

УПРАВЛЕНИЕ НА РОБОТИЗИРАН МАНИПУЛАТОР ЧРЕЗ МОДУЛ ЗА КОМПЮТЪРНО ЗРЕНИЕ С ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Михаил Загорски
mihail.zagorski.tu@gmail.com
ТУ-София, ФИТ, кат. ТММ;
лаб. „Изкуствен интелект
и CAD системи“,
СНИРД, София Тех Парк,
бул. „Цариградско шосе“ № 111

Радослав Милчев
rmiltchev@tu-sofia.bg
ТУ-София, ФИТ, кат. ТММ;
лаб. „Изкуствен интелект
и CAD системи“,
СНИРД, София Тех Парк,
бул. „Цариградско шосе“ № 111

Саво Цветков
savo_tsvetkov@outlook.com
ТУ-София, ФКСТ,
„Информационни технологии в
индустрията“,
бул. Климент Охридски № 8



Artificial Intelligence &
CAD Systems Lab



В настоящата публикация е разгледан пример за обучение и интегриране на модул за компютърно зрение с изкуствен интелект с отворен код, използван за управлението на роботизиран манипулатор за автономно сортиране на детайли.

Ключови думи: роботизирани системи, компютърно зрение, изкуствен интелект

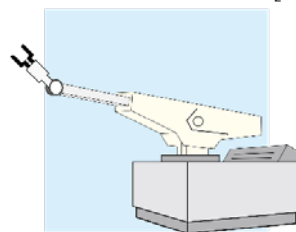
1. Увод

Понятието „робот“ води началото си от научно-фантастичната повест R.U.R. („Универсални работи на Росум“), написана през 1920 г. от Карел Чапек [1]. Терминът на чешки език означава „тежка работа“ или „принудителен труд“ [2]. Концепцията за машини, които да заменят хората в различни дейности, намира сериозно развитие и при друг учен фантаст – Айзък Азимов, който през 1942 г. в разказа си „Хоро“ въвежда названието „роботика“ и формулира своите три закона на роботиката [3].

Световната индустрия мигновено възприема тези понятия и те се превръщат в термини. От една страна се използват за системи, които извършват различни операции, свързани с автоматизация на производството – сортиране, заваряване и др. От друга, термините се отнасят за автономни машини за изследване и картографиране на труднодостъпни терени [4], осигуряване на наблюдение и охраняване на обекти [5], тактически действия, провеждане на спасителни операции, манипулации в опасна среда – например с повишено съдържание на токсични газове, радиоактивна среда [6], повдигане на тежки товари [7] и други дейности, за които човек няма необходимата сила, бързина или пък са твърде опасни за него.

В средата и края на 50-те години на XX век, в следствие на бързото технологично развитие, се раждат и първите индустриални работи манипулатори, които бързо намират приложение

в масовото производство. Такъв е примерът с първия робот на компанията Unimation, която през 1961 г. внедрява своя манипулатор с хидравлично задвижване Unimate в производствения процес на автомобилния гигант General Motors [8]. Някои източници го определят като първия индустриален робот [9]. На фиг. 1 е показана негова скица [10].



Фиг. 1 Скица на робот Unimate

В последствие се развиват системи, които се управляват от програмируеми контролери, при които голяма част от хидравличните задвижвания са заменени с директни електрически и др. Към края на XX век индустриалните работи манипулатори на компании като KUKA, ABB, FANUC и др. добиват облика, познат и до днес (фиг. 2 [11]).



Фиг. 2 Робот KUKA в действие по преместване на стъкло

Един от основните проблеми при управлението на роботите манипулатори е свързан с осигуряване на автономна работа, която обикновено се осъществява с помощта на различни сензори за обратна връзка (разстояние, сила, температура, налягане и др.). При задачите, свързани със сортиране, е необходим и допълнителен елемент – компютърно зрение, което да разпознава различните детайли. Японската компания HITACHI е пионер в областта – през 1973 г. произвежда първия индустриален робот със сензори за динамично зрение (в наши дни подобни системи се използват за следене на траектория). Той разпознава винтове върху движещите се обекти и ги завива или отвива в движение [12].

С технологичното развитие на компютърното зрение в автоматизирането на процесите навлизат множество системи, базирани на изкуствен интелект. Едни от най-известните разработки са на компанията National Instruments. Техните камери и софтуер за обучение позволяват различни задачи, свързани със следене и разпознаване на обекти и съответната обработка на изображения, да се извършват с висока точност и голяма скорост [13]. Основните проблеми, свързани с използването на този тип системи, са високата цена, както и липсата на възможност за въздействие на ниско ниво, поради затворената архитектура на софтуера.

В настоящата публикация е разгледан пример за обучение и използване на собствена разработка на модул за компютърно зрение с изкуствен интелект, използващ решения с отворен код. Той е внедрен в управлението на роботизиран манипулатор за автономно извършване на операции по сортиране на два типа обекти – винт и гайка.

2. Използвана апаратура и софтуерни инструменти

За целите на разработката е използвана роботизирана ръка Arduino Tinkerkit Braccio с 6 степени на свобода (фиг. 3 [14]) с външно управление, извършвано от микроконтролер Arduino Uno, и допълнителна разширителна платка за електромоторите на роботизираната ръка, която е снабдена с външно захранване, което захранва микроконтролера, както и електромоторите на робота манипулатор. С помощта на допълнително разработено 3D принтирано приспособление над хващача на робота е закрепена HD USB камера, която системата използва за компютърно зрение (фиг. 4).



Фиг. 3 Arduino Tinkerkit Braccio

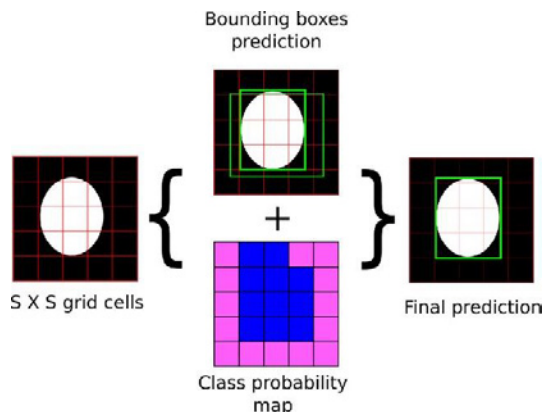


Фиг. 4 HD USB камера, закрепена над хващача

Камерата е свързана към микрокомпютър Raspberry Pi 4 с 4 GB RAM. Той се използва за извършване на изчислителните процеси по разпознаване на двата типа обекти. След като се извърши класификацията на обектите в реално време, към микроконтролера Arduino UNO се подава съответна команда за управление на роботизираната ръка. Комуникацията между платките се извършва по UART протокол чрез кабелна връзка между тях.

Разпознаването на обекти е свързано с предварително обучение на модел. За целта е използван алгоритъм YOLO-v5n (фиг. 5 [15]), който използва невронни мрежи за анализ и класификация на подадените изображения, в комбинация с библиотеката за компютърно зрение OpenCV. И двата софтуерни инструмента са напълно безплатни и с отворен код. Обучаването на моделите е извършено с помощта на фреймуърка Roboflow, който също дава възможност за безплатно използване при определени условия.

YOLO (You Only Look Once) е предпочетен пред други алгоритми за класификация, например Haar Cascades, поради необходимостта от работа на системата при различен фон и осветеност, които съответстват на реалната индустриална среда.



Фиг. 5 Принцип на работа на алгоритъм YOLO

3. Обучаване на алгоритъма за разпознаване на обекти

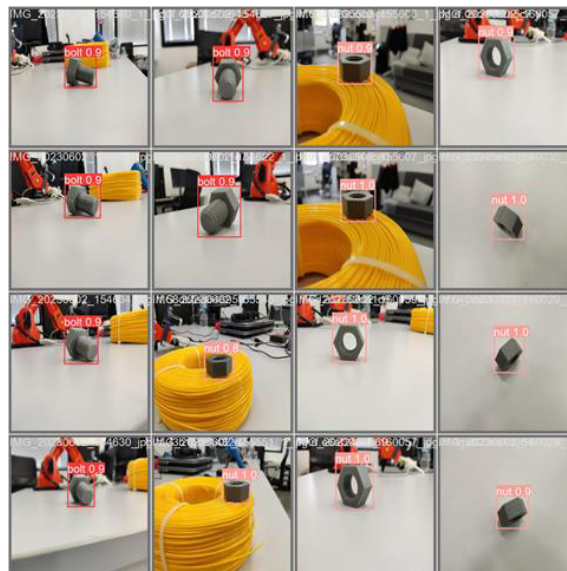
Алгоритъмът за разпознаване се обучава чрез създаване на две множества от снимки в Roboflow: едната – с изображения на винт (клас bolt), а другата – на гайка (клас nut). Изображенията се заснемат от различни ъгли, разстояние, при различна осветеност, на различен фон и т.н.. За да се създаде модел с висока точност на разпознаване, са необходими няколкостотин до няколко хиляди изображения на обектите. На всяка снимка трябва да се посочи ROI (Region of Interest), т.е. детайлите трябва да се оградят в правоъгълник, чиито координати се записват в отделен файл (фиг. 6). Това действие може да се извърши ръчно или с помощта на модел от типа на SAM (Segment Anything Model).



Фиг. 6 Ограден ROI върху снимка

Обучението на примерния модел отнема около 4 часа при общо подадени 500 изображения.

На фиг. 7 са показани резултати от класификацията на обектите в двата създадени класа – nut и bolt.

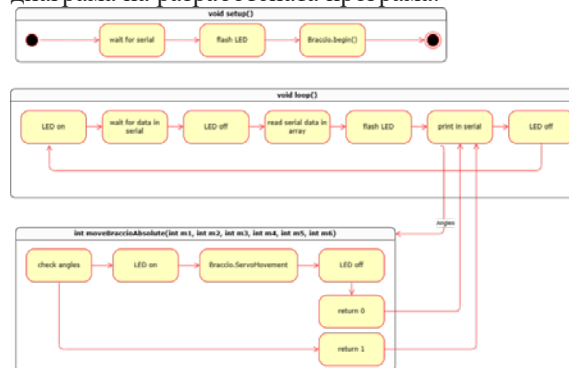


Фиг. 7 Класификация на обектите

Обученият модел успява да направи разлика между винт и гайка с над 90% точност, която се приема за задоволителна за целите на конкретното изследване.

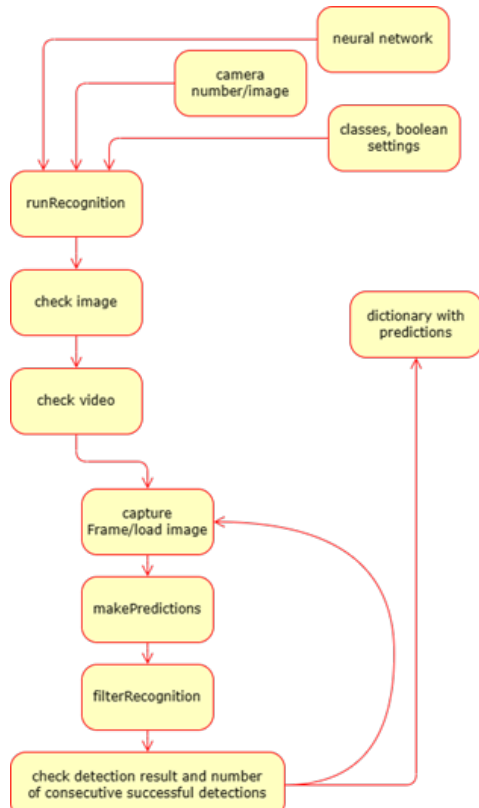
4. Интегриране на системата за компютърно зрение в управлението на робота

Обученият модел за класификация на обектите се внедрява в софтуерното управление на робота. Първо е създадено програмно осигуряване за управлението на микроконтролера Arduino UNO и на разширителната платка за управление на електродвигателите. Езикът за програмиране е опростен C++. На фиг. 8 е показана UML диаграма на разработената програма.



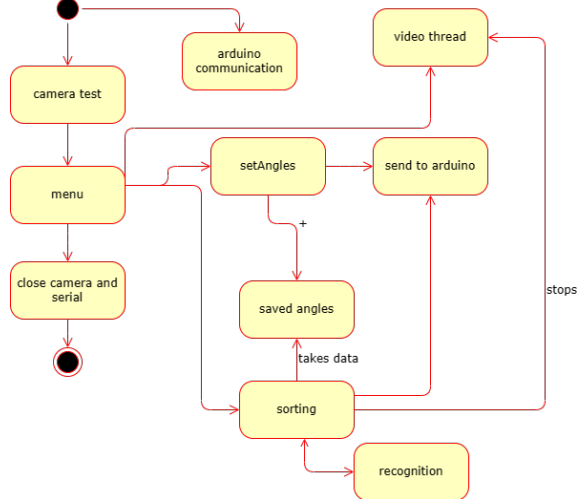
Фиг. 8 UML диаграма на програма за Arduino

Вторият етап, свързан с програмното осигуряване на системата, се отнася към интегрирането на обученния модел за класификация и разработването на програма за микрокомпютъра Raspberry Pi. Използваният език за програмиране е Python. На фиг. 9 е показана UML диаграма на работата на класификатора.



Фиг. 9 UML диаграма на работата на класификатора за Raspberry Pi

На фиг. 10 е показана опростена UML диаграма на работата на цялата система.

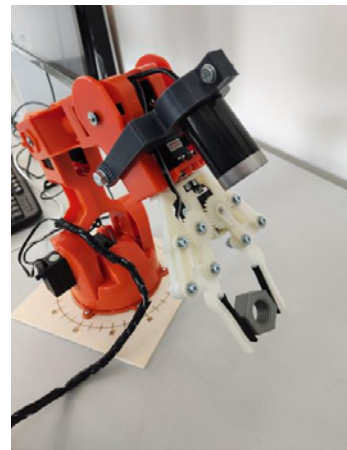


Фиг. 10 UML диаграма на работата на цялата система

На фиг. 11 е показан кадър на роботизираната ръка в момент на разпознаване на обект от клас nut (гайка), а на фиг. 12 – в момент на пренасяне на обекта.



Фиг. 11 Разпознаване на обект от клас nut



Фиг. 12 Пренасяне на обект от клас nut

5. Обобщение

В настоящата публикация е разгледан пример за системната интеграция на модул с изкуствен интелект, използващ компютърно зрение, както и успешното му внедряване в управлението на робот манипулатор. Решението може да бъде използвано при разширяване на функционалността на съществуващи роботизирани системи в индустрията и е пример за ясно изразен синергичен ефект.

Развитието на различни алгоритми за компютърно зрение с елементи на изкуствен интелект подпомага решаването на реални предизвикателства пред индустрията – класификация и сортиране на различни обекти, откриване на дефекти по обекти, движещи се по поточни линии, визуална инспекция на качеството на продукцията, създаване на напълно автономни автоматизирани системи за сглобяване/разглобяване/рециклиране на изделия и др. Такъв тип модели намират приложение и отвъд пределите на индустрията – в медицината, в земеделието, в следенето на

трафик, както и в почти всички останали сфери от дейностите на човека.

Благодарности

Настоящите разработки са осъществени благодарение на лаборатория „Изкуствен интелект и CAD системи“, СНИРД, София Тех Парк.

Литература

- [1] A. Roberts, „The History of Science Fiction“, New York: PALGRAVE MACMILLAN, p. 168, ISBN 978-0-333-97022-5, 2006.
- [2] K. Čapek, R.U.R. Rossum's Universal Robots, Fayetteville: Penguin Ed., 2004.
- [3] I. Asimov, "I, Robot". In "Runaround". New York: Spectra Books, 1942.
- [4] D. Bellicoso, M. Bjelonic, L. Wellhausen, K. Holtmann, F. Günther, M. Tranzatto, P. Fankhauser и M. Hutter, „Advances in Real-World Applications for Legged Robots,“ Journal of Field Robotics, 2018.
- [5] S. Halder, K. Afsari, J. Serdakowski, S. DeVito, M. Ensafi и W. Thabet, „Real-Time and Remote Construction Progress Monitoring with a Quadruped Robot Using Augmented Reality,“ Buildings, том 12, № 11, 2022.
- [6] Y. Jang, W. Seol, K. Lee, K. Kim и S. Kim, „Development of quadruped robot for inspection of underground pipelines in nuclear power plants,“ Electronics Letters, том 58, № 11, 2021.
- [7] N. Hu, S. Li, D. Huang и F. Gao, „Modeling and Optimal Control of Rescue Quadruped Robot with

High Payload“ в Proceedings of ASIAN MMS 2016 and CCMMS 2016, Guangzhou, 2016.

- [8] J. Wallen, „The History of the Industrial Robot“, Technical Report, Linköpings: Automatic Control at Linköpings Universitet, 2008.
- [9] S. Y. Nof, „Handbook of Industrial Robotics“ (2nd ed.), John Wiley & Sons, pp. 3–5. ISBN 0-471-17783-0, 1999.
- [10] By EBattleP - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=82462316>
- [11] KUKA Roboter GmbH, Bachmann, Public domain, via Wikimedia Commons
- [12] <https://futura-automation.com/2019/05/15/a-history-timeline-of-industrial-robotics/> [Отваряно на 12 юли 2023 г.].
- [13] <https://www.ni.com/en-us/shop/compactrio/what-are-compactrio-controllers/machine-vision-and-image-processing-with-compactrio--the-ultimat.html> [Отваряно на 12 юли 2023 г.].
- [14] <https://store.arduino.cc/products/tinkerkit-braccio-robot> [Отваряно на 12 юли 2023].
- [15] M. Durve, F. Bonaccorso, A. Montessori, M. Lauricella, A. Tiribocchi, S. Succi, „Tracking droplets in soft granular flows with deep learning techniques“, The European Physical Journal Plus, 136.10.1140/epjp/s13360-021-01849-3, 2021.

CONTROL OF ROBOT MANIPULATOR USING A COMPUTER VISION ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODULE

Mihail Zagorski

mihail.zagorski.tu@gmail.com

TU-Sofia, FIT, dept. TMM
„Artificial Intelligence
and CAD Systems Lab“,

R&D&I Consortium, Sofia Tech Park,
111, Tsarigradsko Shosse Blvd.

Radoslav Miltchev

rmiltchev@tu-sofia.bg

TU-Sofia, FIT, dept. TMM
„Artificial Intelligence
and CAD Systems Lab“,

R&D&I Consortium, Sofia Tech Park,
111, Tsarigradsko Shosse Blvd.

Savo Tsvetkov

savo_tsvetkov@outlook.com

TU-Sofia, FCST,
„Information Technology in
Industry“,

8, Kliment Ohridski Blvd.

This publication examines a case study of training and integrating an open source artificial intelligence computer vision module used to control a robotic manipulator for autonomous sorting of parts.

Keywords: robotic systems, computer vision, artificial intelligence