

STROJNI VID IN INDUSTRIJA 4.0

Jure SKVARČ
Kolektor Orodjarna d.o.o., PC VISION

POVZETEK

Živimo v času, ko izginjajo meje med fizičnim in kiber-svetom. Z uvajanjem interneta stvari so fizične naprave vse bolj nevidno vgrajene v informacijsko mrežo - priča smo četrti industrijski revoluciji. Pri tem procesu, je zahodna Evropa, kot del tradicionalnih industrijskih ekonomij, v zadnjih 20 letih, izgubila znaten delež industrijske dodane vrednosti [3]. Ker je industrija ključni element v vrednostni verigi je ključno vprašanje, kako nadoknaditi zamujeno? Na ta izziv Evropa odgovarja z Industrijo 4.0. in obsežnim investicijskim programom v prihodnjih letih. V tem procesu bodo imeli sistemi strojnega vida ključno vlogo, zato v prispevku predstavljamo to tehnologijo in trende razvoja, ki bodo v prihodnosti podpirali razvoj Industrije 4.0.

1. UVOD

Industrija ima osrednjo vlogo v evropskem gospodarstvu saj prispeva 15% delež dodane vrednosti, ustvari 80% inovacij in predstavlja 75% delež izvoza. Če k temu dodamo še storitve, povezane z industrijo, je industrija motor evropskega socialnega gospodarstva. Vendar pa je proizvodni sektor v zadnjem obdobju podvržen pritisku. Zaradi upadanja konkurenčnosti, spričo novih akterjev na trgu, zlasti iz Azije, se je v zadnjih 10 letih znižalo število delovnih mest, na sicer uveljavljenih trgih, kot so Velika Britanija, Francija in Nemčija [4].

Razvoj v evropskih državah ne poteka enako hitro. Medtem ko Nemčija in vzhodna Evropa še naprej povečujeta svoj delež na industrijskem trgu, se druge članice EU soočajo z deindustrializacijo. Nadaljevanje takšnega trenda bi povzročilo nadaljnjo slabitev Evrope in posledično dodatno izgubo delovnih mest in znanja.

Po avtomatizaciji, elektrifikaciji in digitalizaciji industrije, uvajanje interneta stvari v tovarne zaznamuje prihod četrte industrijske revolucije [4]. Internet je drastično spremenil naša življenja. Močno vpliva na industrijo in revolucionarno spreminja način organizacije proizvodnje. V scenariju imenovanem Industrija 4.0 je realna proizvodnja integrirana z virtualno

realnostjo kar omogoča izjemno fleksibilnost proizvodnje. Nastalo brezšivno digitalno omrežje omogoča uporabnikom prilagodljivo proizvodnjo in razvoj novih poslovnih modelov. Tovarne prihodnosti bodo zasnovane tako, da bodo prinesle največ koristi z najnižjo možno porabo materiala in energije.

Globalna konkurenca postaja vse ostrejša kar predstavlja dodaten izziv proizvajalcem. Le tisti, ki bodo med vodilnimi v smislu produktivnosti in obvladovanju stroškov bodo sposobni preživeti. Strojni vid ima pri tem ključno vlogo, ker je to tehnologija, ki ponuja rešitve, za številne izzive v prihodnosti [6].

Že danes sistemi strojnega vida niso več preprosti sistemi, ki le kontrolirajo izdelke temveč lahko hkrati tudi prepoznavajo trende v proizvodnem procesu, ustvarjajo podatkovne baze, generirajo statistične podatke o procesu in podobno. Tako se nadzor kakovosti razvija v optimizacijo proizvodnje, ki omogoča, dinamično odzivanje na nepravilnosti v začetnih in vmesnih fazah proizvodnega procesa.

Tehnologija strojnega vida ima številne pozitivne učinke tudi na mnogih drugih področjih izven klasične industrijske proizvodnje. Izboljšana kakovost, večja zanesljivost, večja varnost in stroškovna učinkovitost so dodane vrednosti, ki so ključnega pomena tudi v ne - proizvodnih okoljih.

2. INDUSTRIJA 4.0

V preteklosti smo bili priča trem industrijskim revolucijam, ki bi jih lahko opisali kot nenadne skoke v industrijskih procesih, ki so povzročili občutno višjo produktivnost. Prva je izboljšala učinkovitost z uporabo vodne energije, povečano uporabo parne moči in razvojem strojev orodij. Druga je vpeljala uporabo električnih strojev in množično proizvodnjo (montažne linije) in tretja, ki je pospešeno vpeljala avtomatizacijo z uporabo elektronike in informacijskih tehnologij (Slika 1).

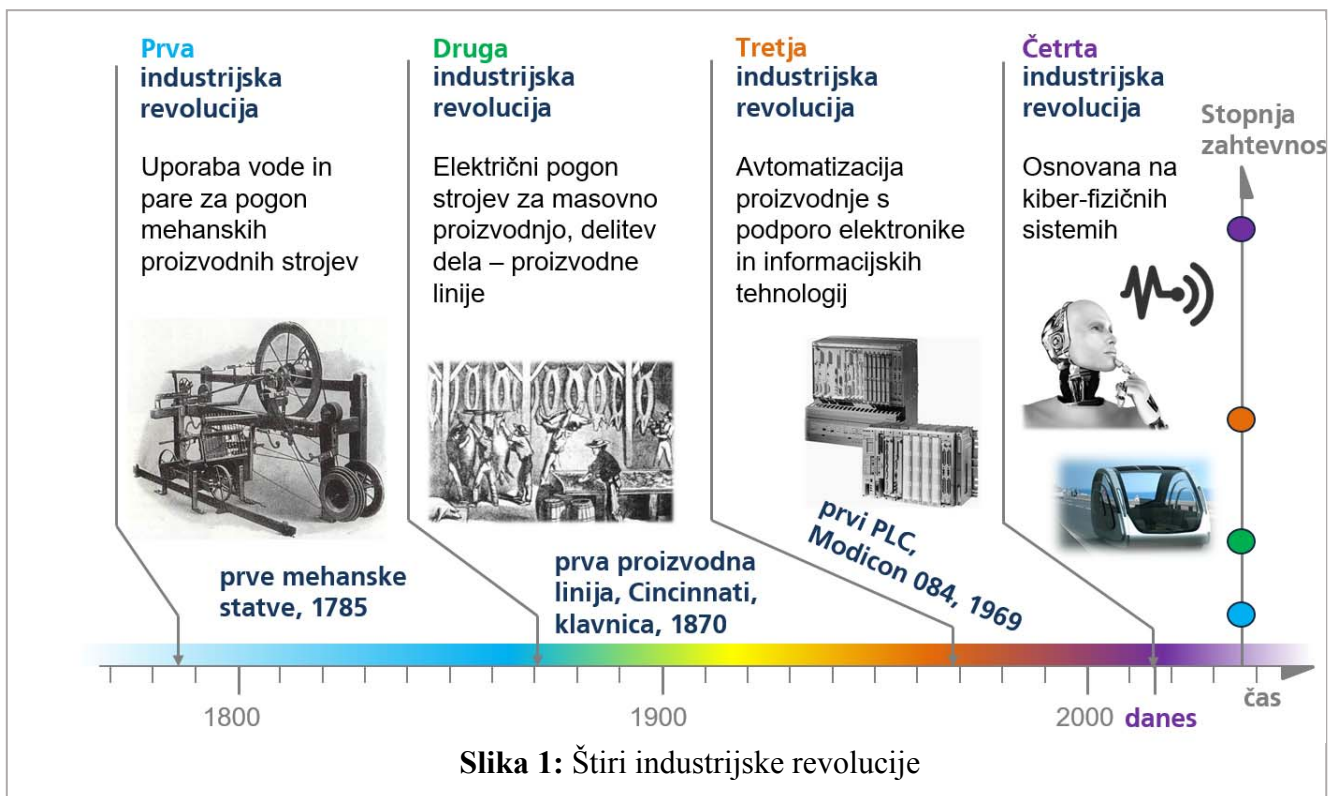
Industrija 4.0 ali četrta industrijska revolucija, je skupni izraz, ki označuje tehnologije in koncepte organizacije vrednostne verige, ki skupaj povezuje kiber-fizične sisteme, internet stvari (angl.: Internet of Things - IoT) in internet storitev (angl.: Internet of Services - IoS).

V modularno strukturirani Pametni tovarni Industrije 4.0, kiber-fizične naprave nadzirajo fizične procese, ustvarjajo virtualno kopijo fizičnega sveta in izvajajo decentralizirano odločanje. Pametna Tovarna 4.0 je kot socialno omrežje – preko interneta stvari, kiber-fizični

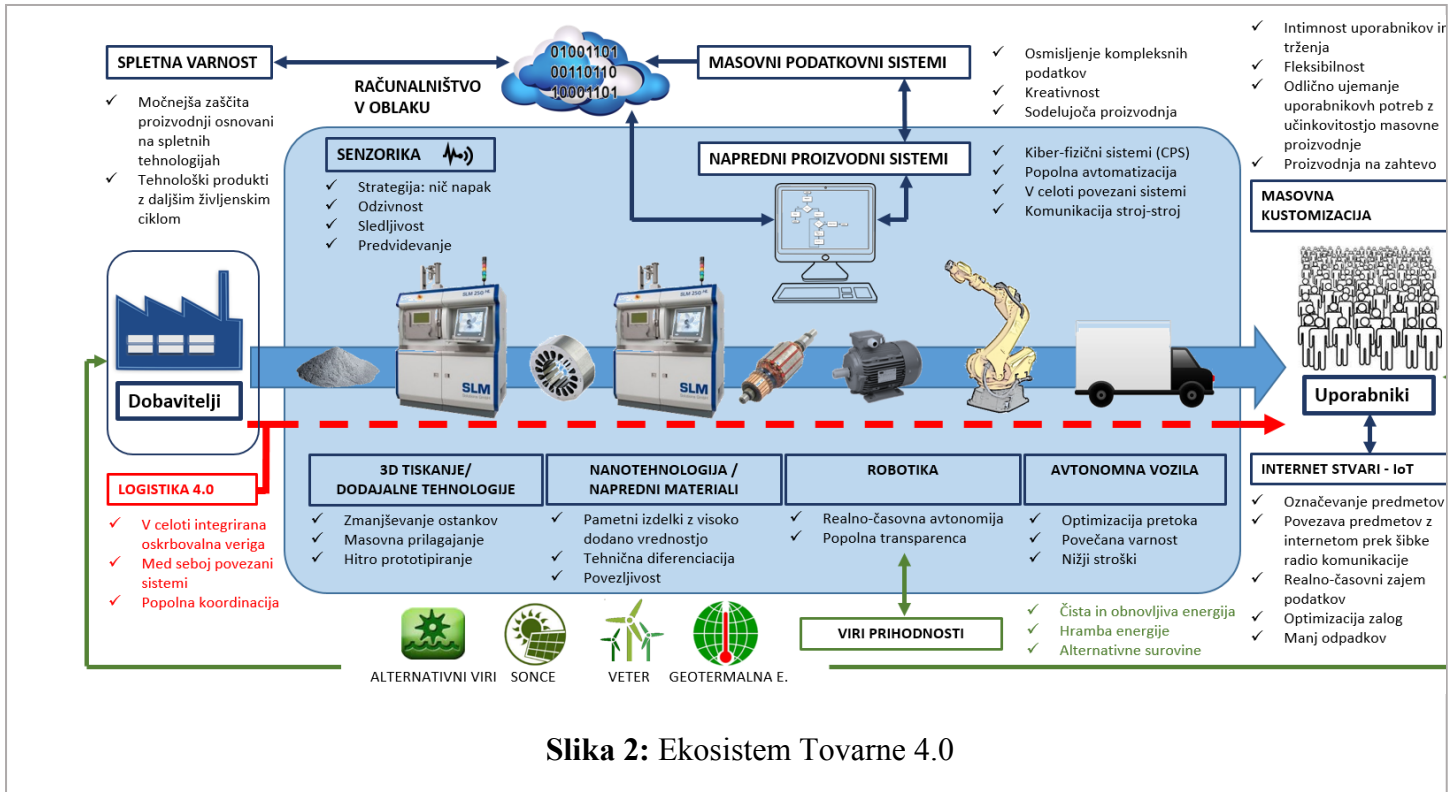
sistemi komunicirajo in sodelujejo med seboj in z ljudmi v realnem času [2]. Interne in med-organizacijske storitve so prek interneta storitev na voljo vsem udeležencem v vrednostni verigi (Slika 2).

Proizvodnja bo vse bolj uporabljala nove tehnologije, kot so: senzorji, 3D tiskalniki in roboti naslednje generacije. Proizvodni procesi bodo modularni, dobro usklajeni, fleksibilni, z možnostjo prilagajanja v realnem času.

Vse to bo spremenilo tudi miselnost uporabnikov ne le glede njihovih zahtev, temveč tudi glede njihove predstave o proizvodnem procesu. Stroji ne bodo več slepi izvajalci preprostih opravil, temveč bodo del nekega celovitega procesa, v katerem komunicirajo tudi z drugimi stroji in napravami z namenom čim učinkovitejšega izpolnjevanja celovite naloge. Uporabnike bodo namreč vedno manj zanimale tehnologije, saj bodo usmerjeni predvsem k temu, da dobijo to, kar želijo in pričakujejo.



Slika 1: Štiri industrijske revolucije



Slika 2: Ekosistem Tovarne 4.0

3. STROJNI VID

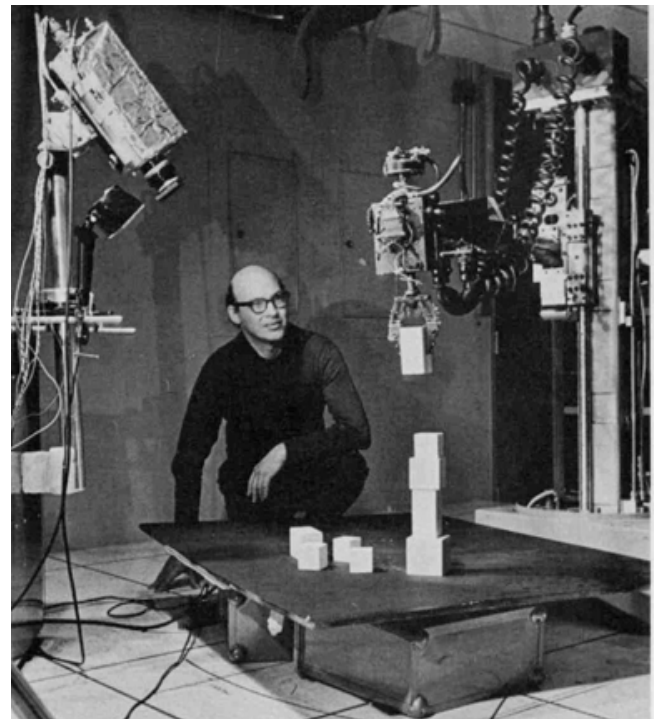
Strojni vid so tehnologije in metode, ki na osnovi slikovne informacije omogočajo avtomatsko kontrolo in analizo v aplikacijah kot so: optična kontrola izdelkov, nadzor in avtomatizacija procesov.

Strojni vid ni industrija "per se" ampak gre za integracijo tehnologij in izdelkov, ki zagotavljajo storitve in rešitve drugim industrijam in ne-industrijskim primerom uporabe.

Razvoj področja je tesno povezan z razvojem računalniških sistemov in dvigom procesnih zmogljivosti računalnikov. Področje strojnega vida se je pričelo hitro razvijati, skupaj s sistemi za avtomatizacijo proizvodnje, s podporo elektronike in IT. Prvo praktično uporabo strojnega vida so leta 1968 demonstrirali na MIT v Laboratoriju za umetno inteligenco (Slika 3). Strojni vid je bil uporabljen za prepoznavo preprostih objektov in krmiljenje mehanske roke.

Sistemi strojnega vida so vsestranski. Uporabljajo se za preverjanje kakovosti, vodenje naprav, nadzor procesov, identifikacijo sestavin,

branje kod in pridobivanje podatkov za uporabo v optimizaciji proizvodnje.

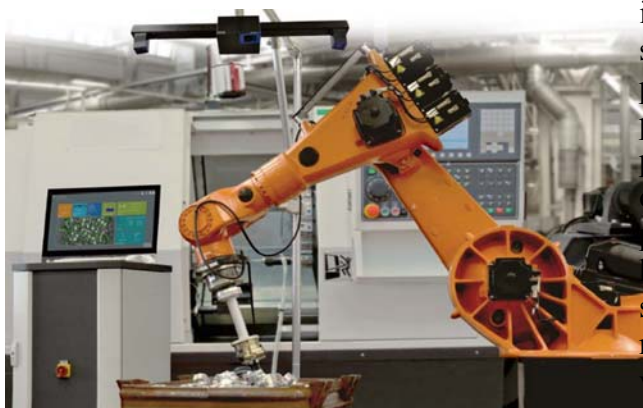


Slika 3: MIT, 1968, prepoznavo preprostih objektov in krmiljenje mehanske roke

Nekateri sistemi strojnega vida so tako kompaktni, da jih lahko držimo v naši dlani, drugi pa lahko zapolnijo celotno sobo. Glede na kompleksnost jih delimo na:

- *Sistemi strojnega vida "na ključ"*: To so sistemi prilagojeni specifični uporabi, kot jo je npr. optična kontrola ravnega stekla ali polprevodniških rezin. Običajno so zelo zmogljivi sistemi, ki temeljijo na procesni moči osebnih računalnikov (Slika 4).
- *Konfigurabilni sistemi*: običajno uporabljajo osebne računalnike. Za razliko od sistemov "na ključ" so bolj vsestransko uporabni. Končni uporabniki lahko spreminjajo delovanje sistema prek grafičnega uporabniškega vmesnika.
- *Pametne kamere*: so kompletni sistemi strojnega vida, ki vključujejo tudi programsko opremo za analizo slike, vse v enem kompaktnem ohišju kamere. Lahko se programirajo za različne vrste nalog.
- *Optični senzorji*: so kompaktni sistem v enem samem ohišju. V nasprotju s pametnimi kamerami, so izdelani za določeno vrsto aplikacije, npr. branje 2D kod ali znakov.

Motivatorji razvoja strojnega vida v današnjem proizvodnem okolju so izboljšanje kakovosti, znižanje stroškov, povečanje obsega proizvodnje, večja kompleksnost izdelkov in krajši taktni časi.



Slika 4.: Aktivni stereo vid in prepoznavanje objektov v 3D oblaku točk (ISRAVISION)

Potencial strojnega vida so prepoznale tudi velike korporacije. Google npr., pod svojim okriljem združuje podjetja s kompetencami na področju robotike in strojnega vida. Razvijajo in preizkušajo tudi humanoidne robote, ki se samostojno gibljejo v naravnem okolju (slika 5).

Končni cilj računalniškega vida je, modelirati, posnemati, in še boljše, preseči zmogljivosti človeškega vida s pomočjo računalniške programske opreme in strojne opreme na različnih ravneh.



Slika 5.: Humanoidni robot Atlas, Boston Dynamics (Google, Inc.)

4. VLOGA STROJNEGA VIDA V INDUSTRIJI 4.0

Predstavljajmo si svet, v katerem vse težavne in ponavljajoče se naloge opravljajo avtonomni stroji. Svet, v katerem stroji samodejno pobirajo poljske pridelke, jih pregledujejo, razvrščajo, predelajo, pakirajo in dostavijo, brez posredovanja človeka. Čeprav se v tem trenutku omenjeno zdi, težko predstavljivo, številni proizvajalci že uporabljajo avtomatizirane stroje, ki opravljajo vsaj del naštetih funkcij. Pri teh strojih so sistemi strojnega vida "zaznavala", ki v najboljši meri posnemajo sposobnosti človeškega vida.

Obstoječi sistemi strojnega vida predstavljajo le majhen del strojnega vida na trgu, ki se bo razširil na vsa področja življenja, od obiranja

pridelkov, sortiranja kamnin, do dostave izdelkov od proizvodnje do potrošnika. Z namenom vedno večje učinkovitosti in konkurenčnosti bodo sistemi strojnega vida uporabljani v sistemih za avtomatizacijo celotnih proizvodnih procesov, ki bodo odpravljali potrebo po delovni sili in napake, ki iz tega izhajajo [7].

5. SMERNICE RAZVOJA STROJNEGA VIDA

Strojni vid se hitro razvija in ustvarja vedno večje koristi za uporabnike. Učinkovitost sistemov strojnega vida se povečuje, zahvaljujoč višji ločljivosti kamer, stalni rasti zmogljivosti procesorjev, napredni programski opremi in standardiziranim vmesnikom. Vse zmogljivejši sistemi so na voljo po sprejemljivi ceni.

V nadaljevanju so predstavljeni trendi na področju razvoja strojne in programske opreme, smernice razvoja obstoječih rešitev in potenciala za nove primere uporabe strojnega vida.

Razvoj elektro-optičnih komponent

- *Miniaturizacija*: zmanjševanje velikosti slikovnih elementov optičnih senzorjev in s tem možnost miniaturizacije kamer.
- *Nadomeščanje CCD senzorjev s CMOS senzorji*: cenejši, nižja poraba, večje število slikovnih elementov – višja ločljivost, napredno procesiranje, višje hitrosti.
- *3D*: razvoj zmogljivejših kamer za 3D zaznavanje prostora (stereo, triangulacija, čas preleta).
- *Pametne kamere in vgrajeni sistemi*: v kamerah se izvaja več procesiranja slik – s tem se razbremeni nadzorni računalnik.
- *Barve*: Razvoj kamer s senzorji, ki zaznavajo svetlobo iz različnih spektrov (več-spektralne kamere).
- *Optične leče*: cenejše, kakovostnejše leče. Prilagodljive, deformabilne leče – možnost hitrega spreminjanja optičnih parametrov.
- *Vmesniki za prenos podatkov*: hitre kamere in kamere z več slikovnimi elementi potrebujejo hitrejšo povezavo

med kamero in procesno enoto (USB3 Vision, CoaXPress). [5]

- *Procesorji*: Trenutno neusklajenost med zmogljivostjo strojne opreme in potrebami programskih algoritmov ovira hitrejši razvoj. Strojni vid zahteva zmogljivo strojno opremo, ki omogoča izvajanje algoritmov v realnem času. Strojna oprema je ravno dosegla nivo, ki omogoča implementacijo nekaterih zahtevnejših algoritmov v industrijskem okolju v realnem času (prepoznava 3D objektov v oblaku točk – nekaj sekund).
- *Standardizacija*: Standardizacija vmesnikov omogoča lažje vključevanje posameznih komponent strojnega vida v splošno uporaben sistem.

Programska oprema in uporabniška izkušnja

- *Algoritmi*: Velik napredek v procesni zmogljivosti računalnikov, ki so prosto dostopni na trgu je spodbudil nadaljnji razvoj računsko potratnih algoritmov kot so: 3D modeliranje in prepoznavanje, rekonstrukcija iz analize gibanja, analiza gibanja in sledenje, prepoznavanje vzorcev, statistične analize, umetna inteligenca. Pri večini obstoječih rešitev strojnega vida je postopek učenja (razvrščanje vzorcev na osnovi značilik) odvisen od človeka. Z uporabo mreže velikega števila povezanih procesorjev pa lahko ustvarimo nevronska mreža, ki je sposobna s postopki globokega učenja (angl.: deep learning), z obdelavo več milijonov podatkov (slik) samodejno opraviti postopek učenja.
- *Uporabniški vmesnik*: Uporabniški vmesnik je pomemben del sistema strojnega vida. Desetletje nazaj, je napako zaradi neželenega premika kamere na stroju lahko odpravil le izkušen sistemski inženir dobavitelja. Danes, programska oprema sistema strojnega vida izkorišča potencial zmogljivih procesnih enot in vse kompleksne funkcije sistema skriva za preprostim uporabniškim vmesnikom.

Upravljanje s sistemi strojnega vida v prihodnosti bo preprosto in intuitivno.

Novi in napredni primeri uporabe

3D vid in vizualno vodenje robotov

Z zmogljivimi sodobnimi procesorji in 3D senzorji postaja uporaba tridimenzionalnega strojnega vida realnost.

Proizvajalci v avtomobilski industriji pospešeno uvajajo tehnologije 3D vida v aplikacijah, ki segajo od montaže avtomobilskih vrat in pokrovov, sestave avtomobilskih motorjev, sestave LED zaslonov, in pregledovanja pnevmatik (tekalni profil, oznake na boku). Izven avtomobilske industrije je potencial za 3D vid npr.: v pregledovanju polprevodniških rezin, pregledovanju hrane in farmacevtskih izdelkov ter področju avtonomnih vozil.

Z novimi zmogljivimi kamerami in 3D senzorji, boljšimi programskimi knjižnicami, in nadaljnjo rastjo procesne zmogljivosti računalnikov, se pričakuje širša uvedba tehnologije in nadaljnja rast v prihodnosti.

Zaznavanje in zmožnost akcije

Robotiko pogosto opisujemo kot inteligentno povezavo med zaznavanjem in akcijo. Akcijsko funkcijo omogočajo robotski aktuatorji, številni senzorji pa omogočajo zaznavanje. Računalniki zagotavljajo okvir za integracijo/povezavo in inteligenco, ki je potrebna za koordiniranje v smiselno interpretacijo informacij in krmiljenje akcije. Sistemi strojnega vida so med najbolj zmogljivimi mehanizmi zaznavanja. Vključujejo pridobivanje, karakterizacijo in interpretacijo slikovnih informacij z namenom prepoznavne in popisa objektov v okolju.

Prepoznavanje objektov in navigacija

Primeri uporabe vključujejo: mobilne robote z integriranimi sistemi strojnega vida, navigacijske sisteme za robote v gospodinjstvu, pametne kamere za sledenje pozicije glave in smeri pogleda oči, učljive sisteme za prepoznavanje objektov, sledenje človeškim gestam, interaktivno

oglaševanje in podobno. Naprave za avtomatizacijo v pametnem domu lahko samodejno prilagodijo nastavitve hiše na osnovi prepoznanih oseb, ki so v hiši.

S kamero obešeno okoli vratu ali na ovratniku suknjiča bo naprava v prihodnosti iz pridobljene slikovne informacije izluščila podatke. Taka naprava bo npr. pomagala slepi osebi pri navigaciji na ulici, v trgovini ali prepoznala sogovornika.

Nekontrolirana okolja, ne-industrijski primeri uporabe

Sistemi strojnega vida se trenutno pretežno uporabljajo v kontroliranih okoljih, kjer je možno lokalno nadzorovanje svetlobnih pogojev [1]. Vizualno vodeni robotski sistemi, ki bi izvajali kmetijska opravila, kot so sajenje, gojenje in obiranje pridelkov morajo delovati v nekontroliranih okoljih, na prostem, kjer se svetlobne in vremenske razmere drastično spreminjajo. Za doseganje navedenega bo potrebno zgraditi sistem, ki bo vključeval različne tehnologije za zaznavanje okolja, odvisno od razmer v katerih bo sistem deloval.



Slika 6.: Wall-Ye, avtonomni robot za trganje grozdja, Francija

Integrirani vizualni sistemi in gibanje

Krmiljenje/vodenje strojev je eno od področij ki izkorišča tehnologije strojnega vida. Strojni vid pogosto rešuje problem zaznave pozicije objektov in nato na osnovi pridobljenih podatkov omogoča krmiljenje. Tipični primer iz

elektronske industrije, je nanos spajkalne paste na tiskano vezje, kjer morata biti maska za nanos paste in tiskano vezje natančno poravnana.

6. ZAKLJUČEK

Implementacija principov Industrije 4.0 je najbolj opazna pri nemških podjetjih, ki že postopno spreminjajo strukturo vrednostne verige. Zavedajo se obsežnosti sprememb, ki jim bomo pričala v prihodnosti. Kljub dosedanjim aktivnostim in napredku, sami ocenjujejo, da so šele na začetku transformacije.

Trenutno je največji poudarek na pridobivanju informacij, povezljivosti, diagnostiki in ustvarjanju obsežnih baz podatkov (primer Siemens: MindSphere – Siemes Cloud for Industry). Pri tem je pomembna standardizacija komunikacijskih protokolov in zagotavljanje varnosti na vseh nivojih. Virtualizacija (ustvarjanje virtualne slike realnega sveta) se že uporablja pri razvojnih orodjih za načrtovanje proizvodnih procesov, vizualizaciji in kot pomoč pri izobraževanju.

Primarna vloga sistemov strojnega vida je še vedno zagotavljanje kakovosti in avtomatizacija (del koncepta: »Zero Defect Production«). Ključni problemi, s katerimi se morajo spoprijeti proizvajalci optičnih sistemov so vezani na slabo definirana okolja delovanja in raznolikostjo izdelkov, ki so predmet optične kontrole. Kot primer, zelo težko je zgraditi optični sistem, ki bi bil sposoben zanesljivo pregledovati 100 in več popolnoma različnih izdelkov, čeprav bodo izdelani na isti visoko fleksibilni proizvodni liniji. Kljub pričakovanem razvoju v bližnji prihodnosti, bo potrebno rešitve iskati v kombinaciji z drugimi tehnološkimi rešitvami. Ena izmed možnosti je: da se v času zasnove izdelka preveri kje v proizvodnem procesu lahko prihaja do napak, ki jih ne moremo zanesljivo preprečiti in kako se te napake odražajo pri končnem izdelku. Optični sistem bo zasnovan tako, da bo kontroliral le ključne značilke izdelka.

Z napredkom tehnologije strojnega vida in razvojem ekosistema Industrije 4.0 bodo ti sistemi prehajali na nova področja, kjer do sedaj

niso bili prisotni. Strojni vid bodo "oči" in ključna tehnologija Industrije 4.0.

Literatura

- [1] Shivleela, S. in ostali: Recent trends in machine vision applications, Proceedings of the 7th National Conference; INDIACOM, New Delhi, 2013
- [2] Morris, H.: What will the future look like under Industry 4.0 and digital transformation in the healthcare space, Stuttgart, MedTec Europe, 2015, http://www.medteceurope.com/sites/default/files/6.morris_hosseini_-_presentation_to_share_0.pdf [prenešeno 17.11.2015]
- [3] Bloching, B in ostali: The Digital transformation of Industry, Munchen, Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2015, str. 1 – 52, http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_digital_transformation_of_industry_20150315.pdf [prenešeno 17.11.2015]
- [4] Dujin, A. in ostali: Think Act Beyond Mainstream, Munchen, Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2014, str. 1 – 24, https://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4_0_20140403.pdf, [prenešeno 17.11.2015]
- [5] Gretchen Alper, Top 5 predictions for the future in machine vision, 2015, <http://info.adimec.com/blogposts/top-5-predictions-for-the-future-in-machine-vision>, [prenešeno 15.11.2015]
- [6] VDMA, Key Technology for Automation Solutions - Machine Vision 2015/16, http://ibv.vdma.org/documents/256550/0/IBV_2014_GB_LR.pdf/9874fc33-254a-4125-b22f-068cc70cec18, [prenešeno 15.11.2015]
- [7] Andrew Wilson, Machine Vision: The past, the present and the future, Vision System Design, 2015, <http://www.vision-systems.com/articles/2015/06/machine-vision-and-image-processing-past-present-and-future.html>, [prenešeno 17.11.2015]