

Upotreba evolucijskih algoritama pri konstrukciji simulacijskih modela u sociologiji

Vjekoslav Afrić

Filozofski fakultet, Zagreb

Sažetak

Za razliku od klasičnih socioloških metoda koje nisu posebno podobne za izučavanje društvene dinamike, metoda simulacijskih modela omogućuje stvaranje dinamičkih modela društva na kojima je moguće simulacijom eksperimenata i promatranja objašnjavati i predvidati društvene procese.

Simulacijski modeli društvenog razvoja uglavnom su utemeljeni na teoriji evolucije, to jest na evolucijskim algoritmima. Evolucijski algoritmi, danas široko rasprostranjeni, uspješno su primijenjeni na brojne probleme iz različitih domena, uključujući optimizaciju, automatsko programiranje, strojno učenje, ekonomiju, istraživačke operacije, ekologiju, populacijsku genetiku, studije evolucije i učenja, i društvene sustave.

Moguće je izdvojiti tri glavne vrste evolucijskih algoritama: Genetičke algoritme (*Genetic Algorithms*), Genetičko programiranje (*Genetic Programming*) i Klasifikacijske sustave (*Classifier System*). Svaka od ovih vrsta algoritama uključuje generiranje jedne inicijalne populacije pojedinaca i tada bačljenje tom populacijom iterativno, tako da tijekom vremena »kvaliteta« pojedinaca koji postoje u populaciji tendira porastu.

Čak i u svojoj najjednostavnijoj formi, evolucijski algoritmi su uvjerljive apstrakcije bioloških evolucijskih procesa koji se po analogiji mogu primijeniti na procese društvenih promjena. Međutim, izvošten oprez je nužan u njihovoj uporabi kao modela društvenih procesa. Posebno, njihovo podrijetlo kao instrumentalnih optimizacijskih tehnika može biti nespojivo s poželjnim obilježjima biološke evolucije poput odsutnosti globalnog znanja i izvanjske teleologije.

Ključne riječi: društveni razvoj, evolucijski algoritmi, genetički algoritmi, genetičko programiranje, klasifikacijski sustavi, simulacijski modeli

Većina klasičnih socioloških metoda okrenuta je analizi stanja i nije dostatna za analitičko razumijevanje društvenih promjena. Razmotrimo, na primjer, dvije glavne metode empirijske analize koje se danas koriste u sociologiji:

- S jedne strane tu su se uvriježile statističke analize, takve kao regresija, korelacija i razne njihove mnogo kompleksnije varijante. Ove se analize većinom provode na način da se statističkim tehnikama analiziraju trenutno dostupni podaci, podaci koji tvore vremenski isječak, smrznuti presjek (*frozen slot*) slike fokusiranog društvenog trenutka u kojem se istraživanje provodi. Ovo ograničenje pokušava se s relativnim uspjehom premostiti uz pomoć vremenski pomaknutih, panel i longitudinalnih istraživanja, kojima se pokušavaju ustanoviti trendovi. Trendovi bi trebali biti analitička slika društvenih procesa. Trendovi stvarno oslikavaju društvene procese, ali slika koju oni daju najvećim dijelom ima samo deskriptivnu vrijednost, opisa promjene i njezine dinamike, a nedostaje joj razumijevanje unutrašnjih mehanizama samih društvenih procesa.
- S druge strane, tu je cijela skupina kvalitativnih analiza intervjua, *case* studija ili promatračkih podataka koje možemo »nehajno« okarakterizirati kao »etno-

grafiju«. U slučaju »etnografije« analitičari rijetko imaju dostup do podataka o procesima, to jest podatke o tome kako su stvari postale to što jesu. Ako intevjuirate ljude u nekom društvenom okviru, dobit ćete osjećaj o njihovim sadašnjim idejama, naravno vi možete od njih tražiti da ispričaju svoju biografiju ili objasne svoje uspjehe, ali slika koju ćete dobiti bit će nesumnjivo pod utjecajem njihovih trenutnih okolnosti i njihove trenutne percepcije. Ovo nije kritika »etnografije« kao metode. Skoro neizbježna posljedica ovog tipa prikupljanja podataka je skretanje analitičareve pozornosti od procesa prema sinkronom objašnjenju.

Naravno, osim spomenutih empirijskih analiza sociolozi su razvili i povijesno komparativni pristup izučavanju društvenih činjenica koji se katkada naziva povijesnom analizom. Povijesna analiza pokušava iz kronološkog sinkronijskog reda događaja odgovoriti na pitanje kako i zašto se neki društveni događaj dogodio. Naravno, povijesna se analiza uvijek i iznova sukobljava s pitanjem je li povijest ono što se stvarno dogodilo ili je povijest ono što su ljudi zapamtili, izmislili ili prepravili prema svojem ukusu i potrebama sadašnjosti.

Sličnost između spomenutih empirijskih analiza i povijesne analize je u tome što oba pristupa pokušavaju biti prediktivna ili što pokušavaju dati takve teoretske odgovore iz kojih se može nešto reći o budućim društvenim događajima, a razlika je da dok se u empirijskim analizama traga za objašnjenjem pojedinih društvenih fenomena i procesa, dotle su u ovim drugima traga za razumijevanjem društva.

Izučavanje društvenih procesa je izučavanje društvenih promjena. Izučavanje društvenih promjena je od samog početka sociologije, pa sve do danas prisutno ne samo kao interes, već i kao konkretan metodološki napor. Izučavanje promjena najčešće se definira kao izučavanje čimbenika koji produciraju promjene. Postoje brojne i različite tehnike za otkrivanje ovih čimbenika, a jedna od klasičnih istraživačkih tehnika je eksperimentiranje, dok su druge kontinuirano ili periodično promatranje razvoja neke situacije (Coleman, 1971:428). Danas u sociologiji postoje brojne varijacije ovih tehnika ili njihovih kombinacija. Svim ovim varijacijama zajedničko je postojanje sasvim specifičnog nacrtu istraživanja promjena s jedne i teoretskog modela promjena s druge strane. Pristup izučavanju promjena određen je nacrtom istraživanja, odnosno, razrješenjem problema kako izvesti eksperimente ili promatranja tako da se može doći do valjanog zaključaka o tome koji su čimbenici oni koji produciraju promjene. Osim toga, pristup izučavanju promjena ovisi o konceptualnim i teoretskim razumijevanjima mehanizama promjena, jer tek zahvaljujući teoretskom modelu promjena može se odgovoriti na pitanje kako iz eksperimenta i promatranja izlučiti najbolje opise i objašnjenja izučavanih promjena. Ako, na primjer, promjene pokušate razumjeti kao razvoj, da bi ste uopće mogli organizirati eksperimente i promatranja za valjano izučavanje razvoja morate raspolagati teoretskim modelom razvoja.

METODA SIMULACIJE

Kada neki predmet ili proces predstavimo nekim drugim predmetom ili procesom, tada taj drugi predmet ili proces zovemo model. Izgradnja modela je dobro poznati način razumijevanja svijeta. Mi svakodnevno, razumijevajući svijet oko sebe i planirajući naše svakodnevne aktivnosti, izgrađujemo teoretske modele. Svako zamišljanje nekog predmeta, procesa ili situacije, kao »mentalna slika« jest apstraktni model situacije.

Teoretsko razumijevanje predmeta, procesa ili situacije tako nije drugo do jedna »objektivna mentalna slika«, jedan simbolički opis sustava ili jedan teoretski model. Ovu našu sklonost da teoretski razumijevamo svijet znanost je izdvojila i formalizirala.

Premda modeli ne moraju savršeno predstavljati predmet ili proces koji reprezentiraju, izgradnja modela teži što savršenijoj prezentaciji. Savršenije ovdje ne znači detaljnije, već prezentaciju upravo onoga što je bitno, a izbacivanje iz prezentacije onoga što je puko pojavno. Prikazati nešto modelom znači reducirati prikaz na ono što je bit prikazanog. Ova redukcija kompleksnosti modelom predstavljenog procesa nužna je za lakše razumijevanje ili baratanje s procesom. Tako na primjer modeli društvenih procesa neće nužno savršeno reprezentirati aktualni društveni svijet, ali će pribaviti sredstva koja će pojednostavniti i pomoći razumijevanju temeljnih mehanizama koji su u njega uključeni. Za sociološku metodologiju kao i za metodologije drugih društvenih znanosti do nedavno najznačajniji su bili statistički modeli koji se koriste za predviđanje vrijednosti zavisnih varijabli. Iz potreba razumijevanja društvenih procesa i promjena u suvremenoj se sociologiji razvila metoda simulacije kao jedan poseban oblik modeliranja i razumijevanja društvenih procesa.

Simulacije uvode mogućnost novog načina mišljenja o društvenim procesima, utemeljenim na idejama o uspostavljanju kompleksnih ponašanja iz relativno jednostavnih aktivnosti. Ove ideje koje su trenutačno vodeće ne samo u društvenim znanostima, već također u fizici i biologiji, dolaze nam pod imenom teorija kompleksnosti

Poput statističkih modela simulacije imaju »ulaze« (*inputs*) i »izlaze« (*outputs*) koji se mogu promatrati dok se simulacija zbiva. Ulazi su često obilježja koja nam trebaju da učinimo neki model odgovarajućim nekom specifičnom društvenom stanju, a izlazi su ponašanja samog modela tijekom vremena.

Kada mi imamo teoretski model o nekom društvenom procesu, mi ga možemo izraziti u obliku procedura i konačno u obliku kompjutorskog programa. Program će biti mnogo precizniji od tekstualne forme procedura i stoga je od pomoći u izgradnji teorije. Simulacije tako mogu biti i koriste se kao metode za razvoj teorije.

Jednom kada je teorija formalizirana u program i kada smo napravili određene pretpostavke, program se može pokrenuti, a ponašanje simulacija promatrati. Ovo istina nije isto kao i promatranje stvarnog procesa, ali ako je simulacija dobra dovodi u krajnjoj liniji do istih rezultata. Simulacije dopuštaju istraživačima da eksperimentiraju na način koji je klasičnom eksperimentalnom metodom nemoguć u društvenim znanostima. Ne možemo poplaviti pola Zagreba da vidimo kako će poplava djelovati na socijalnu koheziju Zagrepčana, ali mi možemo simulirati poplavu Zagreba i vidjeti što se događa s modelom socijalne kohezije stanovnika Zagreba. Simulacije omogućuju promatranje podataka o ljudskom ponašanju koje se pojavljuje u određenim situacijama simulirajući ove situacije. One omogućuju promatranje ljudskog ponašanja u eksperimentalnim situacijama simulirajući situacije koje nije moguće izmanipulirati u stvarnom svijetu, odnosno čije bi izazivanje bilo ili previše skupo, ili nemoralno ili neizvodljivo. Ovi eksperimenti koji se ne provode u stvarnom društvenom svijetu, već u modelu ili artificijelnom društvu (Gilbert, Troitzsch, 1999:19) omogućuju promatranje podataka o ljudskom ponašanju koja ovise o sasvim specifičnoj socijalnoj situaciji i koja se mijenjaju čitavo vrijeme, omogućujući nam da otkrijemo strategije koje su u podlozi ljudskih ponašanja te da ova ponašanja objasnimo.

Objašnjenje koje nam simulacije pribavljaju može biti različitog tipa. Ono može biti uzročno, strukturalno, funkcionalno teleološko itd. Ako zahvaljujući simuliranim eksperimentima možemo navesti uzroke određenih ponašanja, onda naša simulacija pribavlja **uzročno objašnjenje**. Ako zahvaljujući simuliranim eksperimentima možemo promatrati pojavu smjestiti u jedan širi sustav (strukturu) u kojem će ona naći svoje mjesto u odnosu na druge pojave, što znači da je njezino ponašanje određeno rasporedom tih drugih osnovnijih struktura, a ne njezinom vlastitom prirodom, riječ je o **strukturalnom objašnjenju**. Ako zahvaljujući simulaciji možemo reći kakvu funkciju promatrana pojava igra u odnosu na održavanje nekog šireg sustava, odnosno da li ga slabi, jača održava ili je neutralna tada govorimo o **funkcionalnom objašnjenju**. Objasnimo li promatrani pojavu tako da smo je doveli u vezu s nekim društvenim ciljem ili s nekom svrhom, tada je simulacija dovela do **teleološkog objašnjenja**.

Naravno, vrsta objašnjenja koju nam simulacija pribavlja direktno je povezana s prirodom simulacijskog modela. Drugim riječima, ista pojava će biti različito modelirana s obzirom na način na koji istraživač tu pojavu razumije. Razumijevanje neke pojave, način na koji istraživač smješta pojavu u realni društveno povijesni kontekst, koje ne ovisi samo o analitičkim metodama, već i o životnim iskustvima, znanjima, interesima i vjerovanjima interpretatora, odrazit će se na istraživačevo razlikovanje bitnog od nebitnog, ili puko pojavnog, u pojavama te tako na konstrukciju simulacijskog modela. Upravo s obzirom na uzročno, strukturalno, funkcionalno ili teleološko teoretsko razumijevanje pojedine pojave, simulacijski model će producirati određenu vrstu objašnjenja.

Simulacije se ne upotrebljavaju samo za objašnjenje. Druga klasična upotreba simulacije je za **predikciju**. S obzirom da je česta zabluda da su objašnjenje i predikcija samo dva lica jednog te istog postupka, nužno je istaknuti da pojave možemo predviđati, a da ih nismo objasnili. Predviđanje je moguće na osnovi čiste vremenske sukcesije, na osnovi stabilnih funkcionalnih ili korelacijskih veza na osnovi iskustva. Ukratko, možemo predviđati pojave, a da ih uopće ne znamo objasniti. Ako možemo razviti model koji reproducira dinamiku nekog ponašanja, tada možemo simulirati protok vremena i onda koristiti model za »pogled u budućnost«. Relativno dobro poznat primjer je upotreba simulacija u demografskim istraživanjima, tamo gdje želimo znati kako će se veličina i dob populacije jedne zemlje promijeniti u sljedećim godinama ili dekadama. Model uključuje za godine specifične stope fertiliteta i mortaliteta s dovoljnom pouzdanošću.

Treća upotreba simulacija je u razvijanju alata koji nadomještaju ljudske sposobnosti. Jedan od primjera za simulacije ove vrste bili bi automatski programi za prevođenje koji »pretvaraju« tekst napisan na nama stranom ili možda nepoznatom jeziku u tekst na nama poznatom jeziku. Dalji primjer za ovakvu upotrebu simulacija su ekspertni sustavi. Oni su konstruirani da simuliraju ekspertize profesionalaca, na primjer, geologa, kemičara ili liječnika. Eksperti ove sustave mogu koristiti za potvrdu i/ili proširenje svojih istraživačkih nalaza i/ili dijagnoza, dok ih laici mogu koristiti da dođu do dijagnoze koja bi inače zahtijevala upotrebu eksperata.

Ove i druge simulacije koristile su se za uvježbavanje. Na primjer, ekspertni sustav koji klasificira kamenje u skladu s procjenom koji vrijedni minerali mogu biti nađeni u njima može biti korišten za naobrazba studenata geologije. Simulatori letenja mogu

biti korišteni za uvježbavanje pilota, a simulacije nacionalne ekonomije mogu biti korištene za uvježbavanje ekonomista

Simulacije se mogu koristiti i za zabavu. Simulatori letenja ne koriste se samo za pilote, već također za zabavu na kućnim osobnim računalima. Neke simulacije priređene kao igre su vrlo blizu toga da bi bile društvene simulacije. Na primjer u poznatom Maxisovom SimCityu, hrvatsko izdanje kojega je nedavno promovirano, igrač igra ulogu gradonačelnika i može mijenjati novčane iznose različitih poreza i druge parametre u izgradnji simuliranog grada.

Glavni razlog što se društveni znanstvenici sve više zanimaju za kompjutorske simulacije je njihov potencijal da pomognu u provjeravanju znanstvenih hipoteza i teorija. Društveni znanstvenici danas grade vrlo jednostavne modele, koji fokusiraju izvjesne male aspekte društvenog svijeta i otkrivaju posljedice svojih teorija u »artificijelnom društvu« koje su izgradili. U nastojanju da izgrade simulacijske modele, društveni znanstvenici često uzimaju teorije koje su konvencionalno bile izražene u tekstualnoj formi i onda ih formaliziraju u specifikacije koje mogu biti pretočene u programski kod i pokrenute na računalima. Proces formalizacije koji uključuje precizno razumijevanje o tome što teorije znače i zahtijeva sigurnost u to da su one kompletne i koherentne, je heuristički vrlo vrijedna disciplina na svoj vlastiti način jer zahtijeva dodatni napor kojim se teorije čine razumljivijima, potpunijima i koherentnijima. U ovom smislu kompjutorska simulacija ima sličnu ulogu u društvenim znanostima onoj koju je matematika imala u prirodnim znanostima.

Formalizacija teorije započinje njezinom preformulacijom u oblik koji zovemo analitička ili aksiomska teorija (Afrić, 1989:110). Kada se jedna teorija iskaže u ovom obliku, njezini inicijalni temeljni koncepti i odnosi su »dani« u takvom obliku da dopuštaju logičku dedukciju širokog seta implikacija. Ove implikacije sasvim izvjesno slijede iz teorije logički »čvrsto« (s jasnom logičkom vezom, npr. ako onda), a ne samo kao opisane posljedice teoretskih razmatranja koje mogu, ali i ne moraju rezultirati iz teoretskog sklopa. Postoje dva koraka u konstrukciji aksiomske teorije. Prvi je izvanjska valjanost, a uključuje izvjesnost da su stvarno bitni koncepti i odnosi na pravi način reprezentirani u aksiomatskoj teoriji. Drugi uključuje teorijinu čistu logičku formu, to jest varijable i jednostavne iskaze izražene formalnom logikom o relacijama među njima. Ova čista logička forma je model.

Najsuptilniji iskazi formalne logike mogu se, također, izraziti matematički kao sustav matematičkih jednadžbi (Leik, Meeker, 1975:2). Upravo zato ne čudi što je matematika često bila podrazumijevana kao značenje pojma formalizacije u društvenim znanostima. Premda su mnoge društvene teorije iskazane matematičkim modelima u posljednje dvije dekade, matematika ipak nikada nije postala široko prihvaćena kao značajno heurističko sredstvo u društvenim znanostima.

Postoji više razloga zašto je simulacija daleko pogodnija za formalizaciju u društvenim znanostima od matematike. Prvo, programski jezici su mnogo izražajni i manje apstraktni nego većina matematičkih tehnika, barem onih dostupnih ne specijalistima. Drugo, programi, za razliku od sustava matematičkih jednadžbi, barataju mnogo lakše s paralelnim procesima i procesima u kojima nema dobro definiranog poretka akcija. Treće, programi su (mogu se lako napraviti da budu) modularni, tako da glavne promjene mogu biti napravljene u jednom dijelu bez potrebe promjena u drugim dijelovima programa. Matematičkim sustavima često nedostaje ova modularnost.

Konačno, lako je sagraditi simulacijske sustave koji uključuju heterogene čimbenike, na primjer, simulirati ljude s njihovim različitim perspektivama u njihovom društvenom svijetu, s različitim zalihama znanja, različitim mogućnostima itd., dok je to uobičajeno relativno teško koristeći matematiku.

Međutim, bilo bi pogrešno vjerovati da izgradnja simulacijskih modela isključuje upotrebu matematike. Izgradnja simulacijskih modela ima dvije faze: prva je izgradnja algoritma, a druga izgradnja računalnog programa koji počiva na zadanom algoritmu. Algoritam, kako je glasio nadimak arapskog matematičara Muhameda ibn Muse iz devetog stoljeća, je pravilan postupak pri računanju, ili slijed pravilnih matematičkih postupaka kojima se matematički ispravno opisuje neki objekt, prostor ili proces. Algoritam je, dakle, teoretski matematički model na kojem počiva izgradnja simulacijskog modela.

TEORIJA EVOLUCIJE KAO TEMELJ SIMULACIJA RAZVOJA

Simulacijski modeli društvenog razvoja uglavnom su utemeljeni na teoriji evolucije. Štoviše, danas postoji značajna količina radova u društvenim znanostima, premda pretežno u ekonomiji, koji mogu legitimno biti prikazani kao evolucijski. Na osnovi ove teoretske artikulacije nastale su brojne i različite simulacije koje koriste različite vrste evolucijskih algoritama da bi reprezentirali društvene i posebno ekonomske procese.

Ideje primjene bioloških načela prirodne selekcije na umjetno stvorene sustave, uvedene pred više od tri dekade, izgleda da su impresivno narasle u zadnjih nekoliko godina. Ove ideje su uobičajeno grupirane pod nazivima *evolucijskih algoritama* ili *evolucijskih izračuna*, gdje nalazimo domenu genetičkih algoritama, evolucijskih strategija, programiranja evolucije i programiranja genetike. Evolucijski algoritmi, danas široko rasprostranjeni, uspješno su primijenjeni u simulacijama brojnih problema iz različitih domena, uključujući optimizaciju, automatsko programiranje, strojno učenje, ekonomiju, istraživačke operacije, ekologiju, populacijsku genetiku, studije evolucije i učenja, i društvene sustave.

Postojanje brojnih simulacija ove vrste postavlja pitanje o temeljnim razlikama u izgradnji modela ove vrste. Razumijevanjem razlika u korištenim evolucijskim algoritmima nastojat ćemo ustanoviti koherentne interpretacije različitih evolucijskih modela.

Razumijevanje evolucijskih modela, dakle razlika u korištenim evolucijskim algoritmima, vodi nas prvenstveno razlikama u razumijevanju društveno evolucijskih procesa. Inspirirani mehanizmima biološke evolucije društveni znanstvenici pronalaze slične mehanizme u društvenim procesima stvarajući različita značenja pojma »evolucije« u društvenim znanostima.

Termin »evolucijsko« bio je često krivo razumijevan i tumačen u društvenim znanostima. Mogu se razlučiti četiri glavne interpretacije.

1. Najčešći nesporednosti i kritike teorije evolucije u društvenim znanostima povezane su sa interpretacijama evolucije u teorijama Socijalnog Darvinizma, s kojima se povezuju i ideje eugenike, znanosti o stvaranju zdravog pomladka. Ove teorije bile su najzastupljenije krajem prošlog stoljeća u Sjedinjenim državama. Postoje različite forme Socijalnog Darvinizma, ali većina verzija ima dvije glavne pretpostavke. (1) U

društvima djeluju temeljne, i uglavnom neodoljive, sile poput prirodnih sila koje djeluju u životinjskim i biljnim zajednicama. (2) Ove društvene sile su takve vrste da proizvode evolucijski progres kroz prirodne sukobe između društvenih skupina. Najbolje prilagođene i najuspješnije društvene skupine preživljavaju ove sukobe podižući razinu evolucijske razvijenosti društva općenito (Abercrombie, Hill, Turner, 1984:195.) Iz ovog je jasno da su takve teorije često puka politička retorika. One su obično toliko neprecizne da mogu biti korištene kako u svrhu podrške nekoj politici, tako i za njezinu opoziciju. Danas ne postoji više od povijesnog interesa za teoretske pokušaje ove vrste. Većina kritičara smatra da su teorije Socijalnog Darwinizma utemeljene na nerazumijevanju onoga što Darwin i njegovi sljedbenici, evolucijski biolozi, stvarno tvrde.

2. Evolucionističke ideje snažno su utjecale na pokušaje da se objedine biološki i društveni pristup u sociobiologiji (Wilson, 1975). Sociobiologija pokušava objasniti društvenu organizaciju životinja i ljudi s obzirom na njihove biološke karakteristike, takve kao genetička konstitucija i generacijska ograničenja. Sociobiologija je nesumnjivo dala korisne doprinose razumijevanju životinjske prirode, ali s obzirom da se iz njene perspektive ne mogu adekvatno objasniti ljudska ponašanja koja nastaju u ljudskim interakcijama i koja su rezultat društvene strukture, domena na koju se ona odnosi jest ograničena na biološku utemeljenost društvenog ponašanja. Ove teorije nisu u stanju ništa reći o domeni upravo društvenog ponašanja (Abercrombie, Hill, Turner, 1984:202). Sociobiologija je upozorila na biološku utemeljenost društvenog ponašanja i vjerojatno je čak u našoj percepciji promijenila i veličinu ove domene i prisilila nas da razmotrimo objašnjenja izvjesnih graničnih ponašanja. Međutim, ona nije progutala jezgro društvene znanosti, a vjerojatno u svom daljem razvoju i neće.

3. U društvenim znanostima često se evolucijskim nazivaju sve teorije koje se na bilo koji način bave promjenama, pogotovo ako se radi o promjenama na vrlo dugu stazu. Pojam evolucije ovdje je izraz čije se značenje odnosi na svaki stupnjeviti razvoj iz ranijih i općenito jednostavnijih formi prema kasnijim i kompleksnijim formama kroz dugu seriju malih promjena. Ove teorije koriste evoluciju u smislu koji je više retoričan nego supstancijalan. Teorija evolucija se izjednačava s teorijom društvenih promjena koja je utemeljena na pretpostavci da ljudska društva dugoročno tendiraju da se razvijaju u sve više i više forme. Nove forme su kvalitativno različite od starih formi i ne mogu se razumjeti izučavanjem starih formi. Ukratko ova interpretacija teorije društvene evolucije usko je povezana s vjerovanjem u neminovnost društvenog progressa.

4. Simulacijski evolucijski modeli, za razliku od navedenih interpretacija evolucije, slijede uvjerenje o mogućnosti upotrebe detaljne i koherentne analogije između bioloških evolucijskih procesa i društvenih procesa. Modelima prezentirani biološko evolucijski procesi teoretski se uobičajeno predstavljaju kao Neo–Darvinistička sinteza, jer oni kombiniraju Darwinovu teoriju prirodne selekcije i Mendelovu genetiku.

Evolucijska teorija, u obliku u kojem je predstavlja Neo–Darvinistička sinteza, može biti ukratko prikazana na sljedeći način.

Predmet teorije su pojedinačna živa stvorenja, od kojih se svako sastoji od **genotipa**, to jest, izvjesne strukture različitih gena (biokemiskih zapisa), i **fenotipa**, to jest, realnog fizičkog tijela koje je bilo »konstruirano« upravo tom pojedinačnom živom stvorenju pripadajućim genotipom kroz proces trudnoće. Ovaj konstrukcijski proces

uključivanja genetskog »zapisa« sintetizira encime i druge molekule koje su nužne da bi se omogućio i vodio rast jedne pojedinačne forme od jedne stanice, preko točke rođenja, do zrelog pojedinca. Okolina, koja se sastoji od drugih pojedinaca i fizičkih struktura, **selektivno podupire** pojedince u ovisnosti o »izvedbi« njihovih fenotipova. Ideja uspješnog fenotipa uključuje pojavu pojedinačnog živog stvorenja koje postoji toliko dugo da ova dužina omogućuje reprodukciju i tako opetovanje uspješnog genotipa. Druga dva važna mehanizma pojavljuju se tijekom reproduktivnog procesa. U seksualnoj reprodukciji postoji **genetsko miješanje**, geni potomaka sadrže neke od gena oba roditelja. Dodatno, normalna duplikacija gena rezultira u **mutacijama** kroz »greške u kopiranju zapisa«, premda ove mutacije mogu biti i rezultat izvanjskih procesa, takvih kao radijacija. Funkcija ovih dvaju procesa može biti viđena kao **generacija** novih kombinacija genetskog materijala (koji može proizvesti fenotipove što će bolje odgovarati okolišu od onih koji trenutno postoje) i **podržavanje** novog. (Možemo zamisliti situaciju u kojoj, sa stabilnom okolinom ovo rezultira genetičkim usaglašavanjem. Mutacija uvijek osigurava postojanje minimuma genetičke različitosti, tako da slijed promjena u okolini odmah ne rezultira izumiranjem čitave populacije.)

Ovakva interpretacija evolucionih teorija ne implicira ideju postupnog razvoja prema sve višim i višim oblicima u kojem svaki novi stupanj evolucionog razvoja predstavlja savršeniju realizaciju jednog plana koji je bio prisutan od samog početka. Uspjeh pojedinca ili evolucionih prikladnost utemeljena je na relativnom, a ne na apsolutnom uspjehu. Nema potrebe za jednom »nevidljivom rukom« ili za postojanjem nekog globalnog znanja kojim se rukovode događanja u sustavu. Nema nikakvog zahtjeva za »minimumom standarda« potrebnog da bi evolucioni proces mogao početi. Svaki pojedinac uzajamno djeluje s drugim pojedincima, i fizičkim procesima, u skladu sa svojim mogućnostima (obilježjima svog fenotipa) i postoji ili propada sukladno tome. Evolucija ne zahtjeva, a niti ne pretpostavlja neku izvanjsku teleologiju. Premda pojedinci mogu imati ciljeve i porive, razvijati sebe kao odgovor na okolinu, sustav kao cjelina nema posebnih načela za selektivno pamćenje. Ovo slijedi iz lokalne prirode evolucionog procesa.

Za pojedince nije nužno da su u stanju razumjeti obilježja posebnih slučajeva uspjeha ili neuspjeha. Evolucija nije opterećena problemom kreditnih podobnosti. Pojedinci postoje ili propadaju na osnovi cjelokupne njihove snage i slabosti uzetih zajedno.

Evolucija je jedan beskrajn proces u dva smisla. Pošto je uloga gena da zapišu kemijske procese prije nego da direktno »konstruiraju« fenotip fiksnim mehanizmom, kompletno nove sekvence gena mogu rezultirati u kompletno novim enzimima s prethodno nepoznatim učincima. Slično, na višoj razini deskripcije, fenotip omogućuje da pojedinci nisu fiksirani: štap može biti korišten kao alat za kopanje ili kao batina, a nijedna od njegovih upotreba nije striktno determinirana strukturom ruke ili šake.

Evolucija se ne temelji na vjeri u progres, ona je progresivna. Ovo nije mišljeno u teleološkom smislu, ali to slijedi iz beskonačnosti i relativnog uspjeha. Inicijalno, organizmi će jednostavno nastajati i nestajati uvijek iznova. Ako je pojedinac u stanju napraviti svoju kopiju (Dawkins, 1989), tada će uvijek netko preostati iza životnog vijeka tog pojedinca. Reprodukcija, križanje i mutacija s vremenom stvaraju raznolikost. Jednom kada je opstanak osiguran, s tim da su svi organizmi identične, križane

ili mutirane kopije originala, tada obilježja, takova kao raznolikost mogu utjecati na ovaj razvoj kao dodatna vrijednost za opstanak. Ovo je ono što mislimo pod terminom progresivnost evolucije.

Ovako pojmljena ideja evolucije, pogotovo kada se primijeni na razumijevanje društvenih procesa, ne isključuje učenje. David Ackley i Michael Littman su radom na simulacijskom modelu evolucije otkrili da su učenje i evolucija zajedno, mnogo uspješniji nego svaki od njih sam u produciranju prilagođene populacije koja je preživjela do kraja njihove simulacije. Učenje plus evolucija je recept za kulturu. Može li to biti da učenje i aktualno ponašanje prosljeđuje svoje informacije genima kao što geni (ako ih razumijemo kao neku vrstu naputka za izradu fenotipa) prosljeđuju svoje informacije učenju i ponašanju. Prvo se zove **kulturna asimilacija**, a drugo **genetska asimilacija**. Premda mnogi biolozi drže da su kulturna evolucija i geni nerazdvojivo povezani, da promjene u jednom neumitno izazivaju promjene u drugom, da je kulturna evolucija u kratkom vremenu pokrenula takve genetske promjene za koje bi inače trebalo gotovo beskrajno vrijeme, teško je povjerovati u to da fenotip na bilo koji način osim onog selektivnog podupiranja određenog fenotipa kojem pripadaju određeni genotipi, može oblikovati genotip. Jednostavno, nema mehanizma kojim tjelovježbom izgrađeni mišići ruku mogu biti »ponovno upisani« natrag u gene, a to je zato što oni nisu ni bili direktno upisani. Ono što je bilo upisano je sinteza enzima i drugih kemijskih spojeva koji će, uzeti zajedno, rezultirati u pojedinačni set mišića i drugih tjelesnih obilježja, ali samo **kroz dinamički proces konstrukcije**. Nigdje u našem tijelu ne postoji ni jedna reprezentacija ovog cjelokupnog procesa, tako da ono ne može biti »unatrag izgrađeno«.

Međutim, ovdje se radi o analogiji biološkog i socijalnog modela i pod pojmom gena možda ne bi trebalo razumjeti samo biokemijske zapise već i one druge kulturne zapise, kojima se oblikuje društveni fenotip. Za razliku od biokemijskih zapisa gena koji tvore genotip, ovi kulturni zapisi nazivaju se **memi** i tvore **memotip**, koji nije drugo do naputak za građenje specifičnih kulturnih obilježja pojedinaca – **kulturnih fenotipova**. Uistinu postojanje kulturne transmisije sugerira da ako je materijal genotipa (memotipa) ljudski jezik, a ne biokemijski zapis, Lamarkističko nasljeđe je uključeno i može dominirati genetičkim nasljeđem.

S dodatkom Lamarkističkog nasljeđivanja, evolucija nije nespojiva s racionalnim (usmjerenim) ponašanjem, niti s tim da sudionici slijede pojedinačne ili kolektivne ciljeve. Evolucijski pristup je fundamentalno pluralistički i dinamički, a nije teleološki. On ističe deskriptivnu i privremenu prirodu našeg razumijevanja i smješta razumijevanje društvenog znanstvenika u jednu nepriviligiranu poziciju u evolucijskom procesu. Konačno, on ne isključuje promišljenu i racionalnu akciju, ovu akciju smješta u kontekst duboke složenosti okoline i neizvjesnosti. Ovaj kontekst ne nastaje misteriozno, već prirodno iz autonomije sudionika i fizičkih procesa u okolini.

Evolucijske ideje preuzete iz biologije korištene su na različite načine u razvoju evolucijskih algoritama. Ne samo da ima mnogo različitih vrsta evolucijskih algoritama već postoji i mnogo različitih varijanti za svaku vrstu i mnogo parametriranih vrijednosti koje mogu biti kontrolirane u svakoj od varijanata. Ipak po svojim osnovnim karakteristikama moguće je izdvojiti tri glavne vrste evolucijskih algoritama:

1. Genetičke algoritme (*Genetic Algorithms*),
2. Genetičko programiranje (*Genetic Programming*) i
3. Klasifikacijske sustave (*Classifier System*)

Svaka od ovih vrsta algoritama uključuje generiranje jedne inicijalne populacije pojedinaca i tada bavljenje tom populacijom iterativno tako da tijekom vremena »kvaliteta« pojedinaca koji postoje u populaciji tendira porastu. Operacije koje su uključene i struktura pojedinaca u populaciji su ono što čini ove tehnike različitim. Genetički algoritam (GA) i genetičko programiranje (GP) uglavnom se razlikuju u strukturi pojedinaca, dok klasifikacijski sustavi (KS) ne samo da imaju različite strukture pojedinaca od drugih dvaju tehnika, već su im i operacije različite.

GENETIČKI ALGORITMI (GA)

Standardni genetički algoritam je kako slijedi: jedna inicijalna populacija pojedinaca koja je generirana slučajno ili heuristički. Svaki evolucijski korak, poznat kao **generacija**, sastoji se od pojedinca u trenutnoj populaciji koji su popisani i vrednovani u skladu s nekim unaprijed definiranim kvalitativnim kriterijima. Ovi se kriteriji prikazuju kao **dobra kondicija** ili »**funkcija dobre kondicije**« (*Fitness function*). Da bi tvorile novu populaciju (novu generaciju), pojedinci su **selektirani** u skladu s njihovom dobrom formom ili kondicijom. Mnoge procedure selekcije trenutno su u upotrebi. Jedna od najjednostavnijih bila je izvorna Hollandova (1998) kondicijsko proporcionalna selekcija, gdje su pojedinci selektirani s vjerojatnošću proporcionalnom njihovoj relativno dobroj kondiciji. Ovo je osiguravalo da je jedan očekivani broj puta jedan pojedinac izabran što je aproksimativno proporcionalno njegovim relativnim obilježjima u populaciji, čime se probabalistički (po vjerojatnosti) proizvodi više kopija sposobnijih pojedinaca. Tako, pojedinci u najboljoj kondiciji (»dobri«) imaju bolje šanse za »reproduciranje« dok oni u lošoj kondiciji imaju više izgleda da nestanu.

Sama selekcija reprodukcije ne može uvesti ni jednog novog pojedinca u populaciju, odnosno, ona ne može pridodati nova obilježja u istraživani prostoru. Nova obilježja se generiraju genetički inspiriranim operatorima od kojih su najpoznatiji **križanje** i **mutacija**.

Križanje je obilježeno s vjerojatnošću P_{cross} (»vjerojatnost križanja« ili »mjera križanja«) između dva izabrana pojedinca nazvana **roditeljima**, koji razmjenjuju dijelove svojih gena ili mema (odnosno, zapisa ili stringova) da stvore dva nova pojedinca, nazvana **potomstvo**, u svojoj najjednostavnijoj formi dijelovi zapisa (substringovi) su promijenjeni nakon slučajno izabrane točke križanja, čime zapisi (geni ili memi) dva pojedinca, izabrana probabalistički na temelju sposobnosti, bivaju odrezani na nekom mjestu i pridodani drugom odrezanom zapisu (zapisi razmijene dio svojeg sadržaja). Ovi operatori, kroz opetovanje, tendiraju omogućiti evolucijskom procesu da se pomakne prema »obećanim« regijama istraživanog prostora. Mutacijski operator je uveden da zaštiti prijevremenu konvergenciju lokalnog optimuma slučajnim uzorkovanjem novih točaka u istraživanom prostoru. On se provodi nasumičnim ubacivanjem bitova s nekom malom vjerojatnošću P_{mut} , čime je neka jedinstvena pozicija u zapisu koji prezentira nekog pojedinca, zamijenjena po načelu slučajnosti s drugom sintaktički prihvatljivom vrijednošću. Ako su, na primjer, brojevi u zapisu binarni, tada se na nekom proizvoljno odabranom mjestu u binarnom broju 1 zamjenjuje s 0 i obrnuto.

Genetički algoritmi su stohastički iterativni procesi koji ne jamče usuglašavanje. Krajnji uvjeti mogu biti određeni kao neki utvrđeni, maksimalni broj generacija ili kao dostizanje jedne prihvatljive razine sposobnosti ili kondicije.

Sposobnost ili kondicija je, kao što smo već objasnili, definirana funkcijom koja se naziva **funkcija dobre kondicije** i kojom se svakom sintaktički prihvatljivom zapisu pridružuje odgovarajuća kondicija. **Križanje** odgovara jednom procesu genetskog miješanja u seksualnoj reprodukciji, dok **mutacije** imaju funkciju održavanja raznolikosti kao što to čine u biološkoj evoluciji. Intuitivno je jasno zašto se kondicija populacije stupnjevito povećava. Reprodukcija rezultira u većoj proporciji odgovarajućih pojedinaca u populaciji. To je ono što probabilistički oblikuje subjekte u skladu s križanjima i mutacijama. Zapisi neprikladnih pojedinaca, onih koji nisu u traženoj kondiciji, neće opstati, a svi oni koji su nešto bolji od neprikladnih pojedinaca će u slijedećoj generaciji postati dominantni u populaciji. Ovo je ono mjesto gdje su relativna izvođenja važna, naime svaka generacija će imati svoj prag neprikladne kondicije i svoje neprikladne pojedince koji ne mogu u dalju reprodukciju. Čak i ako je inicijalna populacija slučajno stvorena, uvijek će postojati neki pojedinac koji odgovara malo bolje od drugih, i to će biti dovoljno da započne evolucijski proces.

Prikaz 1 prikazuje standardni genetički algoritam u obliku pseudo koda.

Prikaz 1 – Pseudo kod standardnog genetičkog algoritma

begin GA	{ počni genetički algoritam }
g:=0	{ inicijaliziraj brojač generacija }
Initialize population P(g)	{ pokreni populaciju }
Evaluate population P(g)	{ izračunaj vrijednost uvjeta }
while not done do	{ radi sve dok nije postignut uvjet }
g:=g+1	{ odbroji novu generaciju }
Select P(g) from P(g-1)	{ izaberi pojedince za reprodukciju }
Crossover P(g)	{ izvrši križanje }
Mutate P(g)	{ izvrši mutaciju }
Evaluate P(g)	{ kontroliraj uvjet }
end while	{ završi petlju }
end GA	{ završi genetički algoritam }

Dok su sličnosti između GA i biološke evolucije posve jasne, postoje najmanje dvije jasne razlike čak i na konceptualnoj razini. Prvo, postojanje funkcije dobre kondicije pribavlja sustavu ujedno »nevidljivu ruku« i teleologiju. Na rangu utemeljena »funkcija dobre kondicije« dopušta da kondicija svih pojedinaca u populaciji bude usporediva. Rezultat ove usporedbe »globalno« je znanje na kojem počiva sama »funkcija dobre kondicije«. Kakva god obilježja nekog pojedinca »funkcija dobre kondicije« utvrdi kao »poželjna«, ova obilježja će postati prevladavajuća u populaciji. To je ono što sustavu pribavlja teleologiju. Osim toga, model nije uspio napraviti nikakvu razliku između genotipa i fenotipa pojedinca. »Funkcija dobre kondicije« postavljena je na takav način da ona vrednuje pojedince direktno na temelju genotipa, a ne kroz neki fenotip koji se na osnovi ovog genotipa razvio.

Obje ove razlike genetičkog algoritma u odnosu na razumijevanje evolucije iz kojeg on potječe, mogu biti objašnjene, i »standardno« se interpretiraju kao jedna čisto tehnička instrumentalna optimizacijska funkcija. Naime, ako je svrha GA da služi kao alat koji dopušta programeru da pronađe optimalne vrijednosti neke fiksne funkcije tada su globalno znanje i oblikovana »funkcija dobre kondicije« odgovarajuće i nužne

za taj zadatak. Umjesto modeliranja prirodne selekcije, programer nastoji štedljivo, uključujući jednu izvanjsku funkciju prikladnosti u program odrediti stupanj i smjer kojim će program napredovati, na isti način na koji uzgajatelj životinja mjeri svoj uspjeh količinom ekstra mesa na novom rodu krava u odnosu na postojeće stado. Međutim, ova praksa postaje upitna ako smo zainteresirani za opseg u kojem su evolucijski algoritmi sposobni da posluže kao deskriptivni modeli društvenih procesa. U takvim slučajevima, pretpostavke globalnog znanja i pripadajuća teleologija vjerojatno nisu odgovarajući.

GENETIČKO PROGRAMIRANJE (GP)

Genetičko programiranje jednako kao genetički algoritam koristi operatore reprodukcije, križanja i mutacije. Međutim, pojedinci u populaciji nisu jednostavni zapisi, već su programi u nekom jednostavnom programskom jeziku. Uobičajeno korišteni jezici sastoje se od skupa vjerojatnih grananja za zadane skupove operatora, što se naziva **unutrašnji čvorovi**, i graničnika (terminals), koji se nazivaju **izvanjski čvorovi**. Na primjer, skup operatora može biti $\{+|-|*|/\}$, a skup graničnika $\{0|1\}$. Ovako koncipiran jezik u stanju je proizvesti skup grananja uključujući jednostavne matematičke izraze proizvoljne dubine. Ako operatori koji su izabrani imaju »očigledno« značenje, tako da + odgovara operaciji zbrajanja, tada GP grananje mogu izvoditi i analizirati ljudi, gotovo isto toliko jednostavno kao i računala.

Genetičko programiranje je svakako značajan korak naprijed u bogatstvu reprezentacije njime izgrađenog modela i to u najmanje dva aspekta, a oba od njih su relevantna za deskriptivne modele društvenih procesa. Prvo, reprezentacija pojedinaca uz pomoć grananja dopušta proizvoljnu dubinu. Drugo, interpretacija GP grananja je rastavljiva na način na koji to GA nizovi znakova (stringovi) nisu. Mogućnost rastavljanja znači da jedan pojedinac može biti predstavljen sa sintaktički korektnim dijelom GP grananja poput $(+(+35)...)$ i podijeljen $s(+8)$. Nasuprot tome, dio GA niza znakova (...010...) nema smisla sam za sebe, osim ako ne znamo njegovu točnu poziciju u nizu, i čak i tada nužno je znati odgovara li taj dio odgovara programiranju »funkcije dobre kondicije«. Ova rastavljivost nije samo stvar razumljivosti, već se također odnosi na specifični problem GA kao jednog instrumentalnog optimizatora. Premda nema tehničkog razloga zašto GA nizovi ne mogu opisati jednu proizvoljno kompleksnu strukturu, u praksi što je veća kompleksnost, to je veća opasnost da će optimizacija biti dramatično oslabljena nejednakom važnošću različitih pozicija nizova u produkciji prikladnih rješenja. Umjesto istinitog paralelnog istraživanja, GA će imati tendenciju optimizirati prvo najvažnije pozicije, a onda će progresivno optimizirati one manje važne.

Usprkos porastu bogatstva reprezentacije, GP tehnike se još koriste na jedan instrumentalni način. One su zamišljene tako da pretpostavljaju globalno znanje, a ne fenotip/genotip distinkciju i izvanjsku teleologiju »funkcije dobre kondicije«. Međutim, bogatija reprezentacija koja je moguća u genetičkom programiranju, privukla je pozornost na činjenice da čak i u instrumentalnim aplikacijama

1. može biti prikladno razviti pogodnost pojedinaca na temelju ponovljenih programskih ishoda, i da ove ishode ne treba izdvojiti

2. graničnike i operatore treba jednostavno interpretirati kao akcije u simuliranom okolišu.

Uobičajen primjer navedenog je program za generiranje slučajnih brojeva. U ovom slučaju, prikladnost se mora mjeriti statističkim obilježjima slijeda brojeva i nema ništa s pojedinom instancom. Kao primjer ovoga razmotrimo izradbu programa koji služi kao kontrola koja dopušta robotu da obavi izvjesne jednostavne zadatke poput pronalaženja otpatka i njegovog prikupljanja. U ovom slučaju *output* (ishod) GP-a može odgovarati jednoj akciji u simuliranom okolišu poput: »Okreni lijevo« ili »popupi« – ishod nije neko jednostavno generiranje brojeva. (U pomoćnim aplikacijama programer može interpretirati brojeve kao indikatore pojedinih akcija, dok u deskriptivnoj simulaciji ovo uvodi jednu izvanjsku teleologiju, kao zahtjev da interpretacija bude upisana u sam program.) Dodatno, mi sada činimo konkretnu razliku između genotipa i fenotipa. Program je genotip, ali izvođenje procesa i stvarni ishodi ovog izvođenja programa u simuliranom (ili realnom) svijetu uključuju fenotip. Trivijalno, ako je naznačena akcija »pomakni se naprijed« a robot se nalazi ispred zida, fenotipski ishod će biti ulubljeni robot. Premda su ove aplikacije još uvijek pomoćne, kraći je put, bar u zadnjem slučaju, pitati kako možemo dobiti da robot optimizira izvođenje određenih radnji koje su u okviru njegovih sposobnosti, kada nije izložen telološkim izborima, već je izložen izborima unutar fizičkog okoliša, ili drugih sudionika ili jedne kombinacije ovoga dvoga.

KLASIFIKACIJSKI SUSTAVI (KS)

Konačna klasa evolucijskih algoritama su klasifikacijski sustavi (KS). U KS pojedinci se sastoje od AKO...ONDA (IF... THEN...) pravila (uvjet–akcije parova) arhitektura KS je mnogo kompleksnija od one GA i GP. Ona počinje kada prikladni zapis (kod) uđe (*input*) iz okoline (u sustav) i kada se on doda na »listu poruka« KS-a. Ovaj ulaz mora zadovoljiti uvjetni dio jednog ili više pravila u »bazi pravila«. Svako pravilo ima pridruženu valjanost (ponder), koja odražava njegove prošle uspjehe u generiranju »odgovarajućih« ishoda (*output*). Izborna pravila natječu se u jednoj »poticajnoj dražbi«, probabilističkom procesu u kojem su prikladnija pravila sposobnija činiti visoke »ponude« za poticaj na osnovi svojih prošlih uspješnih djelovanja. Jednom kada se uspostavi koja pravila treba aktivirati, ona se kopiraju na »listu poruka« i ta kombinacija »ulaza« (*inputa*) i pravila se onda »izvodi«. (Kombinacija ulaza (*inputa*) i pravila može generirati ishode na listi poruka koje zatim čine nova izborna pravila.) Isto kao izlazi na listi poruka, neka pravila će omogućavati generiranje ishoda u okolini i ona će se također prosljediti dalje. Nakon ovoga lista poruka se prazni. Ishodi u okolini generiraju povratnu spregu iz okoline, koja se koristi za promjenu važnosti u pravilima. Konačno, GA se koristi s vremena na vrijeme da ukloni korov pročistivši važnost pravila (u bazi pravila) i generira nova pravila, najvjerojatnije od onih s najvećom važnošću (znamo da GA optimizira prvo najvažnije pozicije).

Usprkos svojoj očitoj kompleksnosti, KS stvarno funkcionira na prilično sličan način kao i GA i GP. Populacija baze pravila će se stupnjevito popravljati u kvaliteti kako vrijeme prolazi. Poticajna dražba odgovara najvjerojatnijoj primjeni genetskih operatora poput križanja i reprodukcije. Ova dražba određuje koji pojedinci su stvarno »korisni« za postavljene ciljeve. Težina pojedinih pravila može se razmatrati kao alternativa dupliciranju prikladnijih pravila kroz reprodukciju u GA i GP popu-

lacijama. (Jedno pravilo s težinom 1 i četiri s težinom 0 su ekvivalentni populaciji bilo koje veličine koja se sastoji samo od višestrukih kopija prvog pravila. Analogija nije savršena. U slučaju GA i GP, raznolikost pravila je stvarno bila izgubljena, dok su u slučaju KS pravila još raspoloživa ako im se težina promijeni.) »Okolina« se može tretirati kao pomoćni zadatak sumariziranja skupa slučajeva, ili deskriptivne simulacije neke realne okoline. Postojanje pravila koja generiraju ishode na listi poruka utoliko je dobro ukoliko okolina dopušta ishodišnim ponašanjima da budu proizvoljno složena. Najvažnija razlika između KS i GA/GP je da KS izričito proizvodi strategije koje se sastoje od skupa pravila koja se sva odnose na pojedinačnu okolinu. Nasuprot tome, premda GA i GP produciraju različite populacije, ideja je da samo najpogodniji pojedinci u populaciji budu korišteni s vremena na vrijeme. Ove razlike podržavaju deskriptivnu upotrebu KS-a i dovode nas do pitanja o tome odgovara li fleksibilnost odgovora jednostavnih GA i GP sustavnim varijacijama okoliša. Premda jedan program u GP može pokriti sve slučajeve u jednoj proizvoljnoj bazi pravila, rezultirajući program će biti vrlo velik, nezgrapn i možda težak za interpretaciju. S druge strane, većina će programa biti redundantna većinu vremena.

Pregledom ovih različitih tipova evolucionih algoritama može se vidjeti da su čak i u svojoj najjednostavnijoj formi, evolucioni algoritmi uvjerljive apstrakcije bioloških evolucionih procesa. Međutim, izvjestan oprez je nužan u njihovoj uporabi kao modela društvenih procesa. Posebno, njihovo podrijetlo kao instrumentalnih optimizacijskih tehnika može biti nespojivo s poželjnim obilježjima biološke evolucije poput odsutnosti globalnog znanja i izvanjske teleologije.

Analogija između opisanih evolucionih algoritama kao algoritama biološke evolucije i procesa društvenog razvoja posve je jasna. Akteri, a to mogu biti pojedinci, obitelji, društvene skupine, tvrtke ili vlade, mogu biti viđeni tako kao da imaju genotip, koji se sastoji od njihovih više ili manje perzistentnih mentalnih procesa ili operativnih procedura, i fenotip koji se sastoji od svih drugih »fizičkih« aspekata njihovog funkcioniranja, uključujući utjecaj koji oni mogu imati na okoliš. Genotip je različit od fenotipa, jer ga on »konstruira« dok mi pretpostavljamo da su akteri intencionalni. Fenotipovi, i kroz njih genotipovi, iskušavaju selektivno pamćenje okoline. Štoviše proces genetičkog miješanja i mutacije također ima svoje analogije. Genetičko miješanje događa se za vrijeme procesa učenja imitacijom, a može se zbiti i mutacijom, što rezultira kako nekorektnim kopiranjem genotipa tako i slučajnim (random) socijalnim eksperimentiranjem s novim i drugačijim ponašanjima..

Implikacije biološke evolucije su također u skladu s ovom analogijom. U velikoj većini slučajeva, »dobra kondicija« društvenih aktera u društvenoj situaciji mora biti mjerena u relativnim i apsolutnim terminima. Kompleksnost okoliša, koji se sastoji od autonomnog i interaktivnog ponašanja različitih pojedinaca jednako kao i od čisto fizičkih procesa, znači da je uvjerljivost pojedinih modifikacija genotipa krajnje teška za primjenu. Ovo se odnosi na tipove učenja i adaptacijske mehanizme koje očekujemo uočiti. Evolucioni algoritmi omogućuju bistrenje kognitivnih modela što uključuje prikupljanje i organizaciju novih znanja. Ovo znači da akteri koji imaju obilježje kognitivnosti ne mogu lako »kročiti u istu rijeku dvaput« barem što se tiče njihove percepcije okoliša. To zapravo znači da će akteri izvesti nove akcije, bazirane na novim zaključcima i tako utjecati na okoliš na nove načine, tražeći od drugih sudionika da u skladu s tim modifiraju svoju praksu. Ova modifikacija vodi do novih »kvalitetnijih« ocjena »dobre kondicije«.

Iako smo se do sada usredotočili na čisti evolucijski proces, ne moramo isključiti različite mehanizme Lamarkističkog nasljeđa u društvenim sustavima, zato jer je mnogo lakše vidjeti kako se fenotipski efekti mogu ponovno ukodirati u genotip kada je materijal genotipa svakodnevni jezik a ne DNA, to jest, kada se i ne radi o genima već o memima. Proces rekonstrukcije zapisa unutar jedne te iste generacije, dakle upravna ili racionalna adaptacija, nasuprot evolucijskog usvajanja, može biti obuhvaćena evolucijskim modelom. Stoga je vrlo važno istaknuti da evolucijski modeli nisu namijenjeni isključivanju racionalnog ili namjernog ponašanja i da je evolucijski pogled ograničen na racionalnost, zapravo izravno kompatibilan s mnogim formama učenja. Mnogi kritičari evolucijskih modela odbacuju njihovu upotrebu smatrajući da ovi modeli tvrde da je ljudsko ponašanje ili slučajno ili genetski određeno. To jednostavno nije točno. Ovi kritičari, naime, ne uspijevaju prepoznati da tehnički razlozi, zašto se Lamarkističko nasljeđivanje ne može pojaviti u biološkim sustavima, ne vrijede nužno i u slučaju kada se ovim modelima reprezentiraju društveni sustavi. Međutim, mora se priznati da premda je istina da evolucijski modeli mogu lako reprezentirati učenje u smislu Lamarkističkog nasljeđivanja, dosadašnji pokušaji da se evolucijsko ponašanje uklopi u racionalne modele do sada su bili mnogo manje uspješni.

ZAKLJUČNE NAPOMENE

Većina klasičnih socioloških metoda okrenuta je analizi stanja i nije dostatna za analitičko razumijevanje društvenih promjena. Dvije glavne skupine metoda empirijske analize koje se danas koriste u sociologiji kao što su s jedne strane statističke analize, takve kao regresija, korelacija i razne njihove mnogo kompleksnije varijante, a s druge strane, skupina kvalitativnih analiza intervjua, *case* studija ili promatračkih podataka, neadekvatne su za izučavanje društvene dinamike.

Mnogo pogodnija metodološka sredstva za izučavanje društvene dinamike su simulacijski modeli društvenih procesa. Simulacijski modeli su teoretski model društvenih procesa, izraženi u obliku procedura i konačno u obliku kompjutorskog programa. Jednom kada je teorija formalizirana u program i kada smo napravili određene pretpostavke, program se može pokrenuti, a ponašanje simulacija promatrati. Ovo istina nije isto kao i promatranje stvarnog procesa, ali u koliko je simulacija dobra dovodi u krajnjoj liniji do istih rezultata. Simulacije dopuštaju istraživačima da eksperimentiraju na način koji je klasičnom eksperimentalnom metodom nemoguć u društvenim znanostima. Eksperimenti koji se ne provode u stvarnom društvenom svijetu već u modelu ili artificijelnom društvu omogućuju promatranje podataka o ponašanju ljudi, društvenih skupina i institucija, koji ovise o sasvim specifičnoj socijalnoj situaciji i koji se mijenjaju čitavo vrijeme, omogućujući nam da otkrijemo strategije koje su u podlozi ovih ponašanja, te da ova ponašanja objasnimo.

Izgradnja simulacijskih modela društvenih procesa često kreće od teorija izraženih u tekstualnoj formi koje se onda formaliziraju u specifikacije koje mogu biti pretočene u programski kod i pokrenute na računalima. Proces formalizacije koji uključuje precizno razumijevanje o tome što teorije znače, zahtijeva sigurnost u to da su one kompletne i koherentne, jest heuristički vrlo vrijedna disciplina na svoj vlastiti način jer zahtijeva dodatni napor kojim se teorije čine razumljivijima, kompletnijima i

koherentnijima. U ovom smislu kompjutorska simulacija ima sličnu ulogu u društvenim znanostima onoj koju je matematika imala u prirodnim znanostima.

Simulacijski modeli društvenog razvoja uglavnom su utemeljeni na teoriji evolucije. Evolucijski algoritmi, danas široko rasprostranjeni, uspješno su primijenjeni na brojne probleme iz različitih domena, uključujući optimizaciju, automatsko programiranje, strojno učenje, ekonomiju, istraživačke operacije, ekologiju, populacijsku genetiku, studije evolucije i učenja, i društvene sustave.

Moguće je izdvojiti tri glavne vrste evolucijskih algoritama: genetičke algoritme (**Genetic Algorithms**), genetičko programiranje (**Genetic Programming**) i klasifikacijske sustave (**Classifier System**). Svaka od ovih vrsta algoritama uključuje generiranje jedne inicijalne populacije pojedinaca i tada bavljenje tom populacijom iterativno tako da tijekom vremena »kvaliteta« pojedinaca koji postoje u populaciji tendira porastu.

Čak i u svojoj najjednostavnijoj formi, evolucijski algoritmi su uvjerljive apstrakcije bioloških evolucijskih procesa koji se po analogiji, mogu primijeniti na procese društvenih promjena. Međutim, izvjestan oprez je nužan u njihovoj uporabi kao modela društvenih procesa. Posebno, njihovo podrijetlo kao instrumentalnih optimizacijskih tehnika može biti nespojivo s poželjnim obilježjima biološke evolucije poput odsutnosti globalnog znanja i izvanjske teleologije.

LITERATURA:

- Abercrombie, N., Hill, S., Turner, B. S. (1984). **The Penguin Dictionary of Sociology**. Harmondsworth: Penguin Books.
- Afrić, V. (1989). **Struktura sociološke teorije**. Zagreb: Naprijed.
- Axelrod, R. (1997). **The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration**. New Jersey: Princeton University Press.
- Blackmore, S. (1999). **The Meme Machine**, Oxford: Oxford University Press.
- Beltratti, A., Margarita, S., Terna, P. (1996). **Neural Networks for Economic and Financial Modelling**. London: International Thomson Computer Press.
- Cilliers, P. (1998). **Complexity and Postmodernism**, London: Routledge.
- Coleman, J. S. (1971). The Mathematical Study of Change. U: Blalock, H. M. Jr., Blalock, A. (eds.). **Methodology in Social Research**. Ljubljana: Mladinska Knjiga.
- Dean, A. (1997). **Chaos and Intoxication: Complexity and Adaptation in the Structure of Human Nature**. London: Routledge.
- Gaylord, R. J., D'Andria, L. (1997). **Simulating Society – A Mathematica Toolkit for Modeling Simulating Social Phenomena**. U: Conte, R., Hegselmann, R., Terna, P. (eds.). *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Berlin: Springer-Verlag.
- Gilberth, N., Troitzsch, K. G. (1999). **Simulation for the Social Scientist**. Philadelphia: Open University Press.
- Holland, J. H. (1998). **Emergence: From Chaos to Order, Redwood City**. California: Addison-Wesley.
- Jervis, R. (1997). **System Effects: Complexity in Political and Social Life**. Princeton, NJ: Princeton University Press.

- Kuvačić, I. (1988). **Rasprave o metodi.** Zagreb: Naprijed.
- Leik, R. K., Meeker, B. F. (1975). **Mathematical Sociology.** Prentice–Hall methods of social science series. New Jersey: Prentice–Hall.
- Neuman, R. W. (1997). **The Gordian Knot,** Political Gridlock on the Information Highway. The MIT Press.
- Read, S. J., Miller, L. C. (eds.). (1998). **Connectionist Models of Social Reasoning and Social Behavior.** Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- *** (1998). **Socioeconomic Behavior.** New York, NY: TELOS/Springer Verlag.
- Šušnjić, Đ. (1973). **Kritika sociološke metode.** Gradina.
- Trapp, R., Petta, P. (1997). **Creating Personalities for Synthetic Actors: Towards Autonomous Personality Agents.** Berlin: Springer–Verlag.
- Weibull, J. (1995). **Evolutionary Game Theory.** Cambridge, MA: The M.I.T. Press.

APPLYING EVOLUTIONARY ALGORITHMS IN CONSTRUCTING SIMULATION MODELS IN SOCIOLOGY

Vjekoslav Afrić
Faculty of Philosophy, Zagreb

Summary

As opposed to traditional sociological methods, which have not been particularly adequate for studying social dynamics, the simulation model method enables a creation of dynamic social models. By means of these models it is possible to simulate experiments and observations in order to explain and predict social processes.

The simulation models of social development have been for the most part based on the theory of evolution, that is, on evolutionary algorithms. The evolutionary algorithms are today wide-spread and have been successfully applied to numerous problems in different domains, including optimization, automatic programming, machine learning, economy, research operations, ecology, populational genetics, evolution and learning theories, and social systems.

Three main classes of evolutionary algorithms can be singled out: genetic algorithms, genetic programming, and classifier systems. Each of these classes allows of generating an initial population and an iterative treatment of this population. Followingly, in the course of time the "quality" of individuals existing within the population tends to increase.

Even in their simplest form evolutionary algorithms are convincing abstractions of biological evolutionary processes, which can be, by analogy, applied to the processes of social change. However, a certain caution is needed, if it comes to their applying as models of social processes. Their origins as instrumental optimization techniques can be incommensurable with desirable features of biological evolution such as non-existence of global knowledge and an external teleology.

Key words: classifier systems, evolutionary algorithms, genetic algorithms, genetic programming, social development

DIE ANWENDUNG VON EVOLUTIONSALGORITHMEN BEI DER KONSTRUKTION VON SIMULATIONSMODELLEN IN DER SOZIOLOGIE

Vjekoslav Afrić
Philosophische Fakultät, Zagreb

Zusammenfassung

Im Unterschied zu den klassischen soziologischen Methoden, die sich für eine Erforschung der Gesellschaftsdynamik nicht besonders eignen, ermöglicht die Methode der Simulationsmodelle die Gestaltung dynamischer Gesellschaftsmodelle, die durch eine Simulation von Experiment und Beobachtung ermöglichen, gesellschaftliche Prozesse zu erklären und vorauszusagen.

Die Simulationsmodelle gesellschaftlicher Entwicklung gründen zumeist auf der Evolutionstheorie, d. h. auf den Evolutionsalgorithmen. Die heute weit verbreiteten Evolutionsalgorithmen konnten mit Erfolg auf Probleme in zahlreichen Domänen angewendet werden. Dazu zählen Optimierung, automatisches Programmieren, maschinelles Lernen, Wirtschaft, Forschungsoperationen, Ökologie, Populationsgenetik, Evolutions- und Lernforschung sowie gesellschaftliche Systeme.

Drei Hauptarten von Evolutionsalgorithmen können hervorgehoben werden: genetische Algorithmen (Genetic Algorithms), genetisches Programmieren (Genetic Programming) und Klassifikationssysteme (Classifier System). Jede dieser Algorithmenklassen schließt das Generieren einer initialen Population von Individuen ein, sowie eine iterative Behandlung dieser Population, so daß im Laufe der Zeit die "Qualität" der existierenden Individuen steigt.

Sogar in ihrer einfachsten Form sind die Evolutionsalgorithmen überzeugende Abstraktionen von biologischen Evolutionsprozessen, die sich analog auf Prozesse gesellschaftlicher Veränderungen anwenden lassen. Gewisse Vorsicht ist jedoch in ihrer Anwendung als Modelle gesellschaftlicher Prozesse geboten. Dies bezieht sich vor allem auf ihre Herkunft als instrumentale Optimierungsstrategien, die mit den wünschenswerten Merkmalen der biologischen Evolution wie z.B. dem Nichtvorhandensein globalen Wissens und einer externen Teleologie nicht vereinbar ist.

Grundausdrücke: Evolutionsalgorithmen, genetische Algorithmen, genetisches Programmieren, gesellschaftliche Entwicklung, Klassifikationssysteme