

КЛАССИФИКАЦИЯ ЦВЕТА КОЖИ ЧЕЛОВЕКА НА ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Хомяков М.Ю.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация

Разработаны количественные меры оценки влияния цветового пространства на качество детекции цвета кожи человека. Проведено сравнение основных цветовых пространств с использованием порогового классификатора: RGB, YCbCr, HSV, CIE Lab. Уточнены возможности использования сокращённых цветовых пространств.

Ключевые слова: цвет кожи человека, детекция лиц, сравнение цветовых пространств.

Детектирование на основе цвета кожи человека широко используется для распознавания лиц и человеко-машинного взаимодействия, являясь одним из наиболее эффективных подходов для поиска и выделения лица человека на изображениях [1 - 6]. Известно, что для лиц различных рас составляющие цветового тона кожи меняются незначительно. Изменение состояния человека (эмоционального, физического) также слабо влияет на цвет его кожи [7]. Результаты детектирования лиц на основе цвета кожи не зависят от расположения и ракурса [8]. Эти факторы обусловили перспективность использования методов выделения цвета кожи человека для биометрической идентификации.

Активное развитие компьютерной графики, колориметрии и дисциплин, связанных с обработкой изображений, обусловило появление большого количества цветовых пространств, линейно или нелинейно связанных между собой. Наибольшее распространение, ввиду своей простоты, получило цветовое пространство RGB, ставшее «де факто» стандартом для обработки и хранения цифровых изображений.

Для выделения цвета кожи человека используются различные цветовые пространства. Наиболее полный обзор дан в работах [2, 4, 5].

В зависимости от цветового пространства цвет кожи человека представляется ограниченной областью оттенков [9], имеющей различную размытость и размер.

Некоторые цветовые оттенки могут представлять одновременно цвет кожи человека и элементы фона [10]. Влияние этих факторов на качество детектирования цвета кожи, к сожалению, остаётся недооценённым многими исследователями.

Целью данной работы является представление методов оценки кластеризующих свойств цветовых пространств и сравнение их эффективности при решении задачи детекции цвета кожи человека. Работа состоит из 3 частей.

В первой части рассмотрены особенности выделения областей цвета кожи человека на изображениях. Вторая часть описывает принципы оценки цветовых пространств и качества детекции лиц в этих пространствах. Третья часть содержит результаты экспериментов на известных цветовых пространствах.

Выделение цвета кожи человека на изображениях

Первым шагом при решении задачи выделения цвета кожи человека на изображениях является выбор цветового пространства. Используются практически все известные типы цветовых пространств [4]: простые, перцепционные, ортогональные, перцепционно унифицированные, а также комбинированные цветовые пространства, составленные из известных (например, RGB-H-CbCr [11]). В работе рассматриваются характеристики известных цветовых пространств разных типов: RGB, HSV, YCbCr и CIE Lab.

Вторым шагом является выбор модели цвета кожи человека (классифицирующей функции). В простейшем случае цветовая модель является бинарной классифицирующей функцией. Результатом классификации может быть как вещественное число, отражающее вероятность принадлежности элемента цвету кожи человека, так и бинарное значение. Из литературы известны следующие бинарные классификаторы, используемые для решения задачи выделения цвета кожи человека [4]: таблица подстановки (Look up table – LUT), пороговый классификатор (Thresholding), гистограммная модель на основе наивного байесовского классификатора (Histogram model with naive bayes classifiers), модель эллиптических границ (Elliptical boundary model), многослойный перцептрон (Multilayer perceptron – MLP), самоорганизующиеся карты (Self organizing map – SOM), байесовская сеть доверия (Bayesian network – BN). Так как цвет кожи человека при контролируемом освещении занимает ограниченное подмножество цветового пространства [9], наиболее простым и часто применяемым является пороговый классификатор. Составленная в этом случае система неравенств для цветовых компонент классифицирует элементы изображения по их соответствию цвету кожи человека. Заметим, что количество операций при таком подходе соизмеримо с количеством элементов на изображении. В литературе рассмотрены методы, где применяются как линейные неравенства, так и более сложные условия и нестандартные цветовые пространства [4, p. 1109]. Для унификации процесса классификации для разных цветовых пространств в работе рассматриваются только поро-

вые классификаторы, составленные независимо для каждой цветовой компоненты.

Эффективный классификатор кожи человека должен быть робастным по отношению к освещённости, расовому оттенку кожи, индивидуальным характеристикам объекта съёмки и сложности фона. Большинство классификаторов удовлетворяют этим требованиям лишь частично [4]. Ниже рассмотрен метод поэлементной (попиксельной) оценки детектированных областей изображения, количественно характеризующий точность детекции областей кожи человека.

Качество выделения областей кожи человека на изображении зависит от компактности локализации цвета кожи человека в цветовом пространстве. Для оценки степени локализации в разных цветовых пространствах предложены меры оценки кластеризующих свойств цветового пространства и качества детекции. С их использованием проведено количественное сравнение выбранных цветовых пространств.

Оценка цветового пространства

Как правило, качество детекции кожи человека измеряется величиной ошибок I и II рода. Для сравнения эффективности известных детекторов использован метод, основанный на поэлементной (попиксельной) оценке детектируемых областей изображения.

Ошибки детекции (выделения областей кожи человека, областей фона и общая ошибка) подсчитываются поэлементно по всему полю изображения:

$$Err_{face} = |F^* \cap (N - F)| / |F|, \quad (1)$$

$$Err_{non-face} = |(N - F^*) \cap F| / |N - F|, \quad (2)$$

$$Err = \frac{(Err_{face} \cdot |N - F| + Err_{non-face} \cdot |F|)}{|N|}, \quad (3)$$

где F – множество элементов изображения, априори относящихся к коже человека; F^* – множество элементов изображения, детектированных как кожа человека; N – множество всех элементов на изображении.

Такая оценка качества детекции является более точной по сравнению с известными методами, но требует использования специальных изображений с предварительно выделенными областями, относящимися к цвету кожи человека. Формирование таких изображений производится экспертами, что может также вносить погрешности в результат.

Для оценки цветовых пространств и их влияния на качество выделения цвета кожи человека элементы изображения, представляющие цвет кожи, рассматриваются без учёта их расположения на изображении. В зависимости от цветового пространства некоторые цветовые оттенки могут представлять одновременно цвет кожи человека и элементы фона [10].

Для сравнения цветовых пространств введём меру кластеризуемости цветовых компонент, относящихся к цвету кожи человека. Кластеризующие

свойства цветового пространства тем ниже, чем больше подмножество, элементы которого одновременно могут представлять области с цветом кожи человека и фона:

$$I = F \tilde{\cap} (N - F),$$

где N – множество всех элементов на изображении; F – множество элементов изображения, относящихся к цвету кожи человека, причём $F \subset N$; I – множество элементов, представляющих одновременно области кожи и фона; $\tilde{\cap}$ – операция пересечения множеств с учётом всех повторяющихся элементов, т.е.:

$$A \tilde{\cap} B = \{x \mid (\exists y \in A : H(x) = H(y)) \wedge (\exists z \in B : H(x) = H(z))\},$$

$$|F \cap (N - F)| \leq |I| \leq \min(|F|, |N - F|),$$

где H – функция подсчёта хэш-кода элемента множества. Очевидно, что в случае отсутствия элементов, относящихся к коже человека ($F = \emptyset$) или фону ($N - F = \emptyset$), получим $I = N \tilde{\cap} \emptyset = \emptyset$.

Оценка кластеризуемости может проводиться как для отдельных цветовых компонент, так и для цветового оттенка в целом. Функция H для цветовой компоненты – это само значение яркости (например, для цветовой компоненты $\forall a \in A : a = H(a)$), а для трёхкомпонентного цветового оттенка ABC выполняется:

$$(\forall x = \{a_1, b_1, c_1 \mid a_1 \in A, b_1 \in B, c_1 \in C\}),$$

$$(\forall y = \{a_2, b_2, c_2 \mid a_2 \in A, b_2 \in B, c_2 \in C\}):$$

$$H(x) = H(y) \Leftrightarrow (a_1 = a_2) \wedge$$

$$\wedge (b_1 = b_2) \wedge (c_1 = c_2).$$

Качество кластеризации цветового пространства характеризуется относительным количеством цветовых оттенков, которые одновременно встречаются на областях, представляющих кожу человека и фон:

$$RI_{face} = |I \cap F| / |F|, \quad (4)$$

$$RI_{non-face} = |I \cap (N - F)| / |N - F|, \quad (5)$$

$$RI = |I| / |N|. \quad (6)$$

Кластеризующие свойства цветового пространства выше, когда количество общих оттенков областей с цветом кожи человека и фона минимально.

Для дополнительной оценки кластеризующих свойств цветового пространства введём меру «удельной» дисперсии цветового оттенка, представляющего кожу человека:

$$RV = D[\|c\|] / |F|, \quad (7)$$

где $D[\|c\|]$ – дисперсия евклидовой нормы на произвольном n -мерном цветовом пространстве с центром координат в точке $M[c]$, рассчитанная для всех точек области цветового пространства, представляющих цвет кожи человека; c – дискретная случайная величина, представляющая цвет кожи человека в n -мерном цветовом пространстве.

Таким образом, отношение концентрации цвета кожи человека в произвольном цветовом пространстве к количеству элементов, составляющих эту область, представляет собой «удельный» разброс цветового оттенка кожи человека на конкретном изображении. Эта мера позволяет численно оценить компактность представления кожи человека в цветовом пространстве.

Эксперименты и результаты

Сравнение кластеризующих свойств и оценка качества детекции выполнялись для четырёх стандартных цветовых пространств: RGB, HSV, YCbCr, CIE LAB. Оценка проводилась на известных наборах изображений [3, 12, 13, 14], содержащих обучающие изображения с предварительно выделенными областями, относящимися к цвету кожи человека. Исходные изображения заданы в цветовом пространстве RGB. Перевод изображений в другие исследуемые цветовые пространства осуществлялся в соответствии с принятыми стандартами [15-17]. Примеры изображений, использованных в работе, приведены на рис. 1.

Для классификации цвета кожи человека на изображениях строится система пороговых классификаторов, каждый из которых ограничивает одну цветовую компоненту.

Поиск граничных значений для каждого цветового пространства производился перебором всех допустимых значений для пороговых классификаторов каждой цветовой компоненты по критерию минимальной ошибки (3) при условии $Err_{face} = Err_{non-face}$. Введение дополнительного условия гарантирует получение единственного результата минимальной ошибки (3), т.к. позволяет выделить единственную точку на ROC-кривой классификатора (Receiver Operator Characteristic).

Метод покоординатного спуска по критерию (3) позволяет получить эквивалентное минимальное значение общей ошибки (3) на данном наборе изображений. В качестве координат в данном случае подразумеваются искомые граничные значения для цветовых компонент. Их перебор осуществлялся в последовательности, дающей минимальную ошибку (3), при условии $Err_{face} = Err_{non-face}$. Такой подход аналогичен методу наискорейшего спуска, но вместо движения по направлению, обратному максимальному градиенту, предполагает движение по фиксированным направлениям. Это позволяет сделать вывод, что данная функция не является много-

экстремальной на данном наборе изображений, и для всех исследуемых цветовых пространств были найдены граничные значения, гарантированно дающие минимальную общую ошибку (3). Очевидно, что в случае покоординатного спуска вычислительные затраты существенно меньше.

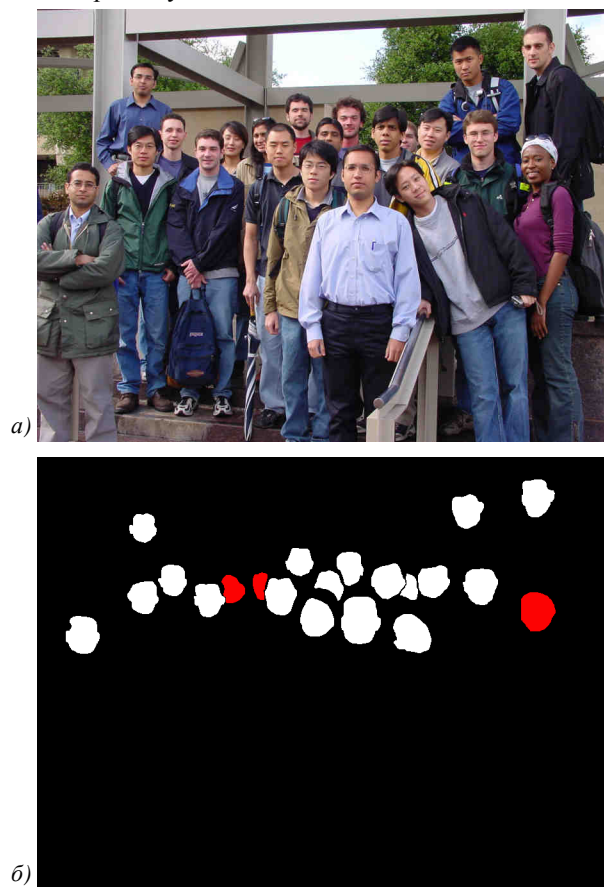


Рис. 1. Пример исходного (а) и контрольного (б) изображений [13]

Для всех цветовых пространств и их компонент были вычислены значения (4-7). Оценка «компактности» представления цвета кожи человека в цветовом пространстве была выполнена для пространства целиком и цветовых компонент по отдельности. Результаты экспериментов, усреднённые по всей базе изображений, сведены в табл. 1. Стоит отметить, что полученные результаты могут интерпретироваться только для относительного сравнения цветовых пространств между собой. Значения предложенных оценок сильно зависят от базы изображений, выбранной для проведения экспериментов, и, в том числе, контрольных изображений с выделенной областью кожи человека, полученных экспертами.

Найденные граничные значения позволили достичь наименьшей общей ошибки детекции кожи человека, равной 7,4% для цветового пространства YCbCr. Данное цветовое пространство является ортогональным. Для всех цветовых пространств наблюдается равенство общей ошибки детекции кожи человека (3) и ошибок I и II рода (1, 2), что обусловлено до-

полнительно установленным условием
 $Err_{face} = Err_{non-face}$.

Многие авторы [18, 19] проводят исследование сокращённых модификаций ортогональных цвето-

вых пространств, исключая слабо связанную с компонентами цветового тона яркостную составляющую. Это позволяет существенно сократить объём вычислений.

Таблица 1. Результаты экспериментов

	Граничные значения	Err	Err_{face}	$Err_{non-face}$	RI	RI_{face}	$RI_{non-face}$	$RV, \times 10^{-6}$
RGB	$156 \leq R < 256$ $91 \leq G < 256$ $69 \leq B < 256$	0,283	0,283	0,283	0,143	0,574	0,114	0,410 (0,280/0,152/0,141)
HSV	$V < 41; V \geq 357$ $0 \leq S < 90$ $16 \leq V < 100$	0,181	0,181	0,181	0,143	0,579	0,114	0,286 (0,319/0,084/0,235)
YCbCr	$26 \leq Y < 222$ $104 \leq Cb < 130$ $139 \leq Cr < 188$	0,074	0,074	0,074	0,191	0,689	0,159	0,104 (0,125/0,009/0,007)
CIE Lab	$5 \leq L < 100$ $-35 \leq A < 55$ $3 \leq B < 35$	0,186	0,186	0,186	0,299	0,856	0,263	0,120 (0,130/0,005/0,011)
CbCr	$104 \leq Cb < 130$ $139 \leq Cr < 188$	0,074	0,074	0,074	0,702	0,913	0,688	0,013 (0,009/0,007)
CIE ab	$-3 \leq A < 72$ $3 \leq B < 67$	0,148	0,148	0,148	0,678	0,916	0,662	0,011 (0,005/0,011)

Дополнительно были исследованы сокращённые модификации ортогональных цветовых пространств YCbCr и CIE Lab. Результаты вычисления мер (4 - 7) и ошибок детекции (1 - 3) представлены в вышеприведённой таблице. Величина ошибок и граничных значений, полученных для модифицированного пространства YCbCr, полностью совпадает с оригинальным пространством, что подтверждает отсутствие зависимости между компонентами цветового тона и яркостной компонентой, а также независимость цвета кожи человека от яркостной составляющей для пространства YCbCr. Пространство CIE Lab описанными особенностями не обладает.

Пространства YCbCr, RGB и HSV обладают сопоставимой кластеризацией цвета кожи человека. Ввиду особенностей строения и полной независимости между компонентами цветового тона a и b , сокращённая модификация CIE Lab обладает наилучшей кластеризацией цвета кожи в цветовом пространстве.

На рис. 2 представлены гистограммы распределения цвета кожи человека и фона для цветовых компонент пространства YCbCr, полученные на тех же наборах данных. Они позволяют оценить кластеризацию цвета кожи человека для отдельных компонент цветового пространства.

Одним из основных преимуществ сокращённых модификаций цветовых пространств является лучшая «компактность» представления цвета кожи человека (7). Из несокращённых цветовых пространств наилучшей «компактностью» обладают

цветовые пространства YCbCr и CIE Lab и их компоненты по отдельности (табл. 1).

Таким образом, цветовое пространство YCbCr и его сокращённая модификация представляют цвет кожи человека наилучшим образом. Сокращённая модификация дополнительно обладает лучшей «компактностью» представления цвета кожи человека и требует меньшего количества вычислений при детектировании.

На рис. 3 представлен результат сегментации тестового изображения (рис. 1) на основе цветового пространства CbCr (YCbCr).

Заключение

В работе рассмотрен один из наиболее перспективных подходов к детектированию изображений лиц людей, основанный на выделении областей изображения по цвету кожи человека. Данный подход обладает высоким быстродействием, простотой реализации и приемлемым качеством детектирования.

Введены новые меры оценки качества детекции цвета кожи человека и кластеризующих свойств цветовых пространств, позволяющие проводить обоснованную сравнительную оценку цветовых пространств.

На основе предложенных методов проведено сравнительное исследование выбранных цветовых пространств на известных тестовых наборах данных [13, 14]. Показано, что сокращённые цветовые пространства CbCr (YCbCr) и AB (CIE LAB) обладают улучшенными кластеризующими цвет кожи характеристиками, и алгоритм детекции цвета кожи чело-

века на их основе даёт минимальную ошибку детекции (3).

Дополнительного улучшения выделения лиц можно добиться переходом от поэлементных методов оценки цвета к методам региональной оценки цвета (например, [20, 21]), а также обнаружением и оценкой границ объектов [22].

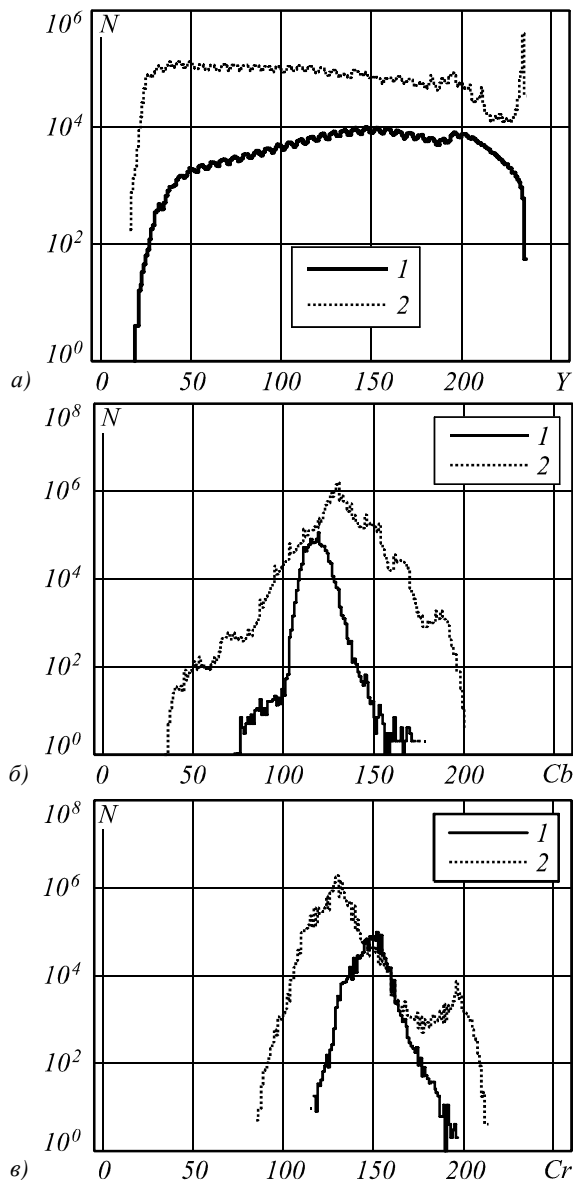


Рис. 2. Гистограммы распределения цвета кожи человека (1) и фона (2) для цветовых компонент пространства $YCbCr$

Литература

1. **Hsu, R.-L.** Face Detection in Color Images / R.-L. Hsu, M. Abdel-Mottaleb, A. Jain // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2002. – Vol. 29(5). – P. 696-706.
2. **Vezhnevets, V.** A survey on pixel-based skin color detection techniques / V. Vezhnevets, V. Sazonov, A. Andreeva // Proc. of International Conference on the Computer Graphics and Vision (GraphiCon'2003), September 5-10. Moscow, Russia: "Moscow State University" Publisher, 2003. – P. 85-92.

3. **Phung, S.L.** Skin segmentation using color pixel classification: analysis and comparison / S.L. Phung, A. Bouzerdoum, D. Chai // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2005. – Vol. 27(1). – P. 148-154.



Рис. 3. Пример сегментации изображения на основе цветового пространства $CbCr$

4. **Kakumanu, P.** A survey of skin-color modeling and detection methods / P. Kakumanu, S. Makrogiannis, N. Bourbakis // Pattern Recognition. – 2007. – Vol. 40(3). – P. 1106-1122.
5. **Tre'meau, A.** Color in image and video processing: most recent trends and future research directions / A. Tre'meau, S. Tominaga, K.N. Plataniotis // Journal on Image and Video Processing. – 2008. – Vol. 2008, Jan. – P. 1-26.
6. **Martinkauppi, J.** Facial Skin Color Modeling // Handbook of face recognition / S.Z. Li (ed.), Anil K. Jain (ed.) – New York: Springer, 2005. – Ch. 6. – P. 113-135.
7. **Shi, L.** Skin Colour Imaging That Is Insensitive to Lighting Conditions / L. Shi, B. Funt // Proc. of AIC (Association Internationale de la Couleur) Conference on Colour Effects & Affects, June 15-18. – Stockholm, Sweden: Swedish Colour Centre Foundation / Scandinavian Colour Institute AB, 2008. – Paper N 102.
8. **Martinkauppi, B.** Detection of Skin Color under Changing Illumination: A Comparative Study / B. Martinkauppi, M. Soriano, M. Pietikainen // Proc. of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP'03), September 17-19. – Mantova, Italy: IEEE Computer Society, 2003. – P. 652-657.
9. **Fleck, M.** Finding Naked People / M. Fleck, D. Forsyth, C. Bregler // Proc. of Fourth European Conference on Computer Vision (ECCV'96), Volume II, April 14-18. – Cambridge, UK: University of Cambridge, 1996. – P. 592-602.
10. **Shin, M.C.** Does Colorspace Transformation Make Any Difference on Skin Detection? / M.C. Shin, K.I. Chang, L.V. Tsap // Proc. of 6th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV 2002), December 3-4. – Orlando, FL, US: IEEE Computer Society, 2002. – P. 275-279.
11. **Rahman, N.A.** RGB-H-CbCr Skin Colour Model for Human Face Detection / N.A. Rahman, K.C. Wei, J. See // Proc. of The MMU International Symposium on Information & Communications Technologies (M2USIC 2006), November 16-17. – Petaling Jaya, Malaysia: Multimedia University, 2006.
12. **Abdallah, S.A.** A new color image database for benchmarking of automatic face detection and human skin segmentation techniques / A.S. Abdallah, M.A. El-nasr, A.L. Abbott // World academy of science, engineering and technology. – 2007. – Vol. 36. – P. 38-42.

13. **Girod, B.** Face Detection Project [Электронный ресурс]. URL: http://www.stanford.edu/class/ee368/Project_03/project_03.html (дата обращения: 10.04.2011).
14. **Sharma, P.** A color face image database for benchmarking of automatic face detection algorithms [Электронный ресурс] / P. Sharma. – URL: <http://dsp.ucd.ie/~prag/DatabaseFinal.pdf> (дата обращения: 10.04.2011).
15. Recommendation ITU-R BT.601-5, Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-screen 16:9 Aspect Ratios. – International Telecommunication Union, 1995.
16. **Smith, A.R.** Color Gamut Transform Pairs / A.R. Smith. – Proc. of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '78), August 23-25. – Atlanta, USA: Association for Computing Machinery, 1978. – P. 12-19.
17. CIE Publ. N 15.2. Recommendations on Uniform Color Spaces, Color Difference Equations, Psychometric Color Terms. Central Bureau of the CIE, 1986.
18. **Chai, D.** Face segmentation using skin-color map in videophone applications / D. Chai; K.N. Ngan // IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology. – 1999. – Vol. 9(4). – P. 551-564.
19. **Kovac, J.** Human skin color clustering for face detection / J. Kovac, P. Peer, F. Solina // Proc. of International Conference on Computer as a Tool (EUROCON 2003), September 22-24. – Ljubljana, Slovenia: Ljubljana University, 2003. – P. 144-148.
20. **Kruppa, H.** Skin Patch Detection in Real-World Images / H. Kruppa, M. Bauer, S. Schiele // In Annual Symposium for Pattern Recognition of the DAGM 2002. – 2002. – Springer LNCS 2449. – P. 109-117.
21. **Jedynak, B.** Maximum Entropy Models for Skin Detection / B. Jedynak, H. Zheng, M. Daoudi, D. Barret // Proc. of Third Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (ICVGIP 2002), December 16-18. – Ahmadabad, India: Allied Publishers Private Limited, 2003. – P. 276-281.
22. **Сирота, А.А.** Двухэтапный алгоритм обнаружения и оценивания границы объектов на изображениях в условиях аддитивных помех и деформирующих искажений / А.А. Сирота, А.И. Соломатин, Е.В. Воронова // Компьютерная оптика. – 2010. – Vol. 34(1). – С. 109-117.
- S. Tominaga, K.N. Plataniotis // Journal on Image and Video Processing. – 2008. – Vol. 2008, Jan. – P. 1-26.
6. **Martinkauppi, J.** Facial Skin Color Modeling // Handbook of face recognition / S.Z. Li (ed.), Anil K. Jain (ed.) – New York: Springer, 2005. – Ch. 6. – P. 113-135.
7. **Shi, L.** Skin Colour Imaging That Is Insensitive to Lighting Conditions / L. Shi, B. Funt // Proc. of AIC (Association Internationale de la Couleur) Conference on Colour Effects & Affects, June 15-18. – Stockholm, Sweden: Swedish Colour Centre Foundation / Scandinavian Colour Institute AB, 2008. – Paper N 102.
8. **Martinkauppi, B.** Detection of Skin Color under Changing Illumination: A Comparative Study / B. Martinkauppi, M. Soriano, M. Pietikainen // Proc. of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP'03), September 17-19. – Mantova, Italy: IEEE Computer Society, 2003. – P. 652-657.
9. **Fleck, M.** Finding Naked People / M. Fleck, D. Forsyth, C. Bregler // Proc. of Fourth European Conference on Computer Vision (ECCV'96), Volume II, April 14-18. – Cambridge, UK: University of Cambridge, 1996. – P. 592-602.
10. **Shin, M.C.** Does Colorspace Transformation Make Any Difference on Skin Detection? / M.C. Shin, K.I. Chang, L.V. Tsap // Proc. of 6th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV 2002), December 3-4. – Orlando, FL, US: IEEE Computer Society, 2002. – P. 275-279.
11. **Rahman, N.A.** RGB-H-CbCr Skin Colour Model for Human Face Detection / N.A. Rahman, K.C. Wei, J. See. – Proc. of The MMU International Symposium on Information & Communications Technologies (M2USIC 2006), November 16-17. – Petaling Jaya, Malaysia: Multimedia University, 2006.
12. **Abdallah, S.A.** A new color image database for benchmarking of automatic face detection and human skin segmentation techniques / A.S. Abdallah, M.A. El-nasr, A.L. Abbott // World academy of science, engineering and technology. – 2007. – Vol. 36. – P. 38-42.
13. **Girod, B.** Face Detection Project . URL: http://www.stanford.edu/class/ee368/Project_03/project_03.html (viewing date: 10.04.2011).
14. **Sharma, P.** A color face image database for benchmarking of automatic face detection algorithms / P. Sharma. – URL: <http://dsp.ucd.ie/~prag/DatabaseFinal.pdf> (viewing date: 10.04.2011).
15. Recommendation ITU-R BT.601-5, Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-screen 16:9 Aspect Ratios. – International Telecommunication Union, 1995.
16. **Smith, A.R.** Color Gamut Transform Pairs / A.R. Smith. – Proc. of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '78), August 23-25. – Atlanta, USA: Association for Computing Machinery, 1978. – P. 12-19.
17. CIE Publ. N 15.2. Recommendations on Uniform Color Spaces, Color Difference Equations, Psychometric Color Terms. Central Bureau of the CIE, 1986.
18. **Chai, D.** Face segmentation using skin-color map in videophone applications / D. Chai; K.N. Ngan // IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology. – 1999. – Vol. 9(4). – P. 551-564.
19. **Kovac, J.** Human skin color clustering for face detection / J. Kovac, P. Peer, F. Solina // Proc. of International Conference on Computer as a Tool (EUROCON 2003), September 22-24. – Ljubljana, Slovenia: Ljubljana University, 2003. – P. 144-148.

References

1. **Hsu, R.-L.** Face Detection in Color Images / R.-L. Hsu, M. Abdel-Mottaleb, A. Jain // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2002. – Vol. 29(5). – P. 696-706.
2. **Vezhnevets, V.** A survey on pixel-based skin color detection techniques / V. Vezhnevets, V. Sazonov, A. Andreeva // Proc. of International Conference on the Computer Graphics and Vision (GraphiCon'2003), September 5-10. Moscow, Russia: "Moscow State University" Publisher, 2003. – P. 85-92.
3. **Phung, S.L.** Skin segmentation using color pixel classification: analysis and comparison / S.L. Phung, A. Bouzerdoum, D. Chai // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2005. – Vol. 27(1). – P. 148-154.
4. **Kakumanu, P.** A survey of skin-color modeling and detection methods / P. Kakumanu, S. Makrogiannis, N. Bourbakis // Pattern Recognition. – 2007. – Vol. 40(3). – P. 1106-1122.
5. **Tre'meau, A.** Color in image and video processing: most recent trends and future research directions / A. Tre'meau,

20. **Kruppa, H.** Skin Patch Detection in Real-World Images / H. Kruppa, M. Bauer, S. Schiele // In Annual Symposium for Pattern Recognition of the DAGM 2002. – 2002. – Springer LNCS 2449. – P. 109-117.
21. **Jedynak, B.** Maximum Entropy Models for Skin Detection / B. Jedynak, H. Zheng, M. Daoudi, D. Barret // Proc. of Third Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (ICVGIP 2002), December 16-18. – Ahmadabad, India: Allied Publishers Private Limited, 2003. – P. 276-281.
22. **Sirota, A.A.** Two-staged algorithm for detecting and rating the object cutouts on the images in case of additive noise and deformed distortions / A.A. Sirota, A.I. Solomatin, E.V. Voronova // Computer optics. – 2010. – Vol. 34(1). – P. 109-117. – (in Russian).

SKIN DETECTION ON COLOR IMAGES

M.U. Khomyakov

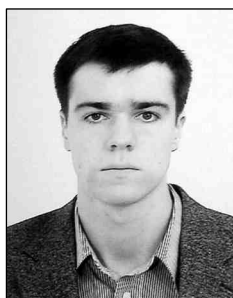
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Abstract

Skin detection performance metrics were developed. Popular color spaces comparison was performed with the use of threshold chose as skin color model: RGB, YCbCr, HSV, CIE Lab. 2D color spaces influence on skin detection performance was estimated.

Key words: skin color, face detection, color space comparison.

Сведения об авторе



Хомьяков Марат Юрьевич, 1985 года рождения. В 2008 году с отличием окончил Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ) по специальности «Программное обеспечение». В настоящее время является аспирантом кафедры Телевидения и Видеотехники СПбГЭТУ. Научные интересы лежат в областях биометрии и обработки изображений, в том числе: обнаружение и распознавание лиц, методы следящего контурного разложения. Является автором 4 научных работ.

E-mail: mukhomyakov@gmail.com.

Marat Urievich Khomyakov (b. 1985) graduated with honours (2008) from Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" (ETU). At the present time he is postgraduate at the Department of Radio Engineering and Telecommunications ETU. His current interests are in the areas of biometrics and image processing, including: face detection and face recognition, edge detection and tracking. He is the author of 4 scientific papers.

Поступила в редакцию 12 апреля 2011 г.