

## ПРОГНОСТИЧНИ МОДЕЛИ ЗА ОЦЕНЯВАНЕ НА РАЗМЕРА НА ПРЕДМЕТИ ЧРЕЗ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ХВАЩАЧ НА ПРОМИШЛЕН РОБОТ MITSUBISHI MELFA

Данаил Славов

**Резюме:** В настоящия доклад са представени изследвания за получаване на оценка за размера на предмети, хващани от електрическа ръка на промишлен робот. Чрез робота се събират данни за предмети с предварително известен размер и в реално време се съставя оценка на тези размери въз основа на получения набор от данни. Целта е чрез съставените по този начин модели да се прогнозира размерът на нови предмети. Провеждат се експерименти за определяне на практическата приложимост на достигнатите резултати. За етапите по събиране на данни, реализиране на предсказващи модели и проверка на приложимостта им е създадена съвкупност от софтуерни програми изцяло със средствата на средата RT Toolbox 3 и езика MELFA Basic V.

**Ключови думи:** промишлен робот, индустриален робот, машинно обучение, невронни мрежи, хващач

## PREDICTIVE MODELS FOR ESTIMATING THE SIZE OF OBJECTS WITH ELECTRICAL GRIPPER OF MITSUBISHI MELFA INDUSTRIAL ROBOT

Danail Slavov

**Abstract:** This paper presents research on estimating the size of objects gripped by an industrial robot electric hand. Using the robot, data for objects with known size is collected and these sizes are evaluated in real time based on the dataset obtained. The estimation models thus obtained aim to predict the size of new objects. Experiments are conducted to determine the applicability of the results. For the data collection, predictive models implementation, and feasibility verification stages, a group of programs is developed only by the means of the RT Toolbox 3 environment and MELFA Basic V programming language.

**Keywords:** industrial robot, machine learning, neural networks, gripper

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

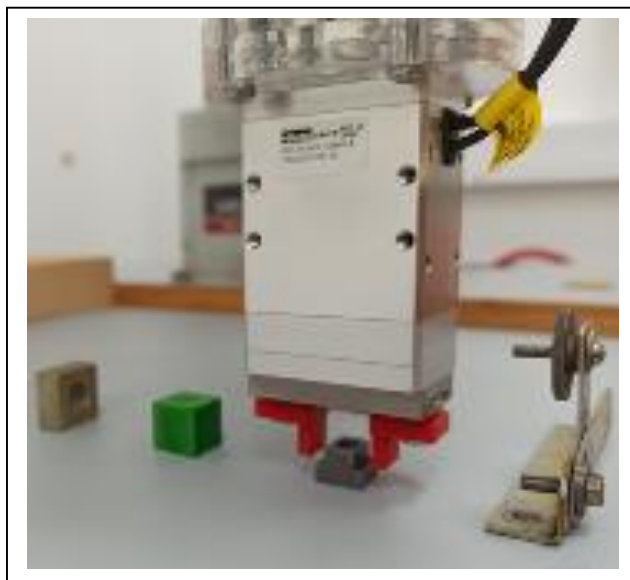
В производствените процеси често са включени задачи с движения от типа „вземане и поставяне“, извършвани от манипулационни роботи. Например при сглобяване, където роботът поема детайл от поточна линия и го монтира в друг детайл, който се поема от следващата поточна линия. Или при опаковане, където,

след като вземе продукта, роботът го поставя на точно определено място в опаковъчен контейнер [1]. Автоматизирането на тези задачи ускорява промишлените процеси и увеличава производствените темпове. Роботите, оборудвани с хващачи и специализирани за движения по вземане и поставяне, успешно се справят с тези повтарящи се манипулации, като по този начин предоставят възможност на хората да се концентрират върху по-сложни и креативни дейности [2].

Вземането на решения при такава постановка много често се подпомага от сложни системи за техническо зрение. Представените тук изследвания са мотивирани от търсенето на начини за автономна работа на подобен клас роботи, които използват единствено възприятията си за подлежащите на преместване предмети, получени чрез свързания хващач.

## 2. ПОЛУЧАВАНЕ НА ДАННИ

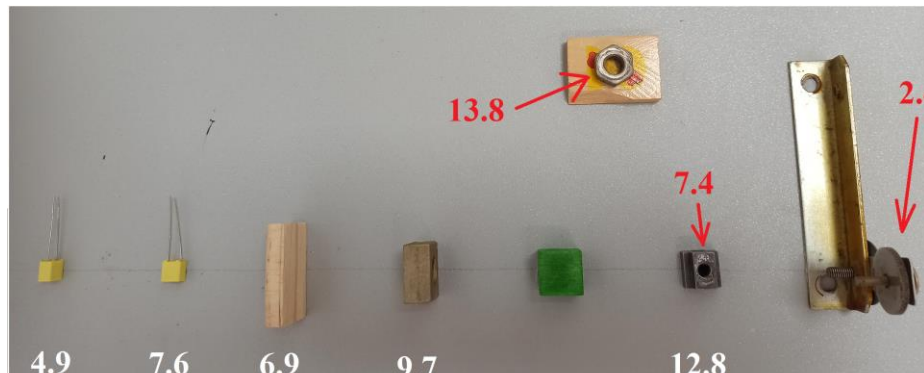
Първият етап от настоящата разработка е да се осигурят входни и изходни данни за обектите от средата, които впоследствие ще се подават към изчислителния модел. За целта се снемат данни за 8 предмета с предварително известен размер. Използва се шест-осев промишлен робот Mitsubishi MELFA с многофункционален електрически хващач Mitsubishi 4F-MENGR-03. Входните величини са скорост на хващача, време за затварянето му, оценка на изминатия път при затваряне (произведението на зададената скорост и измереното от робота време). Изходната величина е размерът на страната на съответния предмет, около която се затваря хващачът.



*Фиг. 1. Снемане на данни за предметите чрез електрически хващач*

За всеки запис се задава произволна стойност за скоростта и силата на затваряне чрез инструкцията  $Rnd()$  в програмния език. Тъй като конкретният модел хващач има ограничения за минималните стойности на тези величини (20% за скоростта и 30% за силата [3]), при получаване на произволно число, по-малко от тези стойности, отново се извиква инструкцията, докато бъдат удовлетворени ог-

раниченията. Размерът на всеки от предметите е предварително измерен ръчно с точност до 0,1 mm и зададен в програмата.



**Фиг. 2.** Предмети, използвани за снемане на данните, с означени размери в mm

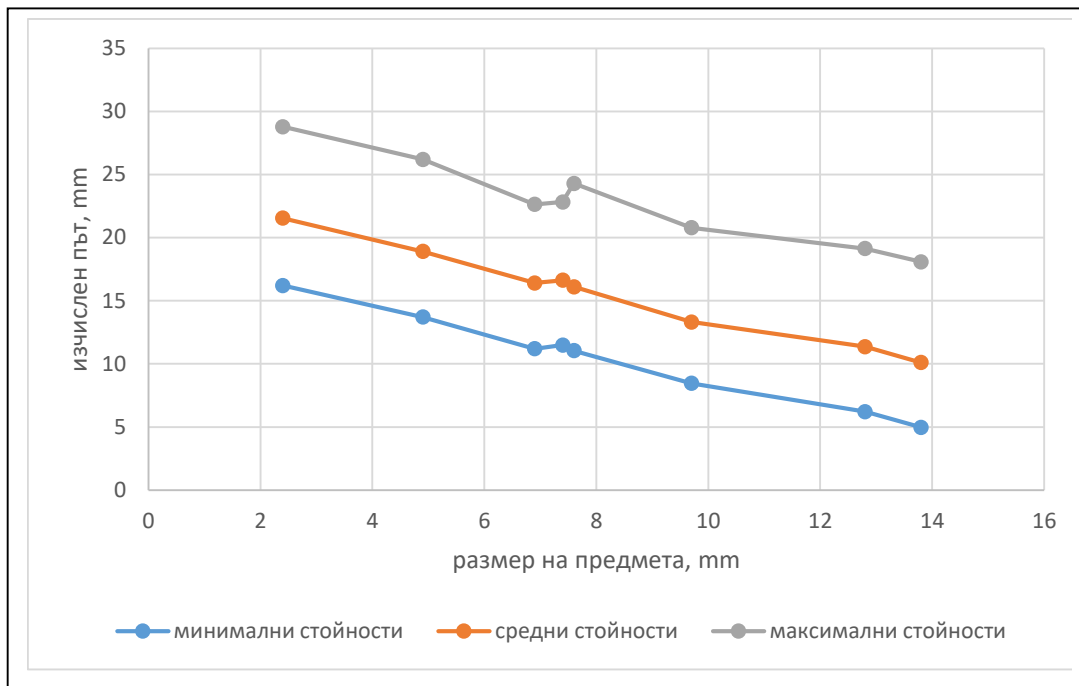
Манипулаторът на работа последователно обхожда осемте предмета, позиционирайки хващача над всеки от тях. За всеки предмет се извършват по 500 затварящи движения, като по този начин се получават общо 4000 записа с данни. В табл. 1 е представено обобщение на получените данни. Скоростта е изразена в проценти, като стойностите са еквивалентни на mm/s (1% = 1 mm/s). Силата е изразена в проценти и нютони (1% = 0,22 N) [3].

**Табл. 1.** Обобщение на сметите чрез робота данни

действителен размер, mm	средна скорост, %, mm/s	средна сила, % (N)	време за затваряне, ms			изчислен път, mm		
			мин.	средна	макс.	мин.	средна	макс.
2,4	59,08	65,24 (14,35)	240,00	415,40	852,90	16,20	21,54	28,78
4,9	59,40	63,14 (13,89)	211,11	363,75	739,11	13,71	18,90	26,19
6,9	60,94	63,91 (14,06)	174,22	302,86	589,78	11,19	16,41	22,63
7,4	61,60	64,67 (14,23)	184,00	299,57	618,22	11,49	16,62	22,82
7,6	59,60	65,05 (14,31)	192,00	301,39	610,67	11,04	16,10	24,30
9,7	59,86	65,20 (14,34)	147,11	249,23	461,78	8,46	13,32	20,78
12,8	60,38	64,73 (14,24)	126,67	201,43	357,78	6,21	11,36	19,14
13,8	59,20	66,06 (14,53)	119,56	181,90	292,44	4,97	10,11	18,08

### 3. ПРОГНОСТИЧЕН МОДЕЛ ЧРЕЗ СРЕДНИ СТОЙНОСТИ НА ПЪЛНИЯ ХОД И ПЪТЯ ДО ЗАТВАРЯНЕ НА ХВАЩАЧА

За оценка на неизвестен размер на предмети може да се използва изчисленият от програмата път, който палците на хващача изминават при затварящото движение. Обобщените данни показват, че колкото той е по-голям, толкова по-малък е предметът, т.к. палците трябва да изминат по-голямо разстояние, за да се затворят около него. Това е показано и на фиг. 3.



Фиг. 3. Зависимост на изчисления изминат път от палците на хващача спрямо действителния размер на предмета

При предметът с размер 7,4 mm се наблюдава слабо отклонение от общата зависимост, което вероятно се дължи на твърде малката разлика спрямо съседните му по размер два предмета.

Приетият подход за прогнозиране на размера, оценяващ изминатия път до затваряне и пълния ход, се изразява в следното: За всеки предмет се намира средната стойност на оценения път  $\hat{s}_{path}$  и се сумира с действителния размер  $s_{size}$ :

$$\hat{s}_{stroke} = \bar{\hat{s}}_{path} + s_{size} \quad , \quad \text{където} \quad \bar{\hat{s}}_{path} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{s}_{path_i} \quad , \quad n = 1 \text{ до } 500 \quad (1)$$

Изчислява се средната стойност на тази сума (23,73243706), а полученият по този начин коефициент представлява оценка на пълния ход на хващача (от напълно отворено до напълно затворено положение).

$$\bar{\hat{s}}_{stroke} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_{stroke_j} \quad , \quad m = 1 \text{ до } 8 \quad (2)$$

Ако от този коефициент се извади средната стойност на оценения път, то ще се получи оценка на размера на всеки предмет  $j$ .

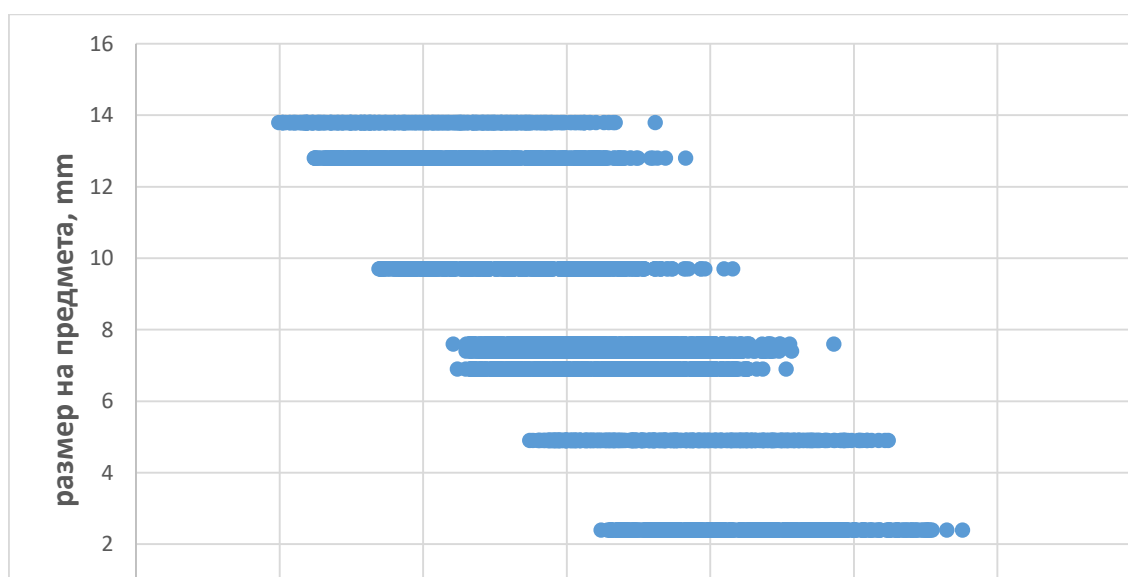
$$\hat{s}_{size_j} = \bar{\hat{s}}_{stroke} - \bar{\hat{s}}_{path_j} \quad (3)$$

Тя би могла да се използва за прогнозиране на размера на предмети, при които той не е известен предварително. Представен е начин за изчисляване на точността на модела като средна стойност на разликата (по абсолютна стойност) между прогнозните и действителните размери на всички предмети, за които са получени данни:

$$\varepsilon = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |s_{size_j} - \hat{s}_{size_j}|, m = 1 \text{ до } 8 \quad (4)$$

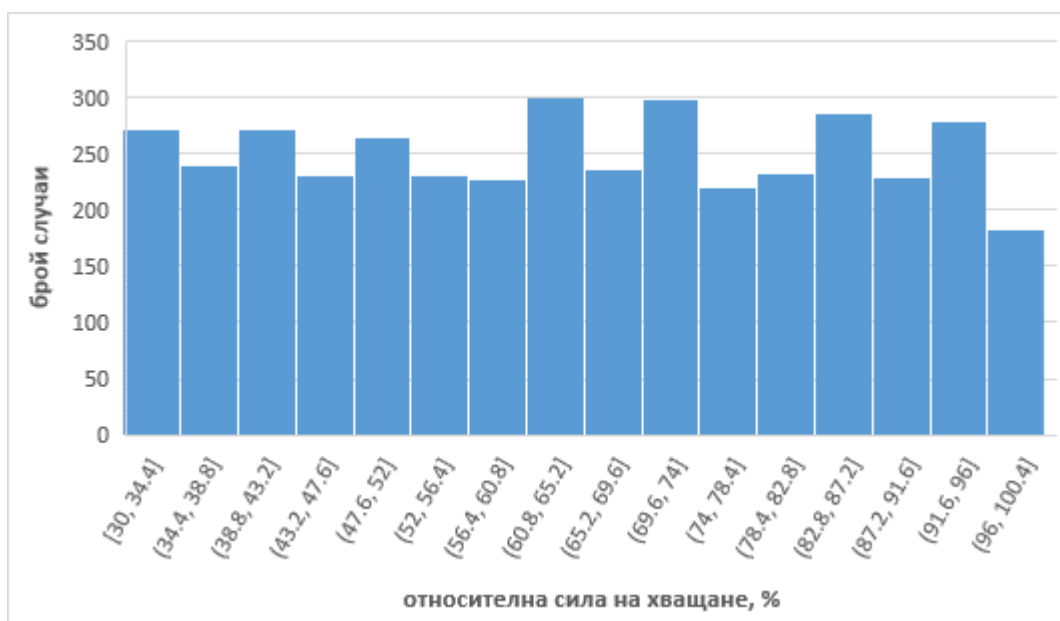
В случая  $\varepsilon = 0,29 \text{ mm}$  – т.е. 3 пъти повече от разделителната способност на ръчното измерване.

От фиг. 4 е видно, че за един и същ предмет програмата изчислява различни стойности на изминатия път при затваряне на хващача около предмета.



**Фиг. 4.** Разсейване на изчисления път, който изминават палците на хващача спрямо действителния размер на предмета

Причината за това може да се търси в промяна на ускорението по време на движение, както и във влияние на силата, с която хващачът е необходимо да стисне предмета. Когато тя е по-голяма, изминава повече време от момента на допир с предмета до достигане на желаната сила, като през това време палците не извършват движение за доближаване на предмета. В опит да се намали влиянието на различната сила на затваряне върху оценката на размера за изчисляването ѝ се избират само примерите с най-често срещаните стойности – в интервала от 60 до 65% и от 69 до 74% (фиг. 5), макар че разпределението е сравнително равномерно.



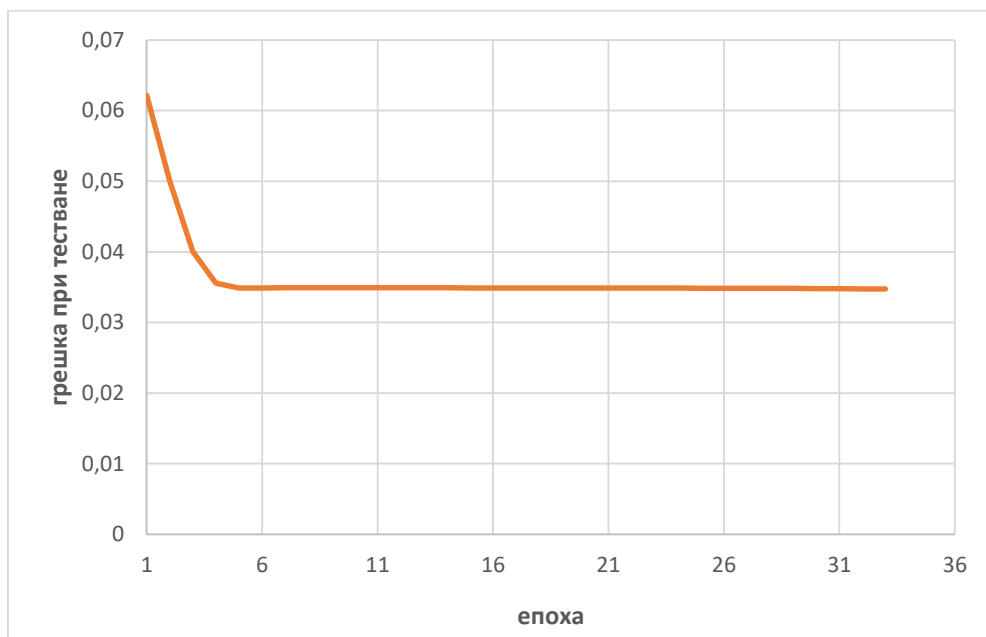
**Фиг. 5.** Разпределение на стойностите на параметъра „сила при затваряне на хващача“

Изчисленията се повтарят с тази филтрирана извадка и се получават коефициенти 23,65 (грешка 0,36 mm) и 23,86 (грешка 0,48 mm) съответно за всеки от интервалите. И в двата случая грешката е по-голяма, отколкото при използване на всички снети данни.

#### 4. ПРОГНОСТИЧЕН МОДЕЛ ЧРЕЗ МАШИННО ОБУЧЕНИЕ

Реализиран е и втори подход за прогнозиране на размерите на предмети чрез машинно обучение с използване на изкуствена невронна мрежа (ИНМ). Като входни параметри на мрежата се подават скоростта и силата на затваряне на хващача, времето за това действие (измерено със средствата на робота) и производението на скоростта по времето. Изходен параметър е размерът на предмета. Дизайнът на ИНМ е с един скрит слой от 5 неврона. Реализирано е моделиране чрез линейна регресия, като обучаващ алгоритъм се използва „връщане на грешката“, а като оптимизационен – „спускане по градиента“. Ролята на ценова функция играе средноквадратичната грешка между действителния и прогнозирания размер.

При всяка епоха на обучение (прав ход за изчисляване на хипотезата и обратен за коригиране на тегловете коефициенти) моделът се захранва с една и съща извадка от 1000 обучаващи примера, произволно избрани от всичките 4000 записа със снети данни. Грешката при тестване се изчислява върху друга такава извадка от 1000 примера. За разлика от първия подход, в този прогнозиращ модел вече участва и силата на затваряне – като входен параметър към ИНМ – в стремеж да бъде отчетено влиянието ѝ върху формирането на крайния резултат (хипотезата). На фиг. 6 е представено изменението на ценовата функция с увеличаване на броя епохи на обучение.



**Фиг. 6.** Зависимост между средноквадратичната грешка върху тестовата извадка и броя епохи на обучение

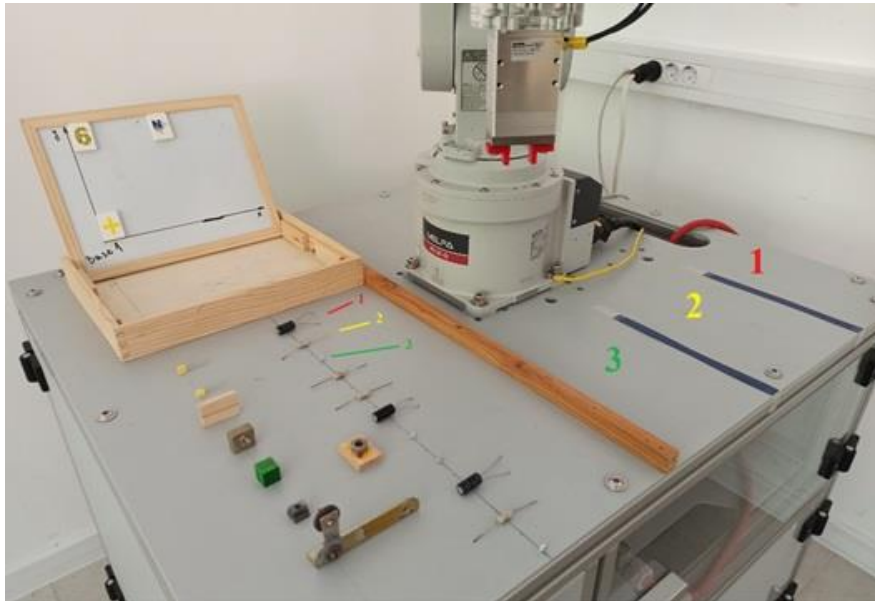
Постигнатата грешка след четвъртата епоха е 0,0349, което съответства на 2,67 mm. Видно е, че след това намаляването на грешката значително се забавя, което евентуално би могло да се компенсира с подаване на по-голям брой обучаващи примери, както и с промяна на дизайна на ИНМ – напр. увеличаване на невроните в скрития слой. Моделът обаче е реализиран изцяло в RT Toolbox 3 с програмния език MELFA Basic V, при който не могат паралелно да се извършват математическите операции с вектори и матрици, интензивно използвани в избрания алгоритъм. Също така няма възможност за включване на външни библиотеки с допълнителни изчислителни оптимизации. По тази причина процесът протича изключително бавно: провеждането на 1 епоха с 1000 примера за обучение и други 1000 примера за тестване отнема средно 260 секунди.

## 5. ЕКСПЕРИМЕНТИ ЗА СОРТИРАНЕ НА ПРЕДМЕТИ С ПОЛУЧЕНИТЕ ОЦЕНЪЧНИ МОДЕЛИ

След формирането на гореописаните два модела, прогнозиращи размера на предмет, за проверка на практическата им приложимост се извършва серия от експерименти. Опитната постановка се състои в следното (фиг. 7): Роботът обхожда предварително указани позиции, в които се намират предмети с неизвестни за него размери. Във всяка позиция хваща предмета с произволна сила и скорост, изчислява размера му въз основа на заложения модел и съобразно това го поставя на предварително определено място, съответстващо на действителния размер.

Целта е да се постигне максимално точно сортиране на предметите, като несъответствията се регистрират в процеса на работа. При този етап от изследванията се използват общо 11 предмета с 3 различни размера. Съгласно [4]: *Тъй като формулираната теория е обобщено описание на поведението на системата, то тя се използва за генериране по умозаключителен път (предсказване) на хипотетични екземпляри на поведение, които не са били наблюдавани.* По тази

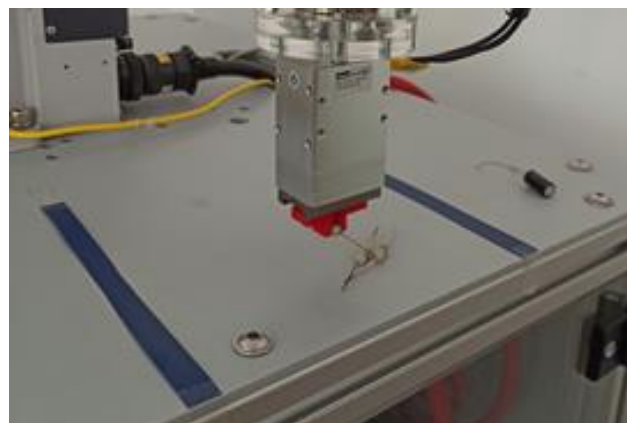
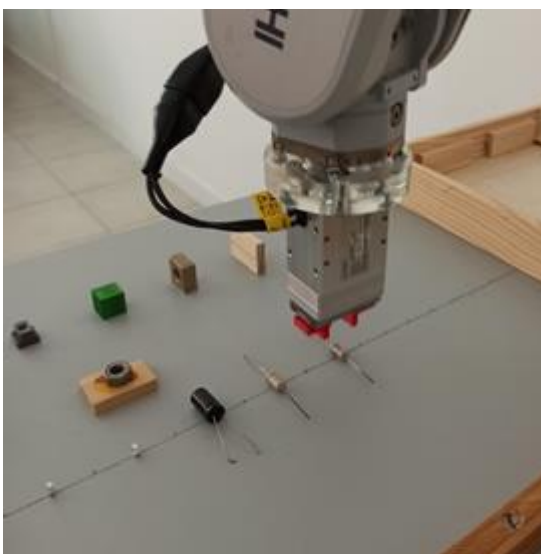
причина предметите, използвани за проверка на приложимостта, са с размери, различни от тези, участвали в събирането на данни. Така може да се провери способността на модела за обобщаване (генерализиране).



*Фиг. 7. Експериментална постановка за проверка на приложимостта: предметите с размери 10,3 mm (означение 1), 6,2 mm (означение 2) и 3 mm (означение 3) трябва да бъдат сортирани в съответните зони 1, 2 и 3*

Първият модел, оценяващ размера въз основа на средните стойности на изчисления път, не произвежда задоволителни резултати. Оказва се, че с него се получават прогнози, които са твърде неточни оценки на действителния размер. Следователно, с помощта на този модел роботът не е в състояние да сортира правилно използваните предмети.

При използване на втория модел, обучен с етикетирани примери, сортирането в болшинството от случаи е безпогрешно и само при малък брой опити роботът не успява да постави 1 или 2 предмета на правилното място.



*Фиг. 8. Роботът хваща поредния предмет и го поставя в съответната зона*



## 6. ИЗВОДИ

Проведените изследвания показват, че прогностичният модел, съставен въз основа на средните стойности на пълния ход и пътя до затваряне на хващача, маркар и теоретично да произвежда малка грешка – по използвания за оценката ѝ метод – на практика не дава добри резултати и в текущия си вид е неприложим за поставените задачи. Основната причина за неуспеха му е фактът, че той не е съобразен с голямото разсейване на входните данни, най-вече изчисления път, изминаван от палците на хващача. Също така по никакъв начин не отчита влиянието на силата, с която хващачът стиска предметите.

При използване на модела с машинно обучение се постигат удовлетворителни резултати от сортирането на предмети с неизвестни за робота размери. Следва да се отбележи, че разликите в размерите на тези предмети е необходимо да бъдат по-големи от постигнатата от модела грешка по време на обучението му. Интерес би представлявало да се установи дали тази грешка може да бъде допълнително намалена чрез експериментиране с дизайна на модела. За съжаление приетите тук подходи внасят силни ограничения в тази посока. Основно препятствие е бавното изпълнение на софтуерната програма в частта за обучение и тестване на ИНМ. Използваният програмен език не разполага с библиотеки и инструменти, специализирани за машинно обучение. Всички математически действия над вектори и матрици са реализирани итеративно чрез цикли и така не може да се постигне паралелна обработка на данните.

Целесъобразно е усъвършенстването на такъв тип прогностичен модел, който може да отчита силата на затваряне, както и някои неявни параметри, като ускорения по време на движението на хващача, а също т. нар. „мъртъв ход“ и др. За целта обаче е необходимо към робота да се свърже подходящ допълнителен хардуер, който да се грижи за математическите изчисления, или те да се извършват изцяло онлайн на персонален компютър, което дава перспективи за провеждането на бъдещи изследвания.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Robotics Online Marketing Team (2018), Pick and Place Robots: What Are They Used For and How Do They Benefit Manufacturers?, RIA – Robotics Online (<https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Pick-and-Place-Robots-What-Are-They-Used-For-and-How-Do-They-Benefit-Manufacturers/88>, достъпен на 13.07.2020 г.).
- [2] Allen W. (2020), What is a pick and place robot?, 6 River Systems (<https://6river.com/what-is-a-pick-and-place-robot/>, достъпен на 13.07.2020 г.).
- [3] (2018), Multifunctional Electric Hand Option Instruction Manual, Mitsubishi Electric
- [4] Д. Димитров, Д. Никовски, Изкуствен интелект, второ преработено издание, Издателски комплекс на Технически университет – София, 1999

**Автор:** *Данаил Славов*, ас. инж.; Технически университет – София; факултет Автоматика; катедра Автоматизация на електрозадвижванията; *email: [d.slavov@tu-sofia.bg](mailto:d.slavov@tu-sofia.bg)*

**Author:** *Assist. Prof. Danail Slavov*, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, department Electrical Motion Automation Systems; *email: [d.slavov@tu-sofia.bg](mailto:d.slavov@tu-sofia.bg)*