

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОЛОВЫХ РАЗЛИЧИЙ ФОРМЫ КЛЮВА МОНОМОРФНЫХ ПТИЦ ПО ФОТОГРАФИЯМ

А.А. Серов, А.А. Виноградов

Тверской государственной университет, г. Тверь, Россия

Настоящая работа знакомит читателя с возможностями разработанного нами ранее бесконтактного метода определения пола мономорфных птиц по форме клюва, суть которого в деталях излагалась ранее [1]. Рассматриваются основные подходы для сбора и статистического анализа табличных данных для определения пола птиц по изображениям клюва. Также изложен один из подходов к решению данной задачи с применением методов компьютерного зрения к изображениям головы птиц.

Ключевые слова: *профильные фотографии птиц, абрисы клюва, форма клюва, половые различия, табличные данные, компьютерные методы, бинарная классификация, компьютерное зрение, свёрточные нейронные сети.*

В течение длительного времени предпринимаются попытки разработать методику определения пола мономорфных видов птиц по морфологическим признакам, но эффективный метод для этой группы не был разработан (обзор методов представлен в [2]). А возможность определения пола этих птиц на расстоянии, по-отдельности, в разные сезоны года и в любом возрасте представляется необыкновенно важной. Это особенно актуально для редких видов, добыча и даже беспокойство которых нежелательны.

Материалом для анализа послужили крупномасштабные профильные фотографии голов мономорфных видов птиц установленного пола, полученные из ряда источников (личная коллекция фотографий, фотографии из музеев и сети Интернет, фотографии, сделанные в природе и предоставленные коллегами).

По фотографиям в графическом редакторе Adobe Photoshop CS2 в отдельных прозрачных слоях вычерчивались растровые абрисы голов птиц, включая прорисовку контуров разреза глаза, ноздри, границ надклювья и подклювья, а также границ оперения у основания лба и подклювья и формировались пакеты абрисов соответствующего пола данного вида птиц. В каждом из пакетов абрисы максимально возможно совмещались путем трансформации и вращения с сохранением пропорций по всем вышеназванным контурам и, визуально, по методу наименьших квадратов, вычерчивались растровые усредненные абрисы соответствующего пола (рис. 1). Затем, при максимально возможном совмещении усредненных абрисов самца и самки, сцепленных с абрисами соответствующего пола, все абрисы голов обоих полов окончательно подгонялись по размеру с сохранением пропорций. По результатам этого совмещения визуально определялись существенные половые различия формы клюва и реперные точки для его измерений (рис. 2).

Измерения абрисов клюва производились в графическом редакторе Adobe Photoshop CS2 в условных единицах (см). Данные измерений заносились в таблицу MS Excel.

Оказалось, что каждый вид птиц характеризуется специфическими половыми различиями формы клюва, которые сохраняются даже в рамках индивидуальной и подвидовой изменчивостей. При некоторой практике они хорошо распознаваемы в поле, на фотографиях, а также на музейных экспонатах должной сохранности. Для ряда исследованных нами видов: белолобый гусь *Anser albifrons*, бескрылая гагарка *Alca impennis*, гагарка *Alca torda*, люрик *Alle alle*, белый аист *Ciconia ciconia* [2], крапивник, обыкновенная пищуха [3] и др., по ряду размерных переменных и их отношениям, или по

значениям дискриминантных функций нам удалось выявить достоверные половые различия формы клюва. Наш метод достаточно чувствителен и позволяет также выявлять подвидовые и даже географические популяционные различия формы клюва мономорфных видов птиц, что было продемонстрировано на примере кедровки *Nucifraga caryocatactes* [4].

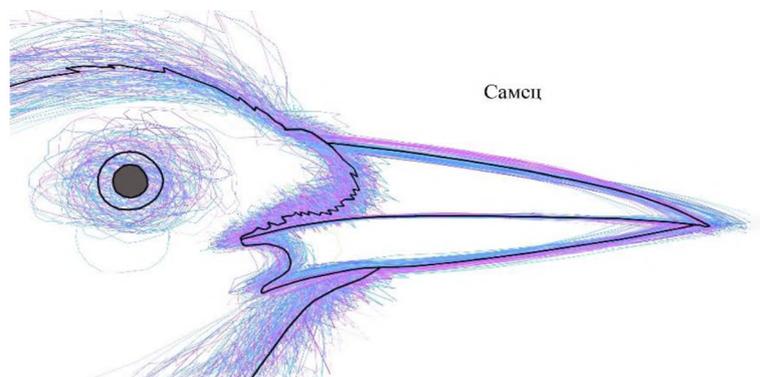


Рис. 1. Формирование пакета абрисов головы и клюва самцов кедровки *Nucifraga caryocatactes* с прорисовкой усреднённого абриса.

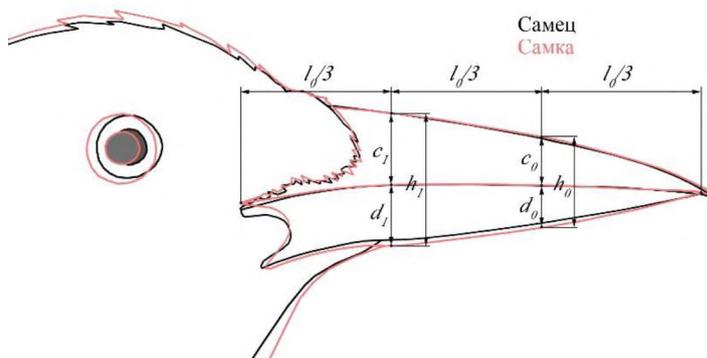


Рис. 2. Визуализация половых различий формы клюва кедровки и определение важнейших промеров по результатам совмещения усреднённых абрисов головы и клюва противоположных полов.

В компьютерном анализе этих изображений мы рассматриваем два основных подхода в оценке половых различий формы клюва мономорфных видов птиц, исследованных нами (кедровка, также *Porphyrio hochstetteri*, бородач *Gypaetus barbatus*): 1) с применением методов профессионального статистического анализа к полученным табличным данным промеров клюва; 2) с использованием технологий компьютерного зрения (CV) для изображений головы птицы. Рассмотрим более подробно оба подхода.

В рамках первого подхода нами использовался следующий алгоритм выполнения компьютерного анализа в статистической среде R и Python 3.

На первом этапе исследовалась важность полученных переменных (по группам) для задач классификации по полу. С этой целью использовались различные подходы: методы, связанные с деревьями решений и реализованные в пакете R Boruta, генетические алгоритмы, перестановочные технологии и др. Дальнейший отбор показателей проводился с учетом их коллинеарности. Для оценки значимости половых различий по этим выбранным переменным применялся многомерный дисперсионный анализ MANOVA и его робастные аналоги.

На следующем этапе на основе различных статистических методов создавались математические модели с оценкой точности классификации и др. При создании модели использовалась кросс-валидация. Для визуализации

полученных моделей использовались различные двумерные модели многомерных данных, например, метод дискриминантного анализа с использованием регрессии на основе частных наименьших квадратов PLS-DA [7].

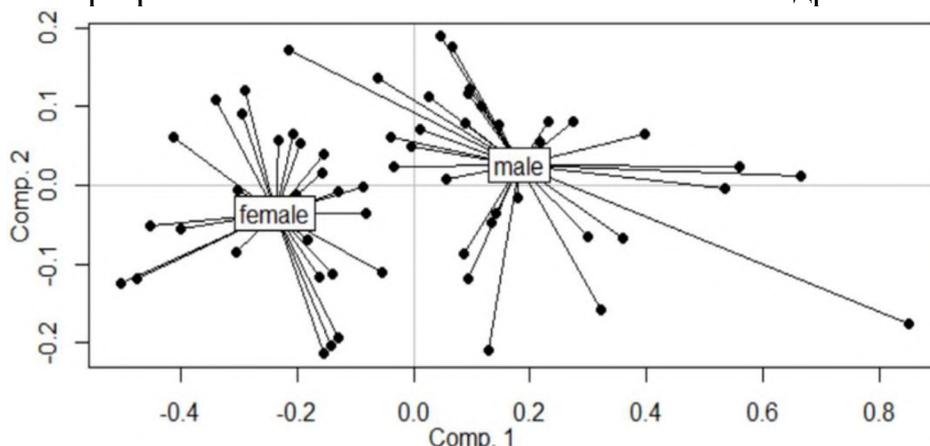


Рис. 3. Пример двумерной визуализации методом PLS-DA половых различий кедровки по индексам h_0/l_0 , d_0/c_0 , d_1/c_1 .

Так, на рис. 3 «облака» значений противоположных полов кедровок в главных осях по трём индексным переменным визуально разделены, что подтверждает выраженный половой диморфизм формы клюва у этого вида птиц.

По отдельным переменным вычислялись точки отсечения с указанием качества классификации. Строились различные модели классификации по полу с применением R пакета `caret` с кросс-валидацией [5]. Например, для такахе оказалось, что точность классификации и каппа Коэна для всех методов практически равны 100% (рис. 4).

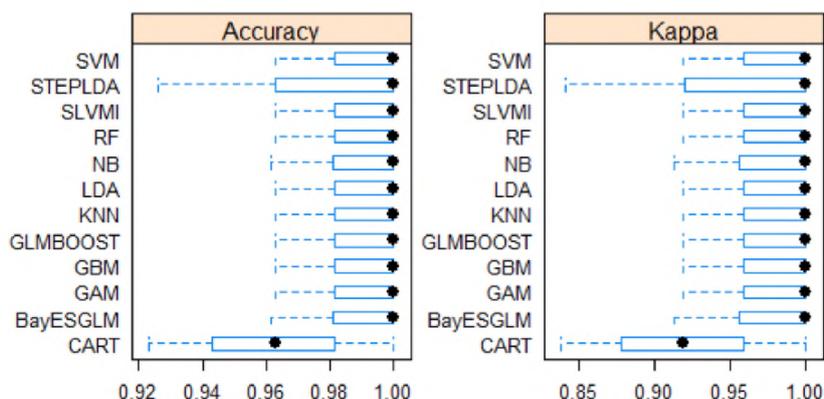


Рис. 4. Общие результаты для отдельных методов бинарной классификации по разделению такахе по половому признаку в анализе табличных данных формы клюва.

Методы SHAP оценки важности показателей классификации, реализованные в библиотеке `shap` среды Python 3 и пакете `shapper` статистической среды R, позволяют не только оценить важность показателей бинарной классификации для данного метода, но и визуализировать выполнение алгоритма отнесения данного экземпляра к наиболее вероятному классу. Приведем соответствующие примеры визуализаций половых различий формы клюва по трём индексным переменным для самки (рис. 5.) и самца (рис. 6) такахе.



Рис. 5. Визуализация алгоритма определения пола самки такахе (Sex = *female*) по методу Random Forest (RF).



Рис. 6. Визуализация алгоритма определения пола самца такахе (Sex = *male*) методом Random Forest (RF).

Оказалось, что в обоих случаях вероятность принадлежности данных экземпляров к соответствующим классам «*female*» и «*male*» составила 100%. Длина полосок, соответствующих переменным, пропорциональна их важности.

В настоящее время технологии машинного обучения активно внедряются во все сферы деятельности человека. Наиболее бурно развиваются технологии, связанные с компьютерным зрением CV (Computer Vision). В нашем случае эти технологии применялись к изображениям головы птиц для оценки половых различий. Полученные изображения приводились к одинаковому размеру 224 на 224 пикселя. Также использовалась аугментация и др. Данные делились на обучающую и тестовую выборки.



Рис. 7. Компьютерное представление изображения головы бородача (суперпиксели).

Для классификации создавалась многослойная свёрточная нейронная сеть CNN в среде Python 3 с применением модуля keras [6]. Процесс обучения нейронной сети на CPU занял несколько часов. Объем данных для обучения: 160 изображений в обучающей выборке и 30 – в тестовой. Удалось достичь точности разделения бородачей по половому признаку свыше 80% на тестовой выборке (рис. 8). Возможно, при дополнительной предварительной подготовке изображений и применении предобученных моделей на виртуальной машине в Google Cloud удастся добиться более значимых показателей точности в разделении полов.

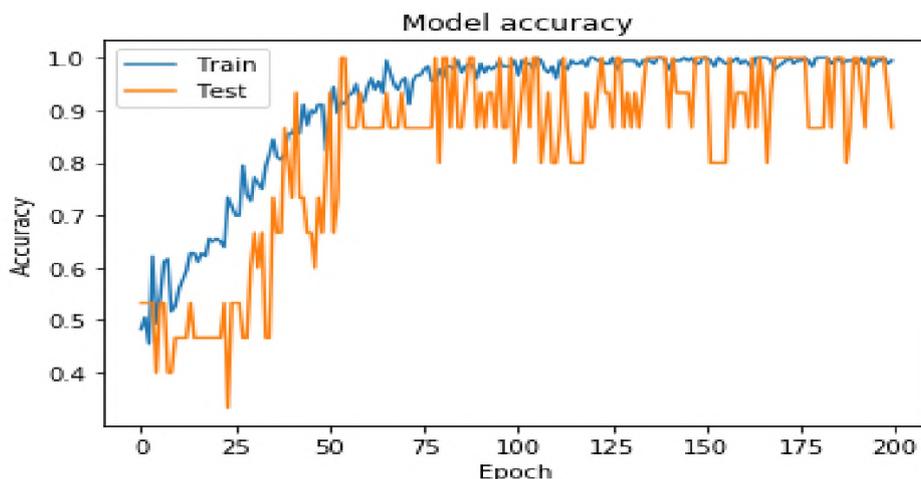


Рис. 8. Диаграмма изменения точности свёрточной нейронной сети на обучающей (Train) и тестовой (Test) выборках для определения пола бородача по эпохам обучения.

Полученную модель можно сохранить в специальном файле. В дальнейшем её можно применять к новым изображениям для определения пола птиц данного вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А.А. Метод выявления половых различий в строении клюва у мономорфных видов птиц: на примере белокрылой крачки (*Chlidonias leucopterus*: Sternidae) // Зоологический журнал. 2014. Т. 93, № 10. С. 1236–1249.
2. Виноградов А.А. Половые различия в абрисе клюва мономорфных видов птиц: морфометрия, охотничьи виды, экологическая морфология: дис. ... канд. биол. наук. М., 2017. 157 с.
3. Виноградов А.А. Попытка объяснения половых различий формы клюва некоторых мономорфных видов птиц с позиций функциональной морфологии // Орнитология: история, традиции, проблемы, перспективы: м-лы Всерос. конф., посвящённой 120-летию со дня рождения проф. Г.П. Дементьева. М.: Т-во научных изданий КМК. 2018. С. 83–89.
4. Виноградов А.А., Серов А.А. Попытка выявления половых и подвидовых различий формы клюва кедровки (*Nucifraga caryocatactes* L.) // Экология врановых птиц в естественных и антропогенных ландшафтах Северной Евразии: м-лы XII Всерос. конф. с междунар. участием. Кисловодск, 26–28 сентября 2019 г. Казань: ООО «Олитех». 2019. С. 26–28.
5. Шитиков В.К., Мастицкий С.Э. (2017) Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data Mining с использованием R. 351 с. URL: <https://github.com/ranalytics/data-mining>
6. Keras. Документация. [Электронный ресурс]. URL: <https://keras.io/>
7. Herve M. 2016. Aide-mémoire de statistique appliquée à la biologie. Construire son étude et analyser les résultats à l'aide du logiciel R [Электронный ресурс]. URL: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Herve-Aide-memoire-statistique.pdf>

COMPUTER METHODS IN RESEARCH OF SEXUAL DIFFERENCES OF THE BEACON FORM OF MONOMORPHIC BIRDS BY PHOTOS

A.A. Serov, A.A. Vinogradov
Tver State University, Tver, Russia

This work acquaints the reader with the possibilities of the previously developed non-contact method for determining the sex of monomorphic birds from the shape of the beak, the essence of which was described in detail earlier [1]. The main approaches to the collection and statistical analysis of tabular data for determining the sex of birds from images of the beak are considered. One of the approaches to solving this problem with the use of computer vision methods to images of the heads of birds is also described.

Keywords: profile photographs of birds, beak outlines, beak shape, gender differences, tabular data, computer methods, binary classification, computer vision, convolutional neural networks.

Об авторах:

Серов Анатолий Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического и естественнонаучного образования, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», e-mail: Serov.AA@tversu.ru

Виноградов Андрей Анатольевич – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры зоологии и физиологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», e-mail: Vinogradov.AA15@tversu.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ВУЗА С ЦЕЛЬЮ РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

С.И. Белозерова¹, О.И. Чуйко¹, Р.И. Баженов²

¹Хабаровский государственный университет экономики и права, г. Хабаровск, Россия

²Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, г.Биробиджан, Россия

Рассматриваются возможности электронной образовательной среды вуза для создания учебных курсов дисциплин, позволяющих формировать у обучающихся требуемые ФГОС компетенции. Выполнен анализ возможностей электронной образовательной среды на примере Хабаровского государственного университета экономики и права (ХГУЭП).

Ключевые слова: *электронная образовательная среда (ЭОС), компетенции, Moodle, Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС), электронные учебно-методические материалы (ЭУММ), электронные библиотечные системы (ЭБС).*

В настоящее время большое внимание в сфере оказания образовательных услуг уделяется компетентностному подходу. Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) определяют требования к результатам освоения программ бакалавриата, специалитета, магистратуры по различным направлениям и профилям обучения. Сформированность компетенций определяется степенью приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, в развитии которых огромная роль отводится ЭОС. Необходимость ее создания определена требованиями ст. 16 Федерального закона №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [1]. ЭОС позволяет предоставить авторизованный доступ к информационным ресурсам вуза, библиотечным системам, формированию портфолио и к текущей информации об учебном процессе с любого устройства, подключенного к сети интернет. Это дает возможность студентам и сотрудникам вуза применять современные информационные технологии в образовательном процессе. От того, каким образом будет реализована ЭОС, во многом зависит развитие требуемых ФГОС компетенций обучающихся и качество образования [2, 3].

На рис. 1 приведены компетенции, осваиваемые обучающимися по направлению: 09.03.03 «Прикладная информатика», профиль «Корпоративные информационные системы», определенные требованиями ФГОС. В рамках каждой привязанной к определенной дисциплине компетенции предусмотрено получение обучающимися необходимых знаний, умений и навыков.

Во многих вузах ЭОС создается на основе применения нескольких платформ и является системой, включающей компоненты учебной, внеучебной, научно-исследовательской деятельности, измерения, контроля и оценки результатов обучения [4, 5]. В Хабаровском государственном университете экономики и права ЭОС построена на основе совокупности технологических средств информационно-коммуникационных технологий, комплексе