

УДК 004.512

Алгоритм оценки эффективности цветовой эстетики графических пользовательских интерфейсов

Вострых А. В.

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России,
Санкт-Петербург, 196105, Российская Федерация

Постановка задачи: современные программные продукты, как показывает практика, далеко не всегда обладают требуемой эффективностью, которая во многом зависит от качества проработки их графических пользовательских интерфейсов, в связи с чем является актуальным исследование вопроса по созданию научно-методических средств, позволяющих проводить оценку интерфейсов программ, что позволит как находить дефекты, так и сравнивать программы между собой с целью выбора наиболее эффективной. **Цель работы:** разработка научно-методического средства в формализованном виде, позволяющего проводить оценку программных продуктов для выбора наиболее эффективных и выявления дефектов, исключение которых повысит качество программ и их интерфейсов. **Используемые методы:** для достижения обозначенной цели был проведен сравнительный анализ существующих количественных методов, метрик, а также законов из научной литературы и международных стандартов по проектированию программного обеспечения. **Новизна:** по сравнению с существующими методами оценки программного обеспечения и их интерфейсов разработанный подход представлен в виде алгоритма, способного проводить вычисления показателей эффективности, которые в настоящее время не имеют формализованных аналогов. **Результат:** разработан алгоритм оценки эффективности цветовой эстетики графических пользовательских интерфейсов, позволяющий проводить оценку и сравнение программных продуктов по данному направлению.

Ключевые слова: графический пользовательский интерфейс, алгоритм, цветовая эстетика, эффективность, оценка

Актуальность

Большинство из существующих сегодня программных продуктов (далее – ПП) обладают графическим пользовательским интерфейсом (далее – ГПИ), который подчас является визитной карточкой фирмы и своим внешним видом может как оттолкнуть пользователей, так и притягивать.

Многочисленные исследования показали, что в случае удачного подбора цветовой схемы и приятного внешнего вида ГПИ пользователи при тестировании отмечали их, как более удобные и функциональные, в отличие от аналогов с менее привлекательным ГПИ [1–4]. Несмотря на это, достаточно большое количество современных ПП обладают слабо продуманным, отталкивающим ГПИ, в связи с чем вызывают у пользователей негативные эмоции и снижают рабочую мотивацию [5–7].

Библиографическая ссылка на статью:

Вострых А. В. Алгоритм оценки эффективности цветовой эстетики графических пользовательских интерфейсов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023. Т. 11. № 2. С. 8–24. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-2-8-24

Reference for citation:

Vostrykh A. Algorithm for Effectiveness Evaluating of Graphical User Interfaces Color Aesthetic // Telecom IT. 2023. Vol. 11. Iss. 2. PP. 8–24. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-2-8-24

В настоящее время исследователями уделяется достаточно много внимания проблеме настоящей статьи – повышению эффективности ПП и их ГПИ. Разрабатываются новые подходы и дисциплины, углубляющиеся в область изучения ГПИ и процесса взаимодействия пользователей с машинами. Так, совсем недавно появилась даже специальная наука – нейроэстетика, которая изучает нейронные и эволюционные основы когнитивных и аффективных процессов, происходящих во время использования индивидом эстетического или художественного подхода к произведениям искусства в том или ином виде [8–15]. Проектирование современных ГПИ также является в какой-то мере искусством, особенно, когда дело касается вопроса реализации, визуальной составляющей интерфейсов.

Проведенный в [16] анализ научной литературы отечественных и зарубежных авторов дал возможность выделить спектр научно-методических средств, принципиально позволяющих оценить эффективность ГПИ.

В настоящей статье для решения поставленной проблемы решается научная задача по оценке эффективности цветовой эстетики ГПИ – одного из нескольких направлений комплексной оценки визуальной составляющей ГПИ. Для этого составлена система показателей, раскрывающих всю многокритериальность данного направления: *единообразие, аттрактивность, оптимальность сходимости цветов, соразмерность, сбалансированная полярность*.

Аттрактивность характеризует ГПИ в аспекте гармоничности цветовой схемы – оценивается комфорт восприятия пользователями цветовой схемы, соответствие цветовой схемы разработанным моделям пользователей, соответствие цветного представления графических элементов (далее – ГЭ) их функциональному назначению и т. д.

Оптимальность сходимости цветов демонстрирует вероятность появления нежелательного эффекта в виде цветных окантовок или двойных изображений вдоль границ рисунка.

Сбалансированная полярность оценивает гармоничность цветового соотношения ГЭ и фона.

Соразмерность оценивает гармоничность пропорций ГЭ интерфейса.

Единоеобразие даёт оценку степени однородности ГЭ и единству цветовой схемы всех программных окон ГПИ.

Алгоритм оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ, вычисляющий данные показателей, позволит анализировать интерфейсы на степень комфорта восприятия цветовых решений.

Для формализованного представления показателей автором настоящей статьи проведен сравнительный анализ упомянутых выше принципиальных возможностей оценки, в результате чего было выявлено, что некоторые из них схожи по смысловому содержанию и целям авторским показателям (таблица 1).

Таблица 1 – Соотношение смыслового содержания существующих методических подходов и авторских показателей

№ п/п	Наименование метрик	Показатели				
		Единообразие	Соразмерность	Аттрактивность	Сбалансированная полярность	Оптимальность сходимости цветов
1	Краткость (К. Шеннон) [17]	-	+	-	-	-
2	Предсказуемость (В.М. Алифиренко) [18]	+	-	-	-	-
3	Информативность (Б.С. Горячкин) [19]	-	-	-	+	-
4	Наглядность (В.В. Диковицкий) [20]	-	-	+	-	-
5	Визуальная простота (С. Стикел) [21]	-	-	-	-	+
6	Интерпретируемость (Л.А. Кузнецов) [22]	+	-	-	-	-

Таким образом, выявлено, что, несмотря на схожесть смыслового содержания и целей подходов, соответствующие метрики не могут использоваться в качестве способа формализации:

- показателю *единообразия* найдены две альтернативы: предсказуемость и интерпретируемость; отсутствует возможность сравнения единства цветовой схемы ГПИ различных окон;

- показателю *соразмерность* найдена альтернатива в виде метрики «краткость»; невозможно оценить гармоничность пропорций ГЭ интерфейса;

- показателю *аттрактивность* найдена альтернатива в виде метрики «наглядность»; нельзя провести анализ используемой палитры цветов ГПИ на сочетаемость;

- показателю *сбалансированная полярность* найдена альтернатива в виде метрики «информативность»; исключается оценка гармоничности цветового соотношения ГЭ и фона;

- показателю *оптимальность сходимости цветов* найдена альтернатива в виде метрики «визуальная простота»; отсутствует способность выявлять эффекты в виде цветных окантовок или двойных изображений вдоль границ рисунка.

Таким образом, необходимо разработать авторские подходы, позволяющие формализовать показатели оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ.

Методы исследования

Для проведения исследования ГПИ были проанализированы следующие цветовые модели:

- LAB (трехосевая модель, используемая в управлении цветом в программе Photoshop; оси имеют следующие характеристики: *L* – яркость, *A* – градации от красного к зеленому, *B* – градации от желтого к синему);

- HSB (цветовая модель, состоящая из трех характеристик: Hue – цветовой тон, Saturation – насыщенность, Brightness – яркость);
- RGB (цветовая модель, кодирующая цвет по трем каналам: красный – Red, зеленый – Green, голубой – Blue);
- CMYK (цветовая модель, кодирующая цвет по четырем каналам: Cyan – сине-зеленый, Magenta – пурпурный, Yellow – желтый, Key – черный (ключевой цвет)).

Для целей настоящего исследования выбрана цветовая модель HSB. Ей свойственна независимость от характеристик технических средств, используемых для вывода изображения ГПИ, так как модель однозначно при помощи своих конфигураций определяет цвет. Инстинктивное регулирование цветовыми параметрами в данной модели достигается строгим числовым соответствием чистого цвета величинам цветового круга. Математические зависимости позволяют быстро вычислить показатели оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ [9–10].

Концепция извлечения цветов в модели HSB заключается в выборе:

- яркости (при яркости 0 % любой тон становится черным вне зависимости от насыщенности; при яркости 100 % – белым, только при условии, что насыщенность равна 0 %);
- тона (осуществляется посредством установки градусов в диапазоне от 0 до 360, где ключевыми метками являются: синий – 240 °; зеленый – 120 ° и красный – 0 ° (рисунок 1));
- насыщенности (0 % – это светло-серый оттенок цвета, 100 % – предел красочности выбранного тона).

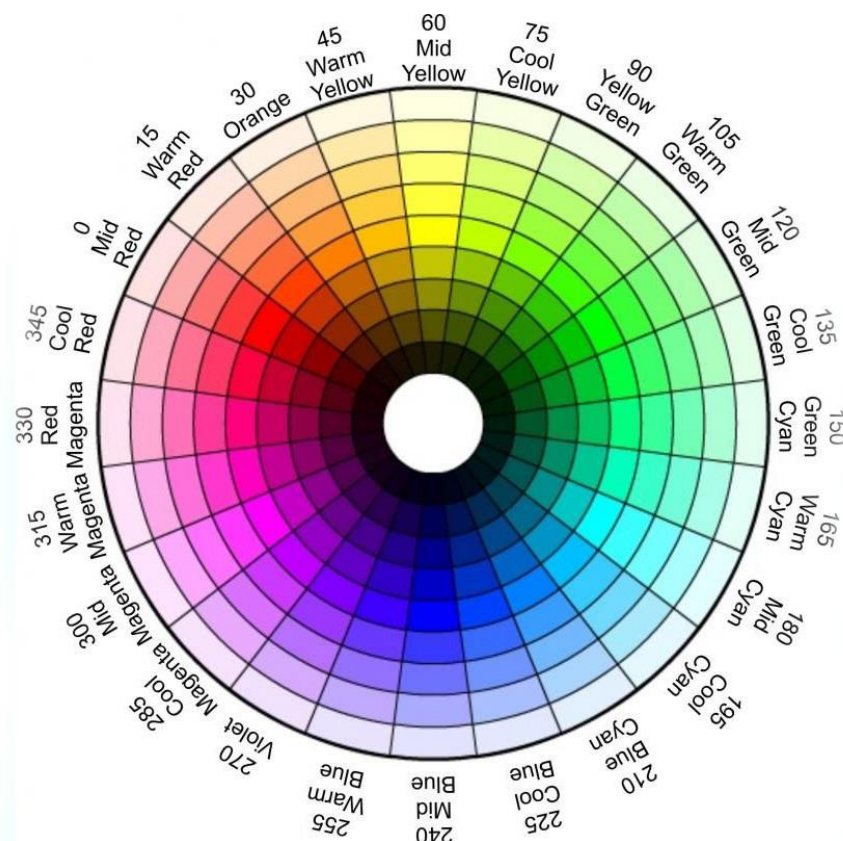


Рис. 1. Выбор значения тона в цветовой модели HSB

Разберем некоторые визуальные эффекты, отрицательно или положительно влияющие на восприятие изображения ГПИ, а также формализуем их представления с помощью цветовой модели HSB. Так, при взаимодействии с современными ПП нередко на изображении ГПИ можно встретить «эффект стереохроматизма», который возникает при сочетании некоторых цветов, создавая для глаза тональную или цветовую границу на изображении, несуществующую в реальности. Наличие данного эффекта на изображении ГПИ стимулирует повышение визуальной нагрузки на пользователей, что негативно сказывается как на результатах его работы, так и на психофизиологическом состоянии оператора [11, 23]. Для визуализации воздействия «эффекта стереохроматизма» автором настоящей статьи предложен коэффициент «цветового контраста» – c . Цветовым сочетаниям присвоено определенное числовое значение в пределах от 0,95 до 0,45. Наименьшее проявление и воздействие сочетания цвета (белый и синий) в аспекте эффекта соответствует 0,95 (таблица 2).

Таблица 2 – Соотношения цветов, приводящие при сочетании к появлению «эффекта стереохроматизма»

Цвет		Значения коэффициента цветового контраста	
объекта	фона	при $3\% < S_o < 95\% \in S_f$	при $0\% < S_o < 3\% \in S_f \vee$ $90\% < S_o < 99\% \in S_f$
Красный	Желтый	0,7	1
Синий	Белый	0,95	1
Черный	Желтый	0,9	1
Зеленый	Белый	0,85	1
Оранжевый	Белый	0,5	1
Черный	Белый	0,8	1
Зеленый	Красный	0,75	1
Красный	Зеленый	0,45	1
Красный	Белый	0,65	1
Оранжевый	Черный	0,6	1
Черный	Пурпурный	0,55	1

Данные сочетания цветов представлены отношением:

$$\text{объект } (S_o) - \text{фон } (S_f): S_o < S_f \mid 3\% < S_o < 90\% \in S_f,$$

где S_o – площадь, занимаемая определенным ГЭ в области ГПИ; S_f – площадь фона.

Также введены следующие ограничения при оценке степени воздействия «эффекта стереохроматизма» на пользователей:

– ГЭ, обладающие значением собственной площади до 3 % от площади всего ГПИ, не рассматриваются в контексте поиска «эффекта стереохроматизма» по причине посредственного влияния на пользователя, не оказывающего существенного воздействия;

– соотношение площади ГЭ более 95 % от площади ГПИ не рассматриваются в аспекте «эффекта стереохроматизма», так как визуально это является неким обрамлением, рамкой в интерфейсе.

Физиология человека позволяет воспринимать только часть окружающей информации. Например, глаза могут фиксировать определенный спектр цветов, а распознавать цвета по оттенку возможно до определенной границы яркости и насыщенности [12–14], в связи с этим сформирована таблица, отражающая пределы различимости цветовосприятия цветов. При максимальной яркости и минимальных значениях тона и насыщенности создается белый цвет. В свою очередь черный представляется возможным получить при минимальной яркости. Изменение значений в тоновой шкале предоставляет доступ к созданию остальных цветов.

Проведенные автором эксперименты показали, что в подавляющем большинстве пользователи начинают воспринимать визуальные изменения цвета примерно с 10 % (цвета становятся различимыми от оттенков серого). Аналогично сделаны выводы относительно изменения уровня яркости, где восприятие оттенков цвета отличного от черного пользователями начинается также примерно с 10 % (таблица 3).

Таблица 3 – Различимые человеческим глазом диапазоны цветов

Цвет	Тон (h)	Насыщенность (s)	Яркость (b)
Синий	$195 < h < 255$	$10 < s < 100$	$10 < b < 100$
Белый	0	$0 < s < 10$	100
Красный	$0 < h < 15$ $300 < h < 360$	$10 < s < 100$	$10 < b < 100$
Оранжевый	$15 < h < 45$	$10 < s < 100$	$10 < b < 100$
Черный	\forall	\forall	$0 < b < 10$
Зеленый	$75 < h < 175$	$10 < s < 100$	$10 < b < 100$
Голубой	$165 < h < 195$	$10 < s < 100$	$10 < b < 100$
Желтый	$45 < h < 75$	$10 < s < 100$	$10 < b < 100$
Фиолетовый	$255 < h < 300$	$10 < s < 100$	$10 < b < 100$

Согласно многочисленным экспериментам, для визуального восприятия пользователей наиболее приятными являются пастельные оттенки [4–7, 24–26].

В настоящей статье автор предлагает ввести коэффициент гармоничности $W_{st,b}$, который позволяет определить привлекательность цвета для восприятия по его яркости и насыщенности. Самому оптимальному варианту присвоено значение единицы, соответственно, наиболее неприемлемому – 0,1 (таблица 4).

В современной колористике проектировщики используют следующие виды цветовых схем, для подбора гармонично сочетающихся цветов:

- 1) прямоугольная – на основе двух пар комплементарных цветов;
- 2) комплементарная – на основе сочетаний двух полярно расположенных цветов или их оттенков и используется для создания эффекта контраста;

- 3) триадическая – на основе сочетаний трех равноудаленных друг от друга цветов в цветовом круге;
- 4) монохроматическая – на основе единственного цвета, его тональностей и теней;
- 5) аналоговая – на основе близлежащих цветов на цветовом круге, используются в случаях, когда нужно создать дизайн без контрастов;
- б) сплит-комплементарная – на основе двух пар противоположно расположенных цветов, один из которых разбивается на два соседних.

Таблица 4 – Оптимальные цветовые диапазоны для восприятия

Коэффициент гармоничности	Яркость (b)	Насыщенность (st)			
		$0 < st \leq 10$	$10 < st \leq 30$	$30 < st \leq 70$	$70 < st \leq 100$
$W_{st,b}$	$0 < b \leq 10$	0,1	0,1	0,1	0,1
	$10 < b \leq 45$	0,1	0,5	0,75	0,5
	$45 < b \leq 70$	0,5	0,75	1	0,75
	$70 < b \leq 100$	0,75	0,5	0,75	0,5

При проектировании цветовой схемы ГПИ необходимо использовать преимущественно монохроматическую цветовую схему, так как ее использование сводит к минимуму возможные неудачные сочетания цветов и наиболее благоприятно влияет на пользователей по причине прямой аналогии с природными сочетаниями цветов.

Рассмотрев теоретические материалы визуальной эстетики, необходимые для последующей формализации параметров, перейдем к описанию показателей оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ. На данный момент в научной литературе отсутствует формальное представление этих показателей, поэтому представим авторский способ решения задачи.

Аттрактивность

Для проведения анализа и оценки интерфейса первоначально необходимо вычислить состав цветовой схемы ГПИ, для этого используем ряд операторов.

С целью построения множества цветов основной формы ГПИ и дальнейшей их инициализации введем следующий оператор:

$$\theta_{\check{G} \rightarrow [l_{ij}]}(\check{G}) \equiv \left\{ \left[l_{s_{ij}} \right] \mid l_{s_i} \in \check{G}(R) \vee l_{s_i} \in \check{G}(G) \vee l_{s_i} \in \check{G}(B) \right\}, \quad (1)$$

где \check{G} – описание главной формы ГПИ как целостной графической архитектуры; $l_{s_{ij}}$ – видимая яркость изображения, вычисляется с помощью выражения:

$$l_{s_{ij}} = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N 0,0722B_p + 0,2126R_p + 0,7152G_p, \quad (2)$$

где N – количество пикселей графического представления интерфейса; B_p, R_p, G_p – размер сторон RGB-куба.

Оператор построения параметрической карты основной формы ГПИ, демонстрирующей яркостью изображения L_s в пределах формы S_{ge} :

$$\theta_{\check{G}(M_{df})} = [l_{s_{ij}}] \equiv \langle x_{ij}, y_{ij}, l_{ij} \rangle. \quad (3)$$

Далее следующий оператор позволит присвоить каждому инициализированному цвету вес, в соответствии с занимаемой им площадью:

$$\theta_{l_s}^{\varepsilon_l}(\check{G}) \equiv (l_{s_{ij}}, \check{G}) \equiv \varepsilon_l \in \{\{\varepsilon\} | \varepsilon \in N^*\}, \quad (4)$$

где ε_l – площадь определенного цвета; l_{s_i} – цвет i -го ГЭ.

Оператор выбора цветов с наибольшим весом имеет следующий вид:

$$\theta_{l_s}^{\varepsilon_l}(\check{G}, l_{s_i}) \equiv \{l_{s_j} \in \theta_{\check{G} \rightarrow [l_{ij}]}(\check{G}) : \theta_{l_s}^{\varepsilon_l}(\check{G}) > \varepsilon_l\}. \quad (5)$$

Следующим шагом является проверка ассоциативной гармонии в ГПИ. Данная область является достаточно важной, так как воспринимается пользователями на инстинктивном уровне. Так, например, красный цвет большинством людей в современном обществе при использовании ПП воспринимается как сигнал об опасности, зеленый ассоциируется с безопасностью. Проверку соответствия цвета ГЭ и его функциональному назначению и стереотипам можно провести с помощью параметрической карты, заданной матрицей:

[Ассоциация с цветом → Функциональное назначение ГЭ].

Созданная карта позволит визуализировать и проверить на соответствие функциональное назначение элемента ГПИ и его цветовое представление. Сепарацию графического образа интерфейса на функциональные сегменты проведем при помощи оператора:

$$\theta_{l_f}^{l_s}(S_{Ge}, C) \equiv \{l_{s_i} \rightarrow l_{f_i} | \{l_{s_i}\} \subset \{l_{sf_i}\} \& \{l_{sf_i}\} \subset \{l_{s_i}\}\}, \quad (6)$$

где C – контраст изображения ГПИ; S_{ge} – площадь ГЭ основной формы ГПИ; l_{f_i} – функциональное назначение i -го ГЭ.

Кластеризацию на инвариантность цвета ГЭ к его функциональному назначению возможно провести с помощью следующего оператора:

$$\theta_{\{Kom\} \rightarrow (S_{Ge}, l_f)}^{l_s}(\{S_{ge}\}, M_{df}) \equiv \{\{l_{s_i}(S_{Ge})\} \rightarrow \{l_{f_i}(S_{Ge})\} | \{l_{s_i}\} \subset \{S_{Ge}\} \& \{l_{sf_i}\} \subset \quad (7)$$

$$\subset \{S_{Ge}\}, \theta_{lf}^{ls}(S_{Ge}, C)\},$$

где Kot – структурное описание главной формы ГПИ; M_{df} – математическая модель основной формы ГПИ.

Гармоничность отдельного сегмента ГПИ вычисляется в виде:

$$H_{s,w_n} = W_{st,b_n} * S_n, \quad (8)$$

где S_n – площадь, занимаемая оттенком в ГПИ; W_{st,b_n} – коэффициент гармоничности (см. таблицу 4).

Таким образом, показатель *аттрактивность* вычисляется как:

$$\begin{aligned} J &= H_{s,w_1} + H_{s,w_2} + \dots + H_{s,w_n} = \\ &= (S_1 * W_{st,b_1}) + (S_2 * W_{st,b_2}) + \dots + (S_n * W_{st,b_n}). \end{aligned} \quad (9)$$

Оптимальность сходимости цветов

Гармоничность рассматриваемого соотношения напрямую зависит от появления «эффекта стереохроматизма» и степени его воздействия на пользователей. Для этого необходимо аккумулировать все оттенки анализируемого ГПИ в 10 основных цветов: красный, синий, желтый, оранжевый, фиолетовый, голубой, зеленый, пурпурный, белый и черный с помощью выражения:

$$P = \frac{B\mu}{B\mu + B\theta} * 100 \%, \quad (10)$$

где P – чистота цвета; $B\mu$ – яркость чистого спектрального цвета; $B\theta$ – яркость белого цвета в смеси.

Далее необходимо сравнить общее количество цветов ГПИ с оптимальным значением, с помощью следующего выражения:

$$\theta_q^{k_c} = \begin{cases} \text{if } q_c \leq 3 | k_c = 1 \\ \text{if } 4 < q_c \leq 5 | k_c = 0,75, \\ \text{if } 5 < q_c | k_c = 0,5 \end{cases} \quad (11)$$

где q_c – общее количество цветов в ГПИ; k_c – коэффициент оптимальности цветовой нагрузки.

Таким образом, коэффициент оптимальности цветового набора $\theta_q^{k_c}$ будет зависеть от количества используемых цветов в анализируемом ГПИ и максимально допустимого количества цветов в данном типе интерфейса.

Далее необходимо провести сегментацию основной формы ГПИ на зоны ясного видения:

$$\theta_{S_{Ge}}^{Mdf}(F_{main}, S) \equiv \{S_{Ge} \in F_{main} \mid w_{S_{Ge}} = 280px, \wedge h_{S_{Ge}} = 240px\}, \quad (12)$$

где F_{main} – главная форма ГПИ, являющаяся основным контейнером; $w_{S_{Ge}}$ – ширина ГЭ; $h_{S_{Ge}}$ – высота ГЭ.

Далее вычисляется значение «эффекта стереохроматизма» $\theta_C^{S_{Ge}}(S_{Ge}, C_s)$ с помощью оператора:

$$\theta_C^{S_{Ge}}(S_{Ge}, C_s) \equiv \{(S_o \wedge S_f \in C_s\{c\}) \wedge (S_o < S_f) \wedge (3 \% < S_o \leq 90 \% \in S_f)\} \quad (13)$$

при следующих условиях:

$$\begin{cases} \text{if}(S_o \wedge S_o \in C_s\{c\}) \wedge (S_o < S_f) \wedge (3 \% < S_o \leq 90 \% \in S_f) \Rightarrow 0,45 \leq c_n \leq 0,95 \\ \text{if}(S_o \wedge S_o \in C_s\{c\}) \wedge (S_o < S_f) \wedge (90 \% < S_o \leq 99 \% \in S_f) \Rightarrow c_n = 1 \\ \text{if}(S_o \wedge S_o \in C_s\{c\}) \wedge (S_o < S_f) \wedge (1 \% < S_o \leq 3 \% \in S_f) \Rightarrow c_n = 1 \end{cases}, \quad (14)$$

где C_s – коэффициент единства цветовой схемы ГПИ.

Таким образом, вычисление показателя *оптимальность сходимости цветов* производится с помощью следующей формулы:

$$C = c_1 * c_2 * \dots * c_n. \quad (15)$$

При стремлении величины C к единице, значение «эффекта стереохроматизма» снижается, тем самым повышается привлекательность цветовой схемы интерфейса для визуального восприятия оператора.

Сбалансированная полярность

Поставленная задача может быть решена с помощью выражения:

$$M_{all} = J * C, \quad (16)$$

где C – общее значение воздействия «эффекта стереохроматизма» на пользователя; J – значение показателя аттрактивности.

Соразмерность

Показатель оценивает гармоничность пропорций элементов следующим образом: анализу подвергается каждый главный ГЭ, содержащий в себе множество вложенных элементов на соответствие отношения их длин по горизонтали и вертикали величине золотого сечения, равного 1,618:

$$K = \frac{H_p + H_c}{H_p} \propto \frac{W_p + W_c}{W_p}, \quad (17)$$

при условии, что:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } A = 1,6 \text{ and } B = 1,6 \Rightarrow K = 1 \\ \text{if } A = 1,6 \text{ and } B \neq 1,6 \Rightarrow K = 0,7 \\ \text{if } A \neq 1,6 \text{ and } B \neq 1,6 \Rightarrow K = 0,7 \\ \text{if } A \neq 1,6 \text{ and } B = 1,6 \Rightarrow K = 0,5 \end{array} \right. , \quad (18)$$

где $A = \frac{H_p}{H_c} = \frac{H_p+H_c}{H_p}$; $B = \frac{W_p}{W_c} = \frac{W_p+W_c}{W_p}$; H_p, H_c – длины по горизонтали главного и вложенного ГЭ интерфейса, соответственно; W_p, W_c – длины по вертикали главного и вложенного ГЭ интерфейса, соответственно; K – коэффициент гармоничности пропорций ГЭ интерфейса.

По результатам вычислений коэффициенту K присваивается одно из следующих значений:

- $K = 1$, если парное отношение сторон главного и вложенного ГЭ соответствует требуемой;
- $K = 0,7$, если длина по горизонтали или по вертикали главного и вложенного ГЭ соответствуют установленному эталону;
- $K = 0,5$, если отношения длин по горизонтали и по вертикали главного и вложенного ГЭ не соответствует установленному эталону.

Единообразие. Для вычисления показателя *единообразие* предложен следующий аналитический способ:

$$E = Fi * Cs * Ci * Fu, \quad (19)$$

где Cs – коэффициент идентичности цветовой схемы ГПИ во всем ПП; Fu – коэффициент единства семейств шрифтов; Ci – коэффициент однородности компонентов; Fi – коэффициент единообразного выполнения сходных функций.

Для вычисления коэффициента Cs предложен следующий оператор:

$$\theta_{Cs}^{Mdf}(F_{main}, M_{all}) \equiv \{Cs \in F_{main_1} \wedge Cs \in F_{main_2} \mid Cs \in F_{main_n}\}. \quad (20)$$

Вычисления проводятся путем сравнения цветовых схем программных окон одного ГПИ или, например, страниц одного сайта. При использовании идентичных параметров коэффициент соответствует единице, при нарушении баланса коэффициент становится равным 0,5.

Коэффициент Fu вычисляется с помощью оператора:

$$\theta_{Fu}^{Mdf}(F_{main}, F) \equiv \{Fu_1 \in F_{main_1} \wedge Fu_2 \in F_{main_2} \mid Fu_n \in F_{main_n} \wedge (Fu_1 \sim Fu_2)\}. \quad (21)$$

Вычисления проводятся путем определения, совпадают ли типы, размеры и стили шрифтов внутри одного ГПИ между собой. При соблюдении условия

использования однотипного написания коэффициент также соответствует единице, при нарушении баланса коэффициент становится равным 0,5.

Коэффициент C_i вычисляется с помощью оператора:

$$\theta_{C_i}^{Mdf}(F_{main}, C) \equiv \{C_1 \in F_{main_1} \wedge C_2 \in F_{main_2} \mid C_n \in F_{main_n} \wedge (C_1 \sim C_2)\}. \quad (22)$$

Вычисления проводятся путем определения, насколько однородны ГЭ одной группы между собой по форме своего представления пользователям в ГПИ, если условие выполняется, коэффициент соответствует единице, если нет, то он равен 0,5.

Коэффициент F_i вычисляется с помощью оператора:

$$\begin{aligned} \theta_{F_i}^{Mdf}(F_{main}, Set) \equiv \\ \equiv \{F_{i_1} \in F_{main_1} \wedge F_{i_2} \in F_{main_2} \mid F_{i_n} \in F_{main_n} \wedge (F_{i_1} \sim F_{i_2})\}. \end{aligned} \quad (23)$$

Вычисления проводятся путем сравнения на единообразное исполнение определенных команд ГПИ, если команды выполняются идентично, то коэффициент соответствует единице, если нет, то коэффициент равен 0,5.

Результаты исследования и их обсуждение

Имея формализованное представление показателей, появилась возможность составить алгоритм оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ, который можно представить пошагово. Схема алгоритма представлена на рисунке 2.

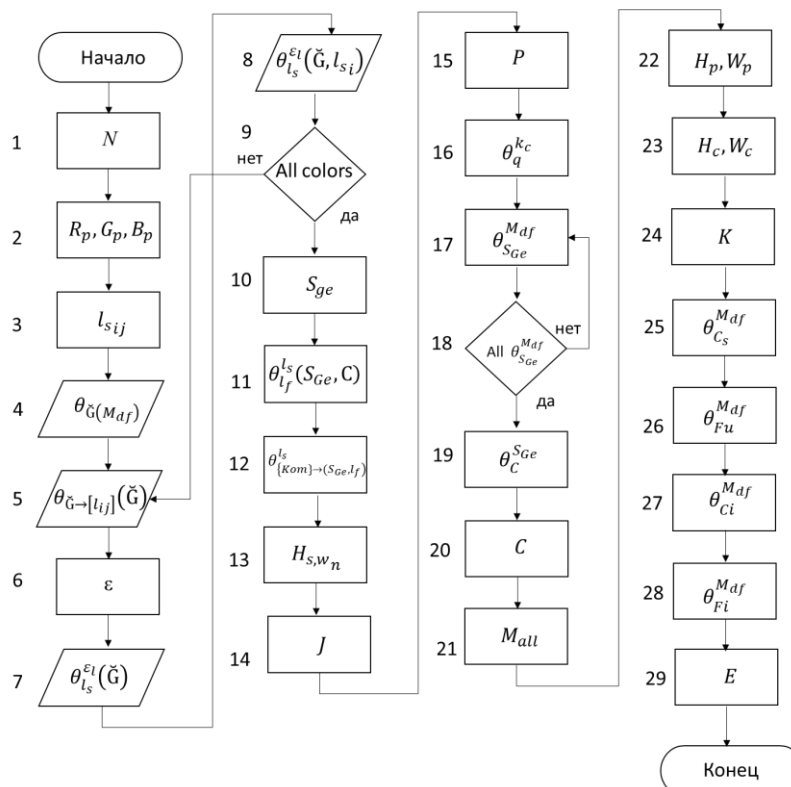


Рисунок 2 – Схема алгоритма оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ

Шаг 1. Измерение разрешения в пикселях ГЭ, входящих в состав ГПИ N .

Шаг 2. Измерение длины ребер RGB-куба: R_p, G_p, B_p .

Шаг 3. Вычисление видимой яркости изображения ГПИ l_{sij} с помощью формулы (2).

Шаг 4. Формирование параметрической карты яркости изображения ГПИ $\theta_{\check{G}(M_{df})}$ с помощью оператора (3).

Шаг 5. Подсчет количества цветов в ГПИ $\theta_{\check{G} \rightarrow [l_{ij}]}(\check{G})$ с помощью оператора (1).

Шаг 6. Вычисление площади каждого цвета ϵ .

Шаг 7. Присвоение каждому найденному цвету ГПИ веса $\theta_{l_s}^{\epsilon l}(\check{G})$ с помощью оператора (4).

Шаг 8. Выбор цветов с наибольшим весом $\theta_{l_s}^{\epsilon l}(\check{G}, l_{s_i})$ с помощью оператора (5).

Шаг 9. Если инициализирован каждый представленный в ГПИ цвет – переход к шагу 6, если нет – возврат на шаг 10.

Шаг 10. Вычисление площади ГЭ анализируемого ГПИ S_{ge} .

Шаг 11. Сепарация изображения ГПИ на «функциональные области» $\theta_{l_f}^{l_s}(S_{Ge}, C)$ с помощью оператора (6).

Шаг 12. Сопоставление цвета ГЭ интерфейса к его функциональному предназначению $\theta_{\{Ком\} \rightarrow (S_{Ge}, l_f)}^{l_s}$ с помощью оператора (7).

Шаг 13. Расчет цветовой гармоничности отдельной области ГПИ H_{s, w_n} с помощью формулы (8).

Шаг 14. Расчет показателя *аттрактивность* J с помощью формулы (9).

Шаг 15. Агрегирование всех оттенков анализируемого ГПИ в 10 основных цветов: голубой, белый, красный, синий, желтый, оранжевый, фиолетовый, зеленый, черный и пурпурный P с помощью формулы (10).

Шаг 16. Вычисление коэффициента оптимальности цветового набора $\theta_q^{k_c}$ с помощью уравнения (11).

Шаг 17. Сепарация изображения ГПИ на зоны ясного видения $\theta_{S_{Ge}}^{M_{df}}$ с помощью оператора (12).

Шаг 18. Если инициализированы все области ясного видения, то переход к шагу 19, если нет – возврат на шаг 17.

Шаг 19. Расчет воздействия на пользователя «эффекта стереохроматизма» с помощью оператора $\theta_C^{S_{Ge}}$ (13) при соблюдении условий (14).

Шаг 20. Вычисление показателя *оптимальность сходимости цветов* C с помощью формулы (15).

Шаг 21. Вычисление показателя *сбалансированная полярность* M_{all} с помощью формулы (16).

Шаг 22. Измерение длины по горизонтали и вертикали главных ГЭ H_p, W_p .

Шаг 23. Измерение длины по горизонтали и вертикали вложенных ГЭ H_c, W_c .

Шаг 24. Вычисление показателя *соразмерность* K с помощью выражения (17) при соблюдении условий (18).

Шаг 25. Вычисление коэффициента единства цветовой схемы ГПИ $\theta_{C_s}^{Mdf}$ с помощью оператора (20).

Шаг 26. Вычисление с помощью оператора (21) коэффициента единства семейств шрифтов $\theta_{F_u}^{Mdf}(F_{main}, F)$.

Шаг 27. Вычисление коэффициента однородности компонентов ГПИ $\theta_{C_i}^{Mdf}(F_{main}, C)$ с помощью оператора (22).

Шаг 28. Вычисление коэффициента единообразного выполнения сходных функций в ГПИ $\theta_{F_i}^{Mdf}(F_{main}, Set)$ с помощью оператора (23).

Шаг 29. Вычисление показателя *единообразие* E с помощью формулы (15).

Шаг 30. Конец алгоритма. Вывод результатов.

Таким образом, с помощью разработанного алгоритма вычисляются необходимые для оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ показатели: *единообразие, аттрактивность, оптимальность сходимости цветов, соизмеримость, сбалансированная полярность.*

Заключение

Проведенный анализ существующих методов, законов и метрик оценки эффективности ГПИ показал невозможность их полноценного применения к задачам настоящего исследования по причинам их узконаправленности и отсутствия возможности получения информации о ситуативном контексте исследуемого явления.

Представленные в настоящей статье авторские показатели, выражения (13, 19–23) для их вычисления и алгоритм оценки эффективности цветовой эстетики ГПИ исключают выявленные недостатки, позволяя анализировать эффективность представления информации с помощью интерфейса и, как следствие, гипотетически рассчитать визуальную и когнитивную нагрузку на пользователей, степень удовлетворения от взаимодействия с ПП, а также проводить сравнения разных интерфейсов между собой как в целом, так и по отдельным направлениям. Все это позволяет выявлять дефекты в ПП и их ГПИ, исключение которых повысит общую эффективность программ, а значит, увеличит результативность работы пользователей в них.

В дальнейших исследованиях планируется разработка ПП, позволяющего автоматизировать процесс оценки с целью сокращения расхода временных и человеческих ресурсов.

Литература

1. Norman D. A. Living with complexity. MIT Press, 2016. 308 p.
2. Уэйншенк С. Интуитивный веб-дизайн. СПб.: Эскмо, 2011. 160 с.
3. Нильсен Я. Mobile Usability. Как создавать идеально удобные приложения для мобильных устройств. М.: Эскмо, 2013. 256 с.
4. Круг С. Веб-дизайн, или Не заставляйте меня думать!. М.: Символ-Плюс, 2008. 216 с.
5. Вострых А. В. Анализ информационных систем, используемых в МЧС России для мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: материалы международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 28 октября 2021 г.). СПб.: УГПС МЧС России, 2021. С. 257–260.
6. Богданова Е. М., Максимов А. В., Матвеев А. В. Информационная система прогнозирования чрезвычайных ситуаций при использовании адаптивных моделей // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2019. № 2. С. 65–70.
7. Раскин Д. Интерфейс. Новые направления в проектировании компьютерных систем. М.: Символ, 2007. 257 с.
8. Демшина А. Ю. Нейроэстетика: наука, искусство и цифровая культура XXI века // Вестник Санкт-Петербургского государственного института культуры. 2023. № 2 (55). С. 21–26. DOI: 10.30725/2619-0303-2023-2-21-26
9. Круг С. Как сделать сайт удобным. Юзабилити по методу Стива Круга. СПб.: Питер, 2010. 170 с.
10. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна. Как удержать внимание. СПб.: Питер, 2011. 272 с.
11. Волошинов А. В. Математика и искусство. М.: Просвещение, 1992. 344 с.
12. Вострых А. В. Терминологический базис оценки пользовательских интерфейсов: обзор стандартов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: материалы IX Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 26–27 февраля 2020 г.). СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 2. С. 200–207.
13. Norman D. A. Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things. Basic Books, 2005. 272 p.
14. Уэйншенк С. 100 новых главных принципов дизайна. Как удержать внимание. СПб.: Питер, 2016. 290 с.
15. Вострых А. В. Анализ инновационных технологий, обеспечивающих безопасность граждан в техносферных системах // Комплексные проблемы техносферной безопасности: сборник статей по материалам XVII Международной научно-практической конференции (Воронеж, 26 марта 2021 г.). Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. С. 205–210.

16. Вострых А. В. Алгоритм оценки согласованности информационно-функциональных элементов графических пользовательских интерфейсов // Вестник СПбГУТ. 2023. Т. 1. № 2. С. 3.
17. Shannon C. E. A mathematical theory of communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. Iss. 3. PP. 379–423. DOI:10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
18. Алефиренко В. М., Шамгин Ю. В. Инженерная психология. Минск: БГУИР, 2005. 13 с.
19. Горячкин Б. С. Оценка выходных экранных форм автоматизированной системы обработки информации и управления // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 10-2(52). С. 24–27. DOI: 10.18454/IRJ.2016.52.154
20. Диковицкий В. В. Формализация задачи построения когнитивных пользовательских интерфейсов мульти предметных ИР // Информационные технологии. 2013. № 5. С. 90–97.
21. Stickel C., Ebner M., Holzinger A. The XAOS Metric – Understanding Visual Complexity as Measure of Usability // Proceedings of the 6th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering on HCI in Work and Learning, Life and Leisure (USAB 2010, Klagenfurt, Austria, 4–5 November 2010). Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. PP. 278–290. DOI:10.1007/978-3-642-16607-5_18
22. Park K.S. Human Reliability: Analysis, Prediction, and Prevention of Human Errors. New York: Elsevier, 1987. 340 p.
23. Hartley R. V. L. Transmission of Information // Bell System Technical Journal. 1928. Vol. 7. Iss. 3. PP. 535–563. DOI:10.1002/j.1538-7305.1928.tb01236.x
24. Fitts P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement // Journal of Experimental Psychology. 1954. Vol. 47(6). PP. 381–391. DOI:10.1037/h0055392
25. Харкевич А. А. Проблемы кибернетики. М.: Физматгиз, 1960. 57 с.
26. Miller G. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information // Psychological Review. 1956. Vol. 63. Iss. 2. PP. 81–97. DOI:10.1037/h0043158

Статья поступила 18 декабря 2023 г.
Одобрена после рецензирования 22 декабря 2023 г.
Принята к публикации 25 декабря 2023 г.

Информация об авторе

Вострых Алексей Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий. Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. E-mail: a.vostrykh@list.ru

Algorithm for Effectiveness Evaluating of Graphical User Interfaces Color Aesthetic

A. Vostrykh

The Saint-Petersburg University State Fire Service of EMERCOM of Russia,
St. Petersburg, 196105, Russian Federation

Purpose: currently, for the performance of various job responsibilities by users, there is a wide range of software characterized, in addition to functionality, by cognitive and ergonomic characteristics, on which such user indicators as: work speed, satisfaction, probability of making mistakes, etc. depend. In order to select the most effective software products from a variety of existing analogues, a scientific and methodological tool based on a strict mathematical apparatus is needed, which will avoid subjectivity of the evaluation results. The purpose of the work is to develop a scientific and methodological tool in the form of an algorithm that allows evaluating software products to select the most effective ones. **Methods:** to achieve this goal, a comparative analysis of a wide range of approaches from such fields of science as visual aesthetics was carried out; human-computer interaction, gestalt psychology, neuroaesthetics, perceptual psychology and ergonomics, which allowed us to identify a number of approaches capable of solving the tasks of this study. **Novelty:** compared with differential approaches to software evaluation, the developed algorithm is based on the aggregation of a number of selected indicators for evaluating the consistency of information and functional elements of graphical user interfaces. **Results:** an algorithm for evaluating the consistency of information and functional elements of graphical user interfaces has been developed, which allows evaluating and comparing software products in this area.

Key words: graphical user interface, algorithm, consistency, information and functional element, evaluation

Information about Author

Aleksey Vostrykh – candidate of technical sciences, lecturer, department of applied mathematics and information technology. The Saint-Petersburg University State Fire Service of EMERCOM of Russia.

E-mail: a.vostrykh@list.ru