

АЛГОРИТЪМ ЗА ВЗЕМАНЕ, ОРИЕНТИРАНЕ И ПОСТАВЯНЕ НА ОБЕКТ СЪС 6-ОСЕН РОБОТ И 2Д КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ИНСПЕКЦИЯ

Борис Костов, Владимир Христов

Резюме: С развитието на технологиите за визуална инспекция и изкуствен интелект от роботите се изисква все повече да заменят човек в по-сложни операции, които налагат работа да „вижда“ и „мисли“. Поради тази причина в настоящата разработка е предложен, синтезиран и въведен в експлоатация алгоритъм за вземане на детайл със специфичен маркер от 6-осен робот, поднасянето му на 2Д камера за визуална инспекция и правилното му ориентиране на базата на информацията получена от камерата и поставянето му върху друг детайл с предварително обозначена посока на маркера. Предложено е подобрене на алгоритъма за ориентиране с алгоритъм за компенсирание на грешката при захващане.

Ключови думи: индустриален робот, 2Д камера за визуална инспекция, алгоритъм за ориентиране, поставяне спрямо маркер

ALGORITHM FOR PICKING, ORIENTING AND PLACING AN OBJECT WITH A 6-AXIS ROBOT AND A 2D VISUAL INSPECTION CAMERA

Boris Kostov, Vladimir Hristov

Summary: With the development of visual inspection and artificial intelligence technologies, robots are increasingly required to replace humans in more complex operations that require the robot to "see" and "think." For this reason, the present development proposes, synthesizes, and puts into operation an algorithm for taking a part with a specific marker from a 6-axis robot, presenting it to a 2D camera for visual inspection and its correct orientation based on information received from the camera and its placement. on another part with a pre-marked direction of the marker. An improvement of the orientation algorithm with an algorithm for compensation of the gripping error is proposed.

Keywords: industrial robot, 2D camera for visual inspection, orientation algorithm, marker placement.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Първият същински съвременен робот, програмируем и с цифрово управление, е създаден от американеца Джордж Девол. През 1956 година създадената от

Девол фирма за работи, разработва първият в света индустриален робот, наречен Унимейт, който е инсталиран през 1961 г. в завод на Дженеръл Мотърс и се използва за повдигане и подреждане на горещи метални отливки [1].

През следващите десетилетия промишлените работи се разпространяват широко, извършвайки различни дейности по-евтино или с по-голяма точност и надеждност от хората. Те се използват и за работи, които са твърде мръсни, опасни или отегчителни, за да бъдат извършвани от хора. Роботите намират широко приложение в производството, сглобяването, пакетирането, транспорта, наземните и космически изследвания, хирургията, въоръжението, лабораторните изследвания.

Роботите стават все по-сложни и това увеличава употребата им в индустрията. Главната употреба на работи дотогава е автоматизацията на индустриите за масово производство, при които е необходимо непрекъснато да се повтарят определени операции по един и същ начин. Пример за използването на големи и сложни работи е при производството на автомобили [3].

Един от параметрите, който определя качеството на работа, е точността на позициониране на изпълнителния механизъм.

Точността на повторемост на позицията на индустриалния робот RV-2F-Q1-S15 на Mitsubishi Electric, използван в настоящата разработка е ± 0.02 мм [2,4].



Фиг. 1. Робот Mitsubishi Electric RV-2F-Q1-S15- 6-осен

Много често роботите са част от автоматизирани производствени линии или автоматизирани машини за производство, поради което се налага да се съвместява и синхронизира работата им с други работи и машини, което налага използването на различни сензори и датчици за обратна връзка. Една област на използване в съвременната индустрия е за монтаж на електронни изделия. Причината е голямата серийност на изделията и необходимостта от облекчаване на труда. Поради особеностите на производството на електронни изделия се налага използването на камери за визуална инспекция с цел проследяване на правилният монтаж на отделните компоненти.

В настоящата работа е реализирано автоматизирано производство на електронни изделия посредством 6-осен робот, който има за цел да взема компоненти

и да ги ориентира правилно с камера за техническо зрение, така че да бъдат монтирани на определено място в електронното изделие по-подходящ начин.

Основната цел на съвременните индустриални роботи е увеличаването на производителността на труда, качеството на продуктите и поевтиняване на производството.

2. ЗАДАЧИ НА РОБОТА, ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ОБЕКТА И ИЗБОР НА КАМЕРА

Основни задачи и стъпки на работа са:

1. Първа стъпка е да вземе платка от панелодържач, наситен с 3 колони по 10 реда платки. Да поднесе платката на определено фокусно разстояние. Камерата да направи фронтална снимка на платката, за да се определи дали е правилният модел и дали е обърната с гнездата нагоре, ако платката е обърната на 180° се завърта пред камерата и отново се прави снимка. Ако платката е правилния цвят и е обърната с гнездата към обектива на камерата, то тя се поднася странично за снимка, с която се определя дали гнездата са празни, ако са празни платката се поставя върху масичка.
2. Втора стъпка е да вземе чип от гнездо разположено в края на вибрираща масичка. Да го поднесе пред камерата на фокусно разстояние съобразено с точката на хващане и височината на чипа. Камерата снима чипа, за да открие маркер (пин), спрямо който чипа се ориентира за следващите две снимки на крачета. При третата снимка чипът е ориентиран на 90° спрямо втората снимка. Крачетата се снимат, за да се определи дали имат някаква механична повреда. Ако имат някаква повреда чипа се изхвърля в кутия за негодни чипове.
3. Трета стъпка – роботът поставя чипа ориентиран и компенсиран спрямо грешка породена от захващането с пръстите на грипера.
4. След като всички 16 гнезда бъдат успешно наситени, роботът взема платката и я връща обратно в панелодържача.

Точки от 1 до 4 се повтарят, докато всички платки се наситят с чипове. Общо 30 платки по 16 чипа. Насищането на всички платки трябва да е под 5 мин.

От работа се очаква многократно да подобри бързината и качеството на насищане на платката. С което да допринесе за по-голяма производителност с по-добро качество.

Избраната камера е In-Sight 2000 – С (фиг. 2), защото има голямо бързодействие – 24 fps (color), висока резолюция – 1280x960, автофокус, вградено осветление и множество инструменти за следене на качеството като броене на пиксели, измерване на разстояние, ъгъл, отчитане на цвят, разпознаване на текст и шрифт, OCR и много други.

Камерата работи с множество основни протоколи за комуникация като EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, SLMP Scanner, Modbus TCP, TCP/IP, UDP, FTP,

Telnet (Native Mode), RS-232 и множество индустриални протоколи за комуникация като OPC UA, EtherNet/IP with AOP, PROFINET Class B, iQSS, Modbus TCP, SLMP/SLMP Scanner, CC-Link IE Field Basic [8].



Фиг. 2. Камера In-Sight 2000 – С за визуална инспекция

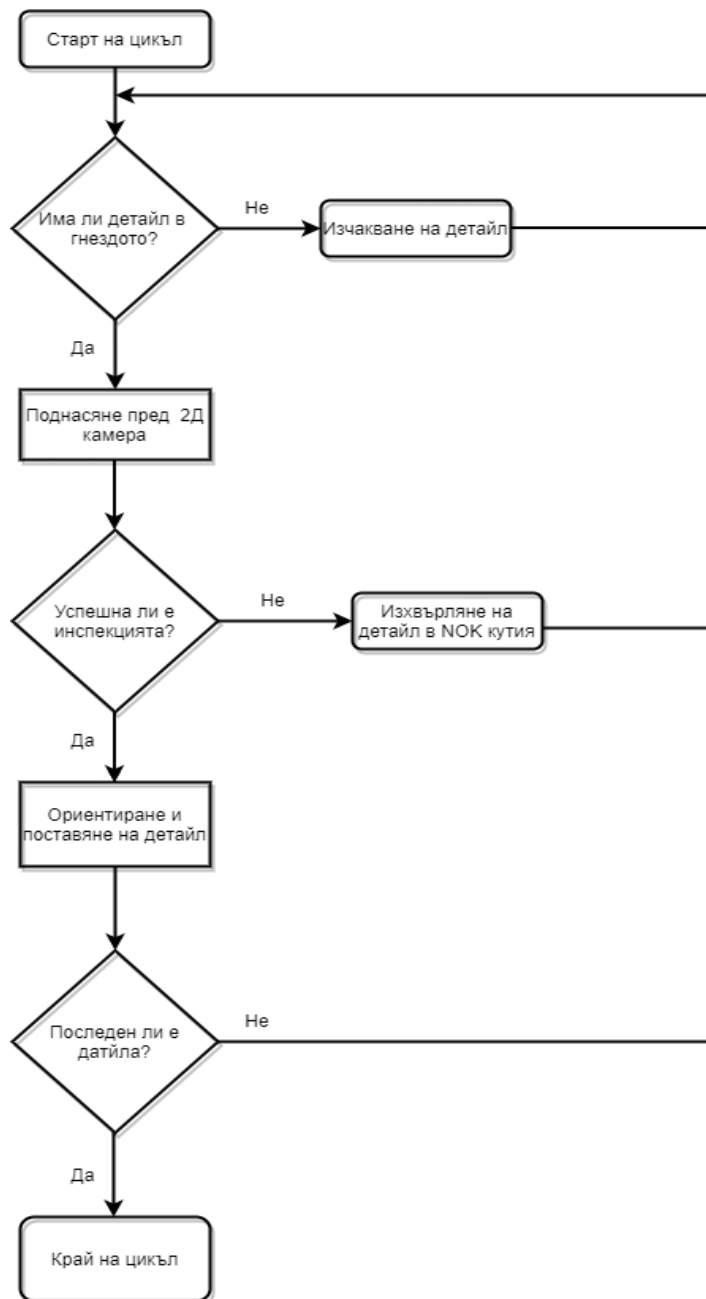
3. ОПИСАНИЕ НА АЛГОРИТЪМА ЗА РАБОТА

Клетката, в която е разположен роботът, RV-2F-Q1-S16, се състои от:

- Задвижвана от пневматична двойка цилиндри маса, върху която се разполагат до 10 колони по 55 реда от детайлите, които ще ориентираме. Масата се движи нагоре или надолу с цел лесно падане на детайлите в гнезда, на които са разположени оптични датчици. Когато някои от датчиците бъде засенчен, роботът взема детайла от съответното гнездо.
- 2Д камера за визуална инспекция, която е разположена под ъгъл от 55° на височина от 750 мм над плочата върху, която е поставен роботът.
- Заклучваща се маса върху, която се поставя държача на детайла върху който предварително е маркирана ориентацията на детайла.
- Кутия за негодни детайли (НОК).

На фиг. 3 е показан алгоритъмът на работа.

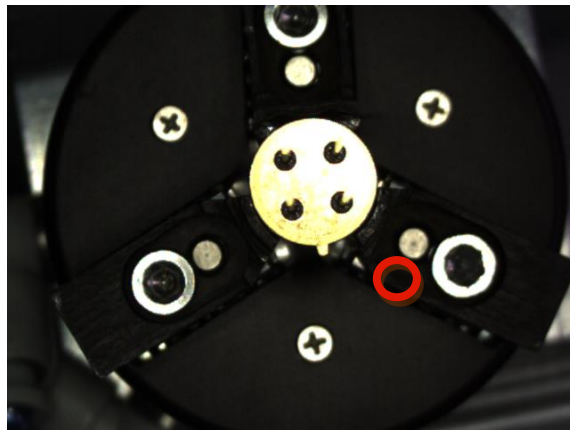
Операторът зарежда туби с детайли върху масата, задвижвана от два пневматични цилиндъра, детайлите са ориентирани в произволна посока и са поставени в туби, като максималното количество на детайли в туба е 55. След натискане на бутона за СТАРТ, масата се накланя надолу и по посока на робота. Роботът взема детайл от най-близкото до него гнездо, чиито оптичен датчик е бил засенчен. След като вземе детайл, роботът го поднася за три последователни снимки пред камерата – при първата снимка се инспектира положението на маркера спрямо координатната система на камерата, на робота и на съставения алгоритъм (фиг. 4); при втората снимка детайлът се поставя ориентиран пред камерата, която го инспектира за неизправности (фиг. 5); при третата снимка, детайлът е ориентиран на 90° спрямо втората снимка (фиг. 6). Ако инспекцията е била успешна детайлът се поставя ориентиран върху масата, на която е разположен държача на детайла.



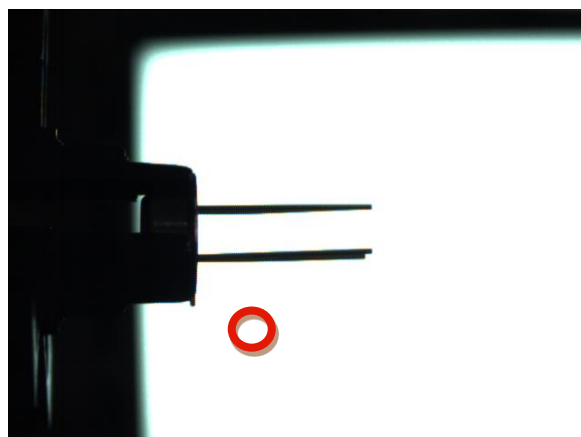
Фиг. 3. Блок схема на алгоритъма на работа

Камерата за визуална инспекция се програмира посредством инструменти, предварително интегрирани в паметта. Инструментите представляват математически алгоритми със затворен код. Камерата се обучава да разпознава маркер върху определен обект (работна клетка) посредством осветеността на обекта, т.е. обучава се цетови набор от пиксели, които се локализи-рат при използването на съответния инструмент. Инструментите, които се използват са за намиране на ъгъл на изместване на търсения обект спрямо нулата на координатната система на камерата. Камерата за визуална инспекция извършва проверка първо чрез локализиране на частта в изображението, след това търси специфични характеристики в тази част. След като е настроено зри-телното поле (FOV), то операторът може да стартира инструменти за зрение в

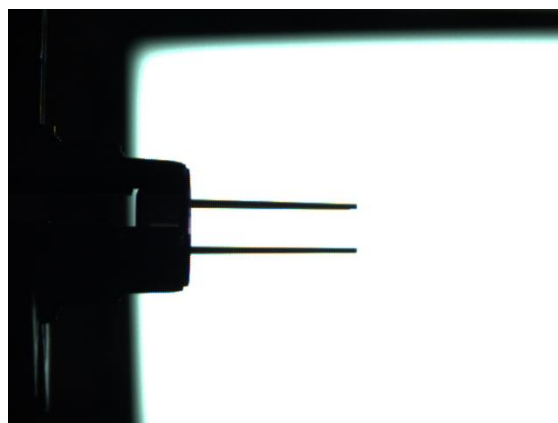
целия диапазон на целта, за да провери множество функции за тяхното присъствие, пълнота или ориентация - всички в едно изображение. И въпреки че крайният набор от данни е двоичен, данните в съвкупност могат да бъдат използвани по веригата за подобряване на процесите и извършване на диагностика на определена работна клетка [9].



Фиг. 4. Първа снимка с неориентиран детайл



Фиг. 5. Втора снимка, при която детайлът е ориентиран



Фиг. 6. Трета снимка, при която детайлът е ориентиран и завъртян на 90° спрямо втората

4. МАТЕМАТИЧЕСКО ОПИСАНИЕ НА АЛГОРИТЪМА ЗА ОРИЕНТИРАНЕ НА ОБЕКТИ ПО ЗАДАДЕН МАРКЕР

Алгоритъмът, който определя от кое гнездо първо да се вземе детайл, е:

$$i = U * m + (n - 1) * D \quad (1),$$

където:

U – името на променливата, която отговаря за позицията на вземане;

m – направление по една от глобалните оси на робота, X, Y или Z;

n – текущо гнездо;

D – инкремент, обозначаващ разстоянието между две съседни гнезда, с точност 0.001 мм.

Алгоритъмът за ориентиране на обекта след получаване на ъгъла на ориентация на маркера спрямо координатните системи на 2Д камерата и робота RV-2F, се разделя на 8 квадранта [5,6]. За всеки от квадрантите се прилага различна формула, както следва:

1. Ако

$$W \geq 0.000 \text{ и } W \leq 45.000 \quad (2)$$

$$W = W - 0.000 \quad (3)$$

$$P.s = P.s + W \quad (4)$$

2. Ако

$$W \geq 45.001 \text{ и } W \leq 90.000 \quad (5)$$

$$W = W - 90.000 \quad (6)$$

$$P.s = P.s + W \quad (7)$$

3. Ако

$$W \geq 90.001 \text{ и } W \leq 135.000 \quad (8)$$

$$W = W + 90.000 \quad (9)$$

$$P.s = P.s + W \quad (10)$$

4. Ако

$$W \geq 135.001 \text{ и } W \leq 180.000 \quad (11)$$

$$W = W - 180.000 \quad (12)$$

$$P.s = P.s + W \quad (13)$$

5. Ако

$$W \geq 180.001 \text{ и } W \leq 225.000 \quad (14)$$

$$W = W + 180.000 \quad (15)$$

$$P.s = P.s + W \quad (16)$$

6. Ако

$$W \geq 225.001 \text{ и } W \leq 270.000 \quad (17)$$

$$W = W - 270.000 \quad (18)$$

$$P.s = P.s + W \quad (19)$$

7. Ако

$$W \geq 270.001 \text{ и } W \leq 315.000 \quad (20)$$

$$W = W + 270.000 \quad (21)$$

$$P.s = P.s + W \quad (22)$$

8. Ако

$$W \geq 315.001 \text{ и } W \leq 360.000 \quad (23)$$

$$W = W - 360.000 \quad (24)$$

$$P.s = P.s + W \quad (25)$$

където:

W – ъгълът на ротация на маркера спрямо двете координатни системи, на 2Д камерата и робота;

P – следващата позиция, до която трябва робота да стигне;

s – една от ротационните оси по направление на глобалната координатна система на робота, т.е. А, В или С.

Алгоритъмът цели да ориентира маркера на детайла на точен градус, през 45° по глобалната координатна система, с цел правилна ориентация на детайла при следващите снимки.

Това разделяне на 8 квадранта е необходимо, поради ограничения обхват на робота, тоест невъзможността да се изпълнят определени интерполации между две точки, за да се постигне правилно ориентиране на маркера на детайла и крачетата на детайла да са успоредни един на друг при следващата снимка.

5. ИЗСЛЕДВАНИЯ И ПОДОБРЕНИЯ

При симулационните изследвания беше установено, че за пълноценна работа на системата е необходимо да се елиминира грешката, която се внася при първоначалното захващане на детайла от хващача (грипера) на робота [7]. При всяко захващане между палците на хващача детайлът се изкривява на произволна посока. Поради, тази причина е подобрен алгоритъма за ориентиране с алгоритъм за компенсиране на грешката при захващане.

След снимка номер две и три, снимки за откриване на изкривяване на краката на детайла спрямо основата му, камерата изчислява ъгъла на изкривяване на детайла спрямо права перпендикулярна на детайла в точката на захващане. Този ъгъл се записва в променливата *Compensation2* и *Compensation3*. При поднасяне на детайла за поставяне върху платка, детайлът се позиционира перпендикулярно и тогава се изчисляват *ALength2* и *ALength3*, които са проекциите на отсечките, по които ще се отмести върхът на краката на детайла след компенсацията, за да се позиционира детайлът точно в центъра на отвора на гнездото върху което ще се постави. *AAngle2* и *AAngle3* са ъглите, на които трябва да се завърти детайла спрямо точката на поставяне, за да се позиционира основата на капачката на детайла успоредно на платката.

$$Compensation2 = Compensation2 * ABack \quad (26)$$

$$ALength2 = Sin(Rad(P.c)) * (Sin(Rad(Compensation2)) * (DetailHeight - 4.000)) \quad (27)$$

$$BLength2 = Cos(Rad(P.c)) * (Sin(Rad(Compensation2)) * (DetailHeight - 4.000)) \quad (28)$$

$$AAngle2 = -Deg \left(Asin \left(\frac{ALength2}{DetailHeight - 4.000} \right) \right) \quad (29)$$

$$BAngle2 = Deg \left(Asin \left(\frac{BLength2}{DetailHeight - 4.000} \right) \right) \quad (30)$$

$$Compensation3 = Compensation3 * BRight \quad (31)$$

$$ALength3 = Cos(Rad(P.c)) * (Sin(Rad(Compensation3)) * (DetailHeight - 4.000)) \quad (32)$$

$$BLength3 = \sin(\text{Rad}(P.c)) * (\sin(\text{Rad}(\text{Compensation3})) * (\text{DetailHeight} - 4.000)) \quad (33)$$

$$AAngle3 = \text{Deg} \left(\text{Asin} \left(\frac{ALength3}{\text{DetailHeight} - 4.000} \right) \right) \quad (34)$$

$$BAngle3 = \text{Deg} \left(\text{Asin} \left(\frac{BLength3}{\text{DetailHeight} - 4.000} \right) \right) \quad (35)$$

$$AAngle = BAngle3 + BAngle2 \quad (36)$$

$$BAngle = AAngle3 + AAngle2 \quad (37)$$

$$P.a = P.a + AAngle \quad (38)$$

$$P.b = P.b + BAngle \quad (39)$$

където:

Compensation2 = ъгъл на изкривяване на захвата, подаден от камерата.

След Втора снимка;

Compensation3 = ъгъл на изкривяване на захвата, подаден от камерата.

След Трета снимка;

ABack – индекс за положение на маркера спрямо Втора снимка;

BRight – индекс за положение на маркера спрямо Трета снимка;

ALength2 – дължина на отсечката на изместване по оста X, спрямо Втора снимка;

BLength2 – дължина на отсечката на изместване по оста Y, спрямо Втора снимка;

AAngle2 – големина на ъгъла на изместване по оста X, спрямо Втора снимка;

BAngle2 – големина на ъгъла на изместване по оста Y, спрямо Втора снимка;

ALength3 – дължина на отсечката на изместване по оста X, спрямо Трета снимка;

BLength3 – дължина на отсечката на изместване по оста Y, спрямо Трета снимка;

AAngle3 – големина на ъгъла на изместване по оста X, спрямо Трета снимка;

BAngle3 – големина на ъгъла на изместване по оста Y, спрямо Трета снимка;

AAngle – сумарна големина на ъгъла на изместване по оста X;

BAngle – сумарна големина на ъгъла на изместване по оста Y;

P.a – текуща големина на ъгъла на завъртане по оста X;

P.b – текуща големина на ъгъла на завъртане по оста Y;

P.c – текуща големина на ъгъла на завъртане по оста Z;

DetailHeight – височина на детайла;

6. АНАЛИЗ И ИЗВОДИ

Направените симулационни изследвания показват, че след въвеждане на двата алгоритъма и настройка на позициите за вземане, снимане на детайл и поставяне, системата работи с максимално висока скорост и качество.

След въвеждането в експлоатация на системата, симулационните изследвания бяха потвърдени. Причината за въвеждането на системата беше голямата серийност на изделията и необходимостта от облекчаване на труда и повишаване на производителността.

Алгоритъмът, който е създаден и приложен в реалната индустриална среда, отговаря на описаните горе основни цели – увеличаване на производителността и качеството на монтажа на електронни компоненти и по-ниската цена на производство на продуктите. С помощта на този алгоритъм работата на две 6 часови смени е успешно заменена от индустриален робот с 24 часов работен график. За програмиране е използван езикът MELFA BASIC V, имплементиран в софтуера RT ToolBox3 на Mitsubishi Electric Co.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Robot Hall of Fame – Unimate. // Carnegie Mellon University, 28 August 2008. <http://www.robothalloffame.org/>
- [2] Mitsubishi Electric Europe B.V. FA - European Business Group, https://www.allied-automation.com/wp-content/uploads/2015/02/MITSUBISHI_RH-6FH-D12FH-D20FH-D-Series-Instruction-Manual-Robot-Arm-Setup-Maintenance.pdf
- [3] Hornyak, Timothy N. Loving the Machine: The art and Science of Japanese Robots. New York, Kodansha International, 2006. ISBN 4-7700-3012-6.
- [4] https://tr3a.mitsubishielectric.com/fa/tr/dl/9631/RV-2F-Q_Series_Standard_Specifications_bfp-a8902x.pdf
- [5] https://ma3a.mitsubishielectric.com/fa/fr/dl/9632/RV-2F_Series_Robot_arm_setup_and_maintenance_bfp-a8904n.pdf
- [6] https://ma3a.mitsubishielectric.com/fa/fr/dl/9722/CR750-Q_CR751-Q_series_and_CRnQ-700_Series_Extended_Function_Instruction_bfp-a8787f.pdf
- [7] https://bg3a.mitsubishielectric.com/fa/bg/dl/9193/CR750_CR751_CR760_Controller_Troubleshooting_bfp-a8871v.pdf
- [8] <https://www.cognex.com/en-bg/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-vision-sensors>
- [9] <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-vision-sensors/applications>

Автори: *Борис Костов*, маг. инж., докторант в Технически Университет-София; Факултет Автоматика; катедра Автоматизация на електрозадвижванията, *e-mail: kostovboris21@gmail.com*

Владимир Христов, доц. д-р инж.; Технически Университет-София; Факултет Автоматика; катедра: Автоматизация на електрозадвижванията, *e-mail: vdhrstov@tu-sofia.bg*

Authors: *Boris Kostov*, doctoral student, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, department Electrical Motion Automation Systems, *e-mail: kostovboris21@gmail.com*

Assoc. prof. Dr. Vladimir Hristov, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, department Electrical Motion Automation Systems, *e-mail: vdhrstov@tu-sofia.bg*