



Kvantitativno merjenje lokomocije brojlerjev

računalniški vid · globoko učenje · multi-object tracking

Metodološko poročilo · PPR Track 2026.09 · 20. 09. 2026 · Perutnina Ptuj d.o.o. · precision livestock farming

Izvleček

Predstavljamo end-to-end cevovod za neinvazivno, visokozmogljivo fenotipizacijo gibanja (high-throughput phenotyping) v hlevu in na terasi. Sistem združuje računalniški vid (computer vision), umetno inteligenco in globoko učenje (deep learning): konvolucijski detektor YOLO (You Only Look Once) z utežmi, prilagojenimi z transfer learning in fine-tuningom na lastni domeni (beli brojlerji, pogled od zgoraj; model chicken.pt), multi-object tracking (ByteTrack) za ohranjanje identitete, rekonstrukcijo trajektorije iz appearance-based težišča telesa ter metrično kalibracijo slika → meter. Odvisna spremenljivka je trajanje-utežena hitrost lokomocije (m/h). Splošni COCO modeli razreda »bird« na tej domeni odpovedo; zato je nujna domain adaptation. Klasični postopki (optični tok Farneback, odštevanje ozadja MOG2) merijo aktivnost slike, ne evklidske poti, in ostanejo le kot ablacijska kontrola.

Ključne besede: računalniški vid · AI · CNN · YOLO · transfer learning · fine-tuning · domain adaptation · object detection · inference · multi-object tracking · ByteTrack · kalibracija · ROI · heat mapa · precision livestock farming · digital phenotyping

1. Namen in raziskovalni načrt

Cilj je objektivna, ponovljiva kvantifikacija lokomocije jate brez ročnega štetja korakov. Kamere nad hlevom in teraso tvorijo nadzorni računalniški vid; inference poteka visokozmogljivo v paketu (Apple Silicon / GPU-MPS). Primerjava ni 24-urna agregacija, temveč sočasna, časovno poravnana inferenca (paired contemporaneous design): par nastane le, če se posnetka začneta znotraj 4 min. Okno študije: 31. 8. 2026 13:00 – 1. 9. 2026 13:00, intervali 30 min.

Raziskovalni hipotezi

H1 — prostor

V istem časovnem oknu je lokomocija na terasi višja kot v hlevu (isti cirkadiani čas, dve kameri). Tako izločimo čas dneva kot zameševalec.

H2 — učinek odprtja

Ko je terasa odprta, je lokomocija tudi v hlevu višja kot podnevi ob zaprti terasi. Noč je izključena: nočna inaktivnost bi umetno znižala kontrolo (confounder control).

4,00 × 2,25 m

Hlev: metrično umerjeno vidno polje (16:9, daljša stran slike = daljša stran hale).

4,40 × 2,48 m

Terasa: ista geometrija kalibracije, druga fizična površina.

m/h

Trajanje-utežena lokomocija: $\Sigma d / \Sigma t$, preračunano na uro. Kratka sled nima enake teže.

2. Arhitektura: AI in računalniški vid

Jedro je globoko učena konvolucijska nevronska mreža za detekcijo objektov v sliki (real-time object detection). Arhitektura YOLO v enem prehodu napove okvirje in verjetnosti (single-shot inference). Uteži niso splošni COCO; gre za domain-specific model chicken.pt, dobljen z učenjem modela na lastnih sličicah hale: predhodno označevanje, transfer learning iz nano YOLO hrbtenice in fine-tuning na belih brojlerjih od zgoraj. To je klasična domain adaptation: splošni razred »bird« teh posnetkov skoraj ne

zazna.

Sloj	Tehnologija v tem sistemu
Senzorika / CV	Nadzorni računalniški vid, temporalni downsampling (stride 2), notranja ločljivost 960 px, ROI = notranjih 80 % slike (odprava robne distorzije).
Deep learning / CNN	YOLO, inference z NMS in pragom zaupanja. Domain-specific weights chicken.pt.
Učenje modela	Transfer learning + fine-tuning na lastnem naboru. Ne treniramo od naključnih uteži; prilagodimo prednaučeno mrežo.
Multi-object tracking	ByteTrack: asociacija detekcij v identitete (ID persistence), obnova po kratki okluziji, zavrnitev nerealnih skokov.
Signal processing	Appearance-based centroid, temporalno glajenje (~0,67 s), dead-zone / histereza (~18 % okvirja) proti jitterju detekcije.
Metrična kalibracija	Preslikava piksel → meter, samodejni obrat osi za 16:9, duration-weighted rate (m/h), occupancy heatmap (gostota, ne hitrost).

3. Cevovod: od sličice do metrične trajektorije

Cevovod je zaporedje AI inference → MOT → rekonstrukcija poti → kalibracija → statistična agregacija. Vsak korak je ločen znanstveni modul; skupaj dajo evklidsko pot, ne »živosti slike«.

1	Object detection (YOLO inference) Na vsaki drugi sličici nevronska mreža napove bounding boxe. NMS in prag zaupanja odstranita šibke hipoteze in podvojitve.
2	Multi-object tracking (ByteTrack) Asociacija detekcij v trajne identitete. Kratka okluzija ne pomeni nujno novega ID; nerealni preskoki na soseda izpadejo.
3	Appearance-based centroid Težišče ni središče kvadrata, temveč svetlejši del telesa v okvirju. S tem ločimo lokomocijo od nestabilnosti detektorja (box jitter).
4	Metrična kalibracija in ROI Piksli → metri na umerjeni površini. Analiza teče le na notranjih 80 % polja; rob objektiva ne vstopi v integral poti.
5	Sočasna inferenca in dve hipotezi Agregacija v 30-min terminih, parjenje kamer, H1 (prostor) in H2 (učinek odprtja) na duration-weighted m/h.



Slika 1. Overhead computer vision, 31. 8. ~13:30. Barvne trajektorije = rekonstruirane poti. Zeleni okvir = ROI (notranjih 80 % slike).



Slika 2. YOLO inference, gosta jata (1. 9. ~10:32): bounding box + ID.



Slika 3. MOT, isti posnetek: kumulativne trajektorije.

4. Rekonstrukcija poti in supresija šuma detekcije

Bounding box YOLO detektorja ni toga mera položaja: tudi pri stacionarni živali okvir oscilira (box jitter). Integracija središč okvirjev bi proizvedla lažno lokomocijo — artefakt inference, ne fenotip. Zato pot rekonstruiramo iz telesa, ne iz geometrije kvadrata.

Appearance-based centroid V notranjosti okvirja poiščemo svetlejši del telesa. Trajektorija sledi živali, ne robu detekcije.	Temporalno glajenje Drseče povprečje čez $\sim 2/3$ s (low-pass filter). Visokofrekvenčni šum izgine, prava hoja ostane.
Dead-zone / histereza Premik manjši od ~ 18 % velikosti okvirja = mirovanje. Mikro-njihanje ne vstopi v integral poti.	ROI masking Samo notranjih 80 % polja. Rob objektiva (distorzija, polovične živali) je izločen iz metrike.

Kontrolni preizkus (synthetic jitter). Če bounding box 80 sličic naključno treseš, cevovod izmeri manj kot 5 cm poti. Ko se težišče telesa res premakne, metri ostanejo. To loči lokomocijo od nestabilnosti detektorja.

5. Operacionalizacija odvisne spremenljivke

Primarna metrika je duration-weighted locomotion rate (m/h): vsota evklidskih poti, deljena z vsoto opazovanega časa. Kratka sled nima enake teže kot dolga — v nasprotju z neuteženim povprečjem po posnetkih, ki kratke izseke napihne. Prazne terase (skoraj ni detekcij) ne pariramo s polnim hlevom. Toplotna karta (occupancy heatmap) je ortogonalni izhod: prostorska gostota, ne hitrost.

6. Ablacija: izbira časovnega vzorčenja

Istih 90 s notranjega posnetka smo obdelali s temporalnim downsamplingom (stride 1–5). To je ablacija med računsko ceno inference in pristranskostjo metrike: stride 1 podvoji jitter okvirja; prevelik stride izgubi drobno hojo.

Stride	Čas inference	Lokomocija	Interpretacija
1 (vsaka slička)	9,3 min	114 m/h	preveč box jitterja
2 (izbrano)	4,7 min	73 m/h	optimalno razmerje
3	3,2 min	45 m/h	izguba drobne hoje
4	2,4 min	50 m/h	izguba drobne hoje
5	1,9 min	35 m/h	podvzorčenje poti

Izbran je stride 2 in notranja resolucija 960 px: približno $2\times$ hitrejša inferenca kot polna kadenca, brez inflacije na 114 m/h, ki je bila večinoma artefakt detekcije.

7. Kalibracija, ura in vrstni red obdelave

Modul	Metodološka odločitev
Jitter okvirja	Centroid kvadrata inflatira metre. Rešitev: appearance centroid, low-pass filter, dead-zone.
Metrična geometrija	Os širina/globina sta bili najprej zamenjani. Samodejni obrat za 16:9: hlev 4,00 × 2,25 m, terasa 4,40 × 2,48 m.
Temporalna poravnava	Ime datoteke lahko laže. En clip: ime 11:36, OSD 9:36 → ročni remap v termin 9:30. Sicer pade v napačen cirkadiani slot.
Progressive inference	Najprej terasa, nato isti termini v hlevu; valovi 5, 10, 15 min ... Prejšnjih minut ne beremo znova (inkrementalni predpomnilnik).
Confounder: noč	Nokturna inaktivnost ni kontrola za »zaprto teraso«. H2 meri dnevni hlev ob zaprti terasi, ne spanja.

8. Ablacijska primerjava treh paradigem računalniškega vida

Poleg globokega učenja smo na istem 5-min izseku ovrednotili dve klasični paradigmi brez učenja modela: gost optični tok (Farneback) in odštevanje ozadja (MOG2, mešanica Gaussov). Oba dasta indeks aktivnosti slike. Evklidsko pot na žival da samo AI detekcija + MOT.

Paradigma	Kaj kvantificira	Metrična pot?
A — deep learning YOLO + ByteTrack	Pot in hitrost vsakega osebka. Identiteta, okluzija, domain-specific inference.	Da — referenčna metoda
B — optični tok Farneback, klasični CV	Kolektivni motion field. Hoja + čohanje + kljuvanje + kompresijski šum.	Ne — indeks živosti
C — background subtraction MOG2, brez učenja	Samo trenutno premikajoči blobi. Ne vidi mirujočih, nima ID.	Ne — šteje dogodke

Na testnem izseku je A izmerila ~0,6 m na osebka v 5 min. Optični tok je »pot« inflatiral približno 8×, ker integrira vsak piksel. A teče ~2,3× hitreje od realnega časa (GPU inference). B in C ostaneta kot negativna kontrola, ne kot številka poročila.

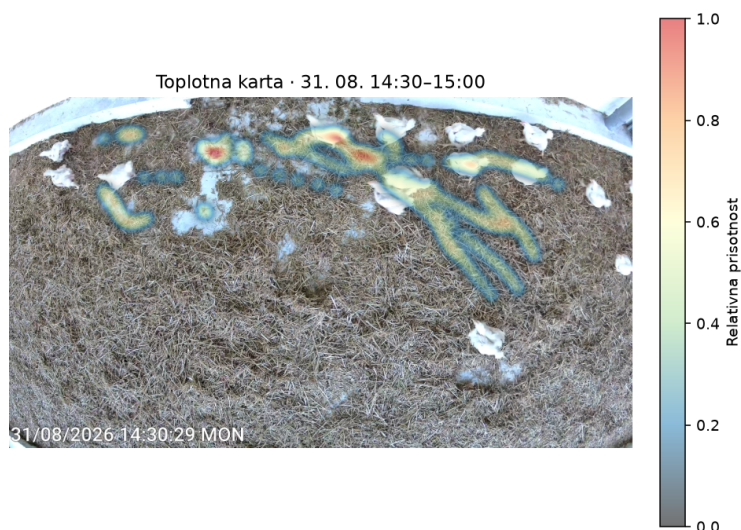
9. Validacija in nadzor kakovosti

Pred vsako produkcijsko inferenco teče avtomatizirana regresijska validacija (pytest): enotni testi za geometrijo, parjenje, confounderje in inkrementalni predpomnilnik. Če test pade, paketu ne zaupamo. Dopolnilo je kvalitativni pregled overlay videa — ali trajektorije sledijo živalim, ne slami.

- Synthetic jitter: pot ≈ 0 (supresija box šuma).
- Prava translacija telesa: metri se ohranijo.
- ID switch: identiteta se ne preseli na soseda.
- Quality filter: kratke in nerealno hitre sledi izpadejo.
- 16:9 remap: 2,25 × 4,00 m → 4,00 × 2,25 m.
- Študijsko okno: 13:00–13:00, slot 30 min.
- Parjenje kamer samo znotraj 4 min.
- Noč ni v kontroli »zaprte terase«.
- Vrstni red: najprej outdoor, nato paired indoor.
- Progressive cache: 5 min se ne računa znova pri 10 min.

10. Izhodi analize

Za vsak posnetek: PDF, Excel in vizualizacije (detekcije, trajektorije, histogrami). Za 24-urno okno: združeno poročilo, tabela sočasnih parov in atlas occupancy heatmap po 30 min. Interpretacija sme govoriti le o sočasnih obdobjih in m/h — ne o »24 urah« ali »vedno«, ker terasa ni odprta ves dan.



Slika 4. Occupancy heatmap: prostorska gostota (kje), ne hitrost (kako hitro). Rdeče = gneča ali počitek.

Stolpčni prikaz H1/H2 (m/h) v tem zvezku ni. Paket še teče; končne številke pridejo v primerjalnem poročilu, ko sta obe kameri do konca.

Omejitev sklepanja

Rezultat velja za sočasna okna z obema kamerama. Ni 24-urna ekspozicija terase. Noč ni kontrola za H2.

Tehnološki sklad (povzetek)

Computer vision · AI · CNN · YOLO · transfer learning · fine-tuning · MOT / ByteTrack · metric calibration · heatmap · precision livestock farming.

Naslednja stran iste stvari ne ponavlja znanstveno — prevede jih v običajni jezik.

11. Isto, v preprostem jeziku

Poljudni prevod znanstvenih izrazov z zgornjih strani.

Zgoraj je metoda napisana tako, kot jo bere raziskovalec. Tukaj je ista vsebina, kot bi jo razložili na hodniku: kaj program res naredi, in kaj tiste angleške besede pomenijo.

Znanstveni izraz	Kaj to pomeni pri nas
Računalniški vid / computer vision	Kamera gleda jato od zgoraj. Program namesto očesa prebere sliko.
AI, CNN, YOLO, inference	Naučena nevronska mreža na sliki poišče piščance in nariše okvir. Model se imenuje chicken.pt — naučen je na belih piščancih iz tega hleva, ne na splošnih »pticah« z interneta.
Učenje modela, transfer learning, fine-tuning	Nismo začeli od nič. Vzeli smo že naučeno mrežo in jo prilagodili na naše posnetke (beli piščanci, pogled od zgoraj).
ByteTrack / multi-object tracking	Ista žival obdrži isto številko, tudi če za hip izgine za sosedom.
Appearance-based centroid, jitter, dead-zone	Okvir se trese tudi, ko žival stoji. Zato merimo telo, ne rob kvadrata, pot zgladimo in drobno njihvanje ne štejemo kot hojo.
Kalibracija, ROI, m/h	Sliko pretvorimo v metre hale. Merimo samo notranjih 80 % slike. Številka je prehojena pot na uro opazovanja, da so kratki in dolgi posnetki primerljivi.
H1 in H2, confounder	H1: ali se na terasi več gibljejo kot v hlevu ob isti uri. H2: ali odprta terasa poživi tudi hlev podnevi. Noči ne damo v primerjavo — sicer bi spanje znižalo kontrolo.
Optični tok, MOG2, ablacija	Preizkusili smo tudi starejše metode brez učenja. Merijo, kako »živa« je slika (čohanje, kljuvanje, šum), ne metrov hoje. Za poročilo ostane samo sledenje živali.
Heat mapa / occupancy	Pove, kje so bili, ne kako hitro so šli. Rdeče je gneča ali počitek.
Precision livestock farming	Stroj meri jato namesto človeka na očesu. Namen: poštene številke za hlev in teraso.

Kaj program naredi, v treh stavkih

Najde piščance, vsakemu da številko, nariše pot telesa in jo pretvori v metre. Nato primerja hlev in teraso v istih urah. Kratka sled ne šteje enako kot dolga.

Kako govoriti o rezultatu

Vedno recimo »v sočasnih obdobjih« in »m/h«. Ne »24 ur« in ne »vedno« — terasa ni odprta ves dan.

Dokument opisuje metodo, ne trenutnega izida paketa. Pripravljen 20. 09. 2026 19:00. PPR Track 2026.09 · Perutnina Ptuj d.o.o. · Natur Premium.