

# Meta-optimizacija genetskog algoritma za rekonstrukciju slike

---

TIJANA ŽIVKOVIĆ

# Opis problema...

---

**Rekonstrukcija rasterske slike nizom jednobožnih dvodimenzionalnih figura istog tipa** pozicioniranim u granicama zadatih dimenzijama originalne slike.

Figure mogu biti proizvoljnih veličina koje zavise jedino od dimenzija polazne slike, tako da nijedna figura ne izlazi iz zadanog okvira.

Broj figura je unapred zadan.

**Cilj:** Odrediti boju, veličinu i poziciju svake u nizu figura tako da slika koja se dobija njihovim iscrtavanjem predstavlja dovoljno dobru rekonstrukciju polazne slike.

# ... kao optimizacionog problema

---

Ovako postavljen problem se može posmatrati kao problem optimizacije.

**Prostor pretrage** je skup svih mogućih rasporeda zadatog broja figura svih mogućih boja i veličina.

**Dopustivo rešenje** je niz figura:

- sa pozicijama i veličinama takvim da ne izlaze iz okvira zadatog dimenzijama originalne slike
- i bojama koje se mogu reprezentovati npr. RGB kolor modelom.

**Cilj:** Naći dopustiv niz figura čijim se iscrtavanjem dobija slika što sličnija originalnoj slici.

**Funkcija cilja:** Sličnost (ili različitost) sa originalnom slikom koju algoritam optimizacije maksimizuje (ili minimizuje).

# Genetski algoritam

---

Paradigma evolutivnih izračunavanja.

Implementacija koncepata iz Darwinove teorije biološke evolucije:

- prilagođenost jedinki – **fitnes funkcija** (zavisi od funkcije cilja)
- preživljavanje najprilagođenijih – operator **selekcije** (zavisi od fitnesa)
- reprodukcija jedinki – operator **ukrštanja** i operator **mutacije**

**Populaciona metaheuristika** koja vrši **stohastičku pretragu** prostora rešenja.

- Održava populaciju kandidata rešenja.
- Opšta strategija pretrage za rešavanje optimizacionih problema formulisana nezavisno od konkretnog problema.
- Slučajnost figuriše u pretrazi.

Genetski algoritam rešenje reprezentuje **nizom** vrednosti karakteristika (gena).

# Meta-optimizacija

---

Obuhvata dva nivoa optimizacije: meta-nivo i bazni nivo.

- Na meta-nivou optimizuju se parametri optimizacione tehnike na baznom nivou.
- Jedno rešenje na meta-nivou predstavlja vrednosti tih parametara.
- Funkcija cilja na meta-nivou se formuliše u zavisnosti od funkcije cilja na baznom nivou.
- Optimizacija meta-parametara može se sprovesti i nekom metaheuristikom.

Meta-optimizacija genetskog algoritma se može sprovesti genetskim algoritmom:

- Jedan **hromozom genetskog algoritma na meta-nivou** kodira jedan niz vrednosti parametara genetskog algoritma na baznom nivou.
- **Fitness jedinke na meta-nivou** izračunava se kao fitness najbolje jedinke (rešenja) koju pronalazi genetski algoritam na baznom nivou sa vrednostima parametara zadatih jedinkom na meta-nivou.

# Rešenje problema

---

Za rekonstrukciju slike razvijen je genetski algoritam.

Meta-optimizacija rekonstrukcije slike sprovedena je genetskim algoritmom.

Pojednostavljenje problema:

- Figura može biti kvadrat, krug ili trougao.
- Slike i njihove rekonstrukcije su u RGB modu.
- Boje figura su iz RGBA kolor modela (inicijalno bile iz RGB) i ne smeju biti potpuno prozirne.
- Unutrašnjost i ivica figure obojene su istom bojom.

Implementirana hijerarhija klasa Figure, Square, Circle i Triangle sa:

- neophodnim informacijama za njihovo iscrtavanje (Pillow biblioteka za iscrtavanje i rad sa slikama)
- metodama za sprovođenje mutacije (boje, veličine, pozicije i svih zajedno)

# Mutacije figura (gena)

---

## **Mutacija boje figure:**

- Dodavanje nasumično odabrane vrednosti iz fiksiranog intervala za svaki od R, G, B i A kanala.

## **Mutacija veličine figure:**

- Za kvadrat i krug: Dodavanje nasumično odabrane vrednosti iz fiksiranog intervala (zadati su gornjim levim temenom i dužinom stranice, odnosno prečnika).
- Za trougao: Uniformno skaliranje sa nasumično odabranim faktorom iz fiksiranog intervala (zadat temenima).

## **Mutacija pozicije figure:**

- Translacija za nasumično odabran vektor.

## **Nedopustiva rešenja se odbacuju:**

- Ako izmenjene vrednosti nisu dozvoljene, mutacija se ne sprovodi.

# Opšte karakteristike razvijenih GA

---

Inicijalizacija jedinki je nasumična.

Prvi odabran roditelj ne može učestvovati u selekciji drugog roditelja.

Dva roditelja ukrštanjem daju dva potomka.

Potomci zamenjuju roditelje u novoj populaciji.

Oba potomka mutiraju sa malom verovatnoćom.

Mutacija se sprovodi po svakom genu sa zatom verovatnoćom mutacije.

Rezultat je najbolja jedinka ikada pronađena.

---

**Algoritam 1** Pseudokod implementiranih genetskih algoritama

---

**if** *koristi elitizam* **and** *veličina elitističke populacije neparna* **then**

    Uvećaj veličinu elitističke populacije za 1;

**end if**

Kreiraj i inicijalizuj populaciju jedinki;

Izračunaj fitnes svake jedinke u populaciji;

Kreiraj i inicijalizuj listu najboljih jedinki na praznu listu;

**while** *nije dostignut zadat broj generacija* **do**

**if** *koristi elitizam* **then**

        Sortiraj jedinke u populaciji opadajuće prema fitnesu;

        Kreiraj elitističku populaciju od najboljih jedinki;

        Kopiraj elitne jedinke u novu populaciju;

**end if**

**while** *nije popunjena nova populacija* **do**

        Izvrši selekciju ne uključujući elitističku populaciju;

        Izvrši ukrštanje odabranih roditelja;

        Izvrši mutaciju potomaka;

        Evaluiraj potomke i dodaj ih u novu populaciju;

**end while**

    Postavi populaciju na novu populaciju;

    Dodaj najbolju jedinku u populaciji u listu najboljih jedinki;

**end while**

Vrati najbolju jedinku iz liste najboljih jedinki kao rezultat;

---



# GA za rekonstrukciju slike

---

**Jedinka** je predstavljena nizom zadatog broja figura istog zadatog tipa.

**Fitnes funkcija:** SSIM (structural similarity index measure iz scikit-image) između originalne slike i rekonstrukcije dobijene iscrtavanjem niza figura (jedinke). **Inicijalno korišćena MSE.**

Dva moguća **metoda selekcije** (tip selekcije je parametar GA): turnirska ili ruletska.

Tri moguća **metoda ukrštanja** (tip ukrštanja je parametar GA): uniformno, k-poziciono ili mešovito.

Mešovito ukrštanje (po uzoru na jednostavno aritmetičko ukrštanje):

- Nasumično se odabere pozicija ***p*** u hromozomu.
- Alele prvog roditelja do odabrane pozicije ***p*** nasleđuje prvi potomak, a alele drugog roditelja drugi potomak.
- Oba potomka na pozicijama nakon ***p*** imaju iste alele dobijene kombinovanjem roditeljskih alela na pozicijama nakon ***p***, prema formuli:  $\alpha * a_1 + (1 - \alpha) * a_2$ , za  $\alpha \in (0,1)$

**Mutacija:** Mutacija i boje i veličine i pozicije svake figure sa zadatom verovatnoćom mutacije.

# GA za meta-optimizaciju

---

**Jedinka** je predstavljena nizom meta-parametara algoritma za rekonstrukciju slike.

**Fitnes funkcija:** Fitnes rezultata koji vrati GA za rekonstrukciju slike sproveden sa parametrima kodiranih jedinkom.

**Selekcija** je turnirska i identična je turnirskoj selekciji impementiranoj za GA za rekonstrukciju slike.

**Ukrštanje** je uniformno:

- Postoji provera dopustivosti zbog međuzavisnosti meta-parametara (npr. veličine populacije i veličine turnira). Nedopustiva rešenja se odbacuju.

**Mutacija:** po svakom genu hromozoma pojedinačno sa zadatom verovatnoćom mutacije:

- Mala promena vrednosti svakog od meta-parametara.
- Metode selekcije i ukrštanja mutiraju nasumičnim odabirom neke od preostalih metoda.
- Nedopustiva rešenja se odbacuju: Ako izmenjene vrednosti nisu dozvoljene, mutacija se ne sprovodi.

# Procena kvaliteta meta-opt. GA (1)

---

Poređenje meta-optimizacionog GA sa nasumičnom inicijalizacijom parametara GA za rekonstrukciju slike (za svaku od 5 slika u test skupu za svaki tip figure).

Opseg vrednosti parametara GA za rekonstrukciju slike:

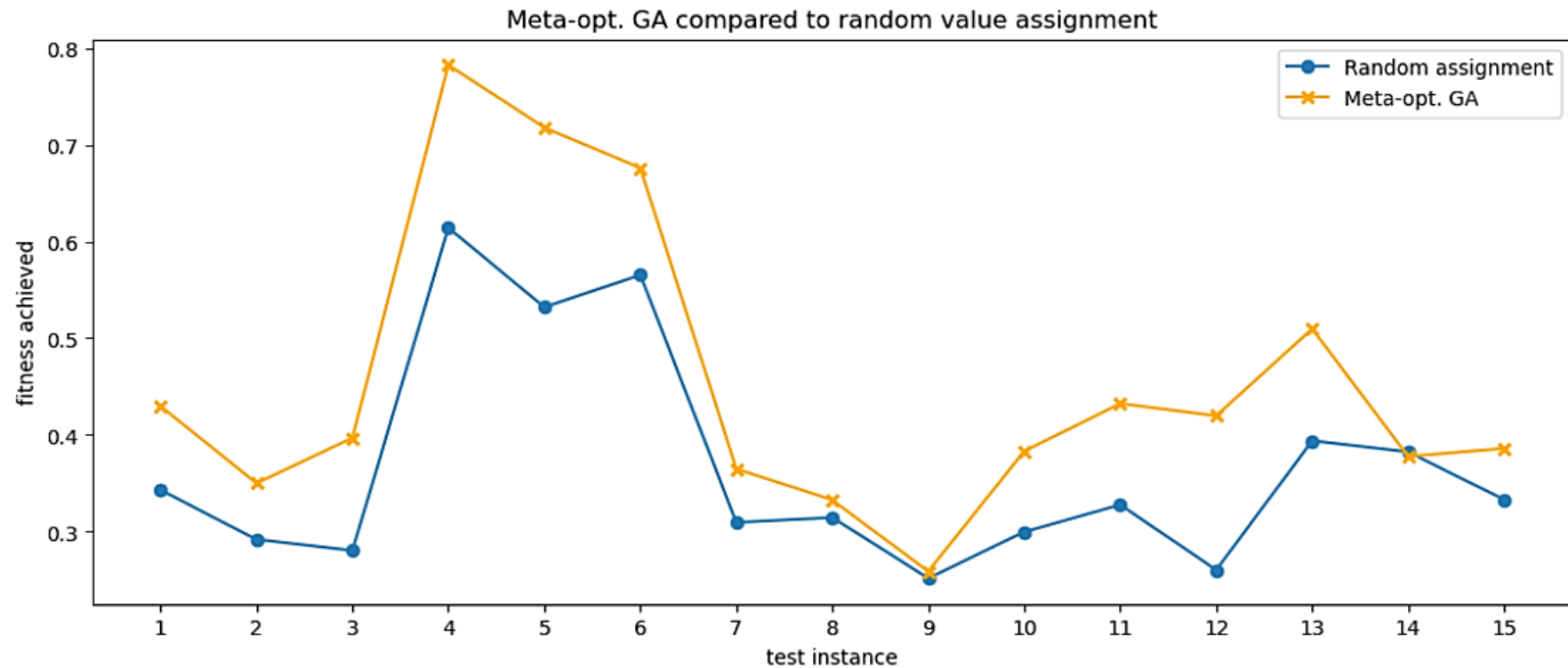
- broj figura  $\in [50, 200)$
- broj generacija  $\in \{50, 60, \dots, 190\}$
- veličina populacije  $\in \{10, 12, \dots, 198\}$
- verovatnoća mutacije  $\in [0.01, 0.2)$
- selekcija je ili turnirska ili ruletska
- ukrštanje je ili uniformno ili k-poziciono ili mešovito

Parametri meta-optimizacionog GA: Veličina populacije 4, broj generacija 4, elitizam se primenjuje sa veličinom 2, a verovatnoća mutacije i veličina turnira jednake su redom 0.1 i 2.

Meta-opt. GA je za 14/15 test instanci dao bolje rezultate.

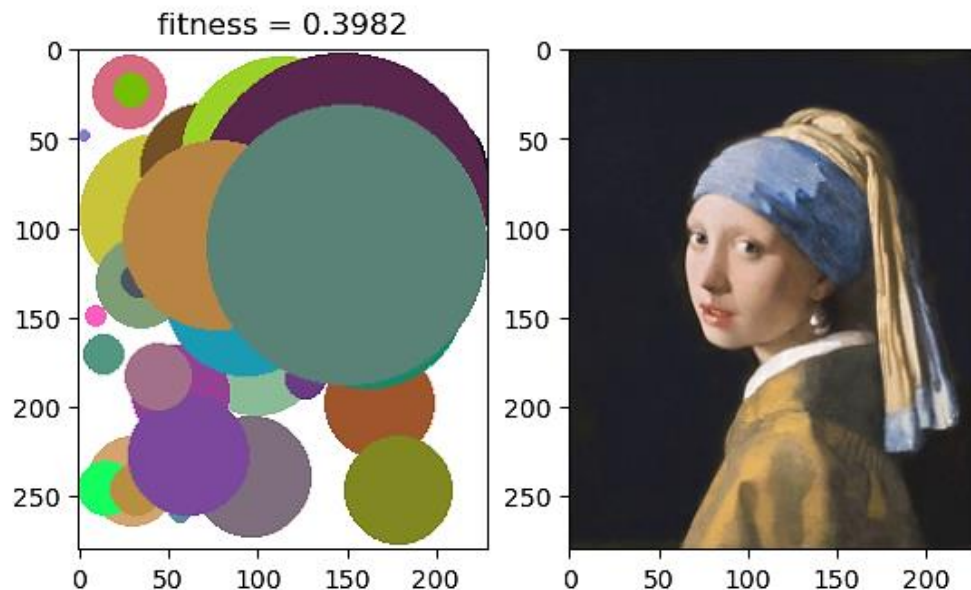
Za jednu test instancu dostigao je fitnes za 0.0047 manji od fitnesa koji dostiže GA za rekonstrukciju sa nasumično inicijalizovanim parametrima.

# Procena kvaliteta meta-opt. GA (2)



# Testiranje sa fiksiranim vrednostima

Meta-optimizacioni GA testiran je sa identično postavljenim parametrima kao u proceni kvaliteta, osim za veličinu populacije (6).



GA za rekonstrukciju slike je, takođe, testiran ručnim podešavanjem parametara.

Za oba GA važi da:

- Malo poboljšava fitness najbolje jedinice u populaciji (ili bar ne pogoršava ako primenjuje elitizam).
- Dobijena rekonstrukcija u velikoj meri odstupa od originala.
- Veoma je vremenski zahtevan.
- Ima prostora za poboljšanje.