

АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОНТРАСТА ОТТЕНКОВ В ЦВЕТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ LAB

П. Е. ГРЕБЕНЮК¹, А. М. ЧМУТИН¹, В. А. ЧУЙКО²

¹Волгоградский государственный университет, 400062, Волгоград, Россия,
E-mail: strat01@yandex.ru

²Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

Представлен анализ инструментов современного программного обеспечения компьютерной графики, позволяющих осуществлять управление оттенками. Рассматривается задача оттеночного контрастирования в цветовом пространстве Lab. Показано, что существующий инструментарий не способен обеспечить системное управление контрастом оттенков в Lab. Для этого цветового пространства предложен и опробован оригинальный алгоритм вариации оттеночного контраста.

Ключевые слова: *оттенок цвета, преобразование оттенков, контраст оттенков, управление контрастом, изобразительная информация, цветовые пространства RGB и Lab*

Введение. В современной лабораторной практике результаты работы приборов, как правило, выводятся на экран компьютера. И это не только числовые данные (для их отображения достаточно простого табло) или их визуализация, но и изображения, которые приходится обрабатывать. В профильной литературе появился даже специальный термин — *image conditioning*, который иногда конкретизируется — *for visual analysis*. Оптическая, в частности компьютерная, обработка изображений необходима для корректного восприятия изображения оператором. Таким образом, программные аспекты обработки электронных изображений становятся значимыми для подавляющего большинства — от микроскопических до аэрокосмических — приложений оптического научного приборостроения. Причем перспектива распространения этой тенденции лежит в области производства приборов для промышленного и непромышленного (видеонаблюдение) применения.

Первоочередно в процессе обработки оптимизируется тот или иной контраст. В литературе, к примеру в работе [1], обычно рассматривается только яркостный контраст; для полноты представления имеет смысл учитывать еще и цветовые контрасты [2]: контраст насыщенностей и контраст оттенков — эти понятия детализированы в работе [3]. Поскольку контраст — это наиболее устойчивая (в человеческом восприятии) характеристика изобразительной информации, цель всех исследований — это повышение информативности изображений. Для этого могут применяться разные приемы, подчас настолько необычные (как это, например, продемонстрировано в [4]), что для их структурирования недостаточно объема даже обзорной статьи. Поэтому, продолжая тему, начатую работой [3], в настоящей статье ограничимся рассмотрением инструментов управления только контрастом оттенков, имея в виду повышение информативности электронных изображений. Уточним, что под повышением информативности понимается выявление дополнительной информации в результате увеличения контраста выше порога его восприятия глазом, когда человек обретает возможность визуального исследования.

Однако иногда визуальный анализ может быть существенно затруднен, если одновременно с контрастированием оттенков будут возрастать или снижаться прочие перцепционные контрасты (контраст яркостей и контраст насыщенностей). Поэтому здесь и далее под системным оттеночным контрастированием следует понимать специфическую процедуру, при которой исходные значения яркости и насыщенности каждого пиксела изображения сохраняются, т.е. информация, переносимая контрастами яркостей и насыщенностей, не меняется.

Состояние проблемы. Сначала проанализируем современное программное обеспечение (ПО) на наличие оттеночных процедур. Для представительности выборки рассмотрим наиболее широкий спектр программного продукта, производимого как международными корпорациями, так и коллективными и индивидуальными разработчиками (см. таблицу).

Авторство или собственность	Название пакета программы, версия, год выпуска	Наличие программного инструмента <Hue> в RGB Mode	Возможность управления оттеночным контрастом в RGB Mode	Возможность управления оттенком в Lab Mode
ACD Systems	ACDSee Pro v. 5.0.110, 2013	+	—	—
Adobe Systems	PhotoShop v. 5.5, 1999	+	—	+
Adobe Systems	PhotoShop CS6 v. 13.0, 2012	+	—	+
Antonio Da Cruz	PhotoFiltre Studio v. 10.4.1, 2010	+	—	—
ArcSoft	ArcSoft PhotoStudio v. 6.0.9.151, 2008	+	—	—
Autodesk	Pixlr Photo Editor on-line, 2013	+	—	—
BatchConverter	Advanced Batch Converter v.7.6, 2013	+	—	—
Corel	CorelDRAW X6 v.16.0.0.707, 2012	+	—	—
dotPDN LLC	Paint.NET v. 3.5.5, 2010	+	—	—
FastStone Soft	FastStone Image Viewer v. 3.5, 2007	+	—	—
GNU	GIMP v. 2.8.0, 2012	+	—	—
Irfan Skiljan	IrfanView v.4.35, 2012	—	—	—
Mark Tyler	mtPaint v. 3.31, 2009	+	—	—
Microsoft	Microsoft Photo Editor v. 3.01, 1998	—	—	—
Microsoft	Office Picture Manager v.14.0.6015.1000, 2010	+	—	—
NeWest Software	Focus Photoeditor v. 6.5.1, 2012	+	—	—
Nikon	Capture NX2 v.2.3.4, 2009	+	—	—
Online Media Technologies	AVS Photo Editor v. 2.0.8.128, 2012	—	—	—
Pierre-Emmanuel Gougelet	XnView v. 1.98.7, 2012	+	—	—
Roxio	Roxio Photo Suite v. 8, 2010	—	—	—
Sun Microsystems	OpenOffice v. 3.2.0, 2008	—	—	—
SunlitGreen Software	SunlitGreen Photo Editor v.1.4.0, 2010	+	—	—
Ulead Systems	PhotoImpact X3 v. 13.00.0000.0, 2007	+	—	—
Unified Color	HDR PhotoStudio v. 2.12.27.2521, 2009	+	—	—

На основе приведенных в таблице данных можно констатировать, что в проанализированном ПО средства управления контрастом оттенков отсутствуют. Как следствие, авторами настоящей статьи разработана и анонсирована (см. [3]) оригинальная процедура оттеночного контрастирования.

Постановка задачи. Описанный в работе [3] инструмент контрастирования оттенков оперирует RGB-координатами, что представляет некоторое затруднение: в силу недостатка цветовой координатной системы (ЦКС) RGB при постоянстве насыщенностей невозможно обеспечить сохранение яркости пикселей ни при какой вариации оттенка изображения, в том числе при его оттеночном контрастировании. В то же время этот недостаток отсутствует у ЦКС Lab, в которой цветность изначально отделена от яркости. В этой связи возникает вопрос, почему бы, не используя RGB, сразу не отконтрастировать оттенки (hue) с программным сохранением насыщенности (chroma) в Lab, в которой постоянство яркости цветового локуса уже обеспечено колориметрически? Тем более (см. таблицу), что в самых популярных пакетах графического ПО возможность управления оттенком в цветовом пространстве Lab предусмотрена. Разрешению этого вопроса и посвящена настоящая статья. Отсюда вытекает формулировка ее задачи — исследовать возможность системного контрастирования оттенков в Lab.

Теоретическое обоснование. Исходя из того, что Lab и Lch идентичны — это одни и те же цвета, выраженные в цилиндрических и декартовых координатах [5], изложим принципы оттеночного контрастирования в ЦКС Lch.

Задача состоит в том, чтобы для каждого пикселя изображения, зная исходные цветовые координаты a и b , выразить новые a' и b' через требуемый оттенок $\text{hue}' (h')$, полагая $\text{chroma}' = \text{chroma}$ ($c' = c = \text{const}$) параметром. Решим относительно результирующих цветовых координат a' и b' следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} h' &= \arctg(b' / a'); \\ c^2 &= (a')^2 + (b')^2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где h' задается тем или иным (одинаково — сдвигом, пропорционально или нелинейно) способом как функция исходного оттенка h и опорной точки h_0 — оттенка, относительно которого требуется изменять оттеночный контраст остальных пикселей.

В общем случае решение системы уравнений (1) будет иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} a' &= \pm c \cos(f(h; h_0)); \\ b' &= \pm c \sin(f(h; h_0)), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $f(h; h_0)$ — функция контрастирования, определяющая закон изменения оттенка и, как следствие, оттеночного контраста.

Полученное решение перспективно для анализа, так как инструмент, однозначно преобразующий a (b) в a' (b'), в программе Photoshop есть — это <Curves>. Исследуем систему (2). Рассмотрим частный случай, когда одноименные координаты пикселей равны: $a_1 = a_2$, следовательно,

$$c_1 \cos(f(h_1; h_0)) = c_2 \cos(f(h_2; h_0)) \quad (3)$$

(здесь выбор положительных значений указывает лишь на то, что оттенки 1-го и 2-го пикселей лежат в I квадранте диаграммы цветностей). У полноцветной палитры — охват Lab в Photoshop составляет $100 \times 256 \times 256 = 6553600$ цветов — подобных пикселей будет менее 0,5 %.

При контрастировании оттенков, лежащих по одну сторону от опорной точки, соответствующее уравнение из (2) имеет вид

$$a'_1 = c_1 \cos(f(h'_1; h_0)) = c_1 \cos(f(h_1 + dh; h_0)), \quad (4)$$

в противном случае — вид

$$a'_2 = c_2 \cos(f(h'_2; h_0)) = c_2 \cos(f(h_2 - dh; h_0)). \quad (5)$$

В силу однозначности <Curves>-преобразования правомерно записать, что в результате оттеночного контрастирования $a_1' = a_2'$ или, в соответствии с (4) и (5),

$$c_1 \cos(f(h_1 + dh; h_0)) = c_2 \cos(f(h_2 - dh; h_0)). \quad (6)$$

Сопоставляя (3) и (6), легко убедиться, что одновременное выполнение обоих выражений возможно лишь при $dh=0$. Это значит, что к определенной доле пикселей изображения применить инструмент <Curves> с целью системного контрастирования оттенков категорически невозможно, так как при любом сдвиге равных цветовых координат оттенки 1/2 этой доли пикселей будут изменяться неверным образом.

Программные средства. На основании исследованного частного случая рассмотрим работу инструмента <Curves> в самом общем случае. На рис. 1: a — I квадрант круговой диаграммы результирующих цветностей, b — окно инструмента <Curves>, линейно управляющего a -координатой, e — I квадрант круговой диаграммы исходных цветностей.

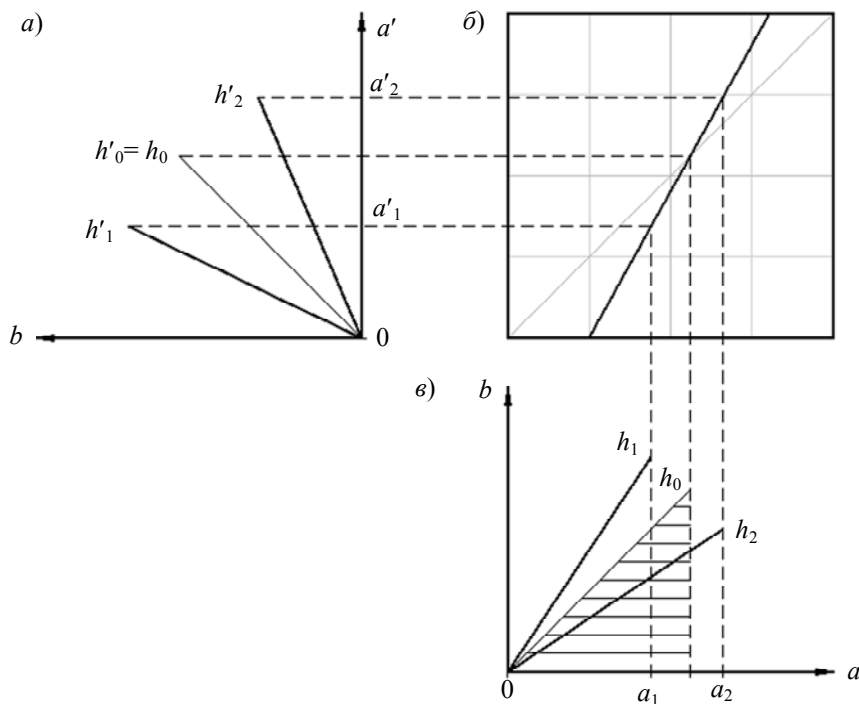


Рис. 1

Установим опорную точку в середине интервала между двумя контрастирующими оттенками h_1 и h_2 . Для увеличения их контраста $\Delta h = |h_2 - h_1|$ наибольшие из управляемых инструментом <Curves> a -координат должны только увеличиваться, а наименьшие — только уменьшаться. В том числе для всех оттенков в заштрихованном треугольнике a -координаты должны уменьшаться. Однако при полноцветном изображении в этом треугольнике обязательно будут присутствовать и такие оттенки (их значение chroma не так велико, как на рис. 1), которые для увеличения оттеночного контраста Δh должны, наоборот, увеличивать a -координату, в противном случае неизбежен паразитный оттеночный сдвиг при любом линейном или нелинейном законе, воспроизводимом инструментом <Curves>. При таком сдвиге искажается уже другая доля цветового охвата, намного превышающая указанные выше 0,5 %. Аналогичный вывод следует и для II, III, IV квадрантов, и для цветовой координаты b .

Резюмируя вышеизложенное, правомерно утверждать невозможность системного управления контрастами оттенков в цветовом пространстве Lab инструментом <Curves>. А при интуитивном управлении [6] невозможно гарантировать отсутствие артефактов обработки, вполне допустимых в задаче синтеза изображений, но совершенно неприемлемых в задаче анализа. Для системного контрастирования оттенков нужно использовать иной программный инструмент.

Новый алгоритм и его апробация. Принцип действия предлагаемого алгоритма изложим на примере обработки данных натурального эксперимента, описанного в работе [3]. Два лазерных пятна ($\lambda=633$ нм и $\lambda=650$ нм) охарактеризуем усредненными по полю оттенками $H_{633}(R=255, G=0, B=6)$, $H_{650}(R=255, G=0, B=37)$; насыщенностями $S_{633}=100\%$, $S_{650}=100\%$ и яркостями $V_{633}=70$, $V_{650}=92$, что соответствует исходным значениям цветовых координат $R_{633}=75$; $R_{650}=94$, $G_{633}=0$; $G_{650}=0$ и $B_{633}=2$; $B_{650}=14$.

Повысим контраст спекл-картин, но пользоваться для этого будем уже не Hue и Saturation, как в [3], а hue и chroma. Предлагаемый алгоритм оттеночного контрастирования в Lab базируется на последовательном выполнении нижеперечисляемых операций.

1. Пересчет исходных значений sRGB цветовых координат в исходные значения XYZ цветовых координат по формулам ИЕС 61966-2-1 [7]. В рассматриваемом примере $X_{633}=0,02920$, $X_{650}=0,04651$, $Y_{633}=0,01503$, $Y_{650}=0,02389$ и $Z_{633}=0,00242$, $Z_{650}=0,00615$.

2. Пересчет исходных значений XYZ цветовых координат в исходные значения Lab цветовых координат по формулам [8] без поправок; производится при стандартном излучателе D_{65} , что соответствует требованиям ISO 3664:2000 к мониторам, предназначенным для просмотра и редактирования цифровых изображений [9]. В рассматриваемом примере $L_{633}=13$, $L_{650}=17$, $a_{633}=33$, $a_{650}=39$ и $b_{633}=23$, $b_{650}=22$.

3. Пересчет исходных значений a и b цветовых координат в исходные значения h и c цветовых координат по формулам (1). В рассматриваемом примере $h_{633}=35,0^\circ$, $h_{650}=29,5^\circ$ и $c_{633}=40,5$, $c_{650}=44,7$.

4. Выбор опорного h_0 и противоположного $h_{пр}$ оттенков. В рассматриваемом примере $h_0=32,2^\circ$ и $h_{пр}=212,2^\circ$.

5. Вычисление результирующих значений h_i' оттенков на основе решения уравнения

$$|h_{пр} - h_i'| = |h_{пр} - h_i| / M.$$

В рассматриваемом примере коэффициент контрастирования $M=2$; $h_{633}'=123,6^\circ$, $h_{650}'=300,9^\circ$.

6. Вычисление результирующих значений a' и b' цветовых координат на основе решения системы уравнений (2). В рассматриваемом примере $a_{633}'=-22$, $a_{650}'=23$ и $b_{633}'=34$, $b_{650}'=-38$.

Результаты оттеночного контрастирования в RGB по сравнению с Lab иллюстрирует рис. 2.

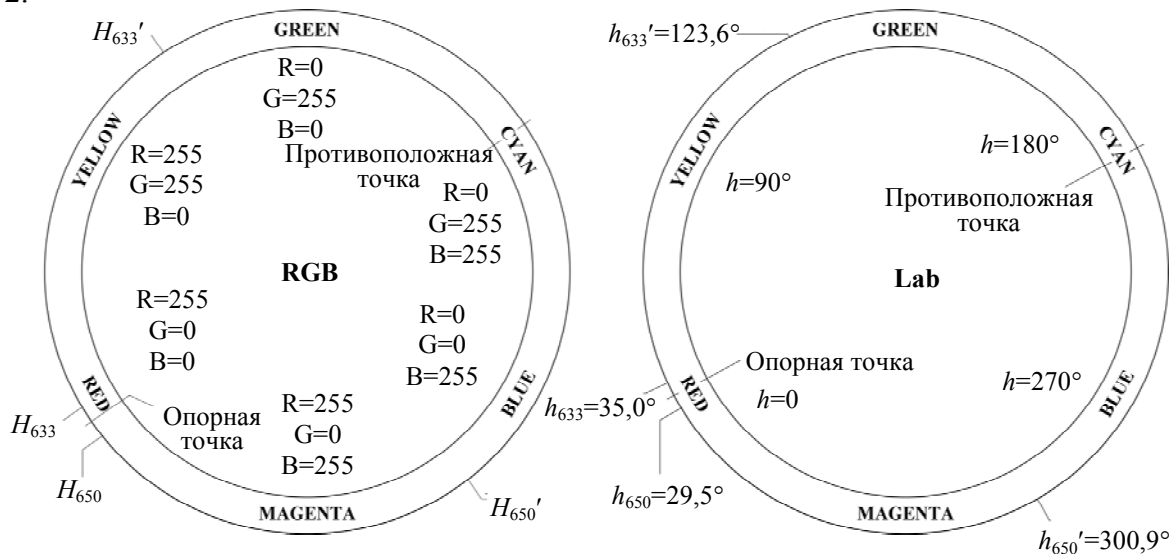


Рис. 2

Сопоставляя левую диаграмму с правой, можно заключить следующее. В целом, алгоритм, разработанный ранее [3] для цветового пространства RGB и модифицированный под цветовое пространство Lab, работоспособен, результаты апробации вполне сопоставимы.

Некоторая разница в положении протестированных точек слева и справа на рис. 2 является следствием различия определений оттенка (Hue) в RGB и оттенка (hue) в Lab и соответственно различия шкал: H и h отнюдь не идентичны — они всего лишь коррелируют [9] (по этой же причине, кстати, на левой диаграмме рис. 2 не были проставлены значения оттенков в градусной мере). Как следствие, сформулируем вывод: в цветовом пространстве Lab производить системное контрастирование оттенков возможно — для такой процедуры предложен и опробован новый программный алгоритм.

Заключение. В перспективе возможно повысить эффективность разработанного алгоритма. Для этого, например, можно подставить в систему уравнений (2) нелинейную функцию $f(h)$. Следует отметить функциональную особенность описанного алгоритма. Помимо контрастирования, он позволяет системно выполнять еще одну типовую процедуру программной графики — в частном случае при $M=0$ (или при $f(h)=0$) осуществляется тонирование изображения оттенком, определяемым выбором опорной точки h_0 . Исходные значения яркости и насыщенности пикселей при таком тонировании сохраняются. Таким образом, можно, по-видимому, заключить, что поставленная задача решена: с помощью разработанного алгоритма удастся системно воздействовать на информативность цифровых изображений в цветовом пространстве Lab. В пользу актуальности такого приложения могут свидетельствовать тематические публикации [10, 11].

Следует отметить, что априори нельзя исключать и возможности ограничений на использование приведенного в статье базового алгоритма. Поскольку RGB и Lab — пространства разные, хотя бы по своему цветовому охвату, при использовании нового алгоритма могут возникать неоднозначности в областях, где эти цветовые пространства не пересекаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопенко В. Т., Трофимов В. А., Шарок Л. П. Психология зрительного восприятия. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. 73 с.
2. Гребенюк П. Е., Чмутин А. М. Оттеночный сдвиг и яркостный контраст: парадоксы Photoshop // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 8. 9 с. [Электронный ресурс]: <<http://www.web.snauka.ru/issues/2016/08/70870>>.
3. Андропова Н. Е., Гребенюк П. Е., Чмутин А. М. Алгоритм и программная реализация управления оттеночным контрастом цифровых изображений // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. 14 с. [Электронный ресурс]: <<http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3783>>.
4. Chmutin A. M., Rvacheva O. V. Virtual-optic technology for manuscript expertise // Proc. SPIE. 2007. Vol. 6594. P. 65941I.1—65941I.8.
5. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
6. Reis G. Photoshop CS3 for Forensics Professionals. Indianapolis: Wiley, 2007. 252 p.
7. Hunt R. W. G. The Reproduction of Color. Chichester: Wiley, 2004. 887 p.
8. Fairchild M. D. Color Appearance Models. Chichester: Wiley, 2005. 385 p.
9. Домасев М. В., Гнатюк С. П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. СПб: Питер, 2009. 224 с.
10. Алёхин А. А., Горбунова Е. В., Чертов А. Н., Шитов Д. Д. Об описании объектов анализа для оптико-электронных систем цветовой идентификации // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 12. С. 65—66.
11. Алёхин А. А., Горбунова Е. В., Кортаев В. В., Чертов А. Н. Основные принципы настройки цветowych оптико-электронных систем технического зрения промышленного назначения // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 4. С. 33—36.

Сведения об авторах

- Павел Евгеньевич Гребенюк** — аспирант; Волгоградский государственный университет, кафедра судебной экспертизы; E-mail: strat01@yandex.ru
- Алексей Михайлович Чмутин** — канд. техн. наук, доцент; Волгоградский государственный университет, кафедра информационных систем и компьютерного моделирования; E-mail: amchmutin@yandex.ru
- Владимир Анатольевич Чуйко** — Университет ИТМО, кафедра лазерных технологий и систем; ст. преподаватель

Поступила в редакцию
18.09.17 г.

Ссылка для цитирования: Гребенюк П. Е., Чмутин А. М., Чуйко В. А. Алгоритм преобразования контраста оттенков в цветовом пространстве Lab // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 1. С. 71—77.

ALGORITHM FOR HUE CONTRAST TRANSFORMATION IN THE LAB COLOR SPACE

P. E. Grebenyuk¹, A. M. Chmutin¹, V. A. Chuiko²

¹*Volgograd State University, 400062, Volgograd, Russia,
E-mail: strat01@yandex.ru*

²*ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia*

An analysis of modern computer graphics software tools to operate hues is carried out. The problem of hue-contrast transformation in the Lab color space is actualized. It is shown that the existing toolkit is not capable to provide system hue-contrast management in Lab. For this color space, an original algorithm of hue-contrast variation is presented and tested.

Keywords: hue of color, transformation of hues, contrast of hues, management of contrast, graphic information, color spaces RGB and Lab

Data on authors

- Pavel E. Grebenyuk** — Post-Graduate Student; Volgograd State University, Department of Court Expertize; E-mail: strat01@yandex.ru
- Alexey M. Chmutin** — PhD, Associate Professor; Volgograd State University, Department of Information Systems and Computer Simulation;
E-mail: amchmutin@yandex.ru
- Vladimir A. Chuiko** — ITMO University, Department of Laser Systems and Technologies; Senior Lecturer

For citation: Grebenyuk P. E., Chmutin A. M., Chuiko V. A. Algorithm for Hue contrast transformation in the Lab color space. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 1. P. 71—77 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-1-71-77