

УДК 528.854.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В АВТОМАТАХ ПО ПРИЕМУ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ТАРЫ

А.И. Тур

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет (ПНИПУ)
Россия, 614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева, 7, корпус А
E-mail: tur.aleksandr93@mail.ru

А.Н. Кокоулин

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет (ПНИПУ)
Россия, 614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева, 7, корпус А
E-mail: a.n.kokoulin@gmail.com

А.И. Князев

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет (ПНИПУ)
Россия, 614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева, 7, корпус А
E-mail: tur.aleksandr93@mail.ru

Ключевые слова: reverse vending machine, автомат по приему тары, распознавание, иерархический подход, barcode, штриховой код

Аннотация: Представлен способ модернизации автомата по приему тары с целью расширения функциональных возможностей при сохранении себестоимости. Проведен анализ признаков, позволяющих различать одноклассовую тару. Рассмотрен технический процесс реализации иерархического подхода к распознаванию графической информации на основе грубой обработки каскадами Хаара и детальной – алгоритмом считывания штрихкодов и нейронной сетью. Предлагаемый подход позволяет повысить конкурентоспособность устройства на российском рынке утилизации и вторичного использования материалов.

1. Введение

В последнее время стала популярна тема «цифровой утилизации и переработки» отходов. В группу этих проектов входят интеллектуальные конвейеры по сортировке мусора и различные устройства приема бытовых отходов у населения. Из последних, наиболее популярными являются так называемые Reverse vending machine (дословно «обратный торговый автомат», автомат по приему тары, RVM). Это автомат, позволяющий людям возвращать пустые контейнеры для напитков, такие как бутылки и банки, для переработки. Обычно автомат устроен таким образом, чтобы возвращать конечному пользователю сумму эквивалентную стоимости сданной тары. Это и делает его «реверсивным» торговым автоматом – вместо того, чтобы пользователь вкладывал деньги и получал продукт, пользователь ставит продукт в автомат и получает за это вознаграждение.

Одни из первых автоматов по приему тары (аппаратно-программный комплекс «Фандомат») появились на улицах Москвы в 2004 году. «Фандомат» представлял собой корпус, в котором размещены отсек распознавания с устройством, собирающим информацию о распознаваемом предмете (сканер штриховых кодов) – идентификация тары происходит путем сканирования штрихового кода (штрихкода) на этикетке тары.

На наш взгляд, недостатками устройства являются низкая скорость принятия решения и отсутствие возможности принятия поврежденной тары (помятой, деформированной, без этикетки и прочей) из-за невозможности считывания штрихкода. Эти проблемы было предложено решить за счет изменения принципа распознавания – распознавание внешнего вида тары с помощью видеокамер и нейронной сети.

Нейронная сеть обучается на фотографиях банок и ПЭТ (полиэтилентерефталат) бутылок различных форм и определяет основные функции, необходимые для классификации. Благодаря этой особенности любое новое изображение ПЭТ бутылки может быть идентифицировано как совокупный класс ПЭТ бутылок, если контейнер обладает соответствующими свойствами. Банки обрабатываются аналогичным образом. Даже если контейнер механически поврежден и имеет нестандартную форму, то он может быть идентифицирован как один из описанных классов. [1] Согласно тестам, распознавание тары при помощи нейронных сетей является более быстрым по сравнению с заявленными характеристиками «Фандомата». В ходе тестирования автомата была настроена нейронная сеть, способная идентифицировать тару по 3 классам – «бутылка ПЭТФ», «алюминиевая банка», «другое». [2,3]

Однако производители часто заключают контракты на переработку своей тары, что не позволяет полноценно использовать предложенное решение в автоматах (в «Фандомате» технически данная функция возможна, но тоже не заявлена). Поэтому было принято решение о модификации предложенного отсека распознавания и расширении функционала автомата. Учитывая особенности текущего законодательства в области утилизации отходов, возможны два пути решения – классификация тары с использованием этикетки или с распознаванием штрихкодов конкретного артикула продукта [4,5], которые бы дополняли распознавание формы с помощью нейронных сетей.

Реализация первого варианта возможна с использованием ранее разработанной нейронной сети, но не вписывается в концепцию разрабатываемой системы (любое новое изображение ПЭТ бутылки или алюминиевой банки может быть идентифицировано как совокупный класс, если контейнер обладает соответствующими свойствами и механически поврежденный контейнер, имеющий нестандартную форму или без некоторых частей (в том числе с утратой этикетки) может быть идентифицирован как один из описанных классов). Кроме того, производители часто меняют дизайн контейнеров (цвет и изображение на этикетке), что потребует частое техническое обслуживание автомата для обновления образов распознаваемых классов, что негативно скажется на итоговой себестоимости автомата и приведет к нерентабельности данного проекта.

Для второго варианта необходимо наличие неповрежденной этикетки (или фрагмента этикетки со штрихкодом), но данный вариант не противоречит предлагаемой идее и конструкции автомата, и прост в реализации. Кроме того, штрихкод постоянен в течение продолжительного времени для производителя на всем его жизненном цикле.

2. Распознавание штрихкода

Штрихкод – графическая информация о товаре в виде последовательности штрихов и пробелов различной ширины и нескольких цифр, расположенных под ними. Код на-

носится на поверхность самого изделия, на этикетку или упаковку. Задача считывания этого штрихкода может заключаться либо в распознавании цифр под полосками, либо самих полосок. Существует достаточно большой ряд алгоритмов, позволяющих проводить данные манипуляции. Это могут быть как специализированные библиотеки (Zbar), так и нейронные сети.

ZBar – это библиотека с открытым исходным кодом для считывания штрихкодов из видеопотока или отдельных изображений. На рис. 1 приведен пример распознавания штрихкода. Программа может отобразить рамки распознанного штрихового кода и вывести считанную информацию. Полученная числовая последовательность проверяется на соответствие акционной базе. В случае обнаружения совпадения, автоматом принимается решение о выдаче вознаграждения.

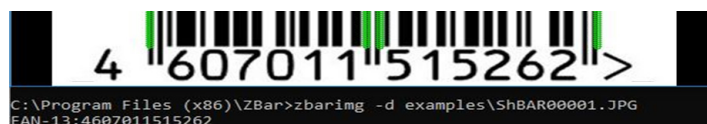


Рис. 1. Пример распознавания 13 разрядного европейского штрихкода EAN-13.

Иной подход можно реализовать в нейронных сетях. На данный момент существует уже много решений позволяющих считывать печатные символы (в том числе и на базе TensorFlow, применяемой в нашем автомате [1,2,3]). Преимуществом такого решения будет возможность считывать поврежденные штрихкоды, восстанавливая нераспознанные символы с некоторой степенью вероятности. Восстановленная таким образом информация может считаться верной, если результат распознавания нейронной сетью имеет отметку о высокой вероятности, и при совпадении суммы знаков распознанного штрихкода с контрольным числом в конце кода.

Однако, подобные решения очень требовательны к качеству считываемого изображения – не должно быть лишних деталей, штрихкод должен быть расположен в фокусе, быть достаточно большим [6]. Данную проблему можно решить двумя путями – либо предложить пользователю автомата помещать акционную тару в тароприемник, соблюдая строгую ориентацию штрихкода по отношению к считывающему устройству, либо сделать автоматическую подсистему нахождения штрихкода на таре. Первый подход достаточно прост, но может вызвать ряд неудобств у пользователя, чем вызовет негативное отношение к проводимой акции. Второй подход осложнен тем, что размещение штрихкода на таре не регламентировано и потому производитель может его разместить в любом месте и под любым углом к оси вращения тары. Кроме того, изображение кода тоже может быть видоизменено (примеры представлены на рис. 2). Однако, штрихкоды всегда помещаются на белом прямоугольном фоне, и этот признак можно использовать для усовершенствования работы предложенного алгоритма.



Рис. 2. Примеры нестандартных вариантов штрихкода EAN-13.

Для этого этапа многоуровневого распознавания логично использовать быстрый и нетребовательный алгоритм. В его работе допустимы ошибки, так как он выполняет только грубый поиск объекта на изображении. Поэтому был выбран алгоритм поиска

расположения штрих-кода на основе каскадов Хаара, который выполняет поиск прямоугольного белого объекта с полосками [7,8,9]. Полученные в результате работы каскада Хаара области интереса (ROI) можно передавать для детального изучения следующему уровню распознавания.

3. Иерархический подход к распознаванию штрихкода

Суть модификации автомата по приему тары заключается в поэтапном иерархическом уточнении информации о распознавании тары. Конструкция приемного отделения автомата будет оснащена валиком для поворота принятой тары (в горизонтальном исполнении отсека) или поворотной площадкой (в вертикальном исполнении отсека).

Алгоритм распознавания преобразуется к следующему виду:

- 1) Процесс обнаружения тары в отсеке распознавания и фиксация ее формы является начальным шагом в данном алгоритме. До того момента, пока автомат не обнаружит тары в отсеке распознавания он находится в режиме ожидания [2,3].
- 2) Проверка принадлежности тары к одному из классов («бутылка ПЭТФ» или «алюминиевая банка»). Данная проверка проводится нейронной сетью [1,2,3]. Если распознаваемый объект имеет слишком малый процент принадлежности к описанным классам, то он возвращается пользователю, а автомат на дисплее отображает соответствующую информацию и возвращается к шагу 1.
- 3) Если в классе, определенном на шаге 2, нет тары, принимаемой на особых условиях, то автомат перемещает распознанную тару в отсек хранения и выдает пользователю соответствующую информацию, переходя к шагу 1. В обратном случае автомат переходит к шагу 4, запуская дополнительный этап иерархического распознавания штрих-кода, описываемый в данной статье.
- 4) Происходит плавное вращение тары в отсеке распознавания для создания комплексного изображения боковой поверхности тары, путем программной склейки изображений узких участков поверхности, находящихся перед видеокамерой (для минимизации искривлений на итоговом изображении).
- 5) С помощью каскадов Хаара на изображении, полученном на шаге 4, выделяются области соответствующие искомым признакам (прямоугольный белый объекта с полосками контрастного цвета внутри). Пример такого грубого поиска продемонстрирован на рис. 3.



Рис. 3. Пример грубого поиска штрихкода на упаковке тары.

- 6) Отмеченные области (их может быть несколько на одной таре из-за особенностей графического дизайна тары), полученные на шаге 5, передаются нейронной сети для распознавания и в случае успешного считывания правильного штрихового кода автомат принимает решение о принятии акционной тары. Пользователю сообщается о принятии таковой тары и выдается вознаграждение. В случае, если распознанный

штрихкод не соответствует ни одному, хранимому в базе акционной тары, то тара принимается также, как описано в шаге 3. Далее автомат возвращается к шагу 1.

Данный подход актуален для условий ограниченных вычислительных мощностей микроконтроллера, применяемого в автомате [1]. Он позволяет избежать большого количества операций по распознаванию штрихкода, в случае если бы применялся режим поиска штрихкода в реальном времени, заменяя их единичными вызовами простых алгоритмов. Происходит экономия ресурсов памяти, т.к. наиболее ресурсоемкая часть (распознавание штрихкода) выполняется не над большим комплексным изображением боковой поверхности тары, а над его отдельными фрагментами. Последний факт также положительно сказывается на эффективности и времени распознавания.

Недостатками данного подхода являются усложнение конструкции отсека распознавания механизмом вращения тары и необходимость затраты дополнительного времени на вращение тары. Этот недостаток можно устранить, применив систему зеркал, дающих камере обзор на тару со всех сторон в боковой проекции. Однако в таком случае возникнет проблема очистки зеркал от возможного загрязнения. Поэтому описанный подход считается применимым для автомата по распознаванию тары.

4. Заключение

Таким образом, за счет незначительного повышения времени обслуживания пользователя и реализации иерархического подхода к анализу изображения, была добавлена возможность принятия тары на особых условиях, что повышает конкурентоспособность автомата при взаимодействии с производителями принимаемой тары.

Список литературы

1. Kokoulin A. N., Tur A. I., Yuzhakov A. A. Convolutional Neural Networks Application in Plastic Waste Recognition and Sorting // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2018 ElConRus). Saint-Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI». P. 1118-1122.
2. Кокоулин А. Н., Тур А. И., Даденков С. А. Оптическая система сортировки пустых контейнеров // Нейрокомпьютеры: разработка, применение 2018. № 7. С. 3-7.
3. Кокоулин А. Н., Тур А. И., Князев А. И., Южаков А. А. Вопросы разработки и настройки оптической подсистемы распознавания и сортировки пустых контейнеров в системе раздельного приема бытовых отходов // Информационно-измерительные и управляющие системы применение 2018. Т. 16, № 9. С. 45-50 [DOI: 10.18127/j20700814-201809-07].
4. Огрель Л.Д. Оценка накопления, сбора и переработки отходов ПЭТФ в России // Экологический вестник России. 2012. № 4. С. 26-31.
5. Lasoff M. A. An Rv By Any Other Name // Waste Age. 2000. Vol. 31, No. 7. P. 34.
6. Труфанова Е.В., Кузнецова Н.А., Макеев П.В. Штрихкод. История создания, его разновидности и назначение // Новая наука: теоретический и практический взгляд. 2016. № 8. С. 186-188.
7. ZBar bar code reader. <http://zbar.sourceforge.net/>.
8. Viola P., Jones M.J. Robust real-time face detection // International Journal of Computer Vision. Vol. 57, No. 2, 2004, P. 137-154.
9. Иванько М. А. Клепикова А.В. Системы искусственного зрения // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. 2015. № 5.
10. Южаков А.А., Тур А.И. Выбор алгоритмов для реализации системы машинного зрения // Материалы XIV Всероссийской школы-конференции молодых ученых. 2017. С. 377-384.