

# Proceduralna animacija napada volkov na čredo ovc in učinkovitost psov čuvajev

Ivan Antešić in Adam Prestor

Collective behaviour course research seminar report

1. februar 2023

Iztok Lebar Bajec | izredni profesor | mentor

V zadnjem času se zaradi vrnitve volkov v naše gozdove, govori o napadih na domače živali. To nas je navdihnilo, da smo razvili simulacijo napada volkov na čredo ovc, ki jo branijo psi čuvaji. Z upoštevanjem teženj in potreb posameznih neodvisnih agentov (ovc, psov in volkov) opazimo medsebojne interakcije in posledično pojavitev skupinskega vedenja. Tako smo s simulacijo preverili učinkovitost psov čuvajev. Da je simulacija čimbolj realistična smo izboljšali že nekatere obstoječe rešitve simulacije čred in plenjenja.

Skupinsko vedenje | Proceduralna animacija | Ovce | Volkovi | Simulacija

Za problem skupinskega vedenja obstaja več rešitev, večina od njih gradi na modelu Boids avtorja Craig Reynoldsa [1], ki simulira jato ptic. Model Boids predpostavlja tri težnje, ki jim poskuša zadostiti vsak avtonomni agent, t.i. animat (angl. animated animal object): kohezijo, poravnavo in seperacijo. Končno akcijo agenta pridobimo v treh fazah: najprej animat, ki se zaveda svoje okolice, glede na težnje določi potrebno akcijo, ki jo mora izvršiti. Ker si lahko težnje nasprotujejo, vektorje akcij uteženo seštejemo ter tako pridobimo željen vektor končne akcije, ki jo nato izvršimo [2].

Obstajajo tudi modeli, ki se osredotočajo na skupinsko vedenje ovc. Strömbom in sod. opisujejo model [3] ovc in pastirja. Posamezne ovce skušajo ostati v skupini svojih bližnjih sosedov in se premikati stran od pastirja, če se ta nahaja znotraj vnaprej določenega kroga zaznave. Pastir se postavi za center črede in jih goni proti tarči ali pa se postavi za najbolj oddaljenim osamelcem črede in ga goni proti njenemu središču. Model je preprost, temelji na računanju vektorjev smeri in bi ga s prilagoditvijo pravil pastirja lahko uporabili za simulacijo plenjenja.

Simulacija samega napadanja je opisana v diplomu Erika Rakuščka [4], ki predstavi dokaj realističen model volkov in bizonov. Demšar in Bajec pa v članku [5] primerjata različne taktike plenilcev z implementacijo v mehki logiki (angl. fuzzy logic), ki je bolj naravna od matematičnih modelov.

Integracija psov čuvajev je tradicionalna metoda za preprečevanje napadov divjih živali, kot so medvedi, volkovi in lisice, na čredo ovc [6–10]. Medtem ko je veliko raziskovanja o učinkovitosti, načinu implementacije in stroških vzdrževanja, je le malo preučevanja o interakcijah med psi čuvaji in predatorji. V našem primeru se osredotočamo na interakcijo med psi čuvaji in volčjim krdelom. S pomočjo raziskave, ki so jo naredili v sklopu projekta [11] smo razvili metode vedenja psov čuvajev.

## Metode

**Izhodišče.** Reševanja problema simulacije napada volkov na čredo ovc smo se lotili tako, da smo združili in nadgradili že obstoječe rešitve. Pri tem smo želeli narediti čimbolj realistično simulacijo, ki upošteva vedenje volkov in ovc v naravi. Simulacijo lahko nato primerjamo s posnetki napadov<sup>1</sup> in ocenimo njeno uspešnost.

Za izhodišče smo vzeli projekt FRIsheeping, ki že implementira model Strömboma in sod. [3]. Projekt simulira pastirskega psa, ki v ogradi goni ovce v hlev. Narejen je v igralnem pogonu Unity in vsebuje nekaj 3D modelov ovc, volkov in okolja, tako da smo se lahko osredotočili na samo implementacijo algoritmov. Kodirali smo v programskem jeziku C#.

**Volk.** Volka smo predstavili s prebarvanim modelom psa.

Ko volk ujame ovco, jo podre na tla in jo še nekaj časa grize, kar smo ponazorili z učinkom krvi (vidno na sliki 3) in smrtnimi krči ovce. S tem smo posnemali vedenje v naravi, kjer volk poskrbi, da je ovca mrtva preden nadaljuje z napadom na druge ovce.

Implementirali smo različne napadalne taktike volkov, ki so bazirane na individualnem ali skupinskem lovu. Za primer individualnega lova smo implementirali taktiki napada na najbližji in najbolj izoliran plen [5]. Pri taktikah za individualni lov je naš volk vedno v stanju teka, se ne utruja ali upočasni. Omenimo še, da ko volk izbere

## Wolf Attack on Flock of Sheep Procedural Animation and Effectiveness of Guard Dogs

Following the recent return of wolves in our forests, there is talk about attacks on farm animals. This has inspired us to develop a simulation of a wolf attack on herds of sheep, which is protected by a number of guard dogs. By defining the needs and rules of individual autonomous agents (sheep, dogs and wolves) we notice an emerging group behaviour. With our simulation we tested the effectiveness of guard dogs. To make our simulation as realistic as possible we improved upon already existing solutions for herd and predator behaviour.

Collective behaviour | Procedural animation | Sheep | Wolves | Simulation

<sup>1</sup> Primer posnetkov: [posnetek 1](#), [posnetek 2](#), [posnetek 3](#)

tarčo, ji določen čas sledi. S tem se izognemo zmedenemu predatorju, ki preskakuje iz ene tarče na drugo. Taktike za individualni lov se lahko uporabijo tudi za volčje krdelo.

Pri taktiki napada na najbližji plen volk izbere sebi najbližjo vidno ovco, se usmeri proti njej in jo lovi, največ za čas zbranosti, potem si ponovno izbere plen. Taktika kljub svoji enostavnosti poda solidne rezultate.

Napad na najbolj izolirano ovco je malce bolj kompleksen. Pri tej taktiki, si volk razporedi vidne ovce po polarnem kotu od leve proti desni. Za vsako ovco nato izračuna kota med obema sosedoma. Svoj plen volk določi tako, da izbere ovco, katera ima največji najmanjši kot do najbližjega soseda - najbolj izolirana ovca iz perspektive plenilca.

Implementirani sta tudi dve taktiki skupinskega lova volkov. Prva izmed njih je napad z obkoljevanjem. Implementirali smo jo s pomočjo prilagojenega Strömbomovega modela pastirskega psa. Taktika simulira obkoljevanje plena ob napadu, kar je značilno za napad na večji plen. Spremenili smo ga tako, da volkovi, namesto da bi ovce gnali proti skednju, ovce ženejo proti središču ostalih volkov. Že implementirana metoda je imela pomankljivost, da pes oz. volk ni zmožen zaobiti ovce, da bi prišel na nasprotno stran. Problem smo rešili tako, da smo na določeni razdalji, približno repulzivni radij ovce, normalizirali vektor željenega premika in mu prišteli vektor od ovce proti volku. S tem dosežemo premikanje po krožnici okoli ovce.

Druga taktika je bila narejena po diplomskem delu [4], kjer je napad volčjega krдела simuliran po modelu Boids. Naš model Boids je implementiran tako:

$$\vec{v}_i = \vec{f}_{c,i} * w_{c,i} + \vec{f}_{a,i} * w_{a,i} + \vec{f}_{s,i} * w_{s,i} + \vec{f}_{gt,i} * w_{gt,i}, \quad [1]$$

kjer je  $\vec{f}_{c,i}$  sila kohezije,  $\vec{f}_{a,i}$  sila poravnave,  $\vec{f}_{s,i}$  sila razmika in  $\vec{f}_{gt,i}$  sila gibanja proti plenu,  $w_{c,i}, w_{a,i}, w_{s,i}, w_{gt,i}$  pa pridajoče uteži. Ostale težnje, ki so opisane v diplomskem delu smo zanemarili, saj so ovce v ogradi, izmikanje ovir pa smo implementirali na drugačen način.

**Pes čuvaj.** Naš model psa čuvaja izhaja iz članka [11], kjer so opazovali interakcije med volkovi in psi čuvaji. Psi čuvaji so pastirski psi, ki poleg gonjenja ovč, delujejo kot ovira med volkom in ovčami. Možna je več interakcij med psi in volkovi, od opazovanja na razdalji, do socialnih interakcij, lajanja in lovljenja oziroma spopada z volkovi. Ker so psi čuvaji klasificirani kot metoda obrambe, ki brez uboja preganja plenilce [8, 11], v naši simulaciji pes ne more ubiti volka.

Glede na raziskavo [11] smo implementirali dve možni taktiki psov čuvajev. Prva taktika je lovljenje volka proč od črede, kjer pes izbere sebi najbližjega volka in ga lovi v smeri proč od centra mase vidnih ovč. Druga taktika je prestrezanje napada. Pes se postavi med volka, ki je najbližje čredi, in njemu najbližjo ovco.

V obeh primerih imajo psi 2 parametra, ki jim narekujeta kako naj se obnašajo. Prvi parameter  $r_a$  nam pove, pri kateri razdalji volka od črede ga pes opazi, vendar ga ne napade. Drugi parameter  $r_d$  pa nam pove, pri kateri distanci volk predstavlja nevarnost za čredo, kar privede do konflikta med psom in volkom, spopad. Če ovce niso v nevarnosti, jih pes čuvaj poskuša obdržati v tesni čredi.

Ker je v [11] zapisano, da se v večini primerov psi in volki ne spopadajo, ampak se izogibajo drug drugega, smo obema dodelili parameter *safe\_distance*, ki opisuje maksimalno distanco, ob kateri se oba še vedno počutita varne.

Medtem ko v simulaciji pes lahko vidi, oziroma se zaveda lokacije vseh volkov, smo število ovč, ki jih upošteva omejili na najbližjih 7 vidnih, podobno kot običajno predatorji [5]. V naravi je ps čuvajev le redko več kot 1, tako da ni bilo mogoče razviti metode za skupinsko branjenje plena.

**Zaznavanje okolice.** Izhodiščna rešitev za izogibanje ovir implementira model polja sil (*angl. force field model*). Vsak animat pregleduje seznam vseh ovir v okolju in izračuna njihovo odbojno silo, ki jo nato upošteva pri izbiri smeri premika. Ker želimo, da je model čim bolj realističen je pomembno, da se osebk ne smejo zavedati vseh objektov (npr. vseh dreves) v globalnem okolju. Zato smo implementirali zaznavo okolice, ki usmeri animat stran od ovire (*angl. steer to avoid*).

Algoritem na začetku razdeli enotsko krožnico na 50 kotov:

$$\theta_i = 2\pi \frac{i}{50} \mid \forall \theta_i \in \Theta, i = [0...50].$$

$\Theta$  je polje vseh kotov  $\theta_i$ . Kote nato uredimo po padajočem vrstnem redu glede na njihovo sinusno vrednost in izračunamo pripadajoče enotske vektorje  $\hat{p}_i = (x, y, z)$ , ki jih shranimo v polje  $P$ :

$$\hat{p}_i = (\cos \theta_i, 0, \sin \theta_i) \mid \forall \theta_i \in \Theta, \forall \hat{p}_i \in P, i = [0...50].$$

To je pomembno, ker ima sinus pri kotu  $\theta = \pi/2$  maksimalno vrednost, ki nato pada in doseže minimalno vrednost  $\theta = \frac{3\pi}{2}$ . Animat pred premikom v željeno smer (npr. volk proti ovci) pošlje kroglo velikosti  $\alpha$ , za dolžino  $\beta$  v okolje. Če krogla zazna trk z oviro, animat poišče prsto pot okoli ovire, tako da pošilja krogle v smereh na začetku določenih vektorjev. Zaradi njihovega vrstnega reda, bo najprej pregledal smeri blizu željene poti in nato postopoma širil območje iskanja. Delovanje je vidno na sliki 4 v prilogi. Ko zazna prvo smer, v kateri krogla ne trči v oviro, določimo končno smer premika:

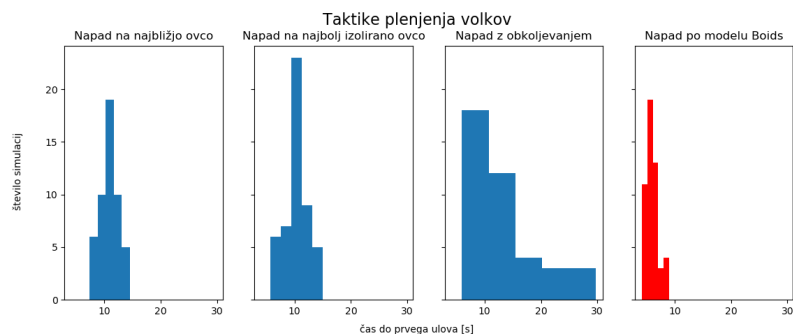
$$\hat{k} = \hat{z} + \hat{p} * \gamma.$$

$\hat{k}$  je vektor končne smeri premika,  $\hat{z}$  je vektor željene smeri,  $\hat{p}$  je vektor proste smeri in  $\gamma$  je parameter, ki nadzoruje vpliv izogibanja ovire na končno smer.

Kot je omenil Reynolds v članku [1], ima opisani model več prednosti: v nasprotju od modela polja sil se lahko animat premika vzporedno ob oviri in ne spremeni smeri. Uspešno se lahko umakne oviri, ki je pravokotno pred njim - v modelu polja sil, bi se v takem primeru le upočasnili, saj bi bila sila nasprotna premiku. Izboljša se tudi kompleksnost algoritma pri večjem številu ovir, saj posamezni animat ne preiskuje vseh objektov v okolju. V ogrado smo dodali nekaj kopic sena in avtomobil, da smo lahko preizkusili delovanje algoritma in določili vrednosti parametrov  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Pristop deluje učinkovito, ovce in volkovi naravno prilagodijo smer in se izogibajo oviram.

## Rezultati

**Taktike volkov.** Na začetku smo morali za volkove določiti najboljšo taktiko plenjenja in jo uporabiti za referenčni primer napada. Za vsako od štirih taktik smo pognali 50 simulacij napada 3 volkov na čredo 30 ovc brez psov čuvajev. Posamezna simulacija je trajala 30 sekund. Iz rezultatov v tabeli 1 in na sliki 1 lahko razberemo, da se za najboljšo taktiko izkaže napad po modelu Boids s povprečnim časom prvega uboja 6.04 sekund (SD = 1.65). Povprečni čas prvega uboja pri napadu na najbližjo ovco je 10.92 sekund (SD = 1.65), pri napadu na najbolj izolirano ovco 10.23 sekund (SD = 2.25) in pri napadu z obkoljevanjem 12.75 sekund (SD = 6.24).

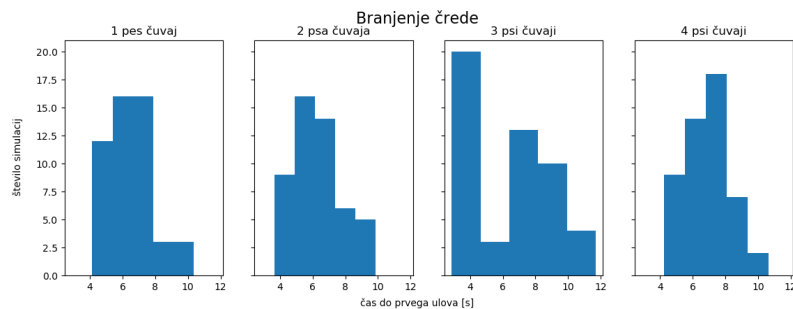


**Slika 1.** Primerjava taktik, ki jih uporabljajo volkovi pri plenjenju ovc brez psov čuvajev. Posamezni histogram nam pove čas do prvega ulova ovce in pripadajoče število simulacij. Z rdečo je označen histogram taktike, ki je najbolj učinkovita. Mediana vrednost prvega histograma (z leve strani) je 10.86, drugega 10.41, tretjega 11.16 in četrtega 5.96.

najbližja ovca	najbolj izolirana ovca	obkoljevanje	model Boids
6.34	5.48	2.76	9.04

**Tabela 1.** Primerjava taktik napada volkov glede na povprečno število ubitih ovc v eni simulaciji brez psov čuvajev.

**Število psov čuvajev.** Vpliv psov čuvajev smo testirali podobno kot pri testiranju taktike volkov. Pognali smo 50 simulacij napada 3 volkov na čredo 30 ovc z enim, dvema, tremi ali štirimi psi čuvaji. Posamezna simulacija je trajala 30 sekund. Rezultati so prikazani v tabeli 2 in na sliki 2. Volk povprečno potrebuje 6.44 sekund (SD = 1.40) za ulov ovce v čredi, ki jo brani en pes čuvaj. Za čredo z dvema psoma potrebuje 6.31 sekund (SD = 1.49), za čredo s tremi psi 6.19 sekund (SD = 2.59) in za čredo, ki jo branijo štirje psi 6.85 sekund (SD = 1.41). Potrebno je omeniti, da so rezultati pridobljeni s psi, ki uporabljajo taktiko lovljenja najbližjih volkov in ne taktike prestrežanja. Ta se je namreč izkazala za neučinkovito - s štirimi psi je bilo povprečno število ubitih ovc 6.28 v primerjavi z 4.44.



**Slika 2.** Primerjava vpliva različnih števil psov čuvajev, ki branijo čredo pred napadom volkov. Posamezni histogram nam pove čas do prvega ulova ovce in pripadajoče število simulacij. Mediana vrednost prvega histograma (z leve strani) je 6.42, drugega 6.13, tretjega 6.51 in četrtega 4.85.

1 pes čuvaj	2 psa čuvaja	3 psi čuvaji	4 psi čuvaji
8.64	6.86	5.72	4.44

**Tabela 2.** Primerjava vpliva različnih števil psov čuvajev, ki branijo čredo pred napadom volkov, glede na povprečno število ubitih ovc v eni simulaciji.

## Diskusija

Za najuspešnejšo taktiko napadanja se je izkazal napad po modelu Boids. V nasprotju z napadom na najbližjo ali najbolj izolirano ovco, posamezni volk ne izbere tarče neodvisno od ostalih volkov, zato ne pride do dogodka, ko več volkov lovi isto ovco. Prav tako psi težje preprečijo uplen - ker se volkovi premikajo glede na težnje, lahko naravno prilagodijo smer okoli psa in nadaljujejo lov na nove ovce. Pri napadih na fiksno tarčo se pes le postavi na pot volka in mu onemogoči uplen, dokler volk ne zamenja tarče. Težnje, ki preprečujejo, da bi se krdelo preveč razkropilo tudi pomagajo pri uplenu, saj se ovce težje izmaknejo širši površini, ki jo pokriva krdelo, kot pa le posameznemu volku.

Za najslabšo se izkaže taktika obkoljevanja, ker volkovi ne plenijo dovolj agresivno ampak se večino časa ukvarjajo z obkoljevanjem, ki je uteženo zaradi ovir v ogradi. Rezultat je pričakovan, saj tudi v naravi volkovi obkoljujejo le večji in bolj nevaren plen, kot so bizoni, za manjše plene je taktika preveč zahtevna in energijsko potratna.

Če ocenjujemo učinkovitost psov čuvajev glede na povprečni čas, ki ga potrebujejo volkovi za prvi ulov, opazimo, da se rezultati testiranja psov čuvajev skoraj ne razlikujejo z rezultati referenčnega primera (plenjenje po modelu Boids brez psov čuvajev). Razlog za to je začetna postavitev animatov v simulaciji, vidna na sliki 5 v prilogi A. Ker je ograda dokaj majhna in se ovce pojavijo blizu volkov, bo večina psov pritekla prepozno, da bi odvrnila vse volkove. Tudi v naravi je malo verjetno da bo pes čuvaj blizu mesta napada, ker se jih volkovi izogibajo ali jih celo zwabijo stran od mesta napada.

Kasneje psi uspešno otežujejo plenjenje ovc, ker se že nahajajo v bližini volkov. To je vidno iz rezultatov tabele 2. Več psov brani čredo, manjše je povprečno število ubitih ovc. Pri štirih psih je število uplenjenih ovc več kot dvakrat manjše kot v referenčnem primeru. Rezultate bi lahko še izboljšali z večjim številom psov čuvajev, vendar je v naravi za takšno število ovc po navadi le en pes čuvaj, saj so psi dragi.

Ugotovitev, da je taktika psov čuvajev, ki lovijo volkove bolj učinkovita kot prestrežanje, sovпада z ugotovitvami v [8, 11], da so agresivnejši psi čuvaji bolj učinkoviti.

## Zaključek

Nadgradili in prilagodili smo obstoječi projekt FRIsheeping ter tako razvili simulacijo napada volkov na čredo ovc v ogradi, ki jo branijo psi čuvaji. Ugotovili smo, da se za krdelo volkov najbolje obnese taktika napada po prilagojenem modelu Boids, ki z upoštevanjem preprostih štirih teženj povzroči učinkovito skupinsko vedenje plenjenja ovc. S testiranjem smo dokazali, da naša implementacija psov čuvajev ne prepreči napada popolnoma ampak občutno zmanjša število ubitih ovc, podobno kot v naravi. Kot pričakovano več psov bolje ubrani čredo. Glede na dane posnetke in literaturo menimo, da smo se približali naravnemu vedenju. Rešitev bi lahko izboljšali če bi imeli na voljo več sistematično izmerjenih podatkov o napadu volkov in branjenju črede s psi čuvaji. Pri nadaljnjih delih predlagamo združitev z raziskovalci s področja zoologije in kinologije.

**DOPRINOSI.** AP je raziskal in implementiral obnašanje volkov in psov čuvajev. IA je implementiral zaznavanje okolice in pomagal pri popravkih volkov ter psov. IA je testiral rešitev in analiziral rezultate. Skupaj sta napisala poročilo. AP je naredil prosojnice predstavitve, IA video posnetke.

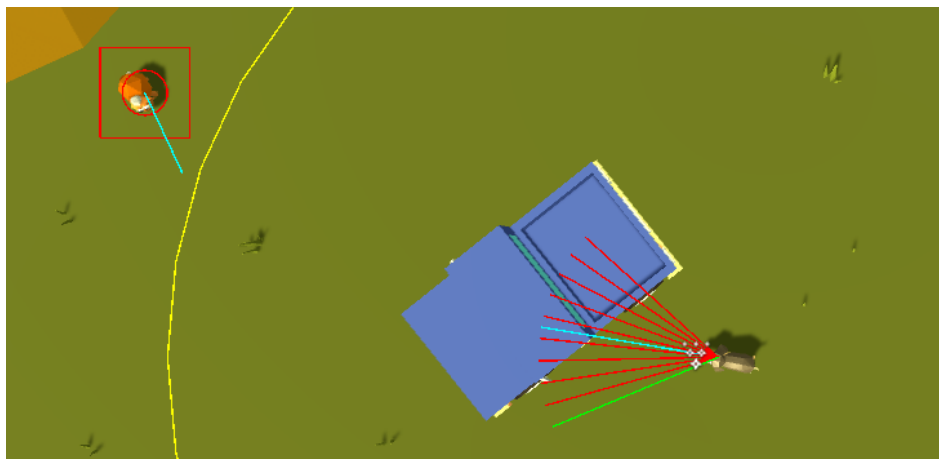
## Literatura

1. Reynolds CW (1987) Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *SIGGRAPH Comput. Graph.* [21\(4\):25–34](#).
2. Reynolds C (2002) Steering behaviors for autonomous characters.
3. Strömbom D et al. (2014) Solving the shepherding problem: Heuristics for herding autonomous, interacting agents. *Journal of The Royal Society Interface* [11](#).
4. Rakušek E (2018) Ph.D. thesis (Univerza v Ljubljani).
5. Demšar J, Lebar Bajec I (2014) Simulated predator attacks on flocks: A comparison of tactics. *Artificial Life* [20\(3\):343–359](#). PMID: 24730766.
6. Potgieter GC, Kerley GI, Marker LL (2016) More bark than bite? the role of livestock guarding dogs in predator control on namibian farmlands. *Oryx* [50\(3\):514–522](#).
7. STOYNOV<sup>1</sup> E et al. (2014) How to avoid depredation on livestock by wolf-theories and tests. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* [20\(1\):000–000](#).
8. Stoynov E (2005) Providing livestock guarding dogs and compensation of livestock losses caused by large carnivores in bulgaria. *LCIE Carnivore Damage Prevention News* [9,2005 9:19–23](#).
9. Nowak S, Mystajek RW (2005) Livestock guarding dogs in the western part of the polish carpathians. *Carnivores Damage Prevention News* [8:13–17](#).
10. McGrew JC, Blakesley CS (1982) How komondor dogs reduce sheep losses to coyotes. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives* [35\(6\):693–696](#).
11. Landry J (2014) The canovis project: studying internal et external factors that may influence livestock guarding dogs' efficiency against wolf predation. preliminary results and discussion.

## A. Priloga



**Slika 3.** Slika volka, ki je ujel ovco. V ozdaju so vidne dodatni objekti v sceni.



**Slika 4.** Prikaz volka, ki se na poti do označene ovce izogne avtomobilu. Vektor smeri premikanja (modra črta) naleti na oviro. Postopoma se preveri možne proste vektorje (rdeče črte), dokler se ne odkrije prvi, pravi prosti vektor (zelena črta).



**Slika 5.** Začetna postavitev volkov in psov čuvajev v testnih primerih. Na sliki so volkovi označeni z rdečimi krogi, psi čuvaji pa z modrimi. Ovce se generirajo naključno po drstišču.