

Рачунарски Факултет
Универзитета Унион

Симулација Шелинговог модела сегрегације

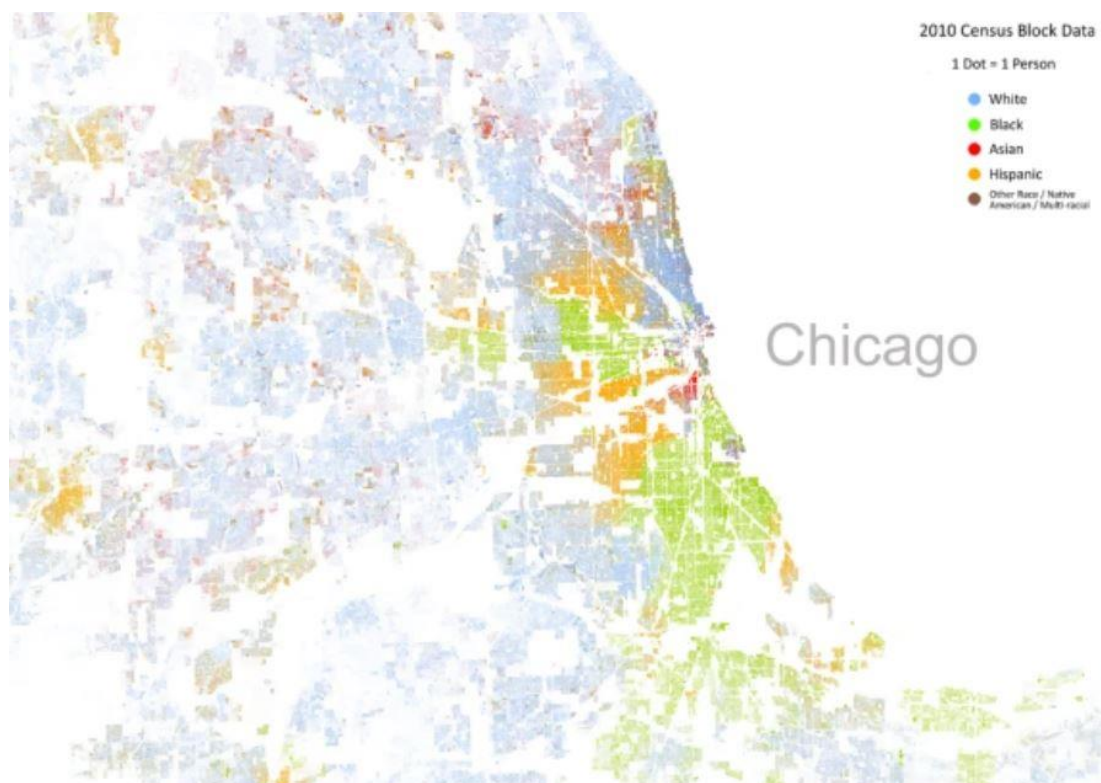
Ментор
Игор Цигановић

Ученик
Стефан Николић

Београд, мај 2020.

1. Увод

Опште је познато да појединци сличних идеја, навика или преференција теже ка групацији у заједницама. Ова чињеница на већим скалама резултује у сегрегацију друштва. Амерички економиста, професор и нобеловац, Томас Шелинг, 1970-их година представља прву теоријску студију овог феномена друштвене сегрегације како би показао како мале разлике у мотивима на микронивоу утичу на свеукупно понашање целе популације на макронивоу. Шелинг је дефинисао модел који чине две врсте агената насумично постављених на поља шаховске табле. Поље шаховске табле може бити окупирано од стране само једног агента. Уколико агенти нису задовољни својим окружењем, односно уколико однос броја агената друге врсте који га окружују и толеранције које агент има према агентима друге врсте није задовољавајућ, агент се премешта на неко од празних поља у циљу проналажења задовољавајућег окружења. Овим једноставним моделом, Шелинг је успешно приказао да и у потпуно интегрисаним градовима до сегрегације долази чак и када појединци имају веома благу склоност ка суседима своје врсте. Овакав модел показао се као врло користан за изучавање расне, верске и етичке сегрегације на глобалном нивоу. Овај модел најочљивији је у Америчком граду Чикаго, где је дугим низом година дошло до скоро потпуне расне сегрегације црне и беле расе (приказано на слици бр.1), док је верска сегрегација најизраженија у Израелским градовима.



Слика бр.1: Расна сегрегација Чикага

2. Модел

Модел се одвија у простору квадратног облика (табели, решетци) димензија N^2 . Узимамо у обзир две изразито различите групе, (то могу бити људи црне и беле расе, муслимани и јевреји, богати и сиромашни итд.), у одређеном односу које чине популацију. Поља табеле насумично попуњавамо популацијом, као и одређеним бројем празних поља (ненасељеност). Популација има одређен степен толеранције, који показује колико припадника друге групе агент може да "истрпи" око себе (толеранција од 50% значи да појединац може да живи у комшилуку у коме бар половина људи припада истој групи као и он сам). Уколико проценат припадника друге групе (комшиluk) који окружује агента превазилази онај дозвољен толеранцијом, агент постаје незадовољан и жели да се сели.

За сваког агента проверава се да ли је задовољан или не. Уколико је задовољан, агент остаје на свом месту. Уколико није задовољан, истовремено, заједно са осталим незадовољним агентима, сели се насумично на неко од слободних места (њихова стара места постају празна). Уколико неки агент не нађе место за пресељење, остаје на својој позицији до следећег потеза, када, уколико је још увек незадовољан, поново има шансу да се пресели. Овај процес се понавља одређен број пута, најчешће док општи степен задовољства не конвергира.

3. Компјутерски алгоритам

3.1 Алгоритам

За представљање Шелинговог модела сегрегације коришћен је програм написан у програмском језику Python. Симулиране су две групе агената истог степена толеранције. Омогућено је мењање шест кључних параметара: величина матрице (табеле), степен толеранције, проценат ненасељености (празна поља), видно поље агената, однос бројности припадника двеју популација и број итерација (број генерација).

1. Генерисање матрице - на почетку симулације, с обзиром на вредности предходно дефинисане почетним параметрима, насумично се генерише иницијална популација, са одређеним односом бројности припадника двеју група. То се постиже тако што се пољима матрице доделе насумичне бројне вредности: 1 и 2 за припаднике различитих популација. Насумична поља се затим "раселе" - конвертују у празна поља (њихова вредност постане 0; ово додаје малу насумичност односу бројности група). Ова поља се раселе тако да њихов број одговара претходно задатом проценту ненасељености.

2. Испитивање - за сваког агента се испитује проценат припадника његове групе који се налазе у његовом видном пољу, тј. унутар задатог растојања R од њега. Уколико је тај број мањи него што толеранција агента дозвољава, агент се додаје на листу незадовољних (агената који желе да се селе).

3. Премештање – након што се испита задовољство свих агената, агенти са листе незадовољних насумично се бирају и премештају (селе) на насумично изабрана празна поља.

4. Анализа - овај процес (кораци 2 - 3) се понавља кроз одређен број итерација (генерација), при чему се генерише слика система на свакој двадесетој петој итерацији. На крају симулације, генерише се график зависности општег задовољства у систему од броја итерације.

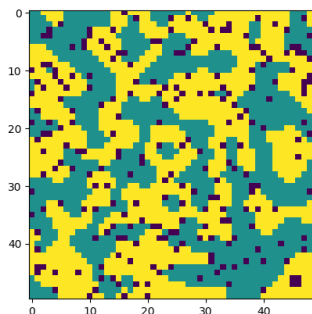
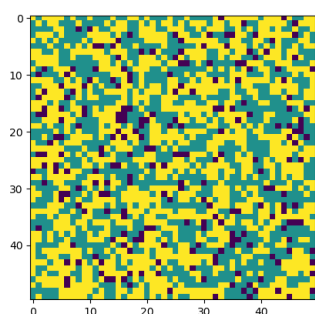
3.2 Основно стање система

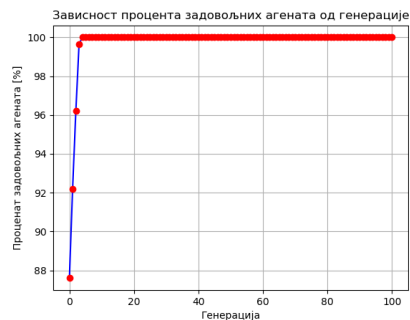
Параметри система варирани су појединачно и испитиван је њихов утицај на стање система. За основно стање система узети су следећи параметри:

- величина матрице: 50×50
- степен толеранције: 50%
- ненасељеност: 10%
- однос двеју популација: 1:1 (50%)
- видно поље: 1

Шелинг је и сам приметио да за степен толеранције мањи од 20% или већи од 70% ретко долази до икакве промене у систему. Када је толеранција већа од 70%, скоро сви агенти су задовољни већ у иницијалној фази система, а у већини случајева када је толеранција мања од 20%, без обзира на број итерација, није могуће постићи опште задовољство система. Степен ненасељености већи од 33% ствара нереалну слику система, стога, за основни проценат ненасељености узета је вредност од 10%.

Симулација система са овако задатим почетним параметрима показује да систем достиже степен задовољства 100%, уз дендритску сегрегацију након 5 генерација (слика бр. 2).





Слика бр.2: Почетно и финално стање симулације при почетним параметрима и график

У даљем раду при врирању одређеног параметра, остали су држани на својим основним вредностима.

4. Симулације

4.1 Варирање толеранције

Толеранција је варирана кораком од 5%, у интервалу 5% – 95%. Да се приметити да са порастом степена толеранције систем све брже конвергира (на толеранцији 95% већ у другом кораку). График бр.2 (слика бр.3) можемо поделити на 4 велика интервала, чије су границе на вредностима (почев од 5%): 25%, 40% и 50%.

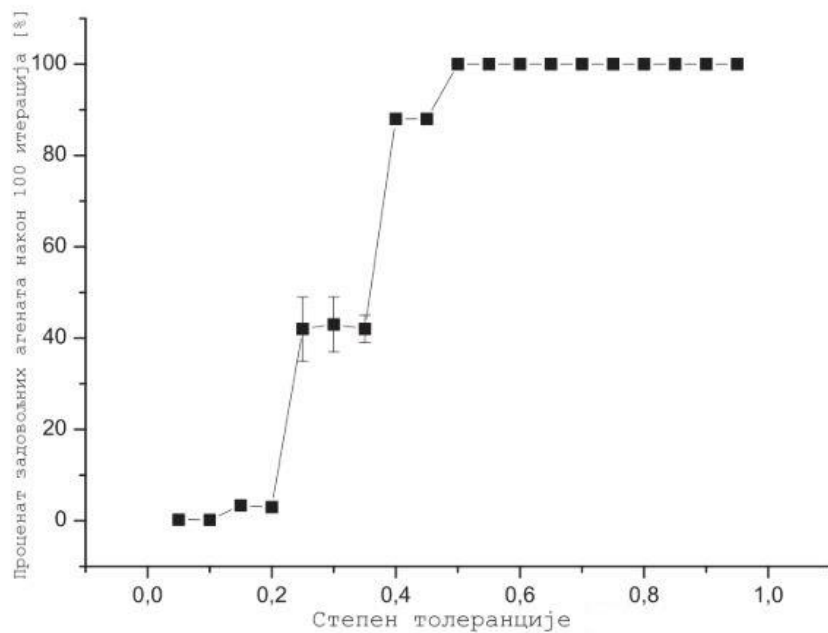
Примећено је да степен задовољства у систему достиже 100% за све вредности толеранције веће или једнаке 50%. Пошто је коришћени однос почетних популација био 1:1, очекивано је да половина суседа просечног агента припада супротној групи, што објашњава зашто до конвергирања долази баш при овим вредностима.

Тривијално, уз веће степене толеранције, сегрегација у систему се смањује. Иако је изражена за толеранцију од 50%, за вредност од 95% једва је приметна (иако још увек постоји минимално одступање од насумичности). За вредности толеранције 40% – 50%, систем конвергира на вредностима општег задовољства мањим од 100%, и то веома блиским (око 87%).

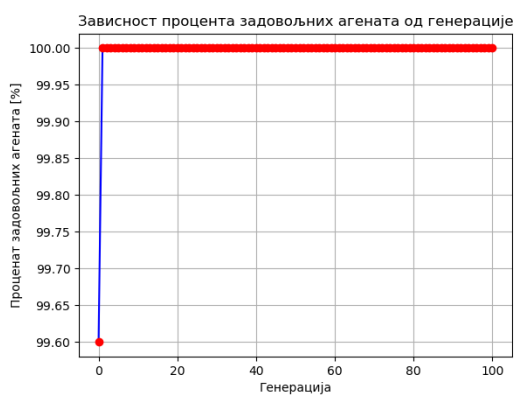
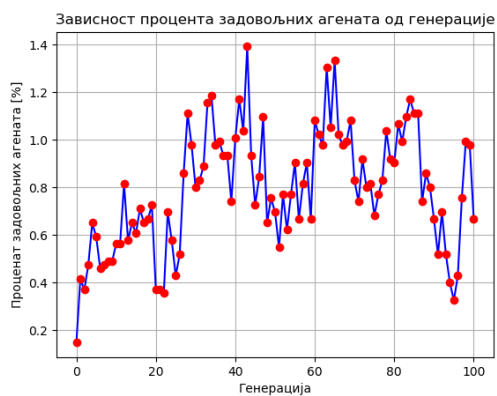
Уз толеранцију од 40% и комшилуку величине 8 поља (девето поље, у центру комшилука, заузима сам агент), 3,2 комшије могу припадати супротној групи, док за толеранцију 45% тај број износи 3,6. При односу популација 1:1 агент толеранције 40% ће бити незадовољан исто колико и онај од 45% или 49%, јер број комшија мора бити природан, те се и 3,2 (за агента 40% толеранције), и 3,92 (за агента 49% толеранције) заокружује на 3 комшије супротне групе које агент може да истрпи у свом комшилуку. Ово објашњава блиске вредности конвергираног степена задовољства у систему, као и "скокове" на графику и може се применити и на остале интервале.

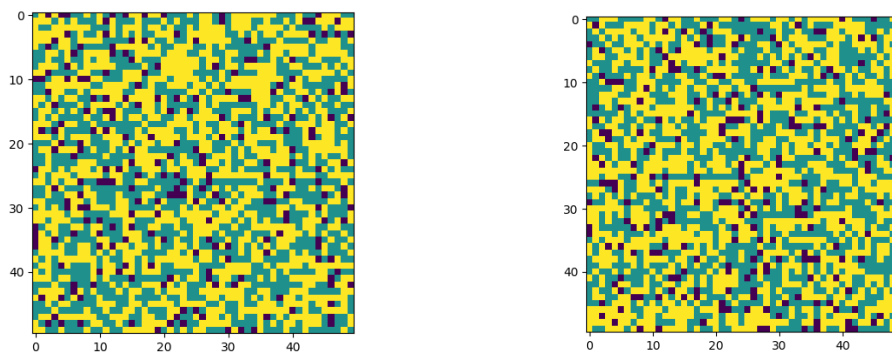
На конкретну крајњу вредност општег задовољства у систему највише утичу агенти који се налазе на ивицама групација (кластера) агената исте врсте. При формирању група,

остају незадовољни само они агенти који се налазе на границама две групе, док су они у унутрашњости задовољни.



Слика бр.3: График зависности општег задовољства од степена толеранције, након 100 итерација





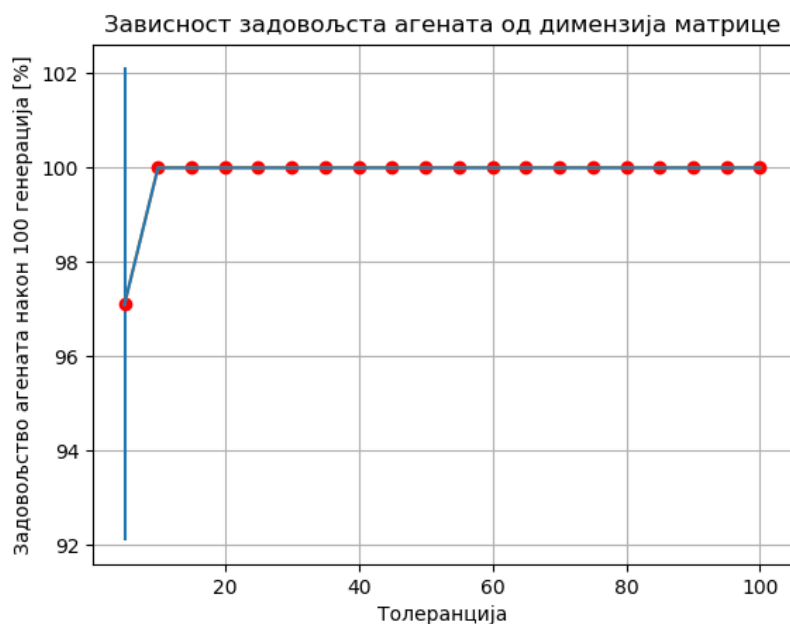
Слика бр.4: Екстремне вредности толеранције дају сличан резултат (лево – толеранција од 5%; десно – толеранција од 95%), жута и зелена боја представљају припаднике двеју групација, а црна ненасељена поља

За вредности толеранције 5% – 40% систем не достиже потпуно (100%-тно) опште задовољство. Стално незадовољни агенти на границама већ постојећих групација насумично се селе, што изазива да се кластери теже формирају и стално распадају, отежавајући груписање. Овај процес континуираног формирања и распадања групација, на графику се оцртава у виду бројних амплитуда (слика бр.4, лево). У идеалном случају (када би било могуће „жртвовати“ задовољство граничних агената зарад бољитка већине), уз довољно времена, систем би могао да достигне ниво задовољства близак ономе при 40% – 49%, јер се задовољство граничних агената у овом случају не би значајно одразило на опште задовољство целог система.

Симулацијом је јасно приказано да је општа сегрегираност система мања за случајеве када је вредност толеранције у интервалу 5% – 40% у односу на случајеве са толеранцијом преко 50%. Овај податак испрва звучи нелогично, с обзиром да је очекивано да се у расистичком друштву (где је толеранција слаба) јавља јасна и изразита подела међу две популације (велика општа сегрегираност). Међутим, треба имати у виду да у Шелинговом моделу не постоји присиљавање агената да живе одвојено, већ да они "својом вољом" бирају да се селе. Док у реалном расистичком друштву, појединци су натерани да живе одвојено. Гета се формирају на вештачки начин, протеривањем мањина, нису последица спонтаног процеса. Овде, агенти се селе уколико су незадовољни, а како их је тешко задовољити (за вредности толеранције 5% – 40%), селидбе су учестале, што онемогућава стварање великих и сегрегираних група, јер насумичност места пресељења уноси диверзитет у систем.

4.2 Варирање димензија матрице

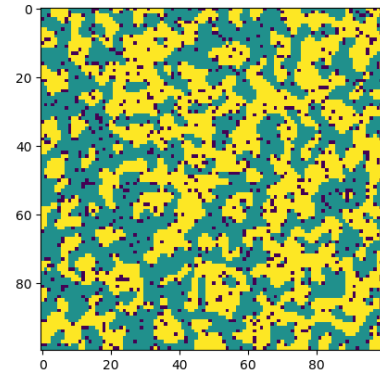
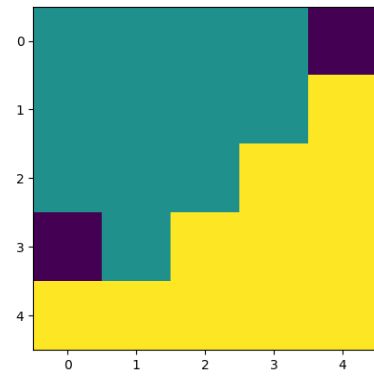
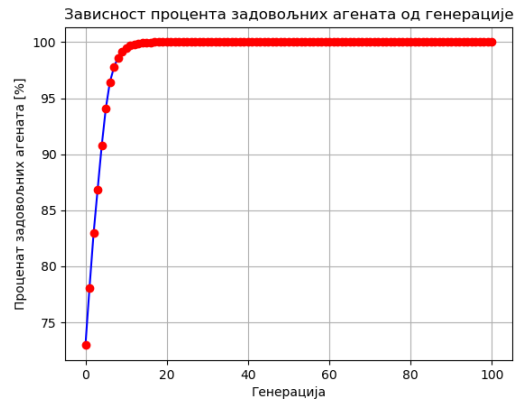
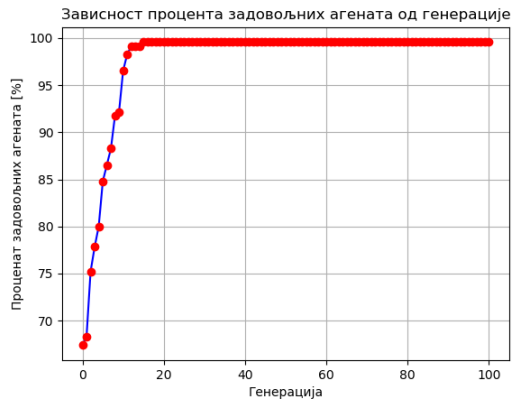
Димензије матрице вариране су у интервалу од 5×5 до 100×100 , кораком од 5.



Слика бр.5: График зависности општег задовољства од димензија матрице након 100 итерација

Симулација показује да не постоје битне разлике у коначној вредности општег задовољства. За димензије 10×10 и веће задовољство је увек достигало 100%, док је за мање вредности ова вредност обухваћена грешком (одступање је последица насумичности у систему). Дакле, иако мање матрице теже мањим вредностима коначног задовољства (што је очекивано, јер агенти имају мање места да се селе), уз толеранцију 50% и однос у бројности 1:1, величина матрице не утиче значајно на коначно задовољство популације.

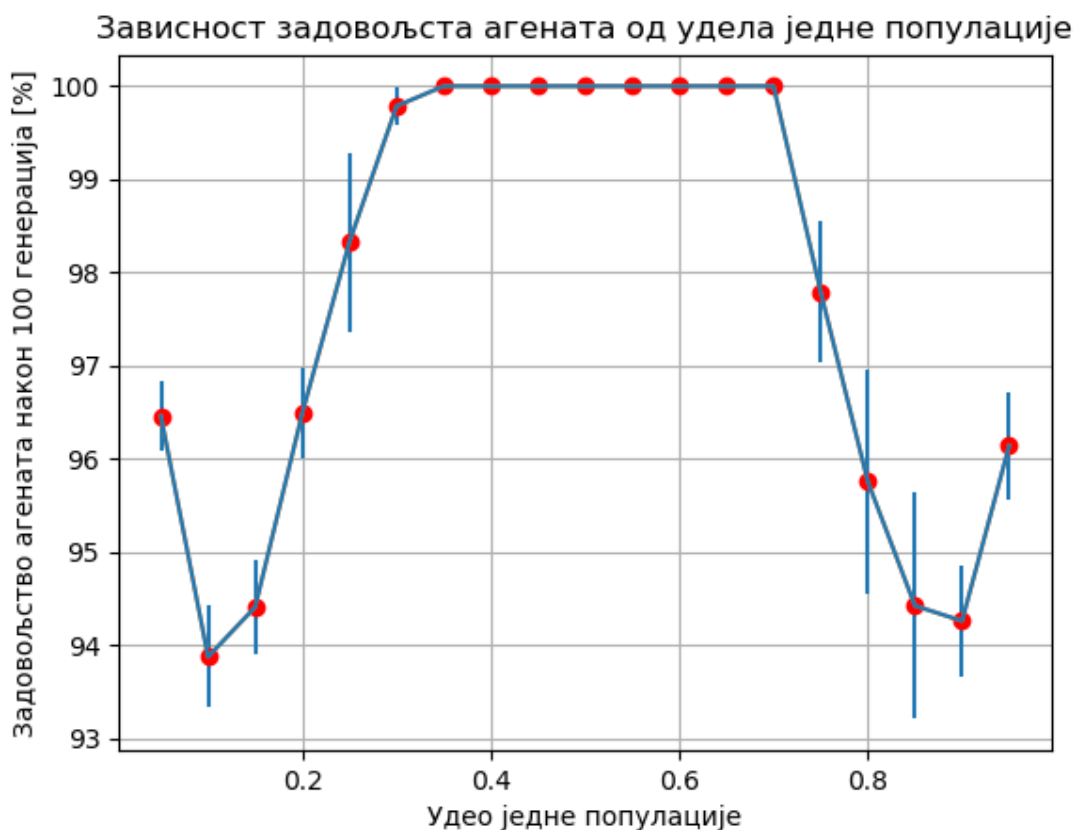
Приказанао је да у мањим матрицама долази до потпуне сегрегације (могу се уочити само две јасно одвојене групације; слика бр.6, лево), осим у малом броју случајева, код којих је она нарушена насумичношћу пресељавања. У већим срединама (матрицама), иако је сегрегација и даље веома изражена, групације агената истих врста попримају неправилан облик, са честим издвајањем релативно малих кластера од главне групације (ово се назива деднритска сегрегација; слика бр.6, десно). При малим димензијама матрице, нема места за стварање оваквих група које би ублажиле потпуну сегрегираност.



Слика бр.6: Стање система након 100 итерација
(лево – матрица димензија 5x5; десно – матрица димензија 100x100)

4.3 Варирање удела једне од двеју популација

Вариран је проценат припадника једне групе у интервалу 5% – 95%, кораком од 5%. Резултати су приказани на графику 7 (слика бр.7).



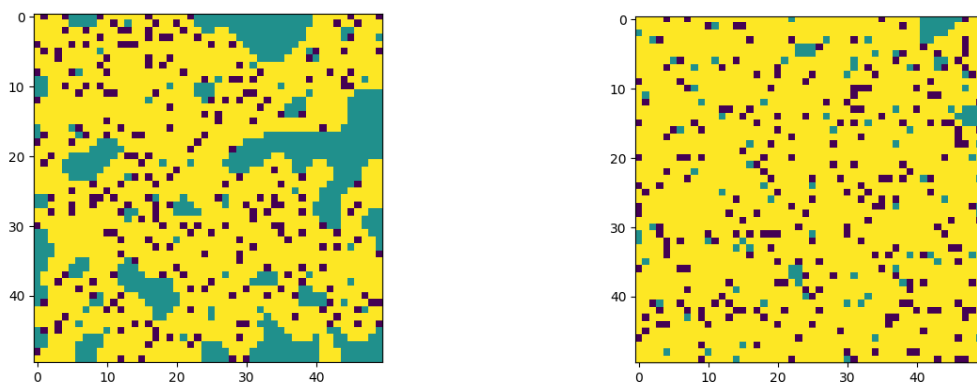
Слика бр.7: График зависности општег задовољства од удела једне популације након 100 итерација

Приметно је да однос величина група не представља одлучујући фактор при макроскопском посматрању задовољства: опште задовољство агената при варирању овог параметра није пала испод 90%.

Ипак, може се видети да је график 7 (слика бр.7) готово симетричан у односу на праву која пролази кроз однос популација 50%. У идеалном случају и уз довољно велики узорак, он би то и био. При односу популација 1:1 агенти се лако групишу тако да сви буду задовољни. Док једна групација преовладава за релативно мали проценат (интервал 30% – 70% на графику бр.7), еквилибријум се још увек може постићи уз високу (готово 100%) вредност задовољства. За мало већа одступања (интервал око 10% – 30%, тј. 70% – 90% на графику бр.7), незадовољство мањинске популације је приметно и утиче на пад општег задовољства. У случајевима када једна популација драстично превлада (интервал 5% и мање, тј. интервал 95% и веће) утицај малобројније групе агената постаје незнатан и задовољство опет почиње да расте.

Сегрегација је највећа у основном случају. Ако је једна популација у незнатној мањини, формира се више стабилних кластера, уз мало расејање појединаца (слика бр.8, лево). У

случају екстремних односа, када је једна популација у изразитој мањини, не долази до формација стабилних кластера, због чега не долази до конвегације (слика бр.8, десно).



Слика бр.8: Стање система након 100 итерација

(лево – удео једне популације 75%; десно – удео једне популације 95%)