
Биоидентификация планарий после декапитации

A Preprint

Никифорова Мария Дмитриевна
Факультет Вычислительной математики и кибернетики
МГУ имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия
nikiforova.maria.d@gmail.com

Местецкий Леонид Моисеевич
Факультет Вычислительной математики и кибернетики
МГУ имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия
mestlm@mail.ru

Abstract

В настоящей работе предлагается метод для персональной идентификации особей отряда планарии. Планарии известны своей способностью к регенерации и являются популярной биологической моделью. Идентификация отдельных особей планарий полезна для автоматизации биологических исследований и повышения точности измерений в экспериментах. В работе предлагается метод идентификации планарий по их текстурному профилю, который характеризует набор, форму и расположение светлых пятен на теле червя — участков без пигмента. Предложенный метод ставит целью решить задачу идентификации планарии после декапитации(отсечения головной части).

Keywords Распознавание изображений · Задача о назначениях · Computer vision

1 Introduction

Пресноводные плоские черви *planaria* являются классической биологической моделью. Способность взрослых планарий к морфогенезу, то есть к регенерации и бесполому размножению, является наиболее выраженной в животном мире Elliott and Alvarado [2012] Karami et al. [2015a].

Планарии - единственные животные в мире, которые способны восстанавливать свою центральную нервную систему и головной нервный узел, и этот процесс происходит за очень короткое время, от одной до трех недель. Tiras et al. [2015a] Tiras et al. [2021a] Развитие цифровых технологий для создания и анализа изображений позволило разработать количественное описание морфогенеза планарии *in vivo* Tiras et al. [2015b] Tiras et al. [2021b].

Планарии также являются одним из потенциально многообещающих объектов в изучении клеточных основ иммунитета, который у планарий протекает путем фагоцитоза пищи всеми клетками планарии, за исключением нервных и половых клеток. Rao et al. [2021] Учитывая нынешний интерес к различным биологическим моделям , связанным с проблемами клеточного иммунитета, планарии могут стать одной из перспективных моделей для изучения фагоцитоза *in vivo* Sheimann and Sakharova [1974] Peiris et al. [2014a] Apyari et al. [2021].

Однако широкому использованию планарий для решения различных фундаментальных и прикладных задач препятствует ряд нерешенных объективных проблем, одной из которых является проблема идентификации особей планарий в ходе эксперимента. Qu and Peng [2010] Peng et al. [2007]

Особенностью биологии бесполой расы планарий *Girardia tigrina* является их предпочтение к групповому обитанию во время экспериментов. Peiris et al. [2014b] Кроме того, планарии этого вида, сидящие в одиночестве, как правило, размножаются через 24 часа, что мешает проведению достаточно длительных экспериментов, поэтому во время эксперимента таких планарий содержат в группе из 25-30 особей, чтобы ограничить бесполое размножение Tiras et al. [2018] Sheimann and Sakharova [1974]. Однако при групповом содержании невозможно отличить планарий друг от друга, что ограничивает возможность оценки состояния индивидуальных характеристик протекания определенных физиологических процессов в течение нескольких дней. Mutyonenko and Song [2010] Mestetskiy and Semenov [2008]

В этой работе была предпринята попытка идентифицировать планарий на основе особенностей структуры поверхности их тела. Видовое название планарий, *Girardia tigrina*, связано с пятнистой структурой их поверхности. Lu et al. [2021] Это обстоятельство дает возможность использовать особенности текстуры поверхности тела отдельных планарий в качестве основы для их персональной идентификации. Liu et al. [2019] Karami et al. [2015b] Это позволит оценить динамику морфогенеза и фагоцитоза планарий *in vivo*, что даст основу для создания количественных моделей течения этих биологических процессов. Hughes and Burghardt [2017] Freytag et al. [2016] Такие модели, в свою очередь, будут полезны при изучении возможностей управления длительными сложными биологическими процессами на уровне всего организма. Flygare et al. [2013]

2 Постановка задачи

Имеется набор изображений особей отряда планарии до декапитации(отсечения головы) и после. Требуется научиться идентифицировать особей в процессе регенерации.

3 Данные

Датасет для решения задачи состоит из 579 изображений планарий. В датасете представлены изображения 20 особей. Для каждой особи есть 5 или 6 её изображений до декапитации и от 4 до 8 изображений через 1, 2, 3, 4, 6 или 10 дней после декапитации. Изображения нормализованы: планарии сегментированы, их форма и размер стандартизованы. Размер изображений составляет 1024×144 пикселя, расширение - .png, цветовая модель - RGB. 1

4 Метод решения

Идея решения основывается на следующем наблюдении: пятна эпителия светлого цвета на поверхности тела планарии имеют довольно стабильную топологическую структуру, по которой можно попробовать отличить особей. 2

Предлагается выделить светлые пятна с изображения, отобрать среди них наиболее стабильные и характерные, составить из них шаблон путём усреднения, и проводить идентификацию на основе сравнения новых текстурных профилей с шаблоном.

4.1 Извлечение текстурного профиля

Для того, чтобы выделить участки светлого пигмента, изображение переводилось в оттенки серого. Далее к нему применялся фильтр Гаусса с параметром $\sigma = 2$, затем вычислялся Лапласиан и снова применялся фильтр Гаусса с параметром $\sigma = 1$. После этого проводилась бинаризация по порогу 200. Чтобы удалить артефакты, связанные с краевыми эффектами, но не несущие значимой информации, выделялись связанные компоненты и отбрасывались те из них, которые имели пересечение с фоном. Также из результирующего текстурного профиля отбрасывались пятна, которые имели площадь менее 5 пикселей. 3

4.2 Сравнение паттернов пятен

Теперь будем рассматривать задачу сопоставления пятен двух текстурных профилей одной особи.

Наивное наложение изображений друг на друга в данном случае будет давать плохой результат, так как даже в рамках одного дня группы пятен флуктуируют. Поэтому зададим меру сходства двух пятен и будем искать на её основе оптимальное с точки зрения суммарного сходства сопоставление. 4



Рис. 1: Примеры входных данных



Рис. 2: Пример стабильных фрагментов текстуры планарии

Запишем формально задачу сопоставления паттернов пятен для двух планарий. Пусть у первой особи количество выделенных пятен равно n , у второй - m . Тогда мы хотим сопоставить пятну на первой планарии пятно на второй планарии, принимая во внимание следующие факты:

- Большое значение имеет координата центра пятна
- Цельное пятно на одной планарии может соответствовать нескольким разным близкорасположенным пятнам на другой планарии, но таких пятен не может быть больше двух
- Часто существенную роль играет не только расположение пятна, но еще и его форма
- Некоторые пятна могут остаться несопоставленными, но всего должно быть найдено хотя бы k пар

Таким образом, получаем следующую оптимизационную задачу:

$$\sum_{i,j} c_{ij} a_{ij} \rightarrow \min$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \leq 2$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} \leq 2$$

$$\sum_{i,j} a_{ij} \geq k$$

$$a_{ij} \in \{0, 1\}, c_{ij} \in$$

где c_{ij} - мера того, насколько сильно i -е пятно первого профиля отличается от j -го пятна второго профиля. В данной задаче

$$c_{ij} = dist(center_i, center_j) + 10 * (1 - IoU(spot_i, spot_j))$$

, где $dist(center_i, center_j)$ - евклидово расстояние между центрами масс пятен, $IoU(spot_i, spot_j)$ - Intersection over Union для двух пятен.

4.3 Идентификация планарий

Идентификация планарий основывается на сравнении с эталоном каждой особи и выбором в качестве ответа той, суммарное совпадение с которой максимально. В данной работе в качестве эталона берется так называемый паспорт планарии.

4.3.1 Построение паспорта

Будем называть паспортом планарии изображение того же размера, что и остальные фотографии, полученное путём обобщения текстурных профилей и выделения наиболее характерных паттернов для конкретной планарии.

Паспорт строится путём последовательного сопоставления текстурных профилей планарии до декапитации и включения в паспорт пятен, расположенных на середине отрезка, соединяющего два найденных пятна, и имеющих форму объединения двух сопоставленных пятен.

4.3.2 Линейное преобразование

Для того, чтобы сопоставить изображение планарии после декапитации с изображением нулевого дня, необходимо задать преобразование для местоположения пятен, так как после декапитации паттерны пятен смешаются относительно тела планарии. 6

Для решения этой проблемы предлагается сжимать изображение вдоль вертикальной оси относительно самой нижней хвостовой точки на коэффициент α , конкретное значение которого подбирается путём перебора для обеспечения наилучшего сопоставления с паспортом. В данном случае использовался перебор параметра α по сетке $[0.9, 0.91, \dots, 0.99, 1.0]$. Так как коэффициент сжатия небольшой, то форма пятен также меняется незначительно. Такие изменения сопоставимы с неточностями при извлечении текстурного профиля. После сжатия изображение сверху дополняется нулями. Эта область соответствует области отсечённой головы.

Таким образом, полная процедура идентификации планарии выглядит следующим образом:

1. Построение паспортов всех планарий по изображениям до декапитации
2. Поиск подходящего коэффициента α
3. Сравнение сжатого текстурного профиля планарии со всеми паспортами, выбор среди них того, с которым сходство максимальное.

5 Эксперименты

Рассмотрим распределение меры сходства на примере двух хороших с точки зрения качества изображений планариях.

В качестве меры сходства берётся суммарная площадь пересечения всех пятен с паспортом. 5

Как видно по графику, в данном случае можно выставить порог для принятия решения об отношении планарии к данному классу равным, например, 4000, и в таком случае идентификация будет верной.

Теперь посмотрим на распределение сходства для двух планарий, у которых качество исходных изображений другое. 5

Подобные распределения, когда невозможно выставить порог, четко разделяющий классы, возникают либо когда текстурный профиль содержит слишком много пятен, либо когда исходное изображение некачественное, и пятен наоборот выделяется слишком мало. 7

6 Заключение

В ходе выполнения работы было выяснено, что задача биометрической идентификации планарий после декапитации решается классическими методами обработки изображений. Однако качество исходных изображений играет существенную роль. В связи с этим объектом дальнейших исследований могут стать методы улучшения полученных изображений или методы выделения наиболее значимых пятен. Идеи, изложенные в данной работе, можно применить и для идентификации других животных, например, зебр, узор полосок у которых является уникальными.

Список литературы

- Sarah A. Elliott and Alejandro Sánchez Alvarado. The history and enduring contributions of planarians to the study of animal regeneration, 2012.
- Ali Karami, Hamid Tebyanian, Vahabodin Goodarzi, and Sajad Shiri. Planarians: an *in vivo* model for regenerative medicine, 2015a.
- K. Tiras, O. Petrova, S. Myakishcheva, A. Deev, and K Aslanidi. Minimizing of morphometric errors in planarian regeneration., 2015a.
- K. Tiras, L. Mestetskiy, S. Nefedova, and N. Lomov. Registration of regeneration in planarians from photographic images, 2021a.
- K. Tiras, O. Petrova, S. Myakishcheva, A. Deev, and K. Aslanidi. Minimizing of morphometric errors in planarian regeneration, 2015b.
- K. Tiras, L. Mestetskiy, S. Nefedova, and N Lomov. Registration of regeneration in planarians from photographic images, 2021b.
- K. K. Rao, Grabow, J. P. L. C., Muñoz-Pérez, D. Alarcón-Ruales, and R. B. R Azevedo. Sea turtle facial recognition using map graphs of scales, 2021.
- I. M. Sheimann and N Sakharova. On a peculiarity of planarian digestion, 1974.
- T. Peiris, K. Hoyer, and N Oviedo. Innate immune system and tissue regeneration in planarians: An area ripe for exploration, 2014a.
- V. Apyari, K. Tiras, S. Nefedova, and M. Gorbunova. Non-invasive *in vivo* spectroscopy using a monitor calibrator: A case of planarian feeding and di- gestion statuses., 2021.
- L. Qu and H Peng. A principal skeleton algorithm for standardizing confocal images of fruit fly nervous systems, 2010.
- H. Peng, F. Long, X. Liu, S. K. Kim, and E. W. Myers. Straightening *caenorhabditis elegans* images, 2007.
- T. Peiris, K. Hoyer, and N. Oviedo. Innate immune system and tissue regeneration in planarians: An area ripe for exploration, 2014b.
- K. P. Tiras, S. Nefedova, K. Novikov, V. Emelyanenko, and S. Balmashov. On a peculiarity of planarian digestion, 2018.
- A. Myronenko and X Song. Point set registration: Coherent point drift, 2010.

- L. Mestetskiy and A Semenov. Binary image skeleton — continuous approach, 2008.
- X. Lu, Y. Wang, S. Fung, and X. Qing. I-nema: A biological image dataset for nematode recognition, 2021.
- C. Liu, R. Zhang, and L. Guo. Part-pose guided amur tiger re-identification, 2019.
- A. Karami, H. Tebyaniyan, V. Gooadrzi, and S. Shiri. Planarians: an *in vivo* model for regenerative medicine, 2015b.
- B. Hughes and T. Burghardt. Automated visual fin identification of individual great white sharks, 2017.
- A. Freytag, E. Rodner, M. Simon, A. Loos, H. Kühl, and J. Denzler. Chimpanzee faces in the wild: Log-euclidean cnns for predicting identities and attributes of primates, 2016.
- S. Flygare, M. Campbell, R. M. Ross, B. Moore, and M. Yandell. Imageplane: An automated image analysis pipeline for high-throughput screens using the planarian, 2013.

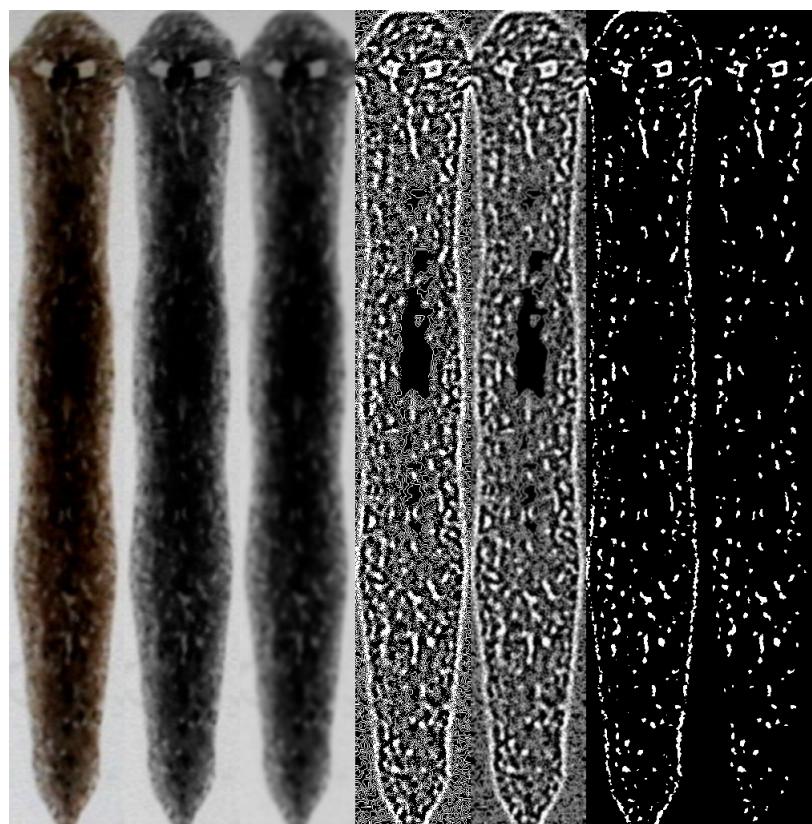


Рис. 3: Пример выделения текстурного профиля планарии. (1) - исходное изображение, (2) - изображение в оттенках серого, (3) - после применения фильтра Гаусса, (4) - после вычисления Лапласиана, (5) - после применения второго фильтра Гаусса, (6) - бинаризация, (7) - удаление лишних артефактов

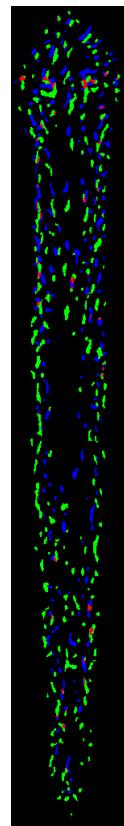


Рис. 4: Пример, когда два текстурных профиля одной и той же планарии в рамках одного дня практически не имеют пересечений(синий и зеленый цвета соответствуют двум разным изображениям, красным отмечено их пересечение)

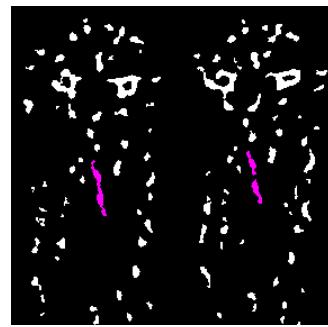


Рис. 5: Пример, когда цельное пятно соответствует двум раздельным пятнам

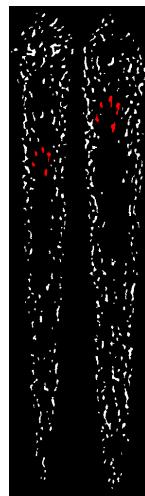
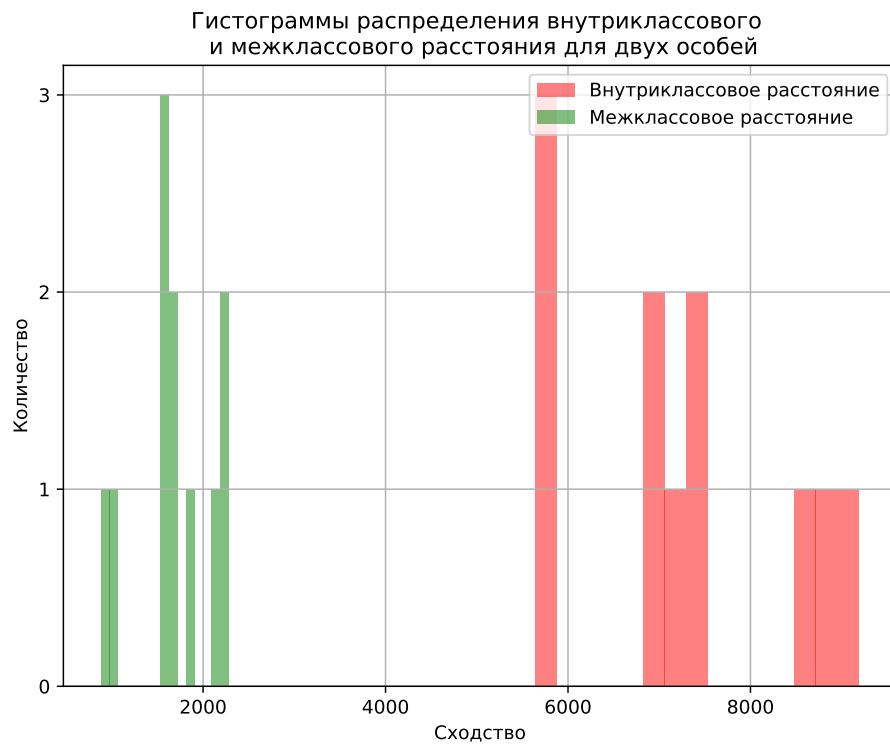


Рис. 6: Пример смещения паттернов пятен на изображении при декапитации планарии



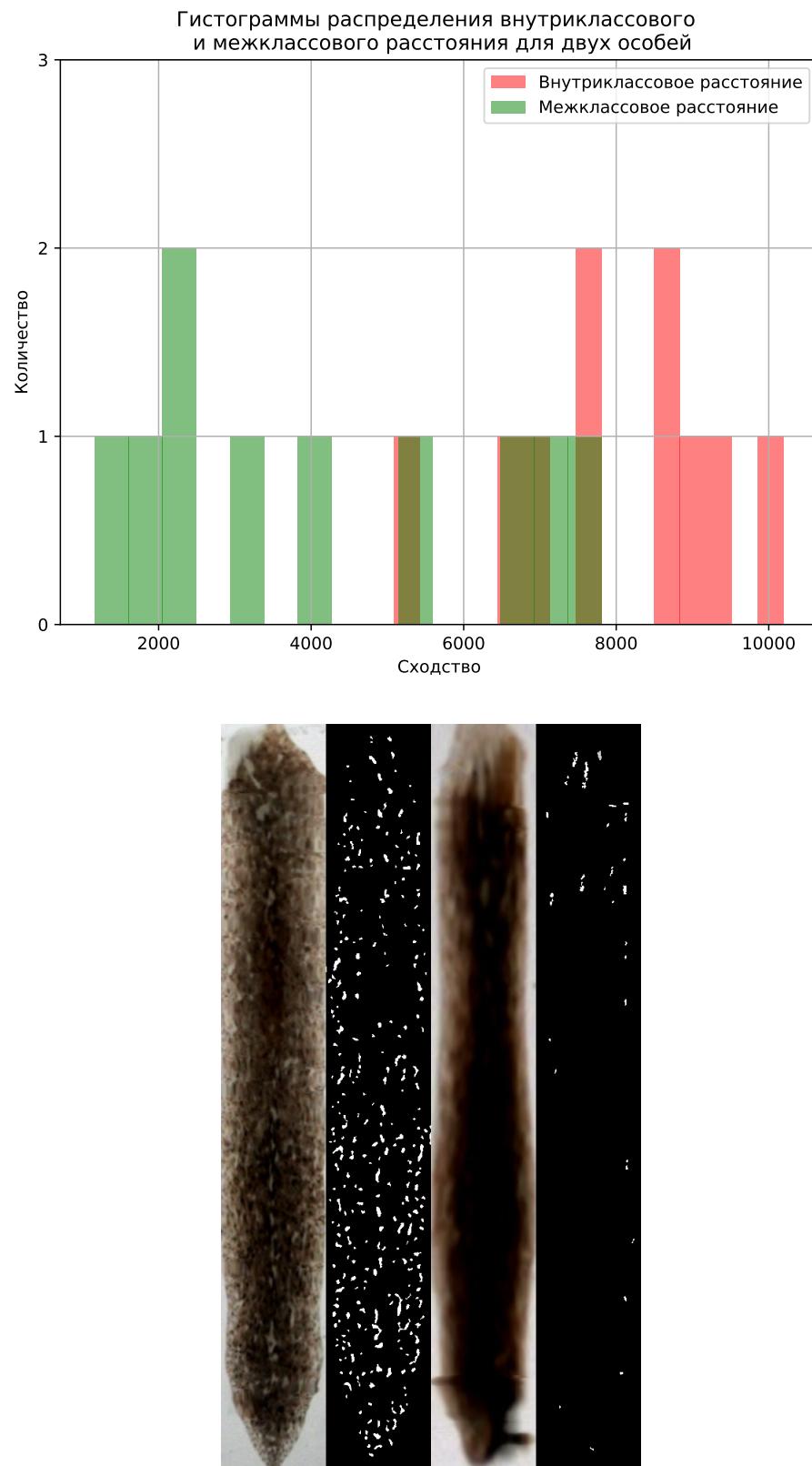


Рис. 7: Пример фотографии и выделенного текстурного профиля одной и той же планарии во 2 и 6 дни после декапитации