

И. А. Выхристюк¹✉

Алгоритм контроля внешнего вида гильз с использованием искусственных нейронных сетей

¹Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: I_Vykhristyuk@mail.ru

Аннотация. Описан алгоритм контроля внешнего вида гильз, позволяющий автоматизировать промежуточную операцию контроля при производстве боеприпасов. Приведены структуры искусственных нейронных сетей, используемых при контроле. Представлены результаты оценки качества работы алгоритма.

Ключевые слова: автоматический контроль, контроль качества продукции, искусственные нейронные сети

I. A. Vykhristyuk¹✉

Algorithm for controlling the appearance of cartridge cases using artificial neural networks

¹Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: I_Vykhristyuk@mail.ru

Abstract. The article describes an algorithm for controlling the appearance of cartridge cases, which allows automating the intermediate control operation during ammunition production. The structures of artificial neural networks used in the control are given. The results of assessing the quality of the algorithm's operation are presented.

Keywords: automatic quality control, artificial neural network

Введение

Элементы патронов на разных стадиях их производства подвергаются тщательному визуальному осмотру [1]. В особенности это касается гильз, так как нарушение их целостности во время стрельбы может приводить к выходу из строя оружия, а также представлять угрозу для стрелка. В настоящее время на всех отечественных предприятиях контроль гильз осуществляется визуально контролерами ОТК [2].

Ввиду большого разнообразия встречающихся дефектов и типоразмеров изделий, автоматизация этого технологического процесса представляет собой сложную научно-техническую задачу, для решения которой хорошо подходят бурно развивающиеся в настоящее время технологии искусственного интеллекта [3–5].

В представленной работе описан алгоритм контроля внешнего вида гильз, включающий поиск и нумерацию гильз в кадре, отслеживание перемещения

гильзы до выхода из зоны контроля, обнаружение дефектов на поверхности гильз, контроль наличия и размеров запальных отверстий, принятие решения о разбраковке. Описана структура используемых искусственных нейронных сетей (далее – ИНС), Описан процесс обучения. Приведены результаты работы алгоритма на более чем сотне тысяч изделий.

Автоматизация контроля внешнего вида гильз

При контроле внешнего вида оператор осматривает гильзы в потоке. Гильзы одинаково ориентированы и движутся, вращаясь на боковой поверхности. Осмотр внутреннего состояния и тыльной стороны фланца осуществляется при помощи зеркал. Бракованная продукция вручную извлекается из потока и отбрасывается в накопитель.

Для автоматизации контроля на место осмотра был установлен бокс (рис. 1) с видеокамерой, осветителем, системой оптических зеркал, а также электронным блоком для синхронизации с системой подачи гильз и устройством разбраковки.

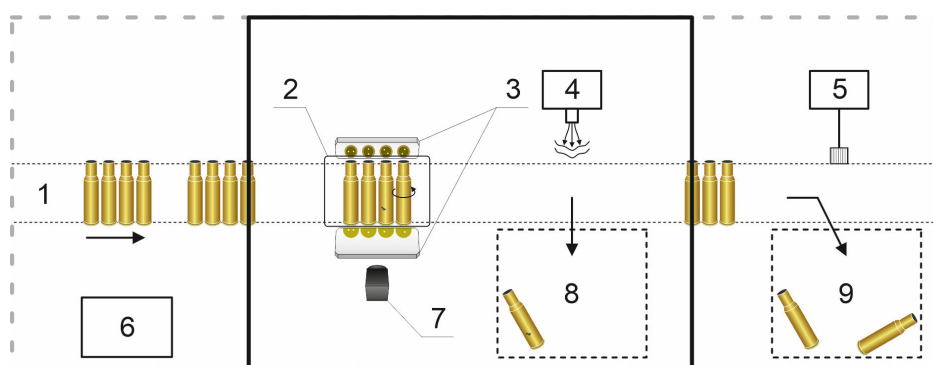


Рис. 1. Схематичное изображение системы контроля внешнего вида гильз: 1 – транспортная система, 2 – блок контроллера и осветителя, 3 – оптические зеркала, 4 – устройство извлечения бракованных гильз, 5 – датчик перемещения транспортной системы, 6 – компьютер, 7 – видеокамера, 8 и 9 – бункеры для бракованной и годной продукции, соответственно

При продвижении транспортной системы на определенное расстояние производится вспышка осветителя и синхронная регистрация кадра видеокамеры. Кадр принимается и обрабатывается управляющим программным обеспечением.

Поиск и нумерация гильз в кадре

Обнаружение гильз в кадре начинается с пороговых алгоритмов (рис. 2, 3). Вначале в красном канале кадра по отражениям фланца в зеркале обнаруживаются центры окружностей по высоте $y_{\text{оф}}$. Для этого в определенной колонке $x_{\text{оф}}$ красного канала кадра ищутся области сплошного превышения порога $\Pi_{\text{ф}}$. Если размер области лежит в допустимых пределах, за $y_{\text{оф}}$ принимается середина области.

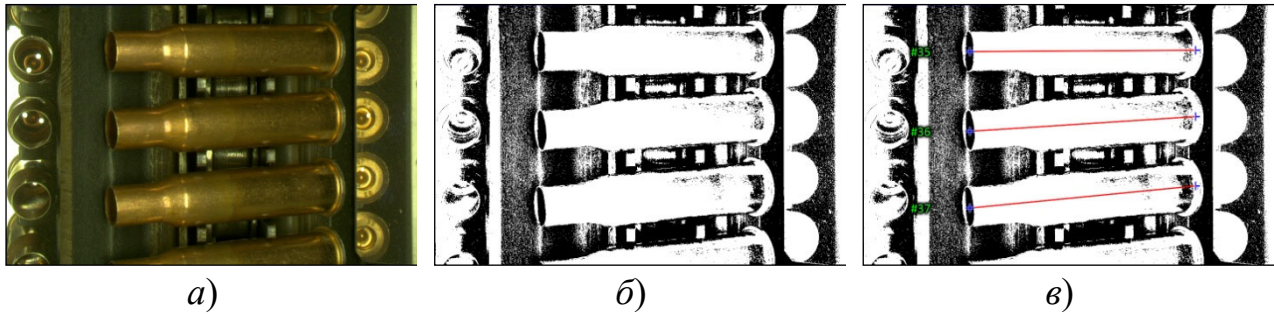


Рис. 2. Обнаружение гильз по фланцу и дульному отверстию: *а* – исходное изображение, *б* – красный канал с пороговой Π_{ϕ} бинаризацией, *в* – красный канал с наложенной информацией о гильзах

Далее, в зависимости от величины y_{ϕ} , определяется положение фланца в кадре y_{ϕ} в определенной колонке x_{ϕ} . Для этого используется координата, в которой середина отражения фланца равна середине фланца, и линейное преобразование.

В ходе эксплуатации системы контроля выявлены проблемы с запылением зеркал и расфокусировкой оптической системы, что приводило к неточному определению положения гильз или вообще к их пропуску. В результате доработок алгоритма обнаружения был введен автоматический поиск порога Π_{ϕ} и уточнение положения фланца гильзы (x_{ϕ} , y_{ϕ}) при помощи ИНС.

По y_{ϕ} и номеру кадра N можно вычислить расстояние $L(y_{\phi})$ от условного нуля транспортной системы до гильзы:

$$L(y) = N L_k + (y - Y + 1) L_p, \quad (1)$$

где L_k – величина сдвига транспортной ленты между кадрами, Y – высота кадра в пикселях, L_p – размер области в зоне контроля, проецируемой на 1 пиксель. Из-за особенностей оптической схемы масштаб в кадре не однороден, но при наблюдении за вертикальной координатой в одном столбце кадра можно получить достаточное по точности приближение.

Из (1) видно, что условный ноль соответствует области транспортной системы, отображаемой на нижней границе первого кадра, т.е. при $y = Y - 1$ и $N = 0$.

Если в списке контролируемых гильз есть такая, расстояние до которой отличается от L не более чем на $0,25 L_k$, то дальнейший контроль привязывается к ней, иначе считается, что появилась новая гильза и информация о ней добавляется в список.

В зависимости от величины y_{ϕ} определяется предварительное положение дульного отверстия в кадре $y_{\text{пд}}$ (рис. 3). Обнаружение центра дульного отверстия y_d производится путем поиска верхней и нижней (относительно $y_{\text{пд}}$) границы области сплошного не превышения порога Π_d в колонке x_d синего канала кадра (рис. 3, в). Если поиск относительно $y_{\text{пд}}$ результатов не дал, то производится по-

пытка поиска со сдвигом вверх ($y_{\text{нд}} - \Delta$) и вниз ($y_{\text{нд}} + \Delta$) до первого удачного результата.

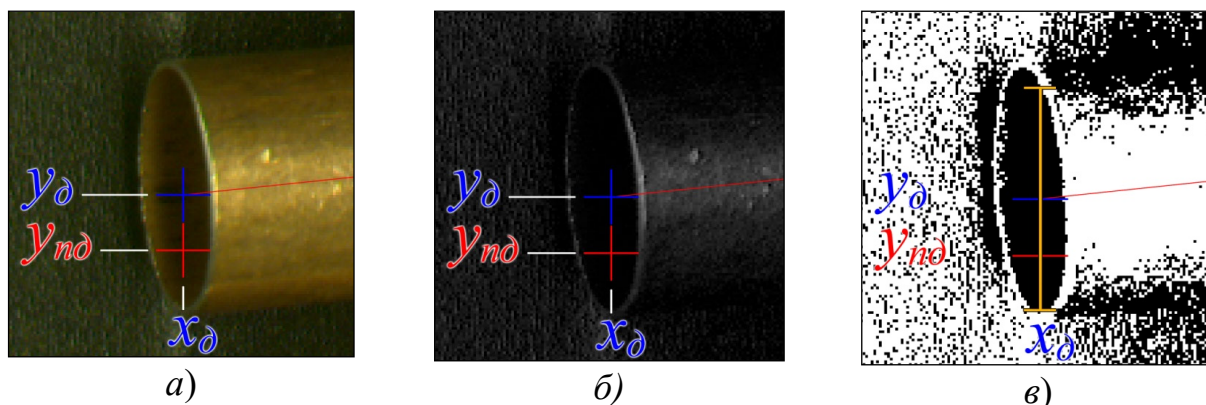


Рис. 3. Обнаружение дульного отверстия (фрагмент изображения с наложенной информацией): *а* – исходное изображение, *б* – синий канал, *в* – синий канал с пороговой Π_d бинаризацией

Результат считается удачным, если расстояние от верхней до нижней границы лежит в допустимом интервале. За центр дульного отверстия в кадре y_d принимается середина между верхней и нижней границей. Если поиск y_d завершился неудачей, считается, что для обнаруженной гильзы в текущем кадре есть проблема с обнаружением дульца. Все дальнейшие операции по проверке параметров качества в этом кадре для данной гильзы не производятся.

На рис. 2, в синими крестиками, соединенными красными линиями, отмечены точки (x_d, y_d) слева и (x_f, y_f) справа.

Обнаружение дефектов

После обнаружения всех гильз в кадре производится поиск дефектов. Для этого вначале гильза выделяется из кадра в отдельное изображение и оконтуривается (рис. 4). Это нужно для упрощения задачи для нейросети. Фон анализировать незачем, а на фоне бывают очень контрастные и яркие структуры.

После оконтуривания внешняя часть изображения закрашивается черным (рис. 4, б) и производится помещение данных в видеопамять для дальнейшего использования на входе нейросети.



Рис. 4. Выделение гильзы из кадра: *а* – кадр с наложенной рамкой для одной из гильз, *б* – изображение гильзы без фона

На вход нейросети подаются фрагменты изображения размером 159×159 пикселей (рис. 5, б, в). Центр первого фрагмента соответствует центру дульца (x_d, y_d), затем центр перемещается вдоль линии до фланца (x_f, y_f) с шагом ~ 60 пикселей (рис. 5, а). Последний фрагмент центрируется на точку (x_f, y_f).

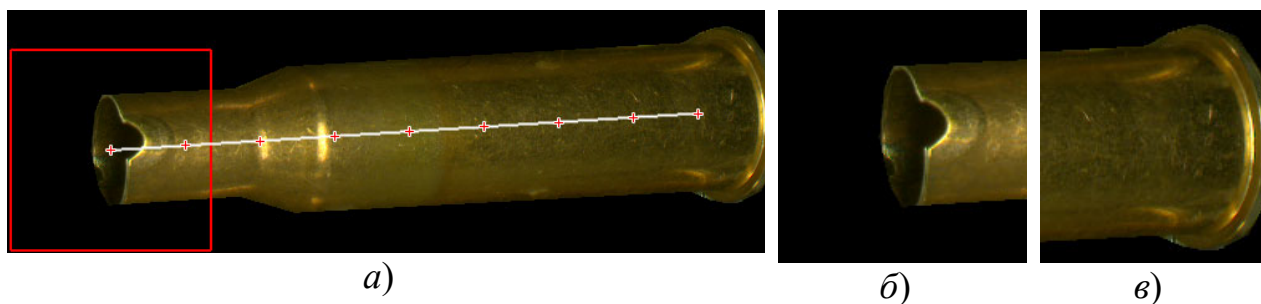


Рис. 5. Схема обнаружения дефектов: *а* – изображение гильзы с наложенной линией сканирования, центрами фрагментов и контуром первого фрагмента, *б* – первый и *в* – последний фрагменты, подаваемые на вход нейросети

Каждый фрагмент классифицируется нейросетью и наиболее вероятный класс (ответ нейросети это вектор «вероятностей» соответствия каждому классу) берется, как результат классификации. Если номер класса K отличается от 0, что соответствует классу «не дефект», то данные о контроле гильзы пополняются информацией о том, что в текущем кадре в соответствующей позиции (центр фрагмента) обнаружен дефект класса K .

Структура искусственных нейронных сетей

Используемые в работе ИНС представляют собой неглубокие сверточные сети, структура которых приведена в табл. 1. Входом обеих нейросетей является нормированное (1 – максимум яркости, 0 – минимум) трехканальное (RGB) изображение.

Свертки описываются размером ядра ($A \times B @ C$), где $A \times B$ – пространственный (x, y) размер в карте признаков предыдущего слоя, C – количество признаков текущего слоя; шагом (stride) применения ядра ($[D, E]$) по (x, y), соответственно, в карте признаков предыдущего слоя и функцией активации (ReLU – функция, равная аргументу, если аргумент положительный, и 0 в остальных случаях).

Слои понижения размера (пулинг – max pooling) выбирают максимальное значение в области 2×2 с шагом $[2, 2]$ для каждого признака, снижая, таким образом, размер по x и y в два раза.

Выход полносвязного слоя классификатора проходит через SoftMax, что дает нам сумму компонентов выходного вектора равной 1 и все компоненты от 0 до 1. Выход ИНС №2 не изменяется.

Структура неглубоких сверточных сетей

ИНС №1 (Классификация)	ИНС №2 (Коррекция положения)
Вход ($159 \times 159 @ 3$)	Вход ($159 \times 159 @ 3$)
Свертка ($5 \times 5 @ 60, [2, 2], \text{ReLU}$)	Свертка ($3 \times 3 @ 10, [2, 2], \text{ReLU}$)
Пулинг (2, 2)	Свертка ($3 \times 3 @ 15, [2, 2], \text{ReLU}$)
Свертка ($5 \times 5 @ 60, [2, 2], \text{ReLU}$)	Свертка ($3 \times 3 @ 20, [2, 2], \text{ReLU}$)
Пулинг (2, 2)	Свертка ($3 \times 3 @ 25, [2, 2], \text{ReLU}$)
Свертка ($3 \times 3 @ 60, [2, 2], \text{ReLU}$)	Свертка ($3 \times 3 @ 30, [2, 2], \text{ReLU}$)
Полносвязный ($960 \times 1024, \text{ReLU}$)	Полносвязный ($480 \times 256, \text{ReLU}$)
Полносвязный ($1024 \times 19, \text{SoftMax}$)	Полносвязный ($256 \times 2, \text{Id}$)
Объем обучаемых данных: 4,31 Мб	Объем обучаемых данных: 2,42 Мб

Сеть, применяющаяся для поиска дефектов, представляет собой классификатор на 19 классов.

Для уточнения положения гильзы в кадре используется вторая сеть, выход которой интерпретируется, как коррекция положения фланца по двум осям, нормированная на размер изображения. После получения пороговым алгоритмом (x_f, y_f) из кадра вырезается фрагмент 159×159 пикселей с центром в этой точке и подается на вход ИНС №2. Полученный ответ (dx, dy) используется для коррекции координат фланца:

$$(x_f, y_f) := (x_f, y_f) + 159 \cdot (dx, dy)$$

Для обучения нейросети №1 используется 36 тысяч размеченных кадров, общим объемом 77 Гб. В процессе автоматической обработки обучающее множество конвертируется в набор из 226 тысяч позиций, размеченных в 82 тысячах изображений гильз без фона, общим объемом 39 Гб.

Для обучения нейросети №2 используется подмножество из 139 кадров с размеченными 272 позициями.

Правила разбраковки

Решение о разбраковке гильзы принимается при ее выходе из области контроля, т.е. когда ее координата L превышает координату верхнего края текущего кадра (1). Гильза отправляется в брак в следующих случаях:

1) возникали проблемы с обнаружением гильзы (количество обнаружений дульца за время прохода гильзы меньше требуемого). Это происходит при сильных повреждениях гильзы или из-за неправильной укладки гильзы на транспортную ленту;

2) не было обнаружения двух запальных отверстий правильной формы. Запальные отверстия обнаруживаются пороговыми методами в левой части кадра (см. рис. 2, а), затем анализируется их размер и форма;

3) количество обнаружений дефектов одного типа на гильзе превышает заданное значение;

4) количество обнаружений дефектов любого типа на гильзе превышает заданное значение.

Обнаружение дефектов на гильзах – задача нетривиальная. Поверхность гильз бывает разного качества и оттенка. Некоторые дефекты видны только под определенным углом, поэтому учет одинарного обнаружения дефекта на гильзе приводит к высокому уровню перебраковки. При количестве кадров, за которое гильза проходит зону осмотра, примерно равном 20, количество обнаружений дефектов, требуемое для уверенной браковки, равно 2–3 (в зависимости от типа дефекта).

Результаты работы алгоритма

В процессе опытной эксплуатации регулярно проводился автоматический контроль партии продукции объемом несколько десятков тысяч. Результат автоматического контроля тщательно перепроверялся сотрудниками технического контроля. Результаты четырех проверок (в общей сложности 156 тыс. гильз) приведены в табл. 2 и на рис. 6.

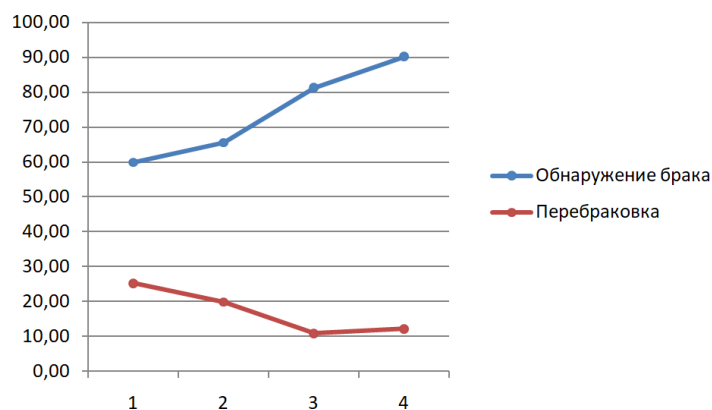


Рис. 6. График изменения качества автоматического контроля

Таблица 2

Результаты проверок

Номер контроля	1	2	3	4
Обнаружение брака (%)	59,9	65,5	81,3	90,2
Перебраковка (%)	25,3	19,9	10,9	12,2

Заключение

Представлен алгоритм контроля внешнего вида гильз, использующий нейросетевые технологии. Описаны правила автоматического контроля внешнего вида гильз, приведены структуры нейросетей.

Приведены результаты оценки качества работы алгоритма, показывающие, что требуемый уровень выявления брака в 95% еще не достигнут, но тенденция роста этого параметра позволяет надеяться на скорое достижение этой планки.

При уровне выявления брака 90% качество автоматического контроля превышает качество штатного (ручного) контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология патронно-гильзового производства / А. Р. Сафарянц // ЦНИИ информации. – 1975. – С. 10, 198–203.
2. Технология производства патронов стрелкового оружия, Ч. 3. Обработка резанием, термическая и химическая обработка, сборка. Проектирование технологических процессов / Н.П. Агеев, Г.А. Данилин, В.П. Огородников // Балт. гос. техн. ун-т. – СПб. – 2006. – С. 141–144.
3. Object Detection in Aerial Images Using a Multiscale Keypoint Detection Network / J. Su, J. Liao, D. Gu [et al.] // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2021. – Vol. 14. – P. 1389–1398. – DOI 10.1109/jstars.2020.3044733.
4. An efficient intrusion detection technique based on support vector machine and improved binary gravitational search algorithm / M. R. Gauthama Raman, N. Somu, S. Jagarapu [et al.] // Artificial Intelligence Review. – 2020. – Vol. 53, No. 5. – P. 3255–3286. – DOI 10.1007/s10462-019-09762-z.
5. An Artificial Intelligence-Based Pick-and-Place Process Control for Quality Enhancement in Surface Mount Technology / J. He, Yu. Cen, Sh. Alelaumi, D. Won // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 2022. – Vol. 12, No. 10. – P. 1702–1711. – DOI 10.1109/tcpmt.2022.3215109.

© И. А. Выхристюк, 2025