

P o l š a r

VOJSKA BEZ VOJNIKA

Autonomno oružje
i budućnost
ratovanja

Preveo
Goran Skrobonja

Laguna

Naslov originala

Paul Scharre

ARMY OF NONE

Autonomous Weapons and the Future of War

Copyright © 2018 by Paul Scharre

This edition arranged with Kaplan/DeFiore Rights through
GRAAL

Translation copyright © 2020 za srpsko izdanje, LAGUNA



Kupovinom knjige sa FSC oznakom pomažete razvoj projekta
odgovornog korišćenja šumskih resursa širom sveta.

NC-COC-016937, NC-CW-016937, FSC-C007782

© 1996 Forest Stewardship Council A.C.

*Za Dejavija, Vilijama i Elu,
kako bi svet bio bolji.*

*I za Heder.
Hvala ti za sve.*

Sadržaj

UVOD

Gospodari života i smrti	13
--------------------------	----

I DEO/ROBOPOKALIPSA DANAS

1 NAILAZI ROJ

Revolucija u vojnoj robotici	25
------------------------------	----

2 TERMINATOR I RUMBA

Šta je autonomija?	44
--------------------	----

3 MAŠINE KOJE UBIJAJU

Šta je autonomno oružje?	54
--------------------------	----

II DEO/IZGRADNJA TERMINATORA

4 BUDUĆNOST SE GRADI DANAS

Autonomni projektili, dronovi i rojevi robota	83
---	----

5 UNUTAR PALATE ZAGONETKI

Gradi li Pentagon autonomno oružje?	106
-------------------------------------	-----

- 6 PRELAZAK PREKO PRAGA**
Odobranje autonomnog oružja 119
- 7 SVETSKI RAT R**
Robotsko oružje širom sveta 135
- 8 GARAŽNI BOTOVI**
Roboti ubice iz kućne radinosti 156

III DEO/ODBEGLO ORUŽJE

- 9 POMAHNITALI ROBOTI**
Kvar u autonomnim sistemima 177
- 10 KOMANDOVANJE I ODLUČIVANJE**
Može li autonomno oružje da se koristi bezbedno? 207
- 11 CRNA KUTIJA**
Čudan, tuđinski svet dubokih neuronskih mreža 231
- 12 SMRTONOSNE GREŠKE**
Rizik autonomnog oružja 241

IV DEO/MUNJEVITI RAT

- 13 BOT PROTIV BOTA**
Brzinska trka u naoružavanju 251
- 14 NEVIDLJIVI RAT**
Autonomija u sajber prostoru 266
- 15 „PRIZIVANJE DEMONA“**
Uspon inteligentnih mašina 291

V DEO/BORBA ZA ZABRANU AUTONOMNOG ORUŽJA

- 16 ROBOTI NA OPTUŽENIČKOJ KLUPI**
Autonomno oružje i ratno pravo 315
- 17 BEZDUŠNE UBICE**
Moralnost autonomnog oružja 340
- 18 IGRANJE VATROM**
Autonomno oružje i stabilnost 373

VI DEO/IZBEGAVANJE ARMAGEDONA: ORUŽJE POLITIKE

- 19 RATNICI KENTAURI**
Ljudi + mašine 401
- 20 PAPA I SAMOSTREL**
Mešana istorija kontrole naoružanja 412
- 21 DA LI JE AUTONOMNO ORUŽJE NEIZBEŽNO?**
Potraga za smrtonosnim zakonima robotike 429
- ZAKLJUČAK
Mi smo krojači sopstvene sudbine 446
- Izjave zahvalnosti* 451
- Skraćenice* 455
- Podaci o ilustracijama* 459

VOJSKA BEZ VOJNIKA

Uvod

GOSPODARI ŽIVOTA I SMRTI

ČOVEK KOJI JE SPASAO SVET

U noći 26. septembra 1983. svetu umalo nije došao kraj. Bilo je to u jeku Hladnog rata, i obe strane bile su nakostrešene, sa spremnim nuklearnim naoružanjem. Ranije tog proleća, predsednik Regan objavio je Stratešku odbrambenu inicijativu pod nazivom „Ratovi zvezda“, planirani štiti za odbranu od projektila koji je zapretio da poremeti hladnoratovsku ravnotežu. Samo tri nedelje pre toga, 1. septembra, sovjetska vojska oborila je putnički avion* koji je leteo s Aljaske za Seul i koji je zalutao u sovjetski vazdušni prostor. Poginulo je 269 ljudi, među njima i jedan američki kongresmen. Strahujući od odmazde, Sovjetski Savez bio je u stanju uzbune.

Sovjetski Savez je postavio satelitski sistem ranog upozorenja pod nazivom „Oko“ kako bi osmatrao lansiranje američkih projektila. Odmah iza ponoći, 26. septembra, sistem je prijavio ozbiljnu opasnost: Sjedinjene Države lansirale su nuklearni projektil na Sovjetski Savez.

* Napomene koje su vezane za pojedine delove teksta, a sadrže spisak korišćene literature, nalaze se u posebnom fajlu na sajtu *Lagune*, www.laguna.rs u odeljku *Vojska bez vojnika*. Nazivi izvora su dati u originalu i u elektronskoj formi radi lakšeg traženja na internetu.

Potpukovnik Stanislav Petrov bio je te noći na dužnosti u bunkeru Serpuhov-15 blizu Moskve i bio je odgovoran za prijavljivanje lansiranja projektila uz lanac komande svojim pretpostavljenima. U bunkeru su sirene treštale i ogroman crveno obasjani ekran bleskao je upozorenjem na „lansiranje“, ali Petrov i dalje nije bio siguran. „Oko“ je bilo novo, a on je bio zabrinut zbog mogućnosti da lansiranje bude greška, bag u sistemu. Sačekao je.

Još jedno lansiranje. Dolazila su dva projektila. Potom još jedan. I još jedan. I još jedan – ukupno pet. Bleskanje na ekranu prešlo je s „lansiranja“ na „udar projektila“. Sistem je to prijavio na najvišem nivou pouzdanosti. Nije bilo ničeg dvosmislenog: na putu je bio nuklearni udar. Sovjetska vojna komanda imala bi samo nekoliko minuta da odluči šta da uradi pre nego što projektili eksplodiraju iznad Moskve.

Petrov je imao čudan osećaj. Zašto bi Sjedinjene Države lansirale samo pet projektila? To nije imalo nikakvog smisla. Pravi iznenadni napad bio bi masivan, neodbranjeni udar s ciljem da zbriše sovjetske projekte na tlu. Petrov nije bio ubeđen da je napad stvarno u toku. Ali nije bio siguran ni da je reč o lažnoj uzbuni.

S jednim okom na kompjuterskim očitavanjima, Petrov je pozvao radarske operatere na tlu kako bi od njih dobio potvrdu. Ako su projektili stvarni, videće se na sovjetskim radarima na zemlji dok u luku prelaze preko obzorja. Ipak, radari na tlu nisu otkrili ništa.

Petrov je procenio da su mogućnosti udara 50:50, za predviđanje nimalo lakše od bacanja novčića. Trebalo mu je još informacija. Trebalo mu je još vremena. Bilo je dovoljno da podigne telefonsku slušalicu, ali bi posledice bile strahovite. Ako bude rekao sovjetskoj komandi da ispali nuklearne projekte, izginuće milioni ljudi. To bi mogao da bude početak Trećeg svetskog rata.

Petrov se oslonio na predosećaj i pozvao nadređene kako bi ih obavestio da je sistem u kvaru. Bio je u pravu: napada nije

bilo. Sunčeva svetlost koja se odbijala od vrhova oblaka izazvala je lažnu uzbunu u sovjetskim satelitima. Sistem je pogrešio. Čovečanstvo je bilo spaseno mogućeg Armagedona jer je imalo čoveka u lancu odlučivanja.

Šta bi učinila mašina na Petrovljevom mestu? Odgovor je jasan: mašina bi učinila ono za šta je programirana, bez ikakvog razumevanja posledica svojih postupaka.

IZBOR SNAJPERISTE

U proleće 2004, dve decenije kasnije, u drugoj zemlji, u različitom ratu – ja sam zurio kroz optički nišan svoje snajperske puške povrh jedne planine u Avganistanu. Moj snajperski tim poslali su na avganistansko-pakistansku granicu kako bi izviđao puteve za infiltriranje na kojima se očekivao povratak talibanskih boraca u Avganistan. Peli smo se cele noći uz planinu, pod rancima teškim 70 kilograma po krševitom i teško prohodnom terenu. Dok je nebo na istoku polako svetlelo, zavukli smo se iza stenovite izbočine – najboljeg zaklona koji smo mogli da pronađemo. Nadali smo se da ćemo u osvit biti skriveni na našem položaju.

To se nije dogodilo. Jedan zemljoradnik video je naše glave iznad plitke stenovite izbočine dok se selo ispod nas budilo. Primetili su nas.

Naravno, to nije promenilo misiju. Ostali smo na straži i kontrolisali kretanje koje smo videli na putu u oba smera u dolini ispod nas. I čekali smo.

Ubrzo smo imali društvo.

Devojčica od pet ili šest godina krenula je iz sela prema nama, s dve koze koje su je pratile. Navodno, samo je napasala koze, ali koračala je u dugoj, sporoj petlji oko nas i često bacala pogled prema nama. Nije to bila naročito uverljiva varka. Osmatrala je za račun talibanskih boraca. Kasnije smo shvatili

da je cvrkut koji smo čuli dok je kružila oko nas i za koji smo mislili da je njeno zviždukanje kozama zapravo zvuk radija koji je nosila. Polako je kružila oko nas, i sve vreme izveštavala o našem položaju. Mi smo posmatrali nju. Ona je posmatrala nas.

Ona je otišla, a ubrzo zatim stigli su talibanski borci.

Bili smo u prednosti nad njima – ugledali smo ih kako se penju po planini tamo gde su mislili da su skriveni od našeg položaja. Pucnjava u razmeni vatre navela je čitavo selo da napusti svoje domove. Odjekivala je dolinom, upozoravajući svakoga u krugu od dvadeset kilometara na naše prisustvo. Talibani koji su pokušali da nam se prikradu ili su pobjegli ili su bili mrtvi, ali vратиće se u većem broju. Masa seljana nakupila se ispod našeg položaja i oni nisu izgledali prijateljski nastrojeni. Ako odluče da jurnu na nas, nećemo moći sve da ih odbijemo.

„Šare“, rekao je moj vodnik. „Naredi izvlačenje.“

Javio sam se preko radija. „Ovde M12R“, upozorio sam naše snage za brzo reagovanje, „selo se okuplja pred našim položajem. Treba nam izvlačenje.“ Današnja misija bila je gotova. Pregrupisaćemo se i preći na nov, bolji položaj u okrilju mraka sledeće noći.

Kad smo se ponovo našli u skloništu bezbedne kuće, razgovarali smo o tome šta bismo učinili drugačije kad bismo se ponovo suočili s tom situacijom. Evo u čemu je suština: ratno pravo ne definiše uzrast za borce. Ponašanje određuje da li je neko borac. Ako neka osoba učestvuje u neprijateljskim postupcima, kao što je to činila devoјčica osmatrajući za račun neprijatelja, onda je ona legitimna meta za uklanjanje. Ubistvo civila koji je natrapao na naš položaj bio bi ratni zločin, ali ubistvo devoјčice bilo bi legalno.

Naravno, bilo bi to pogrešno. U moralnom, ako ne i pravnom smislu.

Dok smo raspravljali o tome, niko nije morao da navodi odredbe ratnog prava niti da se poziva na apstraktne etičke principe. Niko nije morao da se poziva na empatiju. Užasavajuća zamisao o ubistvu deteta u toj situaciji nije se ni pojavila.

Svi smo znali da bi to bilo pogrešno bez potrebe da tako i kažemo. Rat vojnike stavlja pred grozne i teške izbore, ali ovo nije bio jedan od njih.

Sve zavisi od konteksta. Šta bi jedna mašina uradila na našem mestu? Ako bi bila programirana da ubija neprijateljske borce, ona bi napala tu devojčicu. Da li bi robot znao kad je zakonito ubiti, ali isto tako i pogrešno?

ODLUKA

Izbori u ratu od kojih zavise život i smrt ne smeju se uzimati olako, bez obzira na to da li je ugrožen život miliona ljudi, ili sudbina jednog jedinog deteta. Ratno pravo i pravila službe okvir su za odluke s kojima se vojnici suočavaju usred konfuzije borbe, ali zdravo rasuđivanje često je neophodno kako bi se pronašao pravi izbor za svaku situaciju.

Tehnologija nas je dovela do suštine odnosa čovečanstva prema ratu. U budućim ratovima, mašine mogu samostalno da donose odluke od kojih zavise život i smrt. Vojske širom planete utrkuju se u tome da rasporede robote na moru, kopnu i u vazduhu – više od devedeset zemalja ima dronove koji patroliraju nebom. Ti roboti su sve autonomniji, a mnogi su naoružani. Oni za sada funkcionišu pod kontrolom ljudi, ali šta će se desiti kada dron tipa Predator dobije jednako mnogo autonomije kao i Gugl automobil? Kakva ovlašćenja treba mašinama da damo što se tiče krajnje odluke – o životu ili smrti?

To nije naučna fantastika. Više od 30 zemalja već ima defanzivno nadzirano autonomno oružje za situacije u kojima je borba previše brza za ljudske reakcije. Ovi sistemi, korišćeni za odbranu brodova i baza od tepih-bombardovanja raketama i projektilima, pod nadzorom su ljudi koji mogu po potrebi da intervenišu – ali drugo naoružanje, poput izraelskog drona Har-pija, već je prešlo tu liniju i dobilo punu autonomiju. Za razliku

od drona tipa Predator, koji kontroliše čovek, Harpija može da pretraži široku oblast u potrazi za neprijateljskim radarima i, kad jedan od njih pronade, uništi ga ne tražeći dozvolu. Ona je prodana nekolicini zemalja, a Kina je reverznim inženjeringom došla do sopstvene varijante. Veće širenje je sigurno moguće, a Harpija može biti samo početak. Južna Koreja rasporedila je robotske stražarske mitraljeze u demilitarizovanoj zoni na granici sa Severnom Korejom. Izrael je koristio naoružane kopnene robote u patroliranju granicom kod Gaze. Rusija gradi jedinicu naoružanih kopnenih robota za ratovanje na ravninama Evrope. Već šesnaest država ima naoružane dronove, a još desetak ili više otvoreno radi na njihovom razvoju.

Ovakav tok događaja deo je dubljeg tehnološkog trenda: uspona veštačke inteligencije (VI), koji su neki nazvali „sledećom industrijskom revolucijom“. Stručnjak za tehnologiju Kevin Keli uporedio je VI s električnom strujom: baš kao što električna struja oživljava energijom predmete oko nas, tako će ih i VI oživljavati inteligencijom. VI omogućava postojanje sofisticiranih i autonomnijih robota, od onih u skladištima do dronova sledeće generacije, i može pomoći u obradi velikih količina podataka i donošenju odluka o pokretanju Tviter botova, pravljenju rasporeda popravki u metrou, pa čak i donošenju medicinskih dijagnoza. U ratu, VI sistemi mogu pomoći ljudima da donose odluke – ili im se može davati ovlašćenje da odluke donose sami.

Uspom veštačke inteligencije preobraziće ratovanje. Početkom dvadesetog veka, vojska je upregla industrijsku revoluciju tako da joj je ova donela tenkove, avione i mitraljeze za ratovanje, što je omogućilo uništenje u razmerama bez presedana. Mehanizacija je omogućila stvaranje mašina koje su bile fizički jače i brže od ljudi, makar za izvesne zadatke. Slično tome, VI revolucija omogućava *kognitizaciju* mašina, stvara mašine koje su pametnije i brže od ljudi za ograničene zadatke. Mnoge vojne primene VI nisu kontroverzne – poboljšana logistika, sajber odbrana i roboti za medicinsku evakuaciju, snabdevanje

ili nadzor – međutim, uvođenje VI u oružje pokreće mnoga pitanja. Automatizacija se već koristi za različite funkcije u današnjem naoružanju, ali u većini slučajeva i dalje ljudi biraju mete i povlače obarač. Nije jasno da li će tako biti i ubuduće. Većina zemalja ne otkriva svoje planove, ali ima ih nekoliko koje su naznačile nameru da punom parom pređu na autonomiju. Viši ruski vojni zapovednici predviđaju da će u bliskoj budućnosti biti stvorena „potpuno robotizovana jedinica sposobna za nezavisno obavljanje vojnih operacija“, dok zvaničnici ministarstva odbrane SAD tvrde da opcija primene potpuno autonomnog oružja treba da bude razmatrana.

BOLJE NEGO LJUDI?

Naoružani roboti koji odlučuju o tome koga će ubiti možda zvuče kao distopijski košmar, ali neki tvrde da bi autonomno oružje moglo ratovanje da učini humanijim. Ista ona vrsta automatizacije koja omogućava samovoznim kolima da izbegavaju pešake mogla bi da se primeni i za izbegavanje civilnih žrtava u ratu, i za razliku od ljudskih vojnika, mašine se nikad ne razbesne niti traže osvetu. Nikad se ne umore niti oseće iscrpljenost. Autopiloti aviona dramatično su unapredili bezbednost na komercijalnim linijama, sačuvavši bezbroj života. Da li bi autonomija isto mogla da učini za ratovanje?

Novi tipovi VI poput neuronskih mreža za duboko učenje pokazali su neverovatan napredak u vizuelnom prepoznavanju objekata, lica i ljudskih osećanja. Nije teško zamisliti buduće oružje koje bi moglo da nadmaši ljude u raspoznavanju osobe koja drži pušku i one koja drži grabulje. Opet, računari i dalje ne mogu da nadmaše ljude u razumevanju konteksta i tumačenju značenja. Danas VI programi mogu da prepoznaju objekte u slikama, ali ne mogu te pojedinačne objekte da spoje kako bi razumeli širu sliku.

Neke odluke u ratu su nedvosmislene. Ponekad se neprijatelj lako prepozna i moguće ga je pogoditi bez prepreka. Neke odluke, međutim, kao ona s kojom je bio suočen Stanislav Petrov, nalažu razumevanje šireg konteksta. Neke situacije, poput one s kojom je bio suočen moj snajperski tim, zahtevaju moralni sud. Ponekad ispravno postupanje nalaže kršenje pravila – legalno i pravično nije uvek jedno te isto.

DEBATA

Čovečanstvo se suočava s fundamentalnim pitanjem: treba li mašinama dozvoliti da donose odluke o životu i smrti u ratu? Da li bi to trebalo da bude legalno? Da li je to ispravno?

Učestvovao sam u debati o smrtonosnoj autonomiji još od 2008. Kao analitičar za civilnu politiku u kancelariji ministra odbrane u Pentagonu, predvodio sam grupu koja je sačinila zvaničnu politiku SAD o oružju. (Upozorenje na spojlere: ona ga ne zabranjuje.) Od 2014. godine, vodio sam Projekt etičke autonomije u Centru za novu američku bezbednost, nezavisnom dvopartijskom trustu mozгова u Vašingtonu, i tada sam se sretao sa stručnjacima iz širokog raspona disciplina koji su se bavili tim pitanjima: s pripadnicima akademske zajednice, pravnicima, etičarima, psiholozima, aktivistima za kontrolu naoružanja, vojnim profesionalcima i pacifistima. Virio sam iza zavese državnih projekata i susretao se s inženjerima koji grade novu generaciju vojnih robota.

Ova knjiga će vas povesti na putovanje kroz svet brzih promena u robotskom oružju sledeće generacije. Uvešću vas u kompanije koje se bave odbranom i grade inteligentne projekte, kao i u istraživačke laboratorije koje obavljaju najnaprednije poslove u vezi sa stvaranjem rojeva. Predstaviću državne zvaničnike koji određuju politiku i aktiviste koji traže zabrane. Ova knjiga će istražiti prošlost – uključujući i stvari koje su

krenule po zlu – i pogledati u budućnost, kroz moje susrete s istraživačima koji pomeraju granice veštačke inteligencije.

Ova knjiga istražuje mogući izgled budućnosti pune autonomnog oružja. Automatizovano berzansko trgovanje dovelo je do „munjevitih krahova“ na Volstritu. Da li će autonomno oružje dovesti do „munjevitog rata“? Novi VI metodi kao što je duboko učenje su moćni, ali često dovode do sistema koji su suštinski „crna kutija“ – čak i za njihove projektante. Koje će nove izazove doneti napredni VI sistemi?

Više od 3.000 stručnjaka za robotiku i veštačku inteligenciju pozvalo je na zabranu ofanzivnog autonomnog oružja, a pridružilo im se više od šezdeset nevladinih organizacija (NVO) u Kampanji za sprečavanje robota ubica. Perjanice nauke i tehnologije kao što su Stiven Hoking, Ilon Mask i suosnivač *Epla* Stiv Voznijak digli su glas protiv autonomnog oružja, upozorivši na to da bi ono moglo dovesti do „globalne trke u VI naoružavanju.“

Da li se trka u naoružavanju može zaustaviti? Dostignuća čovečanstva u kontrolisanju opasne tehnologije su mešana; pokušaji da se zabrani oružje koje se smatralo previše opasnim ili nehumanim potiče još iz antike. Mnogi od tih pokušaja su propali, među njima i pokušaji iz dvadesetog veka da se zabrane podmornice i avioni. Čak i kad postignu uspeh, poput zabrane hemijskog naoružanja, to retko kad zaustavlja režime kao što je režim Bašara al-Asada u Siriji ili Sadama Huseina u Iraku. Ako međunarodna zabrana ne može da spreči najgnusnije svetske režime u izgradnji armija robota ubica, jednog dana se možemo suočiti s ostvarenjem naših najcrnijih košmara.

POSRTANJE PREMA ROBOPOKALIPSI

Nijedna zemlja nije otvoreno izjavila da gradi autonomno oružje, ali u tajnim odbrambenim laboratorijama i komercijalnim

aplikacijama dvojne namene, VI tehnologija juri napred. U većini aplikacija, čak i kod naoružanih robota, ljudi će zadržati kontrolu nad smrtonosnim odlukama – ali pritisak s bojišta mogao bi da navede vojske da grade autonomno oružje koje isključuje ljude. Vojske mogu poželeti veću autonomiju kako bi iskoristile prednost nadmoćne računarske brzine ili kako bi roboti mogli da nastave s borbom kad njihova komunikacija s ljudskim kontrolorima bude ometena. Ili bi vojske mogle da grade autonomno oružje iz straha da drugi možda to čine. Zamenik američkog ministra odbrane Bob Vork je upitao:

Ako naši konkurenti pribegnu Terminatorima... i ako se ispostavi da su Terminatori u stanju da brže donose odluke, makar one i bile loše, kako da reagujemo?

Zamenik načelnika združenog Generalštaba general Pol Selva nazvao je tu dilemu „Glavolomkom Terminatora“. Ulozi su visoki: VI se pomalja kao moćna tehnologija. Ako se koriste na pravilan način, inteligentne mašine mogu da sačuvaju živote čineći rat preciznijim i humanijim. Ako se koristi na pogrešan način, autonomno oružje može dovesti do više ubijanja i još brojnijih civilnih žrtava. Države neće te odluke donositi u vakuumu. To će zavisiti od onoga što rade druge zemlje, kao i od kolektivnih izbora naučnika, inženjera, pravnika, aktivista za ljudska prava i drugih koji učestvuju u ovoj debati. Veštačka inteligencija dolazi i *koristiće se* u ratu. *Kako će biti korišćena*, međutim, otvoreno je pitanje. Kako kaže Džon Konor, junak filmova o *Terminatoru* i vođa ljudskog pokreta otpora protiv mašina: „Budućnost nije zacrtana. Mi smo krojači svoje sudbine.“ Borba za zabranu autonomnog oružja zadire u srž drevnog konfliktnog odnosa čovečanstva s tehnologijom: da li mi kontrolišemo svoje tvorevine, ili one kontrolišu nas?

I DEO

Robopokalipsa sada

NAILAZI ROJ

REVOLUCIJA U VOJNOJ ROBOTICI

Jednog sunčanog poslepodneva u brdima centralne Kalifornije, roj poleće. Jedan po jedan, lanser izbacuje tanke dronove s krilima od stiropora u vazduh. Dronovi se oglašavaju visokim zujanjem koje jenjava kako se uspinju u kristalno plavo kalifornijsko nebo.

Dronovi seku vazduh oštrim, preciznim pokretima. Gledam u pilota dronova koji stoji kraj mene i iznenađeno primećujem da mu ruke ne dodiruju kontrole; dronovi lete potpuno samostalno. To je glupava spoznaja – na kraju krajeva, došao sam tu kako bih video autonomne rojeve dronova – a opet nekako doživljaj posmatranja dronova koji tako agilno lete bez ljudske kontrole razlikuje se od onoga što sam zamišljao. Njihovi gipki pokreti izgledaju odlučno, i nije teško prepoznati u njima nameru. Istovremeno je zadivljujuća i zabrinjavajuća ta zamisao o dronovima „puštenim s lanca“.

Otputovao sam u Kemp Roberts u Kaliforniji, da bih se video s istraživačima iz Pomorske postdiplomske škole, koji istražuju nešto što niko drugi u svetu nije uradio: ratovanje rojevima. Za razliku od dronova tipa Predator, kojima pojedinačno s daljine upravljaju ljudski kontrolori na tlu, dronovi

ovih istraživača kontrolišu se masovno. Današnji eksperiment sadrži dvadeset dronova koji lete istovremeno u simulirani okršaj u vazduhu, deset na deset, roj protiv roja. Pucanje je simulirano, ali su manevrisanje i letenje stvarni.

Svaki dron poleće s lansera s već uključenim autopilotom. Bez ikakvih ljudskih instrukcija, penju se do zadate visine i formiraju dva tima, izveštavajući o trenutku kad su „spremni za roj“. Crveni i Plavi roj čekaju u svojim uglovima vazdušne arene za borbu i kruže kao jato gladnih lešinara.

Pilot koji komanduje Crvenim rojem trlja ruke u iščekivanju predstojeće bitke – što je smešno, pošto se čitava njegova uloga svodi samo na to da pritisne dugme koje roju naređuje da krene. Posle toga, on postaje posmatrač koliko i ja.

Dvejn Dejvis, penzionisani mornarički pilot helikoptera koji je postao programer i projektovao algoritme roja, odbrojava za početak borbe:

„Incijalizacija roja protiv roja... 3, 2, 1, pali!“

Komandanti Crvenog i Plavog roja pokreću svoje rojeve u akciju. Dva roja se okomljaju jedan na drugi bez ikakvog oklevanja. „Borba počinje!“, viče Dvejn oduševljeno. Za samo nekoliko sekundi, rojevi prevaljuju udaljenost i sudaraju se. Dva roja se stapaju u klupko bliske vazdušne borbe. Rojevi manevrišu i kovitlaju se kao jedinstvena masa. Simulirani hici se beleže u dnu kompjuterskog ekrana:

„BPL* 74 pucala na BPL 33

BPL 59 pucala na BPL 25

BPL 33 pogođena

BPL 25 pogođena...“

Ponašanje rojeva pokreće jednostavni algoritam pod nazivom „Alavi strelac“. Svaki dron će manevrisati tako da

* Bepilotna letelica. (Prim. prev.)

se postavi u položaj za ubistveni hitac protiv neprijateljskog drona. Čovek mora samo da odabere ponašanje roja – čekanje, praćenje, napad ili spuštanje na tlo – i kaže roju da krene. Posle toga, svi postupci roja su potpuno autonomni.

Na kompjuterskom ekranu komandanta Crvenog roja teško je ustanoviti ko pobeđuje. Ikone dronova preklapaju se u mag-novenju dok napolju dronovi kruže jedni oko drugih u vrtlogu vazdušne borbe. Meni taj kovitlac izgleda kao haos, iako mi Dejvis kaže kako povremeno uspeva da razabere koji se dronovi međusobno gone.

Sudijski softver „Arbitar“ prati rezultat. Crveni roj dolazi u prednost s četiri pogotka u odnosu na dva pogotka Plavog. Status „ubijenih“ dronova menja se iz zelenog u crveni i oni se izvode iz borbe. Onda dolazi do zatišja, dok letelice kruže jedne oko drugih, nesposobne da dođu do pogotka. Dejvis objašnjava da zbog toga što su letelice savršeno uparene – imaju istovetni trup, iste kontrole letenja, iste algoritme – ponekad zapadnu u pat poziciju gde nijedna strana ne može da stekne prednost.

Dejvis resetuje bojište za 2. rundu i rojevi se vraćaju, svaki u svoj ugao. Kad zapovednici rojeva pritisnu dugme za početak, rojevi se ponovo primiču jedan drugom. Ovog puta je rezultat bitke nerešen, 3–3. U 3. rundi Crveni postiže odlučujuću pobedu, 7–4. Komandant Crvenog roja zadovoljan je što sebi može da pripiše zasluge za pobedu. „Ja sam pritisnuo dugme“, kaže on kikoćući se.

Baš kao što roboti preobražavaju industrije – od samovoznih kola do robotskih usisivača i staratelja o starim ljudima – isto tako preobražavaju i ratovanje. Procenjuje se da je globalna potrošnja na vojnu robotiku u 2018. dostigla 7,5 milijardi dolara, s brojnim zemljama koje proširuju svoje arsenale vazdušnih, kopnenih i pomorskih robota.

Roboti imaju velike prednosti na bojištu u odnosu na tradicionalna vozila nastanjena ljudima. Oslobođena psiholoških granica ljudi, neposednuta vozila („bez posade“) mogu se

napraviti tako da budu manja, lakša, brža i pokretljivija. Mogu ostati na bojištu daleko duže od granica ljudske izdržljivosti, nedeljama, mesecima, pa čak i godinama, bez odmora. Mogu se izlagati većem riziku, otvarajući taktičke mogućnosti za opasne ili čak samoubistvene misije bez rizikovanja ljudskih života.

Međutim, roboti imaju jedan veliki nedostatak. Uklanjanjem čoveka iz vozila, oni gube najnapredniji kognitivni procesor na planeti: ljudski mozak. Danas je većina vojnih robota pod daljinskom ili telekontrolom koju obavljaju ljudi; oni zavise od krhkih komunikacionih veza koje mogu zagušiti ili ometati uslovi u okruženju. Bez te komunikacije, roboti mogu da obavljaju samo jednostavne zadatke, a njihov kapacitet za autonomni rad je ograničen.

Rešenje: više autonomije.

SLUČAJNA REVOLUCIJA

Niko nije planirao robotsku revoluciju, ali američka vojska je natrapala na nju kad je rasporedila na hiljade vazdušnih i kopnenih robota kako bi zadovoljila hitne potrebe u Iraku i Avganistanu. Do 2005. godine, američkom ministarstvu odbrane (MO) svanulo je da se dešava nešto značajno. Potrošnja za bespilotne letelice, ili dronove, koja se vrtela oko 300 miliona dolara godišnje u devedesetim godinama dvadesetog veka, posle 11. septembra vinula se u nebo i uvećala šest puta na više od dve milijarde dolara godišnje do 2005. Dronovi su se pokazali posebno vrednim u prljavim ratovima protiv pobunjenika u Iraku i Avganistanu. Veće letelice poput MQ-1B Predatora mogu tiho da nadziru teroriste čitav dan i noć, prateći njihove pokrete i rasplićući njihove mreže. Manji, ručno lansirani dronovi poput RQ-11 Gavrana mogu trupama obezbediti „izviđanje preko brda“ na zahtev, dok su u patroli. U kratkom roku su stotine dronova raspoređene u Iraku i Avganistanu.

Dronovi nisu bili novi – korišćeni su u ograničenoj meri u Vijetnamu – ali jeste preovlađujući nalet potražnje za njima. Dok će u kasnijim godinama dronovi postati povezani s „udarima dronova“, njih jedinstvenim i vrednim za vojsku ne čini bacanje bombi već sposobnost trajnog nadziranja. Oni su za komandante jeftina sredstva izložena malom riziku koja predstavljaju oči na nebu.

Ubrzo je Pentagon brzo sasuo dronove u ratove. Do 2011. godine, godišnja potrošnja za dronove popela se na više od šest milijardi dolara godišnje, više od 20 puta u odnosu na nivoe pre 11. septembra. MO je imalo više od 7.000 dronova u floti. Ogromnu većinu su činili manji modeli za ručno lansiranje, ali krupni vazduhoplovi kao MQ-9 Žetelac RQ-4 Globalni jastreb takođe su bili vredne vojne stavke.

Istovremeno, MO je otkrivalo da roboti nisu vredni samo na nebu. Oni su bili podjednako važni, ako ne i važniji, na tlu. U velikom delu podstaknuto porastom prisustva improvizovanih eksplozivnih sredstava (IES), MO je rasporedilo više od 6.000 kopnenih robota u Iraku i Avganistanu. Mali roboti poput aj-Robot Pekbota omogućavali su trupama da onesposobe ili unište IES bez izlaganja riziku. Uklanjanje bombi je sjajan posao za jednog robota.

MARŠ PREMA JOŠ VEĆOJ AUTONOMIJI

Godine 2005, pošto je MO počelo da shvata robotsku revoluciju i njene implikacije po budućnost konflikata, počelo je da objavljuje niz „mapa puta“ za buduće investicije u sisteme bez posade. Prva mapa puta bila je usredsređena na vazduhoplove, ali naknadne mape puta iz 2007, 2009, 2011. i 2013. obuhvatale su i kopnena i pomorska vozila. Dok je lavovski deo dolara odlazio na bespilotne letelice, kopnena, pomorska površinska i podmornička vozila takođe su igrala vredne uloge.

Ove mape puta nisu samo jednostavno katalogizovale investicije koje je preduzimalo MO. Svaka mapa puta gledala je 25 godina u budućnost i ocrtavala tehnološke potrebe i želje kako bi pomogla u usmeravanju budućih investicija države i industrije. One su pokrivala senzore, komunikacije, napajanje, oružje, potisak i druge ključne tehnologije. U svim mapama puta, autonomija je dominantna tema.

Možda tu viziju najbolje sažeto iznosi mapa puta iz 2011:

Da bi neposednuti sistemi potpuno realizovali svoj potencijal, moraju biti u stanju da postignu visokoautonomno ponašanje i stupe u interakciju sa svojim okruženjem. Ovaj napredak će nalagati sposobnost razumevanja i prilagođavanja okruženju, kao i sposobnost saradnje s drugim autonomnim sistemima.

Autonomija je kognitivna mašina koja pokreće robote. Bez autonomije, roboti su samo prazne posude, bezumne ljuštore koje zavise od instrukcija ljudskih kontrolora.

U Iraku i Avganistanu, američka vojska je operisala u relativno „slobodnom“ elektromagnetnom okruženju gde pobunjenici generalno nisu imali sposobnost ometanja komunikacija s robotskim vozilima, ali to neće uvek biti slučaj u budućim konfliktima. Vojske velikih nacionalnih država gotovo će sigurno moći da remete ili blokiraju komunikacione mreže, a elektromagnetni spektar će biti osporavan. Američka vojska ima sredstva komunikacije koja su otpornija na ometanje, ali ti metodi su ograničeni u dometu i frekvencijama. Protiv velike vojne sile, tip operacija dronovima koje su Sjedinjene Države primenjivale dok su progonile teroriste – sa strimingom visoke definicije i slanjem video prenosa s punim pokretima natrag u baze u SAD preko satelita – neće biti moguć. Pored toga, neka okruženja sama po sebi dovode do poteškoća u

komunikacijama, poput podvodnih, gde voda usporava širenje radio-talasa. U ovim situacijama, autonomija je obavezna kako bi robotski sistemi bili efikasni. Kako napreduje mašinska inteligencija, vojske će biti u stanju da stvaraju još autonomnije robote sposobne za izvršenje kompleksnijih misija u težim okruženjima nezavisno od ljudske kontrole.

Čak i ako komunikacioni linkovi savršeno rade, veća autonomija takođe je poželjna zbog troškova osoblja koje daljinski kontroliše robote. Hiljade robota zahteva da ih kontrolišu hiljade ljudi, ako se svakim od robota upravlja daljinski. Operacije dronovima Predator i Žetelac zahtevaju sedam do deset pilota koji će ispunjavati „orbitu“ jednog drona 24 sata dnevno u neprestanom nadziranju neke oblasti. Još dvadeset ljudi po orbiti potrebno je da upravlja sensorima drona, kao i mnoštvo obavestajnih analitičara da proseju podatke prikupljene senzorima. U stvari, zbog tih značajnih zahteva za osobljem, američko Ratno vazduhoplovstvo se opire tome da se ove letelice nazivaju „bespilotnim“. Možda u vazduhoplovu nema nikoga, ali ljudi ga i dalje kontrolišu i pružaju mu podršku.

Pošto pilot ostaje na tlu, neposrednuta letelica oslobađa operacije nadzora granica ljudske izdržljivosti – ali samo fizički. Dronovi mogu ostati danima uzastopno u vazduhu, mnogo duže nego što bi neki ljudski pilot mogao da ostane efikasan sedeći u kokpitu, ali daljinske operacije ne menjaju *kognitivne* zahteve pred ljudskim operaterima. Ljudi i dalje moraju da obavljaju iste zadatke, oni samo nisu fizički u vozilu. Ratno vazduhoplovstvo više voli izraz „daljinski pilotirani vazduhoplov“ zato što današnji dronovi to jesu. Piloti i dalje upravljaju letelicom preko palice i kormila, samo daljinski sa zemlje, ponekad čak i s druge strane sveta.

Teško je tako raditi. Izgradnja desetina hiljada jeftinih robota nije strategija koja će smanjiti troškove ako ovi zahtevaju još veći broj dobro obučениh (i skupih) ljudi koji će njima upravljati.

Odgovor je u autonomiji. U mapi puta iz 2011. je pisalo:

Autonomija smanjuje količinu ljudskog rada potrebnog za upravljanje sistemima, omogućava optimalizaciju ljudske uloge u sistemu, i dopušta da ljudsko odlučivanje bude fokusirano tamo gde je najpotrebnije. Te pogodnosti mogu dalje imati rezultat u efikasnosti radne snage i uštedi na troškovima, kao i u većoj brzini u donošenju odluka.

Mnoge robotske mape puta iz MO ukazuju na dugoročni cilj pune autonomije. Mapa puta iz 2005. bila je okrenuta prema „potpuno autonomnim rojevima“. Mapa puta iz 2011. artikulirala je evoluciju od četiri nivoa autonomije od (1) ljudskog upravljanja preko (2) ljudske delegiranosti, (3) ljudskog nadzora do (4) pune autonomije. Pogodnosti veće autonomije bile su „najveća tema od svih“ 2010. u izveštaju Kancelarije glavnog naučnika Ratnog vazduhoplovstva o budućoj tehnologiji.

Iako se dronovima Predator i Žetelac i dalje upravlja ručno, premda daljinski s tla, druge letelice poput Globalnog jastreba Ratnog vazduhoplovstva i Sivog orla Kopnene vojske mnogo su automatizovane: piloti usmeravaju te letelice prema cilju, a one onda same lete. Umesto da se njima upravlja palicom i kormilom, letelice se usmeravaju tastaturom i mišem. Kopnena vojska čak ne naziva ljude koji kontrolišu njene letelice „pilotima“ – naziva ih „rukovaocima“. Međutim, čak i s tom većom automatizacijom, ove letelice i dalje zahtevaju jednog ljudskog rukovaoca za sve osim za one najjednostavnije misije.

Postepeno, inženjeri pridodaju skup zadataka koje neposednuta letelica može sama da obavi, korak po korak prema sve autonomnijim dronovima. Godine 2013, američka Ratna mornarica uspešno je spustila svoj prototip drona X-47B na nosač na moru, autonomno. Jedini ljudski upliv bilo je naređenje da sleti; let je obavio softver. Godine 2014, mornarički helikopter sa sistemom Autonomnog vazdušnog prevoza tereta (AVPT)

autonomno je izviđao improvizovani teren za sletanje i uspešno sam sleteo. Onda je 2015. dron X-47B ponovo ušao u istoriju obavivši prvo autonomno punjenje u vazduhu i primivši gorivo iz druge letelice tokom leta.

To su ključni međaši u izgradnji neposrednutih letelica spremnijih za borbene zadatke. Baš kao što će autonomni automobili omogućiti vozilu da se preveze od tačke A do tačke B bez ručne ljudske kontrole, autonomna sposobnost poletanja, sletanja, navigacije i dopune gorivom dopustiće robotima da izvršavaju zadatke pod ljudskim smernicama i nadzorom, ali bez ljudi koji bi kontrolisali svaki pokret. To može da počne rušenjem paradigme o ljudima koji manuelno kontrolišu robota, prebacivanjem čoveka u ulogu nadzirača. Ljudi će komandovati robotu šta da preduzme, a ovaj će tu komandu sam izvršavati.

Rojenje, ili kooperativna autonomija, sledeći je korak u ovoj evoluciji. Dejvis je izuzetno uzbuđen zbog nevojničkih aplikacija rojenja, od pretrage i spasavanja sve do poljoprivrede. Koordinisano robotsko ponašanje moglo bi da bude korisno u širokom rasponu primena i istraživanje Mornaričke postdiplomske škole je bazično, tako da se algoritmi koje oni prave mogu koristiti za mnogo toga. Ipak, vojne prednosti u masi, koordinaciji i brzini duboke su i teško ih je prenebregnuti. Rojenje može dopustiti vojskama da na bojište šalju veliki broj aktivnih učesnika s malim brojem ljudskih kontrolora. Kooperativno ponašanje može takođe dopustiti brže reakcije, tako da roj odgovori na promenu događaja brže nego što bi to bilo moguće kada bi svako vozilo kontrolisala jedna osoba.

U sprovođenju svog eksperimenta s vazдушnom borbom rojeva, Dejvis i njegove kolege pomeraju granice autonomije. Njima je sledeći cilj da pripreme 100 dronova za borbu vazдушnih rojeva 50:50, i Dejvis i njegove kolege to već simuliraju na računarima, s krajnjim ciljem da sa vazdušne borbe pređu na kompleksnije igre poput osvajanja zastave. Dva roja

bi se takmičila u tome ko će osvojiti više poena spuštanjem u protivničku bazu bez prethodnog „obaranja“. Svaki roj mora održavati ravnotežu između odbrane sopstvene baze, obaranja neprijateljskih dronova i dovođenja što većeg broja svojih dronova do neprijateljske baze. Koje „igre“ treba izvesti rojem? Koje su najbolje taktike? To su upravo ona pitanja koja Dejvis i njegove kolege žele da istraže.

„Ako imam 50 aviona u roju“, rekao je on, „koliko deo tog roja želim da bude usredsređen na napad – na upad u oblast sletanja protivnika? Koliko želim da ih bude fokusirano na moju oblast sletanja i rešavanje problema vazduh-vazduh? Kako da raspodelim zadatke između rojeva? Ako mi nailaze protivnička BVV [bespilotna vazдушna vozila], kako želim da moj roj odluči o tome koje će BVV napasti kojeg protivnika da bi ih sprečio da stignu do naše baze?“

Taktike rojeva još su u ranoj fazi. Trenutno, ljudski operater dodeljuje određeni broj dronova podroju i onda daje određenu misiju tom podroju, poput pokušaja napada na neprijateljsku bazu ili napada na neprijateljske letelice. Posle toga, čovek je u režimu nadzora. Osim ako ne postoji pitanje bezbednosti, ljudski kontrolor neće intervenisati kako bi preuzeo kontrolu nad letelicom. Čak i tada, ako u letelici dođe do kvara, ima smisla preuzeti kontrolu nad njom sve dok se ona ne udalji od roja. Preuzimanje ručne kontrole nad letelicom usred roja moglo bi da dovede do sudara u vazduhu. Čoveku bi bilo veoma teško da predvidi i izbegne sudar dok se svi drugi dronovi kovitlaju nebom. Međutim, ako je dron pod komandom roja, automatski će prilagoditi svoj let kako bi izbegao sudar.

U ovom trenutku, ponašanja roja koje Dejvis koristi krajnje su bazična. Čovek može da komanduje roju da leti u formaciji, spusti se ili napadne neprijateljske letelice. Dronovi se onda postavljaju u položaj za sletanje ili lete u formaciji kako bi

„dekonfliktovali“* svoje postupke. Za neke zadatke, poput sletanja, to se obavlja relativno lako po visini: niže letelice sleću prve. Drugi zadaci (dekonfliktovanje u vazdušnoj borbi) su nezgodniji. Na primer, nimalo ne bi valjalo da se svi dronovi sjate na istu neprijateljsku letelicu već bi morali da koordiniraju svoje ponašanje.

Problem je analogan s onim što igrači bejzbola na terenu nazivaju „visokom loptom“. Nema nikakvog smisla da trener s klupe određuje ko će je hvatati. Spoljni igrači moraju to da koordiniraju među sobom. „Jedno je kad imate dva čoveka koji mogu jedan s drugim da razgovaraju, i jednu loptu“, objasnio je Dejvis, „a sasvim drugo kad imate 50 ljudi i 50 lopti.“ Ovaj zadatak bi za ljudska bića bio u suštini nemoguć, ali jedan roj može da ga izvrši vrlo brzo, različitim metodima. U centralizovanoj koordinaciji, na primer, pojedini elementi roja prenose svoje podatke natrag jednom kontroloru, koji onda izdaje komande svakom robotu u roju. Hijerarhijska koordinacija, s druge strane, dekomponuje timove i eskadrona roja umnogome nalik na vojničku organizaciju, s naređenjima koja podrazumevaju komandni lanac.

Koordinacija zasnovana na konsenzusu jeste decentralizovani pristup gde svi elementi roja međusobno komuniciraju istovremeno i kolektivno se odlučuju na određeni postupak. Oni ponašanje mogu da koordinišu preko algoritama „glasanja“ ili „licitacije“. Na primer, svaki element roja mogao bi da „licitira“ tokom „aukcije“ kako bi upravo on uhvatio visoku loptu. Pojedini element s najvišom ponudom „pobeđuje“ u aukciji i hvata loptu, dok se ostali sklanjaju s puta.

Tako postignuta koordinacija najdecentralizovaniji je pristup i na taj način funkcionišu jata ptica, kolonije insekata i mase ljudi, s koordinisanom akcijom koja prirodno potiče iz

* U vojnom žargonu – promena putanje letelice ili oružja kako bi se smanjile šanse za slučajni sudar u vazduhu. (Prim. prev.)

svakog pojedinca koji donosi odluke na osnovu onih u njegovoj blizini. Jednostavna pravila za pojedinačno ponašanje mogu dovesti do veoma kompleksne kolektivne akcije, dopuštajući roju da ispolji „kolektivnu inteligenciju“. Na primer, kolonija mrava će se vremenom sliti na optimalnu trasu za donošenje hrane natrag u mravinjak zahvaljujući jednostavnom ponašanju svakog pojedinog mrava. Dok mravi kupe hranu, ostavljaju za sobom trag feromona pri povratku u mravinjak. Ako naiđu na postojeći trag s jačim feromonima, preći će na njega. Više mrava će se vratiti do mravinjaka bržom trasom, što dovodi do jačeg traga feromona, a to onda nagoni još mrava da koristi taj put. Nijedan pojedini mrav „ne zna“ koji je put najbrži, ali kolonija se kolektivno sliva na najbržu trasu.

Komunikacija između elemenata roja može se obavljati direktnim signaliziranjem, slično onome kad igrač na terenu vikne „Moja!“; indirektno metode kao što je koopservacija, na osnovu koje jata riba i krda životinja ostaju zajedno; ili modifikovanje okruženja u procesu koji se naziva *stigmergija*, kao kad mravi ostavljaju feromone da bi obeležili trag.

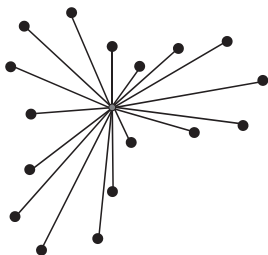
Dronovi u Dejvisovom roju komuniciraju preko centralnog vaj-faj rutera na tlu. Izbegavaju sudare tako što se zadržavaju u uskim visinskim prozorima koje im automatski dodeljuje centralni kontrolor na tlu. Ali njihovo ponašanje pri napadu nije koordinisano. Algoritam „Alavi strelac“ jednostavno usmerava svaki dron da napadne najbliži neprijateljski dron, bez obzira na to šta rade drugi dronovi. U teoriji, svi dronovi mogli bi da se stušće na isti neprijateljski dron, ostavivši druge neprijatelje netaknutim. To je grozan metod borbe vazduh-vazduh, ali Dejvis i njegove kolege su još u fazi dokazivanja koncepta. Oni su eksperimentisali s pristupom koji je više orijentisan na decentralizovanu licitaciju i ustanovili da je on veoma jak u pogledu ometanja, uključujući tu i do 90 procenata gubitka komunikacija unutar roja. Sve dok neke komunikacije postoje, bile makar i mestimične, roj će se sliti na rešenje.

Učinak pedeset letelica koje sarađuju, umesto da se bore individualno ili u parovima kako to ljudi danas rade, bio bi strahovit. Koordinisano ponašanje je razlika između košarkaškog *tima* i pet sebičnjaka koji svi jure prema košu. To je razlika između usamljenih vukova i *vučjeg čopora*.

Godine 2016, Sjedinjene Države demonstrirale su zajednički let 103 vazdušna drona u roju koji su zvaničnici iz MO opisali

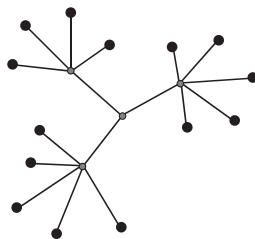
Centralizovana koordinacija

Elementi roja komuniciraju s centralizovanim planerom koji koordinira zadatke.



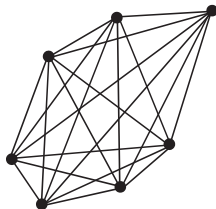
Hijerarhijska koordinacija

Elemente roja kontrolišu agenti nivoa „eskadrona“, koji su pod kontrolom kontrolora višeg nivoa.



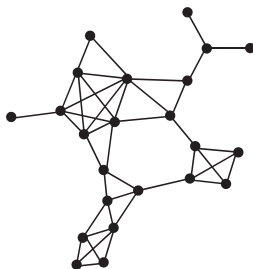
Koordinacija konsenzusom

Svi elementi roja međusobno komuniciraju i koriste metode „glasanja“ ili licitacije kako bi zajednički došli do rešenja.



Novonastala koordinacija

Do koordinacije dolazi prirodno u međusobnim reakcijama, kao u životinjskim rojevima.



Modeli komandovanja i kontrole nad rojevima