

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА СОРТИРОВКИ ПОЧТОВЫХ ОТПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Можейко Д.О., Мынзул А.Э., студенты

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – канд. техн. наук, доцент

В работе представлена реализация программно-аппаратного комплекса для автоматизации физической сортировки почтовой корреспонденции. Описана двухуровневая архитектура системы управления на базе микрокомпьютера Raspberry Pi 4 и микроконтроллера ESP32. Представлен алгоритм распознавания индексов с использованием многослойного перцептрона, реализованного на языке C++ с применением библиотеки OpenCV. Приведен расчет экономической эффективности внедрения системы в локальных узлах связи.

Автоматизация логистических процессов в локальных узлах связи является критическим фактором повышения эффективности доставки «последней мили». Существующие промышленные линии отличаются высокой стоимостью и закрытой архитектурой [1]. Целью работы является создание автономного комплекса с открытой архитектурой (Edge Computing), обеспечивающего высокую скорость обработки данных без обращения к облачным сервисам.

Аппаратная часть системы построена на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 4 (Master-узел), выполняющего функции захвата видеопотока и нейросетевого инференса. Периферийное управление реализовано на микроконтроллере ESP32-WROOM-32U, который в режиме реального времени обрабатывает сигналы датчиков и управляет приводами.

В качестве исполнительных механизмов применены коллекторный двигатель JGB37-520 для конвейера и сервопривод MG996R для узла динамического сброса. Оптическая регистрация осуществляется модулем Raspberry Pi Camera v2, что позволяет получать четкие и детализированные кадры движущихся объектов при минимальных задержках передачи данных напрямую в графический сопроцессор.

Программный модуль разработан на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV для предварительной фильтрации, сегментации и нормализации изображений [2]. Вычислительное ядро представляет собой многослойный перцептрон (MLP). Для достижения максимальной производительности математическая модель реализована полностью на нативном коде без использования избыточных сторонних фреймворков глубокого обучения.

Архитектура нейронной сети включает входной слой из 784 нейронов, что соответствует вектору нормализованного изображения размером 28x28 пикселей. Хранение синаптических весов организовано в виде непрерывных одномерных массивов в оперативной памяти, что обеспечивает эффективное использование кэш-памяти процессора и предотвращает фрагментацию ресурсов при выполнении ресурсоемких матричных операций. В качестве нелинейного преобразования в скрытых слоях применяется модифицированная функция активации ModRelu [3]. Данная функция решает проблему затухания градиентов за счет введения малого положительного коэффициента для отрицательных входных сигналов, а также защищает систему от взрывного роста значений на этапе обучения.

Обучение нейронной сети проводилось по методу обратного распространения ошибки с использованием стохастического градиентного спуска на репрезентативном наборе данных EMNIST. Для повышения обобщающей способности модели и предотвращения эффекта переобучения в архитектуру интегрирован алгоритм регуляризации Dropout, обеспечивающий случайное отключение 20% нейронов входного слоя на каждой итерации процесса обучения. Точность распознавания на тестовой выборке (Accurasy) составила 98% и рассчитывается по формуле:

$$Accuracy = \frac{correct}{N_{total}} \quad (1)$$

где *correct* – количество верно распознанных символов; N_{total} – объем выборки.

Результаты внедрения системы показывают высокую экономическую эффективность: срок окупаемости инвестиций составляет 0,67 года при рентабельности 150,1%.

Список использованных источников:

1. Siemens Logistics Intelligent intralogistics for airports and postal services [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-logistics.com/en/> – Дата доступа: 16.03.2026.
2. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) Библиотека алгоритмов компьютерного зрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opencv.org/> – Дата доступа: 16.03.2026.