

Применение методов свободного синтаксиса для распознавания пиктокубиков в курсе «Алгоритмика для дошкольников»

А. Г. Леонов¹, К. А. Машенко², Н. С. Мартынов³, М. В. Райко⁴,
А. И. Стрекалова⁵, Т. Г. Хан⁶.

¹ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, МПГУ, Москва, Россия, Государственный университет управления, Москва, Россия, dr.l@vip.niisi.ru;

²ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, Государственный университет управления, Москва, Россия, kirill.mashchenko@vip.niisi.ru;

³ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, nikolai.martynov@math.msu.ru;

⁴ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, rayko@niisi.ru;

⁵ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, anastasiia.strekalova@math.msu.ru;

⁶ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, tatyankhan@bk.ru.

Аннотация. Статья рассматривает вопросы безопасной интеграции цифровых технологий в образовательные процессы детей старшего дошкольного возраста в соответствии с нормами СанПин. Основное внимание уделяется методике обучения алгоритмике с использованием образовательной среды ПиктоМир, которая включает в себя программное обеспечение и объекты реального мира, такие как радиоуправляемые роботы-игрушки, мягкие игрушки, кубики и магнитные карточки с пиктограммами команд, а также сочленяемые коврики. Описывается поэтапный процесс перехода от материального мира к виртуальному для углубленного освоения понятий. Кроме того, статья представляет подход к решению задачи детектирования объектов с использованием сверточных нейронных сетей, применяемый для проведения алгоритмийад. Учащиеся выполняют задачи, используя физические объекты, такие как пиктокубики, для создания программ, после чего полученные программы переносятся преподавателем в приложение ПиктоМир. Этот метод позволяет улучшить результаты освоения основ программирования у детей старшего и среднего дошкольного возраста.

Ключевые слова: дошкольник, младшеклассник, алгоритмика, робот, бестекстовый, безэкранный, кубики, пиктограммы, ПиктоМир, распознавание пиктокубиков

1. Введение

В условиях стремительной цифровизации образовательных процессов важным пунктом является их безопасная интеграция. Согласно нормам СанПин, детям старшего дошкольного возраста (5-7 лет) допустимо взаимодействовать с цифровыми устройствами 5-7 минут в день. При обучении детей данной возрастной группы преимущественно используются развивающие, безопасные для их здоровья игры.

По методике, разработанной в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН [1], обучение дошкольников алгоритмике проводится с помощью образовательной среды ПиктоМир [2]. Эта среда состоит не только из программной системы ПиктоМир, установленной на компьютерах детей, но и из Учебно-Методического комплекта, включающего объекты реального мира. В комплект входят:

- радиоуправляемые роботы-игрушки,

- мягкие игрушки, изображающие экраных роботов,
- кубики и магнитные карточки с пиктограммами команд для безэкранного составления программ,
- сочленяемые коврики, собирающиеся в игровые поля, по которым движутся роботы. На первых занятиях дети в основном взаимодействуют с материальными объектами (рис. 1). Затем к этим взаимодействиям подключается компьютер, управляющий реальными роботами-игрушками по программам, составленными детьми из привычных им деревянных кубиков. После освоения основных понятий в смешанной компьютерно-материальной среде, дети легко погружаются в виртуально-экранный мир, где действуют цифровые двойники реальных роботов. Такой метод постепенного перехода от материального мира к виртуальному способствует глубокому и прочному освоению важных понятий.



Рис. 1. Дети составляют программу из пиктоблоков и пикткарточек с командами роботов.

На гранях деревянных кубиков и на магнитных карточках изображены пиктограммы – знаки, обозначающие команды для роботов-исполнителей в цифровой среде ПикоМир. Решая предложенные задачи, дети собирают программу из пиктограмм.

Процесс переноса программы выполняется педагогом-воспитателем и является рутинным процессом, занимающим достаточно много времени. В связи с этим перед разработчиками ЦОС всталась задача интегрировать в приложение модуль компьютерного зрения, который позволит переносить решение из реального мира в виртуальный посредством одной фотографии.

Такого рода проблема в компьютерном зрении относится к задаче детектирования объектов. На текущий момент это с успехом решается за счет использования сверточных нейронных сетей. Эти сети имитируют биологический процесс обработки визуальной информации и способны автоматически выделять характеристики объектов, позволяя компьютеру распознавать их на изображениях. Эффективность сверточных нейронных сетей в области детектирования объектов делает их важным инструментом для различных приложений, таких как автоматическое распознавание лиц, медицинская диагностика и автономные транспортные системы.

2. Технические требования

Сегодня, благодаря разработанной Российской Академией Наук инновационной методике, азы программирования успешно внедрены в 600+ детских садах России. Десятки тысяч дошкольников в возрасте 6-7 лет сейчас с удовольствием и без труда осваивают этот подход [3].

Приложение «ПикоМир» распространяется на операционные системы Android и iOS и после установки может работать без сети Интернет. Также планшеты и мобильные устройства, используемые в учреждениях, как правило, имеют скромные технические характеристики, что также необходимо учитывать при разработке. В связи с этим к разрабатываемому модулю детек-

тирования пиктограмм предъявляются требования интеграции в приложение без необходимости подключения к сети Интернет и оптимизации под работу на слабых устройствах. Само детектирование объектов должно происходить по фотографии с выложенным из пиктограмм решением. Поскольку решением является комбинация пиктограмм в определенном порядке, результатом детектирования должна быть таблица, где они располагаются в той же последовательности [4].

3. Решение задачи

Сверточные нейронные сети для детектирования объектов [5, 6] архитектурно подразделяются на два вида: одноэтапные и двухэтапные. Одноэтапные архитектуры подразумевают одиничный прогон изображения через сеть, двухэтапные же имеют этап уточнения задетектированных объектов. За счет единичного прогона изображения одноэтапные архитектуры имеют меньшее число слоев, что позволяет им работать быстрее двухэтапных. Одной из одноэтапных архитектур является YOLOv5 (You Only Look Once) [7]. К её преимуществам можно отнести: высокое качество детектирования объектов, высокую скорость работы, наличие нескольких версий, которые зависят от размера сети, а также удобный функционал для трансферного обучения и валидации результатов, реализованный с помощью фреймворка PyTorch [8]. Также одним из решающих факторов является возможность конвертации сети в форматы, поддерживаемые операционными системами Android и iOS (.tflite, .torchscript и .mlmodel). Программная реализация модели, а также скрипты для обучения и конвертации были взяты из официального репозитория YOLOv5 на GitHub [9].

Для обучения модели был собран набор данных на 10 000 изображений, где были размечены 15 классов пиктограмм. Пример размеченного изображения представлен на рисунке 2.

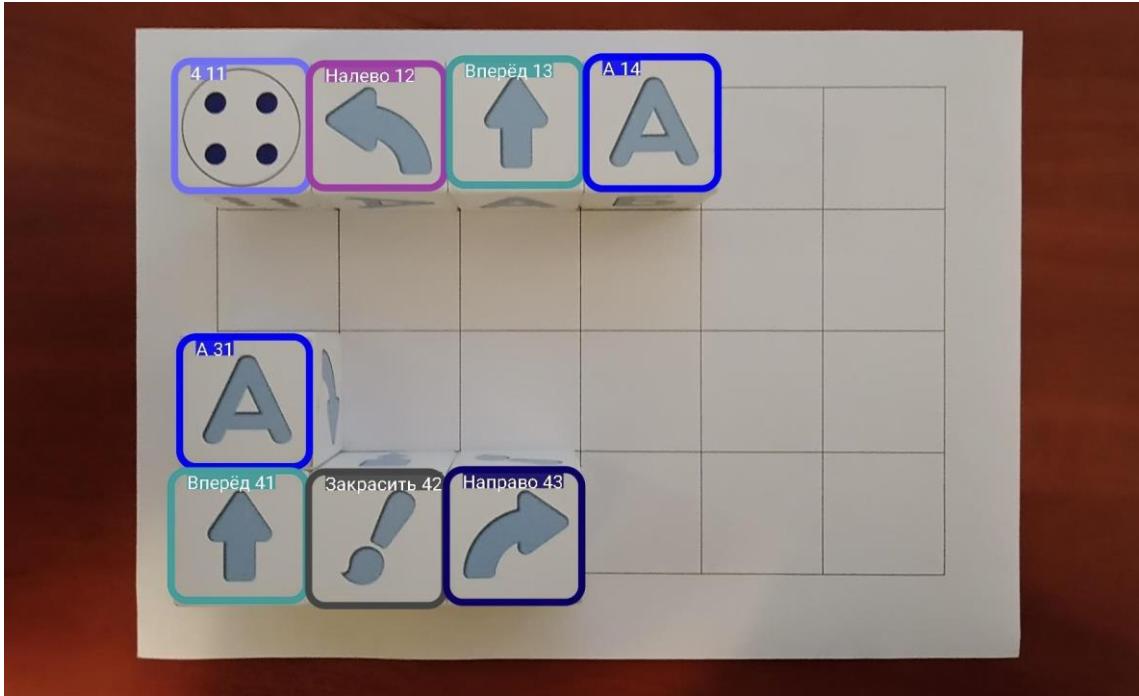


Рис. 2. Пример размеченного изображения.

Набор размеченных данных был поделен на две составляющие: 80% изображений оказались в обучающей выборке, а 20% попали в валидационную выборку.

Важным аспектом обучения являются методы аугментации [10]. Аугментация позволяет расширить обучающий набор данных различными преобразованиями изображений, но выбирать их следует с осторожностью. Так, например, классы “налево” и “направо” при горизонтальном отображении инвертируются, и модель начинает определять их неверно, в связи с чем

этот метод был вручную удален из списка аугментации.

Процесс обучения модели, внутри которого 3 раза запускалось дообучение модели на новых данных, длился в общей сложности 100 эпох. На вход подавались изображения размером 416 на 416 пикселей. Усредненные по всему процессу обучения метрики качества модели представлены на рисунке 3. Подробно о данных метриках рассказано в статье [7].

В результате обучения была получена модель, метрики качества распознавания [11] которой проиллюстрированы на рисунке 4.

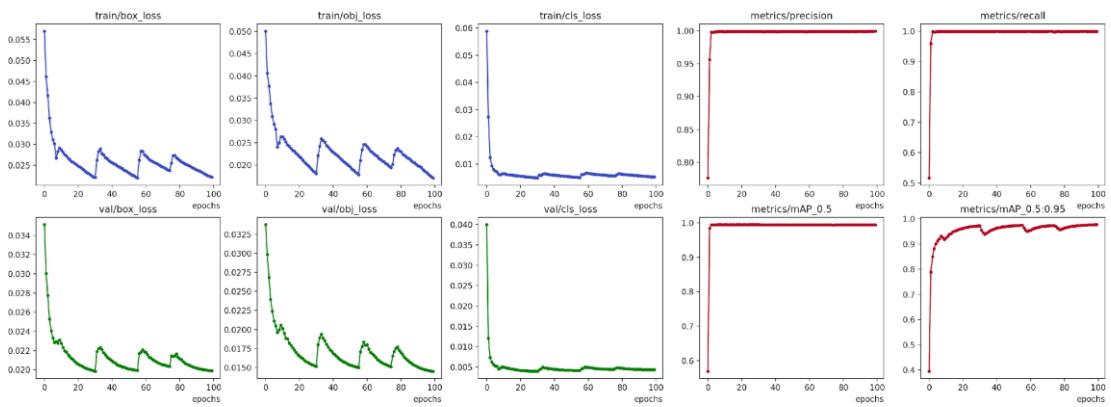


Рис. 3. Метрики, усредненные по процессу обучения модели.

Classes statistics					
class	instances	P	R	mAP50	mAP50-95
Алгоритм А	5471	1.0	1.0	0.995	0.975
Алгоритм Б	4287	1.0	1.0	0.995	0.99
Алгоритм В	4435	1.0	1.0	0.995	0.989
Мигнуть	4436	1.0	1.0	0.995	0.993
Вперёд	5325	0.997	0.997	0.995	0.946
Тащить	5618	1.0	1.0	0.995	0.979
Закрасить	4862	0.996	0.998	0.994	0.972
Повторитель 1	4023	0.999	1.0	0.995	0.973
Повторитель 2	3992	0.999	1.0	0.995	0.977
Повторитель 3	4318	0.999	1.0	0.995	0.979
Повторитель 4	3958	1.0	1.0	0.995	0.988
Повторитель 5	4589	1.0	1.0	0.995	0.988
Повторитель 6	4064	0.999	1.0	0.995	0.98
Налево	5534	0.999	1.0	0.995	0.958
Направо	4724	0.999	0.998	0.994	0.966

Рис. 4. Метрики средней точности для каждого класса по результатам обучения

Завершающим шагом является конвертация модели в форматы, поддерживаемые операционными системами Android и iOS. Используя скрипт для экспорта в разные форматы, было получено три модели в форматах tflite, torchscript и mlmodel. В результате тестирования конвертированных моделей обнаружилось, что модель в формате torchscript значительно ухудшилась в качестве распознавания. Это явно иллюстрировалось в предсказании неправильных классов. Однако даже в предсказаниях правильных классов модель показывала низкую “уверенность” в ответе. Модели в формате tflite и mlmodel, напротив, на валидационной выборке показали хорошие результаты и не уступали в качестве распознавания оригинальной модели. Результаты работы моделей tflite на Android и mlmodel на iOS схожи по полученным метрикам.

4. Результаты

В ходе работы для решения задачи детекции элементов пиктограммного языка была дообучена сверточная нейронная сеть YOLOv5. Автоматами был собран и размечен набор данных, со-

держащий 10 000 изображений. По итогу обучения, за 100 эпох целевая метрика mAP:0.5-0.95 на валидационной выборке достигла значения 98%. Для автономной работы модели на устройствах с операционными системами Android и iOS была произведена ее конвертация в форматы tflite, torchscript и mlmodel. В ходе тестирования модель в формате torchscript значительно ухудшила качество распознавания. Модели tflite и mlmodel на валидационной выборке продемонстрировали такой же результат, как и оригинальная модель, однако их размер был в два раза меньше – всего 13 МБ. По итогу работы модели в форматах tflite и mlmodel были интегрированы в приложение ЦОС “ПиктоМир” и прошли апробацию на первых алгоритмиях.

5. Применение на практике

В рамках усовершенствования образовательного процесса в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН разработали методику проведения олимпиады для дошкольников и учащихся начальной школы – алгоритмииады с использованием пиктокубиков и пиктокарточек.

В рамках алгоритмиады [12] учащиеся кооперативно или поодиночке выполняют олимпиадные задачи на время. Участники старшего дошкольного возраста при решении задачи получают бумажную карту с заданием, фигурку робота и бумажный вариант шаблон программы (таблица для размещения пиктоблоков). Дети проводят фигурки исполнителей по карте и выкладывают соответствующие кубики в нужной последовательности, размещая их в напечатанном шаблоне. На рисунке 5 дети составляют программу из кубиков.



Рис.5. Дети передвигают роботов по карте на столе и составляют программы из пиктоблоков

Полученную программу из кубиков педагог фотографирует, после чего эта программа переносится в приложение «ПиктоМир». (рис. 6)

Преимущества подобной методики «физического» процесса составления программы состоят в следующем:

- Во-первых, здесь не требуется освоение интерфейса системы ПиктоМир для манипуляции пиктограммами команд на экране.
- Во-вторых, согласно СанПиН, период экранной работы ребенка в приложении ограничивается и сводится к короткому просмотру процесса выполнения составленной из кубиков программ.

Нужно отметить, что во время составления маршрута движения робота по карте задания, обсуждения с партнером по команде работы робо-

тов и выкладывания программы на столе из кубиков или карточек, экран компьютера не задействован.



Рис.6. Педагог фотографирует программу, составленную ребенком из пиктоблоков

6. Заключение

Методика была опробована в десятках дошкольных учреждений инновационной площадки «Апробация и внедрение основ алгоритмизации и программирования для дошкольников и младших школьников в цифровой образовательной среде ПиктоМир».

Это позволило опробовать описанную модель распознавания на нескольких десятках устройств с операционными системами Android и iOS.

В результате удачного эксперимента многие педагоги внедрили данный метод переноса программ в цифровую среду ПиктоМир на плановых занятиях, что позволяет улучшить результаты освоения основ дошкольного программирования у детей старшего и среднего дошкольного возраста.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН по теме № FNEF-2024-0001 (1023032100070-3-1.2.1)

Application of Free Syntax Methods for Recognizing Piktocubes in the Course «Algorithmics for Preschoolers»

A. G. Leonov, K. A. Mashchenko, N. S. Martynov, M. V. Rayko,
A. I. Strekalova, T. G. Khan.

Abstract. The article addresses issues related to the safe integration of digital technologies into the educational processes of older preschool children in accordance with sanitary rules and norms. The main focus is on teaching algorithmics using the educational environment PiktоМир, which includes software and real-world objects such as radio-controlled robot toys, soft toys, cubes, magnetic cards with command pictograms, and articulated mats. It describes a

step-by-step process of transitioning from the physical world to the virtual world for a deeper understanding of concepts. Additionally, the article presents an approach to object detection tasks using convolutional neural networks, applied in algorithmic competitions. Students solve tasks using physical objects like piktocubes to create programs, which are then transferred by the teacher to the PiktoMir application. This method helps improve the understanding of programming fundamentals in older and middle preschool children.

Keywords: preschooler, elementary school student, algorithmics, robot, textless, screenless, cubes, piktograms, PiktoMir, piktocubes recognition

Литература

1. В. Б. Бетелин, А. Г. Кушниренко, А. Г. Леонов, Основные понятия программирования в изложении для дошкольников // Информатика и ее применения. – 2020. – Том 14, № 3. – С. 56–62.
2. Стартовая страница проекта «ПиктоМир» на сайте ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН. URL: <https://www.niisi.ru/piktomir/> (дата обращения 01.05.2024)
3. N.Besshaposnikov, A.Kushnirenko, and A.Leonov. Piktomir: how and why do we teach textless programming for preschoolers, first graders and students of pedagogical universities. CEE-SECR '17: Proceedings of the 13th Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia, October 2017. No. 21. P. 1–7. 2017
4. А. Г. Кушниренко, А. Г. Леонов, С. А. Поликарпов. БЕЗОШИБОЧНЫЙ ДВУМЕРНЫЙ ПИКТОГРАММНЫЙ СИНТАКСИС В УЧЕБНОЙ СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОШКОЛЬНИКОВ. ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. МАТЕМАТИКА, ИНФОРМАТИКА, ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ, 2023, том 511, с. 13–19, DOI: 10.31857/S2686954323700169
5. Kaidong Li, Wenchi Ma, Usman Sajid, Yuanwei Wu, Guanghui Wang. Object Detection with Convolutional Neural Networks. arXiv preprint arXiv:1912.01844, 2019.
6. Syed Sahil Abbas Zaidi, Mohammad Samar Ansari, Asra Aslam, Nadia Kanwal, Mamoon Asghar, Brian Lee. A Survey of Modern Deep Learning based Object Detection Models. arXiv preprint arXiv:2104.11892, 2021.
7. Qingqing Xu, Zhiyu Zhu, Huilin Ge, Zheqing Zhang, Xu Zang. Effective Face Detector Based on YOLOv5 and Superresolution Reconstruction, 2021. doi: 10.1155/2021/7748350
8. PyTorch, <https://pytorch.org/>
9. YOLOv5 <https://github.com/ultralytics/yolov5>
10. Suorong Yang, Weikang Xiao, Mengcheng Zhang, Suhan Guo, Jian Zhao, Furao Shen. Image Data Augmentation for Deep Learning: A Survey. arXiv preprint arXiv:2204.08610 , 2022.
11. Pappu Kumar Yadav, J. Alex Thomasson, Stephen W. Searcy, Robert G. Hardin, Ulisses Braga-Neto, Sorin C. Popescu, Daniel E. Martin, Roberto Rodriguez, Karem Meza, Juan Enciso, Jorge Solorzano Diaz, Tianyi Wang. Assessing The Performance of YOLOv5 Algorithm for Detecting Volunteer Cotton Plants in Corn Fields at Three Different Growth Stages. arXiv preprint arXiv:2208.00519, 2022.
12. Леонов А.Г., Райко М.В., Райко И.Г., Ковыршина В.А., Хольхина А.А. Алгоритмиды как элементы ускорения обучения информатике в сборнике ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ Материалы VI Международной научной конференции, место издания Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева Красноярск, тезисы, с. 179-186