

UMETNA INTELIGENCA V EMBALAŽNI PANOGI

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PACKAGING SECTOR

Igor KARLOVITS

IZVLEČEK

Umetna inteligenca kot del razvoja računalniških sistemov je vidna že na vseh področjih, tudi v embalažni panogi. Ker je embalaža pri svojih nalogah in ciljih večfunkcionalna, prav tako pa prihaja do povezav med posameznimi proizvodnimi procesi, le-to omogoča umetni inteligenci doseganje doslej nemogočih rešitev. V članku predstavljamo pregled raziskav s področja izdelkov iz papirja in celotne verige izdelave papirne embalaže.

Ključne besede: umetna inteligenca, strojno učenje, predvidevanje, embalaža, preizkušanje

ABSTRACT

Artificial intelligence, as part of the development of computer systems, has been making progress in all areas, including the packaging industry. As packaging is multifunctional in its tasks and aims, several value chains and production processes are interlinked, which enables artificial intelligence and machine learning to reach currently impossible solutions. In this review, we highlight the trends, and review research on paper products and complete packaging value chain.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, prediction, packaging, testing

1 UVOD

Umetna inteligenca (angl. *Artificial Intelligence*) je področje računalništva, ki podarja ustvarjanje inteligentnih strojev, ki delujejo in reagirajo kot ljudje. Dejavnosti, ki vključujejo umetno inteligenco, so prepoznavanje govora, učenje, načrtovanje in reševanje problemov. V računalniškem svetu, iz katerega izvira umetna inteligenca, se včasih pojavi tudi pojem strojna inteligenca. To je inteligenca, ki jo kažejo stroji v nasprotju z naravno inteligenco. Pri tem lahko včasih pride tudi do napačnih povezav, npr. primer sobivanja digitalnih medijev in papirja. Za razliko od digitalnih medijev, ki so delno spremenili vlogo papirja kot nosilca informacije, pa je umetna inteligenca spodbudila trende, ki pozitivno vplivajo na trajnost in s tem pripomorejo k zmanjšanju ogljičnega odtisa. Algoritmi, ki ženejo predvidene modele umetne inteligence in lahko simulirajo povpraševanje in porabo, so izračunani na osnovi podatkov o vremenu, izboljšajo učinkovitost dostavne verige organskih izdelkov z zmanjševanjem izgub od biomase do končnega uporabnika [1].

Min-Kin Mak, podpredsednik podjetja SIG, prikazuje uporabo umetne inteligence v embalaži na treh področjih:

- ▶ **Logistična veriga** – z umetno inteligenco lahko izboljšamo povpraševanje in dostavo s pomočjo prepoznavanja vzorcev in analize fluktuacije s strani kupcev, ki bo omogočala porazdelitev kapacitet v celotni dobavno-logistični verigi.
- ▶ **Proizvodnja** – umetna inteligenca lahko optimizira tehnične parametre zara-

di večje učinkovitosti in lahko pokrije večje število inženirskih ciljev: boljše vzdrževanje, koncept »ničelnih« zastojev, popolno sledljivost standardom in večjo zavzetost delavcev.

- ▶ **Digitalizacija posamezne embalaže** – izboljšana uporabniška izkušnja s pomočjo personalizacije embalaže.

Kaj je omogočilo razvoj umetne inteligence in njeno implementacijo v tako širok spekter možnosti uporabe v različnih panogah, je Ray Chalmers [2] povzel v naslednjih petih združevalnih vsebinah:

- ▶ **Večji podatki** – obilica digitalnih naprav je pravi zlati rudnik procesnih podatkov, ki so lahko strukturirani (baze podatkov, razpredelnice) ali pa nestrukturirani (besedilo, zvoki, video posnetki, slike). V proizvodnji ali v izdelkih se nahaja že več kot trilijon senzorjev in številka se še povečuje. Predelava podatkov s pomočjo umetne inteligence bo razkrila zgodovinske vzorce, omogočila pametno predvidevanje in omogočala spremembe v realnem času v tehnoloških postopkih.

- ▶ **Procesorska moč** – sodobne tehnologije, kot so računalništvo v oblaku, razvoj komponent strojne opreme z nižjimi cenami in boljšimi paralelnim grafičnim procesiranjem, bodo omogočile obdelavo velikih količin podatkov in skupaj s t. i. globokim učenjem (angl. *Deep learning*) še izboljšalo procese.

- ▶ **Globalni trg** – globalne proizvodne verige so skupaj z družbenimi mediji spremenili interakcijo oseb o pridobivanju informacij. Izboljšana povezanost prek »Interneta stvari« (angl. *Internet of Things*) pospešuje širjenje informacij

in spodbuja širjenje znanja. Vzpostavlja se t. i. »kolektivna inteligenca«, kjer bodo odprtokodne skupnosti razvijale AI orodja.

- ▶ **Odprtokodna programska oprema in podatki** – pospešujejo demokratizacijo umetne inteligence, kar je opazno pri razvoju standardov in platform.
- ▶ **Izboljšani algoritmi** – raziskovalci so izvedli izreden napredek v številčnem aspektu umetne inteligence (največ v globokem učenju), ki zajema nevronske mreže, ki so oblikovane po vzorcu človeških možganov. Eden od trendov znotraj tega je »*deep reinforcement*«. Gre za umetno inteligenco, ki se uči sama in pri tem potrebuje malo ali nič vhodnih podatkov.

Slovarček:

Umetna inteligenca je razvoj računalniških sistemov za izvajanje nalog, za katere je bila do sedaj potrebna človeška inteligenca (npr. opažanje, prepoznavanje govora, odločanje in prevajanje).

Strojno učenje je področje umetne inteligence in predstavlja računalniške rešitve, kot so algoritmi, katerih učinkovitost narašča s povečanjem števila primerov oziroma podatkov skozi čas.

Globoko učenje (angl. *Deep learning*) je področje strojnega učenja in poganja največ umetne inteligence, ki je podobna razmišljanju človeka.

2 PREGLED UPORABNOSTI

Razsežnost uporabe umetne inteligence bomo prikazali na več primerih, od obli-

kovanja embalažnih izdelkov do sortiranja odpadkov.

Oblikovalci za razširjeno inteligenco raje uporabljajo angleško oznako AI (angl. *Augmented Intelligence*) kot pa izraz umetna inteligenca. Za zdaj je dovolj, da oblikovalec poda predlog ali naredi osnovo za računalniški algoritem, na podlagi izrisov in osnutkov pa predlaga izboljšave, ki jih na koncu izbere oblikovalec. Moč procesorja in kombinatorika veržno povezanih računalniških sistemov omogočata ustvarjanje neskončnega niza dizajnov. Na sliki 1 imamo primer Nutelle, čokoladnega namaza, ki ga vsi dobro poznamo. S pomočjo strojne inteligence in digitalnega tiska so v okviru promocijske akcije Nutella Unica naredili 7 milijonov različic dizajna. Vsak dizajn je oblikovala umetna inteligenca na podlagi predprogramiranih vzorcev. Takšno število različic je nemogoče pričakovati od običajnega človeka, oblikovalca. Tisk je narejen s pomočjo digitalne tehnologije tiska, ki omogoča variacijo dizajna v realnem času.



Slika 1. Strojno generirane različice steklenic čokoladnega namaza Nutella
Figure 1: Machine designed variations of the Nutella packaging

Umetna inteligenca se v papirni industriji večinoma uporablja za optimizacijo tehnoloških parametrov. Nekateri proizvajalci papirnih strojev že ponujajo celostno optimizacijo, vendar raziskave še vedno potekajo predvsem na raziskovalnem področju. Niemenin in drugi [3] v svoji raziskavi opisujejo večplastni »perceptronski« model, ki lahko napove kakovostne parametre lastnosti papirja na laboratorijski ravni in jih uporabi v realnem okolju. Končni model je imel najboljšo vrednost v predvidevanju za indeks utržne jakosti (95,7 %) in za formacijo (66,7 %). S podobnimi raziskavami se je ukvarjala tudi Ivanikova s sodelavci [4], ki se je osredotočila na vhodne surovine kot pokazatelje končne kakovosti papirja na pilotnem papirnem stroju. Kot izboljšavo so izpostavili pravočasno zaznavanje sprememb v kakovosti vhodnih

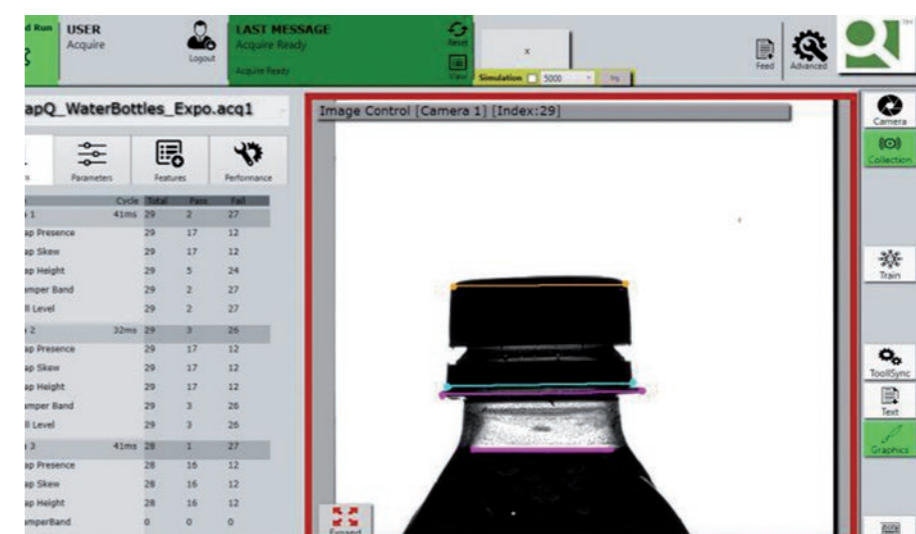
surovin v tehnološkem postopku in s tem pripomogli k zmanjšanju operativnih stroškov. Umetne nevronske mreže se lahko uporabljajo tudi na »nižjem« nivoju, npr. pri posameznih procesih v postopkih izdelave vlakninskih materialov kot surovine za embalažne papirje. Cielelski in Olejnik [5] sta v svojih raziskavah uporabila nevronske mreže za predvidevanje lastnosti papirja na primeru kemično pridobljenih celuloznih vlaken, pri čemer sta izpostavila tri glavne parametre, na katere ima mletje velik vpliv: stopnja mletja, količina vlaken in povprečna dolžina vlaken. Vhodne podatke sta uporabila za predvidevanje gostote, utržne dolžine in raztržne odpornosti. Uporabila sta Levenberg-Marquardtov algoritem. Rezultati simulacij so bili ustrezni, zato sta priporočila uporabo umetne inteligence za reševanje podobnih razvojnih izzivov. Podobna tematika je obdelana tudi v članku [6], kjer so raziskovali kakovost papirjev v povezavi z mehanskimi (utržni indeks, raztržni indeks, razpočni indeks in število dvojnih prepogibov) in

morfološkimi lastnostmi celuloznih vlaken pri različnih vrstah mletja.

Avtorji so uporabili umetne nevronske mreže in večkratne linearne regresijske modele za postavljanje različnih modelov med odvisnostjo za obvladovanje in predvidevanje kakovosti papirja. Avtorji so potrdili uporabnost teh pristopov za določanje procesnih in kakovostnih parametrov. Omenimo še raziskavo Adamopoulos in drugi [7], kjer so se raziskovalci lotili predvidevanja kakovosti embalažnih papirjev (linerja in flutinga) za izdelavo recikliranih vlaken. Oba uporabljena pristopa, MLR in ANN, sta bila zelo uporabna za predvidevanje utržne jakosti v prečni smeri za liner papir, z natančnostjo od 95 % in 97,27 %, za tlačno odpornost v smeri teka vlaken za fluting s koeficientom natančnosti od 94,13 % in 99,28 %. Rezultati so si podobni, vendar pa se je izkazalo, da je model ANN boljši, saj povezave med vhodnimi in izhodnimi podatki niso vedno linearne.

Ko je embalaža dokončana, se vanjo vstavi izdelek. Tudi v tem primeru strojna inteligenca že ponuja nekaj rešitev za embalažno panogo. Steven Mejer je opisal primer polnjenja plinskih jeklenk z LPG. Za natančno polnjenje jeklenk je treba poznati težo prazne jeklenke, pri čemer le-ta lahko odstopa za 10 %, kar otežuje polnjenje. V preteklosti so bile jeklenke primerno označene, vendar je z leti prišlo do obrabe in s tem tudi do težje berljivosti. Rešitev je ponudila umetna inteligenca oziroma strojno učenje. Inženirji v podjetju so naredili razširjeno bazo slik jeklenk in naučili stroje, da prepoznajo specifične jeklenke na podlagi korelacije. Algoritem in baza slik z jeklenkami sta izpopolnjena, nihanja pa so večkratno zmanjšana.

Druga rešitev je povezana s polnjenjem in zapiranjem steklenic. Podjetje Acquire Automation za kontrolo zapiralec steklenic in procesa polnjenja uporablja sistem CapQ Vision Inspection (Slika 2).



Slika 2. Kontrola zapiranja steklenic vodena z umetno inteligenco
Figure 2. Bottle cap inspection with artificial intelligence

Umetna inteligenca se lahko uporablja tudi za prepoznavanje napak, npr. teksture in klasifikacije materialov, verifikacije sestavljanja in lociranja izdelkov z napako, kot tudi za strojno branje nepopolnih črk ali črk pod kotom. Z njeno uporabo lahko izboljšamo učinkovitost, zagotovimo lažje programiranje novega izdelka in fleksibilnost, ki je pri naročniku še kako pomembna. V članku Jamsheida Kahna [8] so opisane vse prednosti strojnega učenja z vizualno kontrolo izdelkov v embalažni panogi.

Umetna inteligenca pa lahko pomaga tudi pri logistiki, in sicer pri nadzoru tovara od proizvajalca do končnega uporabnika. Z uporabo podatkov GPS lahko sistem nadzoruje več parametrov, kar omogoča maksimalno usklajevanje logistike in s tem zmanjševanje števila vozil in prevoženih kilometrov, kar zmanjša ogljični odtis. Po drugi strani pa se lahko sistemi umetne inteligence uporabljajo tudi za sortiranje odpadkov, kar spodbuja krožno gospodarjenje. V zbiralnici in predelovalnici odpadne embalaže se že uporabljajo visoko inteligentni strojni sistemi, kot je opisano v članku [9]. Podjetje Alpine Waste & Recycling MRF v Denverju v Koloradu (ZDA) uporablja

Včasih pa se zgodi, da umetna inteligenca ni lahko obvladljiva, v smislu zbiranja in obdelave podatkov. V večini primerov je veliko odvisno od same računalniške infrastrukture podjetja. V članku Karlovits [10] so predstavljeni zahteve in trenutni izzivi tiskarskih in embalažnih podjetij. Papirnice so večinoma zaprti sistemi, zato imajo tudi embalažerji kot tudi predelovalci razdrobljene sisteme, ki računalniško niso povezani. To predstavlja izziv podatkovnih formatov in senzorskih sistemov ter prenos teh podatkov do centralnega računalnika, ki bi lahko izvajal operacije s pomočjo umetne inteligence. Rešitve, ki jih ponujajo sodobne tehnike bi lahko obrnile celoten koncept dojemanja embalažne verige. Podjetje Lush [11] uporablja umetno inteligenco in strojno učenje, da se popolnoma znebi vmesne primarne embalaže in označevanja z nalepkami ali tiskanimi reklamnimi dodatki. Računalniški sistemi so programirani tako, da prepoznajo Lushev izdelek, ki ga je možno poskenirati s pomočjo aplikacije na mobitelu. Aplikacija je narejena tako, da se vsi podatki, ki jih je prej vsebovala nalepka ali primerna embalaža, prikažejo na zaslonu mobitela (Slika 3).

lednje korake razvoja bistveno lažji, vendar bo potreben tudi preskok v naravni inteligenci uporabnikov za obvladovanje tovrstnih sistemov.

4 LITERATURA

- [1] LALOU K. *AI in Packaging: How artificial intelligence is driving the packaging industry forward*. Dostopno na spletu: <https://www.packaginginsights.com/news/ai-in-packaging-how-artificial-intelligence-is-driving-the-packaging-industry-forward.html>
- [2] CHALMERS, R., *AI in packaging: Defining terms, assessing impact—Part 1*, Dostopno na spletu: <https://www.packagingdigest.com/automation/ai-in-packaging-defining-terms-assessing-impact-part-1-2019-05-07>
- [3] NIEMINEN, P., KÄRKKÄINEN, T., LUOSTARINEN, K., MUHONEN, J. *Neural Prediction of Product Quality Based on Pilot Paper Machine Process Measurements*, In: Dobnikar A., Lotrič U., Šter B. (eds) *Adaptive and Natural Computing Algorithms. ICANNGA 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6593. Springer, Berlin, Heidelberg
- [4] IVANNIKOVA E., HÄMÄLÄINEN T., LUOSTARINEN K., *Variable group selection based on regression trees: Paper machine case study 2014 IEEE Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems (EAIS)*, Linz, Austria, 2014, str. 1–5.
- [5] CIESIELSKI K., OLEJNIK K. *Application of Neural Networks for Estimation of Paper Properties Based on Refined Pulp Properties*. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2014; 22, 5(107) str. 126–132.
- [6] MONGA, S., THAPLIYAL B., TYAGI, S., NAITHANI, S., *Relationship between Strength Properties and Fiber Morphological Characteristics of S. officinarum – Part-1: Regression and Artificial Neural Networks Analysis*, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6, 6-391, 2017
- [7] ADAMOPOULOS, S., KARAGEORGOS A., RAPT, E., BIRBILIS, D., *Predicting the properties of corrugated base papers using multiple linear regression and artificial neural networks* *Drewino* 2016, Vol. 59, No. 198 DOI: 10.12841/wood.1644-3985.144.13
- [8] KHAN, J., *Everything you need to know about Visual Inspection with AI*, Dostopno na spletu; <https://nanonets.com/blog/ai-visual-inspection/>
- [9] BROWN D., HOROWITZ M., *AI Offers a Smarter Path to Sustainable Packaging*, Dostopno na spletu: <https://www.mhlnews.com/technology-automation/ai-offers-smarter-path-sustainable-packaging>
- [10] KARLOVITS, I., *Technologies for using Big Data in the paper and printing industry*, *J. Print Media Technol. Res.* 6(2017)2, 75–83
- [11] BEZAMAT B., *Lush trials AR product app in new package-free store*, Dostopno na spletu: <https://thecurrentdaily.com/2018/06/14/lush-ar-app-package-free-store/>

Inštitut za celulozo in papir, Bogišičeva ulica 8, 1000 Ljubljana, Slovenija



Slika 3. Brez embalaže in brez nalepke – le mobitel za vse izdelke podjetja Lush
Figure 3: No packaging no labelling – just a mobile phone for the identification of Lush cosmetics

stroj AMP Cortex, ki ima vgrajeno kamero, s katero preverja pretok odpadne kartonske embalaže na tekočem traku. Za identifikacijo kartonskih izdelkov med različnimi materiali uporablja umetno inteligenco, prepozna razliko med navadnimi škatlami in aseptičnim kartonom ali kompozitnim materialom. Trenutno naprava ločuje več kot 150 različnih variacij kartona in se uči še naprej. Ko je ustrezn karton prepoznan, ga naprava s pomočjo rok izloči. Povprečen človek lahko izloči 40 kartonov iz množice odpadkov, medtem ko lahko strojna naprava izloči 60 kosov z več kot 90-odstotno natančnostjo. Številka se samo še povečuje, saj se učinkovitost z učenjem izboljšuje.

3 ZAKLJUČEK

Umetna inteligenca in tehnologije, kot so strojno učenje, umetne nevronske mreže, skupaj s senzorji in kamerami omogočajo neskončno izboljšanje vseh procesov v embalažni panogi. Način uporabe in postavljanje v obstoječe sisteme je seveda še vedno odvisen od naravne inteligence odgovornih v podjetjih. Kje v embalažni verigi bo umetna inteligenca prva zažvela (razvoj in proizvodnja osnovnih surovin, pakirne linije ali logistika), je težko napovedati, saj so tehnološki postopki v panogi v večini še vedno le mehanizirani. S spremembo strojnega parka in tehnoloških postopkov bo tudi preskok v nas-

PRIME V PRIPRAVI SNOVI PRIME IN STOCK PREPARATION



Andritz AG

Well-known with over 5,400 pressure screens installed in numerous stock preparation lines worldwide, ANDRITZ presents the latest evolution in screening – the PrimeScreen X. The innovative design of the new screen builds on the successes of the widely valued ModuScreen family, but offers innovative, key benefits. The improvements in energy efficiency, screening performance, and maintainability are significant.

ANDRITZ je znan po tem, da je po vsem svetu montiral 5400 tlačnih prebiralnikov na številnih linijah za pripravo snovi. Zdaj predstavlja najnovejši izdelek v procesu prebiranja – PrimeScreen X. Inovativna zasnova novega prebiralnika temelji na uspehih zelo cenjene družine ModuScreen-ov, vendar ponuja pa inovativne, ključne prednosti. Izboljšave energetske učinkovitosti, učinkovitosti prebiranja in vzdrževanja so znatne.

Sampo Köyljjarvi, globalni produktivni vodja za sisteme RCF prebiranja in flotacije pri Andritz, pravi: »Z osredotočenostjo na potrebe strank in zahteve trga ter uživanjem prednosti naših dolgoletnih izkušenj in znanja na področju prebiranja je šel PrimeScreen X skozi vse stopnje razvoja izdelka – od začetnega tehničnega projektiranja do razvoja prototipa ter dveh let preskušanja v papirnici – pri najzahtevnejših uporabah OCC. PrimeScreen X je idealen za vse vrste prebiranja ne glede na surovino.



PrimeScreen X

Glavne lastnosti naprave PrimeScreen X / Main features of the PrimeScreen X

Glavne izboljšave zasnove novega prebiralnika so:

- ▶ **Dovod snovi z vrha.** Zasnova uporablja gravitacijo za hitro odstranjevanje težkih nečistoč. S tako zasnovo od zgoraj navzdol abrazivni materiali, ki povzročajo obrabo rotorja in sita oziroma košare, ne tečejo počasi navzgor skozi celotno sito. Zasnova od zgoraj navzdol izboljša tudi odstranitev lahkih rejektov (odpadnih snovi), ter tako prepreči njihovo zbiranje na območju dovajanja in s tem podaljša življenjsko dobo obrabljajočih se sestavnih delov.
- ▶ **PrimeRotor in letve za večjo učinkovitost in nižjo porabo električne energije.** Prebiralnik je lahko opremljen z novim PrimeRotor, ki izboljša učinkovitost prebiranja in zmanjša po-

- rabo energije do 25 odstotkov. Letve za PrimeRotor se lahko nadomestijo s katero koli letvijo podjetja ANDRITZ, rotor pa se lahko namesti v katero koli vrsto prebiralnika, ki je na voljo na trgu.
- ▶ **Lažje vzdrževanje.** Zamenjava košar in rotorjev vzame veliko časa. V PrimeScreen X je uporabljena edinstveno zasnovana priručnica pogonske gredi, ki povezuje rotor s središčem, zaradi česar je vzdrževanje ali zamenjava hitra in lahka. Inovativni vpenjalni sistem za pritrditev košare omogoča hitrejšo menjavo te košare.
- ▶ **Optimizirana razmerja med višino in premerom košare prebiralnika.** PrimeScreen X je zasnovan tako da z

optimiziranim razmerjem med višino in premerom košare izpolnjuje zahteve različnih oprem in uporab. To prispeva k zmanjšanju dejavnikov zgoščevanja, boljšemu nadzoru izgube vlaken in manjšim možnostim zamašitve. PrimeScreen X je izjemen za vse vrste prebiranja – rjavi in beli programi, reciklirane in izvirne vlaknine, vključno z grobo, fino, izmetno, gosto... prebiranjem, ter frakcioniranjem. Več informacij o Andritzovi najnovejši tehnologiji prebiranja lahko dobite na: andritz.com/primescreen ali če pišete na naslov: sampo.koyljarvi@andritz.com