих (30); Гойа (30); Търнър (30)
Импесиониизъм (90)	Моне (30); Писаро (30); Сисли (30)
Кубизъм (90)	Брак (30); Грис (30); Леже (30)
Модерно изкуство (90)	Климт (30); Миро (30); Муха (30)

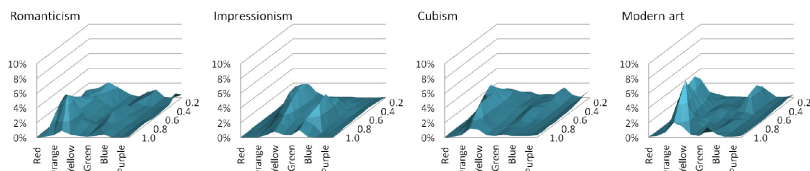
7.2 Анализ на цветовото разпределение

Описателен анализ

Описателният анализ на цветовото разпределение по една проекция разкри някои общи тенденции за картините, които използвахме като нормализиращ фактор в процеса на определяне на описателите за хармонии и контрасти. От друга страна показва и специфични характеристики за някои от периодите, които имат различно обяснение от технически и социо-културен характер.



Фигура 17. Разпределение "нюанс-светлота" в Икони, Ренесанс и Барок



Фигура 18. Разпределение "нюанс-светлота" в Романтицизъм, Импресиониизъм, Кубизъм и Модерно изкуство

Например, преобладаващото присъствие на топлите цветове (червено-оранжевия спектър) в класическите картини се дължи от една страна на оцветяването на лицата и телата, и от друга страна на използването на лаково покритие, което с времето придобива жълтеникав оттенък. Фактът, че студеният нюанси като синьо и зелено

са недълготрайни под влияние на светлината, също допринася за това. От друга страна в художествените практики на някои периоди зеленият цвят е бил заменен с кафяв.

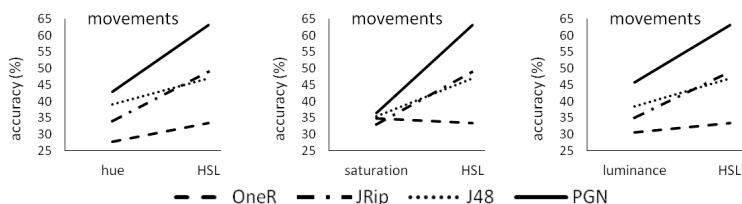
От гледна точка на насищането най-специфични са иконите, където обикновено се използват чистите цветове на палитрата.

По отношение на светлотата се наблюдават някои общи тенденции за повечето движения, само Барокът рязко се различава с изключително голямо присъствие на много тъмни цветове.

От направения описателен анализ *по две проекции* (в случая нюанс и светлота) също се вижда, че периодите относително се разделят на две подгрупи – класическа (Фигура 17) и съвременна (Фигура 18) – с по-топли тонове в класическите картини и наличие на по-студени в съвременните картини с вариации в светлотата за различните периоди.

Прогнозен анализ

Проведохме експерименти с множества от данни, съдържащи атрибутите на нюанса, на наситеността, и на светлотата поотделно и на трите заедно.



Фигура 19. Точности на различните класификатори за множества от нюанс, наситеност, светлота поотделно и взети заедно

Освен, че PGN постигна най-висока точност от разглежданите модели за всички масиви от данни, той показва и най-голямо увеличение на точността при разглеждане на трите характеристики заедно (Фигура 19), което потвърждава предположението, че асоциативните класификатори (в частност PGN) притежават най-добри възможности за извличане на специфични комбинации от стойностите на атрибутите.

7.3 Анализ на описателите за хармонии/контрасти

Тази група от експерименти бе фокусирана върху анализа на автоматично аотиране на изображения с описателите за хармонии и контрасти. Тези характеристики от високо ниво може да се използват в процесите на категоризация с цел разкриване на културни влияния и

специфични техники, но за извличане на изображения с дадени характеристики, тясно свързани с емоционалните реакции, предизвикани от изображенията. Тези характеристики се отнасят до съответни елементи от абстрактното пространство на съдържанието на изображенията.

Описателен анализ

Анализът на използването на различните контрасти на нюанса в картините показва, че много често частичните триади се срещат в природните картини (Писаро, Сисли). Независимо от високия абстракционизъм на кубизма там също се наблюдава използване на частични триади (Грис, Леже). Триадите често се ползват в картините на Ботичели и Гойа, като символ на, както казва Итън по повод на картината на Ботичели "Lamentation over the Dead Christ", "космическото значение на епохалното събитие, което се отразява в картината". Монохроматичните и аналогичните хармонии се ползват в картини, където се използват други експресивни похвати, напр. контраст светло/тъмно в барока, градиент на наситеността в кубизма (по-специално в стила на Брак) и пр.

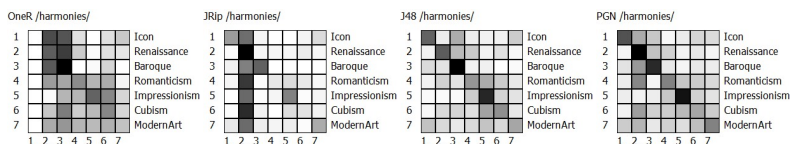
Разпределението на картините, основани на използването на топло/студените комбинации, също позволява да се отделят някои тенденции: използването на топли тонове в иконите се обяснява с традицията за използване на златно покритие и на червен цвят като символ на жертвеност; тъмните топли цветове са специфична черта в бароковия стил; студените тонове се използват в пейзажите на романтизма и импресионизма.

Разпределението на светло/тъмните комбинации в картините също има определени тенденции, които имат своето обяснение в използвани технически и психологически похвати. Например използването на тъмни тонове и светло/тъмния контраст в картините от барока от една страна е свързано с търсенето на максимална експресивност, а от друга с практиката на рисуване на светлините на свещи в студиата по онова време. А специалното внимание на изучаване на възможностите за улавяне на светлината в картините при импресионистите е свързано и с доста практическия факт, че по това време химическите заводи започват производството на бои в туби и художниците имат възможността да излязат сред природата.

Прогнозен анализ

Като цяло можем да кажем, че описателите на хармонии/контрасти са твърде глобални и не са най-добрият избор за класифициране (изключение в случая правят картините на Рембранд и Сисли). По-детайлният анализ на матриците на объркване показва, че в този случай класификаторите OneR и JRip не водят до добри модели за

класификация, създавайки правила, които премодулират Ренесанса в случая на разпознаване на периоди и иконите при разпознаване на артистите.



Фигура 20. Матрици на обръкване за описателите на хармонии/контрасти в случая на периоди

7.4 Анализ на локалните характеристики

Описателен анализ

С локалните характеристики искаме да изследваме по-подробно значението на определени части на изображенията.

Анализът на разпределението на значимост на лявата страна и дясната страна на изображенията показва, че двете страни са с относително с еднаква важност. Тя може да бъде обяснено с факта, че изграждането на композицията на много класически картини се основава на централна симетрия. Лекото превъзходство на дясната част на изображението потвърждава резултатите от психологическите теории за човешкото възприятие [Arnheim, 1974].

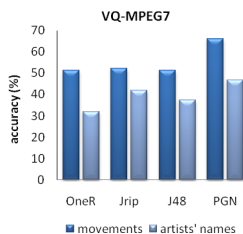
Анализът на разпределението на значимост на горната част спрямо долната част, може да се каже, че горната част на изображенията е по-информативна като граничните плочки показват повече значимост отколкото централните. Този факт може да се обясни с различията в конструкциите на картините при различните стилове. Централната част на изображението носи повече семантична информация за конкретната сцена или обекти, докато границите са по-малко обременени с тази задача. С цел да се пренесе фокуса на изображението повече в централната част, в краищата обикновено не се разполагат специфични обекти, а повече специфични за съответната школа шаблони.

Прогнозен анализ

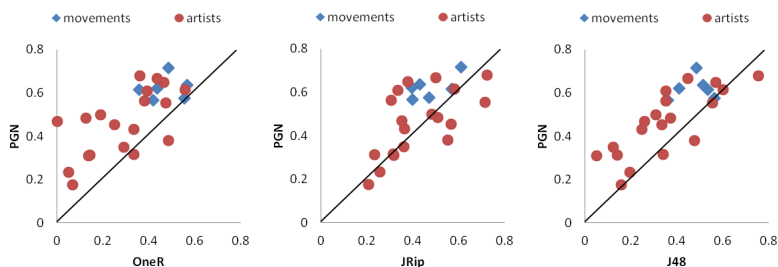
Бяха проведени група от експерименти за оценка на точността на класификация от разглежданите класификатори. Беше потвърдена хипотезата, че класификаторът PGN има добро представяне за подобни характеристики (Фигура 21). Това дава възможност за използване на правилата, произведени от класификатора PGN, като профил на даден клас, като период, художник, жанр и т.н.

Матрицата на объркване на класификатора PGN за имената на художниците показва, че има наличие на неправилно класифициране в рамките на периодите (особено при ренесанса и до известна степен за импресионизма и кубизма), което потвърждава тезата за наличието на общи характеристики в рамките на периодите.

Корелационните диаграми на F-мерките на PGN спрямо останалите класификатори (Фигура 22) показва, че PGN дава не само най-голяма обща точност, но също така разпознава добре всеки от етикетите на класа, което потвърждава нашето очакване, че PGN е много подходящ за предсказване на множества от данни с много класове.



Фигура 21. Точност на класификаторите за локалните характеристики



Фигура 22. Корелационни диаграми на F-мерките на PGN спрямо останалите класификатори за VQ-MPEG7 описателите

7.5 Приложения

Последната група от експерименти показва резултатите от класификацията от PGN на картини от различни периоди в творчеството на Гоя – картоните, използвани за декорация на стените резиденциите El Escorial и Palacio Real del Pardo (1775-1791); портретите на кралската фамилия (1783-1827); странните черни картини (Pinturas Negras), рисувани по стените на къщата му Quinta del Sordo (1819-1823).

Множествата от данни, описваща картините на Гоя, използвайки само атрибути за хармонии/контрасти, достатъчно добре отделя различните класове и създава неговия брой правила в модела за разпознаване, което показва добавената стойност на тези атрибути за дискриминация между различните периоди в творчеството на художника.

8 Заключение

Основните цели на работата бяха:

1. предоставяне на подробен анализ на цветовите теории, особено на съществуващите взаимовръзки в успешните цветови комбинации;
2. формализация на описанието на различни типове хармонии и контрасти с цел прилагане на автоматично извличане от цифровизираните произведения на изкуството.

Извлечените характеристики бяха успешно използвани за:

- търсене на сходство с избрано изображение по един или повече от извлечените елементи;
- извличане на изображения, които удовлетворяват потребителски заявки, в които участват дефинираните характеристики;
- изследване на възможностите за използване на тези характеристики и техни комбинации като отличителни профили в областта на откриване на знания за определяне на периода, художника или тематиката.

Основните приноси могат да бъдат обобщени както следва:

1. Нов **методологичен подход** за интегриране на извличането на цветовите характеристики спрямо по-високо семантични концепти в цифровите хранилища на картини.

2. Предлагане на **цветови модел**, подходящ за извличане на характеристиките, описващи хармониите и контрастите, представляващ комбинация от три други модели. Координатите на модела се възприемат ефективно от човека, като в същото време се конвертира лесно от RGB модела, в който най-често се представят изображенията.

3. **Формално описание** на хармониите и контрастите от гледна точка на трите основни характеристики на цвета – нюанс, наситеност и осветеност.

4. Описание на примерна **архитектура** и разработка на **експериментална система** за извличане, базирано на съдържанието на изображенията. Системата е изградена на базата на новоразработени и съществуващи компоненти с отворен код.

5. Провеждане на щателни **експерименти** върху използването на системата за различни задачи (търсене на сходство, удовлетворяване на потребителски заявки, прогнозен анализ).

Насоки за бъдещо развитие:

Тази работа определи някои възможни посоки за по-нататъшни изследвания като:

- Анализ на възможностите за използване SIFT-описатели [Lowe, 1999], като основа за дефиниране на концепти от по-високо ниво;
- Фокусиране върху процеса на изхвърляне на малко значещи атрибути при извличането на знания с цел постигане на по-ясни и по-бързи резултати;
- Прилагане на вече извлечените, както и нови атрибути и съответните методи в областта на анализ на източната иконографска живопис (особено българската традиция) по школи и тематика в иконите.

9 Публикации

Обзорите, идеите, реализацията и експериментите, включени в дисертацията са представени на следните научни форуми и публикувани в съответните токове на конференции или списания:

1. Ivanova K., Stanchev, P., Dimitrov, B.: "Analysis of the distributions of color characteristics in art painting images", *Serdica Journal of Computing*, Vol.2, Num.2, Sofia, 2008, pp. 111-136, ISSN: 1312-6555.
2. Ivanova K., Stanchev, P.: "Color harmonies and contrasts search in art image collections", *First International Conference on Advances in Multimedia MMEDIA 2009*, 20-25.07.2009, Colmar, France, pp. 180-187, ISBN: 978-0-7695-3693-4.
Best paper award at MMEDIA 2009.
3. Ivanova, K., Stanchev, P., Vanhoof, K.: "Automatic tagging of art images with color harmonies and contrasts characteristics in art image collections", *International Journal on Advances in Software*, Vol.3, No.3&4, 2010, pp. 474-484, ISSN: 1942-2628.
4. Ivanova K., Stanchev, P., Velikova, E., Vanhoof, K., Depaire, B., Kannan, R., Mitov, I., Markov, K.: "Features for art painting classification based on vector quantization of MPEG-7 descriptors", *Second International Conference on Data Engineering and Management ICDEM 2010*, 29-30.07.2010, India, LNCS, Vol. 6411, pp. 146-153, ISBN: 978-3-642-27871-6.
5. Ivanova, K., Stanchev, P., Vanhoof, K., Ein-Dor, Ph.: Semantic and abstraction content of art images. *Proc. of Fifth Mediterranean Conf. on Information Systems*, Tel Aviv, Israel, 12-14.09.2010, AIS Electronic Library, paper 42, <http://aisel.aisnet.org/mcis2010/42>

10 Литература

- [Agrawal, 2009] Agrawal, R.: Narrowing Down the Semantic Gap Between Content and Context Using Multimodal Keywords. PhD Thesis, Wayne State University, 2009, 135 p.
- [Albers, 1963] Albers, J. Interaction of Colors. New Haven: Yale University Press, 1963, Rev. ed., 1975.
- [Amato et al, 2004] Amato, G., Gennaro, C., Rabitti, F., Savino, P.: Milos: a multimedia content management system for digital library applications. Research and Advanced Technology for Digital Libraries: LNCS, Springer Berlin/Heidelberg, vol. 3232, 2004, pp. 14-25.
- [Arnheim, 1974] Arnheim, R.: Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye. University of California Press, Berkeley, 1974.
- [Bellman, 1961] Bellman, R.: Adaptive Control Processes: a Guided Tour. Princeton Univ. Press, 1961.
- [Burford et al, 2003] Burford, B., Briggs, P., Eakins, J.: A taxonomy of the image: on the classification of content for image retrieval. Visual Communication, 2(2), 2003, pp. 123-161.
- [Castelli and Bergman, 2002] Castelli, V., Bergman, L. (eds.): Image Databases: Search and Retrieval of Digital Imagery, John Wiley & Sons, 2002.
- [Chen et al, 2005] Chen, C.-C., Wactlar, H., Wang, J., Kiernan, K.: Digital imagery for significant cultural and historical materials – An emerging research field bridging people, culture, and technologies. Int. J. Digital Libraries, 5, 4, 2005, pp. 275-286.
- [Demsar et al, 2004] Demsar, J., Zupan, B., Leban, G., Curk, T.: Orange: from experimental machine learning to interactive data mining. White Paper (www.aillab.si/orange), Faculty of Computer and Information Science, University of Ljubljana, 2004.
- [Eiseman, 2006] Eiseman, L.: Color: Messages and Meanings. A PANTONE Color Resource, Hand Books Press, 2006, 146 p.
- [Gaede and Günther, 1998] Gaede, V., Günther, O.: Multidimensional access methods. ACM Computing Surveys, 30/2, 1998, pp. 170-231.
- [Gage, 1993] Gage, J.: Colour and Culture: Practice and Meaning from Antiquity to Abstraction, Thames and Hudson, London, 1993.
- [Gevers, 2001] Gevers, T.: Color in image search engines. Principles of Visual Information Retrieval, ed. M. Lew, 2001, 34 p.
- [Holtzschue, 2006] Holtzschue, L.: Understanding Colors, John Wiley & Sons, 2006, 196 p.
- [Hurtut, 2010] Hurtut, T. 2D Artistic Images Analysis, a Content-based Survey.
http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00459401_v1/
- [ISO/IEC 15938-3] International Standard ISO/IEC 15938-3 Multimedia Content Description Interface – Part 3: Visual,
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=34230
- [Itten, 1961] Itten, J.: The Art of Color: the Subjective Experience and Objective Rationale of Color, Reinhold Publishing Corporation of New York, 1961.
- [Ivanova and Stanchev, 2009] Ivanova, K., Stanchev, P.: Color harmonies and contrasts search in art image collections. First Int. Conf. on Advances in Multimedia (MMEDIA), Colmar, France, 2009, pp. 180-187.

- [Ivanova et al, 2008] Ivanova, K., Stanchev, P., Dimitrov, B.: Analysis of the distributions of color characteristics in art painting images. *Serdica Journal of Computing*, 2/2, Sofia, 2008, pp. 111-136.
- [Ivanova et al, 2010/ICDEM] Ivanova, K., Stanchev, P., Velikova, E., Vanhoof, K., Depaire, B., Kannan, R., Mitov, I., Markov, K.: Features for art painting classification based on vector quantization of MPEG-7 descriptors. Second Int. Conf. on Data Engineering and Management ICDEM, India, 2010, LNCS 6411, pp. 146-153.
- [Ivanova et al, 2010/IJAS] Ivanova, K., Stanchev, P., Vanhoof, K.: Automatic tagging of art images with color harmonies and contrasts characteristics in art image collections. *Int. Journal on Advances in Software*, vol. 3, no.3&4, 2010, pp. 474-484.
- [Ivanova et al, 2010/MCIS] Ivanova, K., Stanchev, P., Vanhoof, K., Ein-Dor, Ph.: Semantic and abstraction content of art images. *Proc. of Fifth Mediterranean Conf. on Information Systems*, Tel Aviv, Israel, 12-14.09.2010, AIS Electronic Library, paper 42, <http://aisel.aisnet.org/mcis2010/42>.
- [Jaimes and Chang, 2002] Jaimes, A., Chang, S.-F.: Concepts and techniques for indexing visual semantics. *Image Databases: Search and Retrieval of Digital Imagery*. John Wiley & Sons, 2002, pp. 497-565.
- [Karypis, 2003] Karypis, G.: CLUTO: A Clustering Toolkit Release 2.1.1. Tech. Report: #02-017, University of Minnesota, Department of Computer Science, Minneapolis, 2003, 66 p.
- [Koenig, 2010] Koenig, B.: *Color Workbook*, Prentice Hall, Third edition, 2010, 242 p.
- [Lowe, 1999] Lowe, D.: Object recognition from local scale-invariant features. *Proc. of the Int. Conf. on Computer Vision*. 2, 1999, pp. 1150-1157.
- [Markov et al, 2008] Markov, K., Ivanova, K., Mitov, I., Karastanev, S.: Advance of the access methods. *Int. Journal Information Technologies and Knowledge*, 2/2, 2008, pp. 123-135.
- [Mitov et al, 2009] Mitov, I., Ivanova, K., Markov, K., Velychko, V., Vanhoof, K., Stanchev, P.: "PaGaNe" – A classification machine learning system based on the multidimensional numbered information spaces. In *World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science*, No: 2, pp. 279-286.
- [Mitov, 2011] Mitov, I.: *Class Association Rule Mining Using Multi-Dimensional Numbered Information Spaces*. PhD Thesis, Hasselt University, Belgium, 2011.
- [Ooi et al, 1993] Ooi, B., Sacks-Davis, R., Han, J.: *Indexing in Spatial Databases*. Tech. Report. 1993, 71 p.
- [Pickett et al, 2000] Pickett, J. (ed.): *The American Heritage Dictionary of the English Language*. Houghton Mifflin Co., 2000.
- [Raychev, 2005] Raychev, R.: *The Colors in the Art*. Sofia. Lik Publ., 2005, 170 p. (in Bulgarian)
- [Smeulders et al, 2000] A. W. M. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, and R. Jain. Content based image retrieval at the end of the early years. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22/12, 2000, pp. 1349-1380.
- [Smith, 1978] Smith, A.: Color gamut transform pairs. *Computer Graphics*. 12/3, 1978, pp. 12-19.
- [Stanchev et al, 2006] Stanchev, P., Green Jr., D., Dimitrov, B.: Some issues in the art image database systems. *Journal of Digital Information Management*, 4/4, 2006, pp. 227-232.
- [Witten and Frank, 2005] Witten, I., Frank, E.: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 2nd Edition, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2005, 525 p.

Съдържание

Резюме	3
Благодарности	4
1 Въведение	5
1.1 Изкуството и цифровото пространство.....	5
1.2 Извличане, базирано на съдържанието на изображенията	6
1.3 Цели на дисертацията	6
1.4 Описание на дисертацията	7
2 Извличане, базирано на съдържанието на изображенията, в колекции на изобразителното изкуство.....	9
3 Реалният и цифровият свят на цвета	14
4 Съществуващи системи за извличане, базирано на съдържанието на изображенията	19
5 Формално описание на предлаганите атрибути.....	21
5.1 Характеристики, описващи разпределението на цветовете ...	21
5.2 Хармонии/контрасти	22
5.3 Формално описание на хармониите/контрастите	25
5.4 Локални характеристики, основани на векторно квантуване на MPEG-7 дескриптори върху части от изображението	30
6 Системата APICAS.....	31
7 Експерименти.....	33
7.1 Обща рамка на експериментите	33
7.2 Анализ на цветовото разпределение	34
7.3 Анализ на описателите за хармонии/контрасти	35
7.4 Анализ на локалните характеристики.....	37
7.5 Приложения	38
8 Заключение	39
9 Публикации	41
10 Литература	42

