

Алгоритм определения групп крови по изображениям серологических планшетов

С.А. Корчагин
Московский Государственный
Университет им.
М.В.Ломоносова
Москва, Россия;
Институт проблем передачи
информации им. А.А. Харкевича
Москва, Россия
korchagin.sergey.97@gmail.com

Е.Е. Зайченкова
Московский физико-технический
институт (НИУ)
Долгопрудный, Россия;
Институт проблем передачи
информации им. А.А. Харкевича
Москва, Россия
zaichenova.ee@phystech.edu

Д.А. Шарапов
Московский физико-технический
институт (НИУ)
Долгопрудный, Россия;
Институт проблем передачи
информации им. А.А. Харкевича
Москва, Россия
sharapov.d@phystech.edu

Е.И. Ершов
Институт проблем передачи
информации им. А.А. Харкевича
Москва, Россия
e.i.ershov@gmail.com

Ю.В. Буторин
ООО «СИНТЭКО-КОМПЛЕКС»
Электрогорск, Россия
byv@synteco.ru

Ю.Ю. Венгеров
ООО «СИНТЭКО-КОМПЛЕКС»
Электрогорск, Россия
yuv@synteco.ru

Аннотация—В работе рассматривается система медицинской экспресс-диагностики *in vitro*, предназначенная для определения группы крови путем анализа реакции агглютинации (склеивания эритроцитов). После забора крови и заполнения серологического планшета лаборанту достаточно разместить его в специальном сканере для последующего автоматического определения группы крови. Оцифровка и автоматическое распознавание планшетов позволяет решить сразу две критически важные задачи: хранение результатов анализа и контроль человеческого фактора. Предлагаемый алгоритм основан на использовании преобразования Хафа для определения позиции планшета и детекции лунок. Оценка степени агглютинации осуществляется легковесной свёрточной нейронной сетью. Точность алгоритма оценки степени агглютинации на наборе данных из 1574 лунок составила 0,96. Итоговое определение групп по наиболее распространенным антигенам в системах АВО, RH и KEL осуществляется безошибочно.

Ключевые слова — агглютинация, группа крови, классификация, преобразование Хафа, глубокое обучение.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в медицинской диагностике *in vitro* выделяют три основных методики проведения анализов: автоматическая — используются полностью автоматизированные системы (от момента забора крови до получения вердикта), ручная — исследование осуществляется лаборантом, и полуавтоматическая — лаборант подготавливает реагенты и тест-систему, а последующий анализ проводится автоматически. Все методы в той или иной степени распространены в клиниках, но, как показывает практика, ручной труд не застрахован от человеческой ошибки, а полностью автоматические системы, хотя и являются наиболее производительными — чрезмерно дорогие. В данной работе рассматривается полуавтоматический случай, позволяющий сохранить баланс между контролем человеческого фактора и стоимостью используемого оборудования, благодаря чему предлагаемая система наиболее актуальна для небольших лабораторий и домашнего использования. Кроме того, она позволяет

оцифровывать полученные данные для их дальнейшего безвременного хранения и более удобного анализа.

В плазме крови содержатся антитела — белки, нейтрализующие чужеродные тела при их попадании в организм, а на поверхности эритроцитов расположены антигены — молекулы, связывающиеся с антителами. Каждая группа крови задается некоторой комбинацией антигенов. Взаимодействие определенных антигенов и антител вызывает агглютинацию, поэтому переливание человеку крови несовместимой группы может повлечь серьезные последствия, такие как летальный исход для пациента и уголовная ответственность для врача.

Для определения конкретной группы крови используется методика анализа реакций агглютинации на серологическом планшете, смотри Рис. 2. В работе предлагается алгоритм для определения группы крови по изображению серологического планшета для трёх наиболее часто используемых систем: АВО (I-IV группы крови), RH (Резус) и KEL (Келл).

2. ОПИСАНИЕ НАБОРА ДАННЫХ

Набор данных состоит из 43 изображений планшетов модели «Планшет многоцветный для проведения серологических реакций по ТУ 32.50.50-105-51203590-2020 на 42 лунки прозрачный (Медиклон)», полученных с помощью сканера «Эксперт-Лаб». Лунки на планшетах круглые, расположены в шесть горизонтальных и семь вертикальных рядов. Каждая строка соответствует отдельному образцу, а каждый столбец — реагенту, с которым смешивают образец крови. Итого планшеты содержат суммарно 258 различных образцов крови и 1574 пустые лунки. Для каждого планшета получена разметка степени агглютинации в каждой лунке и истинной группы крови из медицинских карт доноров всех образцов. Каждая система групп крови включает несколько антигенов, часть из них вызывают более сильную иммунную реакцию по сравнению с остальными. Поэтому в данной работе мы разделили антигены на основные (антигены А, В из системы АВО, D из Rh и K из Kell) и побочные (все остальные).

3. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУППЫ КРОВИ

А. Построение «решётки»

Путем многократного применения быстрого преобразования Хафа [1] строится «решётка», образованная прямыми, проходящими в промежутках между лунками (смотри Рис. 1).

В. НАХОЖДЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ПЛАНШЕТА

При помощи «решётки» определяется угол наклона планшета на изображении относительно горизонтального края изображения. Для этого вычисляется Хаф-образ пиков Хаф-образов исходного изображения. Средняя точность нахождения угла наклона составила $0,427^\circ$. Среднее значение относительной метрики, соответствующей процентной ошибке в размерах одной лунки $r = \frac{m \cdot \tan \theta}{D}$, где m — ширина изображения, θ — угол наклона планшета, а D — диаметр лунки, равно 7,94%.

С. Выделение границ лунок на скане планшета

Выделение границ лунок осуществляется при помощи градиентного преобразования Хафа для окружностей [2], входные параметры которого оцениваются на основе шага «решётки». Из найденных окружностей убираются те, что не соответствуют предполагаемому регулярному расположению лунок на планшете (выбросы), после чего радиус оставшихся приравнивается к медианному, а их центры выравниваются так, чтобы окружности в одном ряду имели одинаковую (соответственно горизонтальную или вертикальную) координату. Пример предобработки изображения (после первых 3 шагов алгоритма) приведен на Рис. 1.

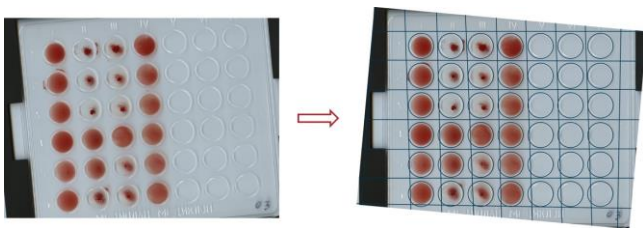


Рис. 1. Пример предобработки изображения

Оценка точности детекции лунок осуществлялась так: лунка считалась распознанной корректно, если расстояние Фреше [3] между соответствующими найденной и истинной окружностями было не более 10% от радиуса истинной окружности. Все лунки для данного порога были распознаны верно.

Д. Определение агглютинации

Для определения степени агглютинации набор лунок был случайно разделён на обучающую и тестовую выборки в пропорции 2:1.

На основе тренировочного набора была обучена свёрточная пятислойная нейронная сеть (для каждого слоя: окно свёртки 3×3 , ReLU, max pooling) с двумя полносвязными слоями из 1024 и 400 нейронов и сигмоидной активацией в конце. Обучение проходило в течение 150 эпох с использованием оптимизатора adam. В качестве аугментации использовались случайный

поворот изображения и случайный небольшой сдвиг границ изображения.

Ассурасу полученного решения составила 0,957, значения Precision и Recall приведены в Табл. I.

ТАБЛИЦА I. PRECISION И RECALL ОПРЕДЕЛЕНИЯ АГГЛЮТИНАЦИИ

	Precision	Recall
Положительная агглютинация	0,984	0,919
Отрицательная агглютинация	0,930	0,986

Е. Вынесение вердикта о группе крови

По картине агглютинации в лунках (наличие/отсутствие) для каждого анализа выносится вердикт о группе крови по соответствующей системе. В данной работе группа крови определялась исключительно для основных антигенов, описанных в Разделе 2. На Рис. 2 представлен пример итогового результата работы системы.

Образец	A	B	D	K	Вердикт
1					A(II) Rh+ K-
2					AB(IV) Rh- K+
3					O(I) Rh+ K+
4					B(III) Rh+ K-

Рис. 2. Определение вердикта для 4 различных образцов

Предложенный алгоритм определения группы крови для систем с основными антигенами отработал безошибочно для всех трех систем. Такое качество объясняется выбором наиболее экспрессивных антигенов. Среднее время анализа изображения одного планшета составляет 10 секунд, но может быть значительно уменьшено.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен новый алгоритм анализа изображений серологических планшетов. Точность определения степени агглютинации в лунках составляет 0,96, а финальный вердикт для основных антигенов уже выполняется безошибочно. В дальнейшей работе будут рассматриваться более сложные случаи слабо-выраженной агглютинации, а также вопрос определения случаев неверно подготовленных для проведения тестирования планшетов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ершов, Е. И. Обобщение быстрого преобразования Хафа для трехмерных изображений / Е. И. Ершов, А. П. Терехин, Д. П. Николаев // Информационные процессы. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 294-308.
- [2] Bradski, G. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library / G. Bradski, A. Kaehler – O'Reilly Media, Inc, 2008. – 555 p.
- [3] Figueira, J. P. Fast Discrete Fréchet Distance / J. P. Figueira. – 2020.