

Основне академске студије  
Информациони инжењеринг

Методе и технике науке о подацима

# Локалне претраге

(материјали за предавања)

1. Увод у локалне претраге
2. Метода успона
3. Табу претрага
4. Симулирано каљење
5. Генетски алгоритми
6. Извори и литература

## Локалне претраге

посебна класа претрага

локалност током поступка тражења

претрага се одвија итеративно по корацима

корак претраге се одвија углавном у околини текућег стања

околина текућег стања су стања која су на нивоу простора стања релативно блиска (слична) текућем стању

ново текуће стање је углавном у околини претходног текућег стања

до новог текућег стања углавном се стиже релативно мањим поацима у простору стања у односу на текуће стање

релативно мањим изменама текућег стања

понекад могу бити дозвољени и преласци на релативно удаљена стања

релативно веће измене текућег стања

## Локалне претраге

не мора постојати унапред дато почетно стање

претрага може започети од и неког насумично одабраног стања  
избор новог текућег стања

међу околним стањима у односу на текуће стање може бити изабрано оно  
стање које је најбоље по посматраном својству

ново текуће стање понекад може бити насумично одабрано

међу стањима у околини текућег стања

међу свим стањима

зависно од конкретне процедуре претраге, разноврсни критеријуми избора  
новог текућег стања могу бити примењени

## Локалне претраге

након избора новог текућег стања, информације о претходном текућем стању обично није потребно чувати

уtroшак меморије може бити знатно смањен у односу на класичне процедуре претраге

чувају се информације само за текуће стање

код неких процедура претраге постоје и евиденције о обрађеним стањима

## Локалне претраге

### завршетак претраге

тражење циљног стања у складу с постављеним критеријумом  
провера завршетка претраге не мора се увек сводити на проверу поклапања  
текућег стања и циљног стања

облик циљног стања не мора бити унапред познат  
могу бити познате карактеристике које циљно стање мора поседовати  
може постојати својство по којем стања могу бити поређена

путања од почетног до циљног стања не мора бити битна

откривено циљно стање може представљати решење  
без укључивања свих претходних текућих стања која су обрађена током  
претраге

обично потребно наћи што боље решење

у случају коришћења ценовне функције  
пронаћи решење с најнижом ценом

## Локалне претраге

### критеријум завршетка претраге

проналажење најповољнијег стања по одабраном својству

проналажење стања које је прихватљивог квалитета по одабраном својству

достизање прописаног максималног броја итерација

у одређеном броју узастопних итерација претрага не налази повољнија стања

могући су и разни други критеријуми

## Локалне претраге

могу бити коришћене и када простори стања велики или бесконачни

обично није потребна велика количина меморије

претрага може трајати дуго

могу бити примењене и над задацима задовољења ограничења

могу бити примењене и над задацима оптимизације

## Задатак задовољења ограничења

### елементи задатка задовољења ограничења

скуп променљивих

скуп домена

домен садржи вредности

свакој променљивој одговара домен

додела представља пресликавање променљивих на одговарајуће вредности

променљива може бити преликана само на вредност из домена придруженог тој променљивој

врсте доделе

потпуна додела одговара случају када свака променљива бива преликана на неку одговарајућу вредност

делимична додела одговара случају када само неке променљиве бивају преликане на одговарајућу вредност

скуп ограничења

ограничење је представљено као пар опсег–релација

опсег описује променљиве на које се ограничење односи

релација описује вредности које променљиве из опсега смеју имати

## Задатак оптимизације

### елементи задатка оптимизације

скуп променљивих

свака променљива има придружен домен

објективна функција

пресликавање потпуних додела на скуп реалних бројева

критеријум оптималности

проналажење потпуне доделе којој одговара оптимална вредност објективне функције

екстремна вредност

минимум или максимум, зависно од поставке конкретног задатка

## Простор стања

стање може бити представљено као додела (могући свет)

у многим случајевима практичније је представити стање преко променљивих и њихових вредности

број променљивих обично је знатно мањи од броја стања

димензионалност простора стања

свака променљива представља једну димензију

врсте променљивих

дискретна променљива

континуална променљива

„пејзаж” простора стања

„рељеф” простора стања

паралела с географским пределом

одређене правилности у простору стања могу имати посебан утицај на ток локалне претраге

препознате су карактеристичне појаве у простору стања које могу имати негативан утицај

## Одлике простора стања

### карактеристичне појаве

#### глобални оптимум

стање које одговара оптималној вредности објективне функције

стање од којег не постоји боље

може бити описано као потпуна додела од које не постоји боља представља стање које је потребно открити током претраге

#### локални оптимум

стање од којег у његовој посматраној околини не постоји боље

може бити описано као потпуна додела у чијој околини не постоји боља представља стање које може имати негативан утицај на извођење претраге у случају да буде обухваћено током претраге

у околини локалног оптимума не постоји боље стање и понекад тиме претрага може бити онемогућена да напредује према глобалном оптимуму

у неким задацима не може бити разлучено да ли је пронађени локални оптимум истовремено и глобални

## Одлике простора стања

### карактеристичне појаве

#### висораван (плато)

област простора стања која обухвата стања која су подједнако добра

постоје висоравни које повезане са бољим стањима

постоје висоравни које нису повезане ни са једним бољим стањем

област која може негативно утицати на ток претраге

већи број корака претраге може бити посвећен испитивању стања која

припадају висоравни, али та испитивања углавном не доприносе напретку

према глобалном оптимуму

#### гребен

област нанизаних локалних оптимума који се простиру у истом или блиском правцу у простору стања

област која може негативно утицати на ток претраге

## Примери процедура за локална претраживања

метода успона

табу претрага

симулирано каљење

генетски алгоритми

метода градијентног спуста (успона)

...

1. Увод у локалне претраге
- 2. Метода успона**
3. Табу претрага
4. Симулирано каљење
5. Генетски алгоритми
6. Извори и литература

## Метода успона

енгл. *hill-climbing search*

примењује се за потребе налажења глобалног максимума

може бити једноставно прилагођена за налажење глобалног минимума  
метода спуста

претрага тече тако што се у сваком кораку за ново текуће стање бира из околине текућег стања оно стање које је боље од текућег у погледу вредности објективне функције

ново текуће стање се налази у околини претходног текућег стања

ново текуће стање има већу вредност објективне функције од претходног текућег стања

на почетку претраге поставља се текуће стање

## Метода највећег успона

варијанта методе успона за случај највећег успона

енгл. *steepest-ascent hill-climbing search*

ток претраге се усмерава према околним стањима преко којих се може остварити највећи напредак у погледу вредности објективне функције

приликом преласка на ново стање да буде остварено најбоље могуће повећање вредности објективне функције у односу на текуће стање

као ново текуће стање бира се оно које је најбоље међу стањима у околини текућег и које је боље од текућег

примењује се принцип сличан оном који се користи код похлепне претраге из класе навођених претрага

## Метода највећег успона

### основни ток претраге

1. за текуће стање насумично се бира неко од стања из простора стања  
ако постоји унапред одређено почетно стање, оно постаје текуће стање
2. испитује се околина текућег стања  
међу стањима која су у околини текућег, стање које је најбоље у погледу вредности објективне функције постаје кандидат за текуће стање  
ако постоји више стања у околини којима одговара иста најбоља вредност објективне функције за посматрану околину, једно од њих може насумично бити одабрано као кандидат за текуће стање
3. бира се ново текуће стање  
проверава се да ли је стање кандидат боље по вредности објективне функције у односу на текуће стање  
ако јесте, стање кандидат постаје текуће стање  
ако није, претрага је завршена  
текуће стање представља пронађено решење
4. прелази се на испитивање околине текућег стања (прелазак на корак 2)

## Метода успона

релативно једноставна процедура претраге  
претрага може бити завршена пре достизања глобалног оптимума  
осетљива на избор почетног стања  
осетљива на локалне оптимуме, висоравни и гребене  
постоје разне унапређене варијанте

стохастичка метода успона

енгл. *stochastic hill-climbing search*

за ново текуће стање насумично се бира неко од стања из околине текућег стања  
за која може бити остварено побољшање у погледу вредности објективне  
функције, при чему вероватноћа избора зависи од вредности побољшања

репетитивна метода успона

енгл. *random-restart hill climbing search*

понављање претраге методом успона за насумично одабрана почетна стања

1. Увод у локалне претраге
2. Метода успона
- 3. Табу претрага**
4. Симулирано каљење
5. Генетски алгоритми
6. Извори и литература

## Табу претрага

претрага током које се одржава евиденција посећених стања која не могу бити поново посећена (забрањена стања)

табу листа

листа дужине  $t$  у којој је садржано  $t$  стања која су већ посећена и не могу бити поново посећена

параметар  $t$  може бити предмет оптимизације

чување табу листе захтева додатни утрошак меморије

механизам забрањених стања може бити потенцијално решење за проблем наиласка на локални оптимум током претраге

потенцијално решење за проблем „лутања” на висоравни

постоје разне варијанте табу претраге

1. Увод у локалне претраге
2. Метода успона
3. Табу претрага
- 4. Симулирано каљење**
5. Генетски алгоритми
6. Извори и литература

## Симулирано каљење

енгл. *simulated annealing*

као инспирација послужио је процес каљења

термичка обрада материјала ради добијања жељених својстава

по одређеном режиму, материјал се загрева до високе температуре и потом се хлади

претрага захтева одређивање режима каљења

уводи се концепт температуре која се мења током трајања претраге у складу са задатим режимом

обично се почиње од високе температуре која се даље смањује

температура утиче на извођење корака претраге у којима приликом избора новог текућег стања долази до погоршања у погледу вредности објективне функције

## Симулирано каљење

током претраге, осим прелазака на стања при којима долази до побољшања вредности објективне функције, могу се догодити и преласци при којима долази до погоршања

из околине за текуће стање  $s$  насумично се бира једно стање  $c$  и разматра се могућност преласка са стања  $s$  на стање  $c$

прелазак који доводи до побољшања увек бива прихваћен

прелазак који доводи до погоршања бива прихваћен с неком вероватноћом  $P(c)$

тренутна вредност температуре  $T$  позитивно утиче на вероватноћу прихватања

погоршање негативно утиче на вероватноћу прихватања

$$P(c) = e^{-\frac{f(c)-f(s)}{T}}$$

$f$  је објективна функција за коју се тежи минимизацији

## Симулирано каљење

### основни ток претраге

1. за текуће стање насумично се бира неко од стања из простора стања  
ако постоји унапред одређено почетно стање, оно постаје текуће стање
2. испитује се температура  
очитава се тренутна вредност температуре по задатом режиму  
ако је температура достигла нулу, претрага је завршена  
текуће стање представља решење
3. испитује се околина текућег стања  
међу стањима која су у околини текућег, насумично одабрано стање постаје кандидат за текуће стање
4. испитује се стање кандидат за ново текуће стање  
проверава се да ли је стање кандидат боље по вредности објективне функције у односу на текуће стање  
ако јесте, стање кандидат постаје текуће стање  
ако није, стање кандидат постаје текуће стање само с одређеном вероватноћом која зависи од тренутне температуре и промене у вредности објективне функције до које би дошло постављањем новог текућег стања  
ако стање кандидат не постане текуће стање, нема промене текућег стања
5. прелази се на испитивање температуре (прелазак на корак 2)

1. Увод у локалне претраге
2. Метода успона
3. Табу претрага
4. Симулирано каљење
- 5. Генетски алгоритми**
6. Извори и литература

## Генетски алгоритми

рад Џона Холанда (година 1960)

као инспирација послужили су еволуциони процеси

теорија еволуције у биологији

област еволутивног рачунарства

сличност са стохастичком претрагом снопом

током претраге разматра се више решења истовремено

решење одговара стању

решења пролазе кроз разне промене

промене се изводе у циљу побољшања текућих стања

на основу текућих стања бивају формирана нова текућа стања

### ОСНОВНИ КОНЦЕПТИ

јединка

прилагођеност

популација

## Генетски алгоритми

### јединка

одговара појединачном стању у току претраге

потпуна додела

представља могуће решење за постављени задатак

потребно је осмислити начин како да решење буде описано

### прилагођеност јединке

одређена помоћу функције прилагођености

прилагођеност описује колико је јединка као решење добра

## Генетски алгоритми

### популација

скуп јединки

популација пролази кроз генерације

свака генерација представља једну основну итерацију у поступку претраге у свакој генерацији долази до промена у јединкама промене се спроводе по фазама

#### фаза селекције

бирају се јединке на основу којих ће настати нове јединке

јединке које су боље прилагођене имају већу вероватноћу да буду одабране

#### фаза укрштања

одабране јединке се међусобно комбинују по паровима

у формираном пару јединки долази до размене генетског материјала и формирања нових јединки

одређени делови два решења бивају размењени тако да настају два нова решења

#### фаза мутације

међу новим јединкама долази до одређених промена с одређеном вероватноћом

делови појединачних решења могу бити измењени

## ОСНОВНИ ТОК

успоставља се почетна популација

бива формиран одређени број јединки

може бити неки паран број

за текућу популацију формира се нова популација

у фази селекције бирају се јединке за укрштање

у фази укрштања долази до формирања нових јединки

у фази мутације долази до мењања нових јединки

нова популација постаје текућа популација

поступак формирања нове популације и постављања текуће

популације понавља се колико је неопходно

док не буде пронађено жељено решење

док популација не постане хомогена

док разлике између узастопних популација не постану релативно мале

док не прође одређени број генерација

...

1. Увод у локалне претраге
2. Метода успона
3. Табу претрага
4. Симулирано каљење
5. Генетски алгоритми
- 6. Извори и литература**

## Основни извори и литература

- ◆ Russel S, Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd edition. Pearson Education (Upper Saddle River, NJ, USA); 2010.
- ◆ Poole DL, Mackworth AK. Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents. 3rd edition. Cambridge University Press (Cambridge, UK); 2023. Internet: <https://www.artint.info/index.html>
- ◆ Michalewicz Z, Fogel DB. How to Solve It: Modern Heuristics. 2nd edition. Springer (Berlin, Germany); 2004.
- ◆ Shiffman D. The Nature of Code. Internet: <https://natureofcode.com/>

## Додатни извори и литература

- ◆ Pearl J. Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving. Addison-Wesley Publishing Company (Reading, MA, USA); 1984.
- ◆ Anis Koubaa. 1D search landscape. Internet: [https://aniskoubaa.org/se444/lecture04-local/landscape\\_1d.php](https://aniskoubaa.org/se444/lecture04-local/landscape_1d.php)
- ◆ Ivan Zelinka. Hill-climbing algorithm. Wolfram Demonstrations Project. 2009. Internet: <https://demonstrations.wolfram.com/HillClimbingAlgorithm/>
- ◆ NASA. Evolved antenna. Internet: <https://www.jpl.nasa.gov/nmp/st5/TECHNOLOGY/antenna.html>
- ◆ Karl Sims. Karl Sims home page. Internet: <https://karlsims.com/>

Основне академске студије  
Информациони инжењеринг

Методе и технике науке о подацима

# Локалне претраге

(материјали за предавања)