



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Шпенди Исмаили

**Решаване на конфликтни ситуации с моделиране
базирано на агенти**

Resolve conflict situation with Agent-Based Modelling

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“

докторска програма „Информатика“

в професионално направление 4.6 „Информатика и компютърни науки“

Научен ръководител: проф. Стефка Фиданова

София, 2018 г.

Съдържание

Списък на фигурите	5
Списък на таблиците.....	7
1.Цели на настоящата работа	8
1.1. Увод.....	8
1.2. Обхват на проблема (Scope of the Problem)	10
1.3.Методи на изследването (Research Approach).....	10
1.4.Мотивация и цели (Motivation and Goals)	11
2.Моделиране на сложни системи.....	14
2.1.Сложни системи	14
2.2.Сложни адаптивни системи	15
2.3.Моделиране на сложните системи	18
2.4.Моделиране базирано на агенти.....	21
2.5.Моделиране базирано на интуиционистки размита логика (IF логика)	25
2.5.1.Един общ поглед върху IF системи	26
2.5.2.Функциониране на IF системи	29
2.5.3.Системата за IF оценка	30
2.6.Социалните системи и моделирането им.....	37
2.7.Приложение на IF логиката при моделирането на социалните системи.....	38
2.8.Агенти, които се основават на итуиционистки размита логика	40
3.Теория на игрите и еволюционните алгоригми	50
3.1.Теория на игрите.....	50
3.1.1.Дилемата на затворника.....	50
3.1.2.Определение за играта.....	51
3.1.3.Доминиращи стратегии и елиминирането им	53
3.2. Еволюционни алгоритми	54
3.2.1. Базови еволюционни алгоритми	55
3.2.2.Коеволюционни алгоритми	65
3.3.Адаптиране на стратегиите на теорията на игрите.....	70
4.Конфликтната ситуация	72

4.1.Увод.....	72
4.2.Конфликтна ситуация.....	74
4.3.Теоретична рамка	76
4.4.Представяне на еволюцията на агентите	77
4.5.Представяне на рамката на адаптиране и еволюция.....	85
4.6.Еволюция на стратегиите на агентите полицаи и активисти	86
4.7.Обучение.....	89
5.Модел на социалните конфликти	93
5.1.Увод.....	93
5.2.Агенти	94
5.3.Мобилност (подвижност)	95
5.4.Базови атрибути.....	95
5.5.Взаимодействия	97
5.5.1.Логика на мирните граждани.....	97
5.5.2.Логика на полицаите.....	98
5.5.3.Логика на гражданите.....	99
5.6.Симулация на еволюцията в поведението на агентите	104
6.Приложение на обобщените мрежи в логиката на цивилните агенти и полицаите	110
6.1.Основни концепции за обобщена мрежа.....	110
6.2.Приложение на обобщена мрежа при описване движението на членовете в конфликтни ситуации.....	114
7.Приложение на IFS при разрешаване на конфликтите с АВМ 119	
7.1.Увод.....	119
7.2.Дефиниране на операторите t-norm, s-norm и отрицание.....	120
7.3.Възможности за движение на агентите в 2D мрежата като използват IFS	123
7.4.IF в контекста на модела, базиран на агенти	131
7.5.Симулация на събитията чрез IF методи	133
7.6.Определяне на сходството между агентите	135
8. Заключение	139
Цитирана литература.....	144

Списък на фигурите

- Фигура 2.1. Представяне на събитието на микро и на макро ниво -20
- Фигура 2.2. Обща илюстрация на IF логиката -22
- Фигура 2.3. Системата, базирана на IF правила -30
- Фигура 2.4. Логическата операция OR чрез приложението на IF логиката за функцията на принадлежността (μ) - 33
- Фигура 2.5 Детайлна диаграма на IF логиката - 34
- Фигура 2.6 Диаграма на процеса на IF оценка -34
- Фигура 2.7 Пример с два входа, три правила и един изход - 35
- Фигура 2.8. Модулна архитектура на когнитивните агенти - 42
- Фигура 2.9. Моделът на Расмусен - 43
- Фигура 2.10. Дейността на IF агентите - .46
- Фигура 2.11. Комуникацията между два агента, които се основават на IF логиката - 49
- Фигура 3.1. Обща схема на еволюционния алгоритъм -56
- Фигура 3.2. Кръстосване в 1-точка - 62
- Фигура 3.3. Кръстосване в 2-точки - 63
- Фигура 3.4. Равномерно кръстосване - 63
- Фигура 3.5. Проста мутация (избрана случайно, втори бит, трети и осми мутират) - 64
- Фигура 3.6. Диаграма на коеволюционния алгоритъм -67
- Фигура 3.7. Оценка на индивидите при стандартна еволюция (в ляво) и коеволюционен алгоритъм (дясно) - 69
- Фигура 4.1. Протестите и взаимоотношенията им на макро (социален контекст) и микро ниво (агент) - 75
- Фигура 4.2. Рамка на еволюцията на поведението на агентите - 78
- Фигура 4.3: (a) взаимодействие между различните агенти, (b), липса на взаимодействие между еднакъв тип агенти. - 79

Фигура 4.4: Представяне на стратегиите на определени игри/първични условия - 84

Фигура 4.5. Еволюционен цикъл - 85

Фигура 4.6. Опростено описание на операциите на стратегия GA - 86

Фигура 5.1 Логика на полицаите -98

Фигура 5.2. Логика на гражданите(цивилите) - 101

Фигура 5.3 Пространствено представяне на състоянието на гражданите в зависимост от броя на полицаите NC - 103

Фигура 5.4 Графично представяне на броя на трите типа граждани в зависимост от броя на полицаите NC, където може да се види как се повишава броя на арестуваните и намалява броя на активистите в мрежата с повишаването броя на полицаите - 104

Фигура 5.5. Представяне на полиция, който няма свободен патч -104

Фигура 5.6. Представяне пространственото състояние и график на еволюцията на гражданите, мирни, затворници и активни, след 276942 стъпки. – 106

Фигура 6.1 Обобщена мрежа при описване движението на членовете в конфликтни ситуации -114

Фигура .7.1. Движение на агентите – 121

Фигура. 7.2. Разположение на агентите – 122

Фигура. 7.3. Взаимодействие на агентите - 124

Списък на таблиците

Таблица 3.1: Матрична форма за “Дилемата на затворника” - 52

Таблица 3.2: Алтернативна матрична форма за “Дилемата на затворника” - 53

Таблица 3.3 . Аналогия между теорията за игрите и генетичните алгоритми-68

Таблица 4.1: Матрица на печалбите в случаите когато: броят на полицаите и този на активистите е (a) равен, (b) по-голям или (c) по-малък от предварително определения като референтен брой -81

Таблица 5.1. Таблица на стойностите на параметрите, които се използват по време на симулацията -102

Таблица 7.1. Възможни придвижвания, 8 агента от тип Р – 125

Таблица 7.2. Възможни придвижвания, 12 агента от тип А - 126

Таблица 7.3. Възможни придвижвания, 8 агента от тип М - 128

1. Цели на настоящата работа

1.1 Увод

Настоящата глава цели да въведе читателя в предметната област и терминологията на дисертационния труд. Друга част от термините са въведена в съответните глави, където се намират и техните определения. В настоящото изследване са разгледани разнообразни подходи за използването на многоагентни системи при моделиране на конфликтни ситуации възникващи в случай на протест.

Конфликтът представлява ситуация, в която двама участници или техни представители се опитват да постигнат своите противоположни цели, като блокират по пряк или косвен начин качествата на противника си. В действителност конфликтът представлява един динамичен процес, който се състои от начална фаза, ескалация, поддържане под контрол, успокоение и разрешаване на конфликта. Следователно можем да кажем, че това е една ситуация, в която двама участници се опитват да постигнат целите си.

Днес има широк спектър от видове конфликти, като най-често срещаните са:

- *Регионални конфликти* – между местни съперници;
- *Борба за притежание на жизненоважни ресурси* – каквито са вода, минерали, нефт, както и други ресурси, необходими за съществуването или за икономически напредък;
- *Сепаратистки и националистки конфликти* – когато под претекста на етническата принадлежност групите имат претенции към територията на другите държави, които се обитават от същите хора и имат за цел да се обединят с техните родини;

- *Регионални етнически борби за власт* – включва конфликти в страната заради достъпа до територия, работни места, средства за държавна помощ и други ресурси;

В тази работа ще се съсредоточим върху моделирането на конфликтите, които възникват поради недоволството, което съществува между група хора и централната власт. В резултат на това може да има протести, които биха се разпространили. В същото време централната власт иска да задържи институциите на властта и мирните граждани, които нямат статут по отношение на създалата се ситуация. Решаването на тези конфликти се основава на дълбокото разбиране на човешкото поведение.

Изследванията, изложени в тази разработка, предоставят теоретична основа за прилагането и валидността на моделирането и симулацията с помощта на агенти, с цел да представят групите в конфликт и да разрешат конфликтите между тях. Предложеният модел използва най-новите постижения в областта на изкуствения интелект и сложните системи за симулиране на колективното поведение на реална група. Ще се съсредоточим върху взаимодействията, които се развиват в мултиагентните системи (на микроскопично ниво между агентите), за да изследваме динамичното макроскопско поведение на насилието, причинено по време на конфронтация.

Агентите са моделирани от мултидисциплинарна перспектива, стратегиите им се развиват с течение на времето чрез колективна еволюция и учене, както и разработване на нови стратегии в съответствие със ситуацията, създадена на място. Резултатите от пространствена и времева гледна точка разкриват интересни явления в общия феномен и интересни модели на груповото движение и развитието на автономното поведение.

Също така се използват различни разширения, за да се изследва въздействието на различните атрибути върху контекстуалните резултати.

Ще опишем представянето на движението на агентите в пространството чрез използването на обобщени мрежи GN (generalized nets), което ще ни даде визуален

поглед върху възможното движение на агентите, както и за техните състояния и преходи.

Тъй като явленията, които описваме, и атрибутите, които ги описват, нямат строга граница според която, параметрите които описват един активен агент, мирен гражданин или полицаи не винаги имат фиксирана стойност. Като много по-реалистична възможност би било използването на интуиционистки размита логика и интуиционистки размити множества (Intuitionistic Fuzzy Set IFS).

1.2. Обхват на проблема

Целта на тази работа ще бъде да моделираме изкуственото общество, съответно да представим поведението на човека и групите от хора, чрез моделиране на базата на агенти, като се изследва тяхното състояние, взаимодействието между агентите, агентите и средата, в която те действат.

Използването на компютърно моделиране и симулации се прилага в различни сфери. То може да се разглежда като нов метод за изучаване на различни сложни явления, особено тези, с които реално не може да се експериментира или би струвало твърде скъпо. Компютърните симулации позволяват да маневрираме с определени качества и следователно да видим тяхното въздействие върху моделираните явления, които изучаваме (изследваме), да изследваме поведението на моделираните явления, които изучаваме, като променяме условията на средата им и вътрешните им параметри, както и да разгледаме последиците в една контролирана среда. То този начин тези промени се разглеждат в зависимост от фактора време.

1.3. Методи на изследването

Една от целите на изкуствения интелект (AI) е да проектира и прилага системи, които симулират човешкото поведение. В тази работа, някои от техниките на AI могат да бъдат полезни за моделирането и симулирането на човешкото поведение в групите и на групите като цяло. Самият метод на ABM може да се разглежда като нов метод на изследване, чрез който изследваме поведението на микроскопично ниво и можем да направим заключение на макроскопично ниво.

Моделирането на човешкото поведение е голямо предизвикателство поради нестабилността, непредсказуемостта и способността за извършването на независими действия, които са в природата на човека [Allan R., 2009]. Когато се моделира това поведение, следва да се отбележи, че изпълнението на ежедневните дейности се влияе не само от ситуации, способност и образование, но също така и от психологическото състояние и характеристиките му [Furnham, 1999]. Моделирането на човека или човешките общества не може да бъде моделирано по същия начин, по който се моделират колите в една производствена линия.

Чрез третирането на човека и на различните групи като сложни системи, някои модели и техники, показват, че моделирането на поведението на човека е възможно. Такива на пример са бойните приложения [Shen, 2006] [Traum, 2007]; приложения за трениране и обучение, [Martinez-Miranda, 2008], [Core, 2006]; приложения за електронно здравеопазване [Bickmore, 2010], [Tartaro and Cassell, 2008], [Martinez-Miranda, 2010], представяне на кризисни и извънредни ситуации [Kozina, 2007], [Nygren, 2007] 1992]; и т.н.

Този труд предлага използването на няколко софтуерни агенти (които са автономни софтуерни единици с умения да взаимодействат с други агенти и околната среда), за моделиране на взаимодействията на различните типове групи от хора. Изследванията с ABM помагат основно при анализа на изкуствените общества, в които всеки агент отговаря на индивидите, които съществуват в реалния живот, а взаимодействията между тях трябва да съответстват на взаимодействията между участниците в реалния свят [Gilbert, 2005]. Този тип модел е възможен заради

опростяването на човешките характеристики и ограничаването на контекста, когато желаният модел на човешкото представяне има смисъл. [Gilbert, 2005].

Моделът, който е разработен, се използва за маневриране с някои атрибути на индивидите. Изпълняват се редица симулации, откъдето се получава статистическа информация за определено поведение на групата. Получената по-късно информация може да бъде използвана от ръководителите на групи за предотвратяване на кризисни ситуации, за да вземат правилните решения за окончателното уреждане на конфликта.

Представени са инициативи за използване на IFS, което би било по-реалистично представяне на проблема, който разглеждаме, тъй като всички атрибути не могат да имат фиксирани стойности за различните агенти.

1.4. Мотивация и цели

Първият ми контакт със софтуерните агенти бе по време на следдипломната ми квалификация, където защитих и тема за софтуерните агенти.

Когато реших да започна дисертацията си, бях убеден в предимството им в изследванията в областта на изкуствения интелект, тъй като имам специален интерес към прилагането на агентите и мултиагентните системи (MAS) в реалния свят.

По време на докторантурата си придобих знания в областта на GN и IFS, чрез които е възможно да се представи по много реалистичен начин състоянието и възможните движения на агентите и комуникацията между тях.

До този момент има много трудове по тази тема, като например: моделът на партизанската война Iruba [Doran, 2005], компютърният модел на протести на работниците [Kim, 2011], моделът на гражданското насилие [Epsteine, 2001], [Epstein, 2002], моделът на насилие в Лондон [Davies, 2013], моделът на централизираните институции и технологиите на социалните мрежи и революцията [Rubin, 2011], моделиране на насилието в градска среда [Fonoberova et al., (2012)]. Идеите на тези

трудовете и разработването на инструментите за моделиране и симулация са основните мотиви на тази изследователска работа.

Цели

Основната цел на това изследване е да проектира и разработи модел за представяне на конфликтни ситуации и да анализира динамичните връзки по отношение на:

- Откриване на конфликтните ситуации;
- Еволюция на поведението на агентите в модела на конфликтните ситуации.

Анализът на динамиката на тези групи при конфликти ще позволи по-добро разбиране на атрибутите (на индивидуално и глобално ниво), които ще окажат видимо влияние върху разрешаването на конфликтните ситуации.

За да се постигне тази глобална цел, бяха формулирани следните задачи:

1. Да се изучат и идентифицират групите от фактори, които влияят върху човешкото представяне (положително или отрицателно).
2. Да се разработи модел на социалните конфликти в рамките на групите, определени като базова основа. Този модел се реализира с помощта на софтуерни инструменти за симулация, които позволяват да се подобри предложения модел.
3. Да се валидира модела чрез анализ на резултатите, за да се оцени коректността на модела и да идентифицират последващите допълнителни подобрения.

Както при всяко едно друго изследване, трябва да се идентифицират хипотезите и ограниченията, за да се оценят постигнатите резултати.

Основни хипотези:

1. Предполага се, че абстрактното представяне на човешкото поведение в конфликтни ситуации може да бъде моделирано в резултат на взаимодействията между индивидите, като се използва теорията на игрите, по-специално IPD и ко-еволюционните алгоритми.

2. Предполага се, че състоянието на агентите в конфликтни ситуации и движението им може да бъде представено като се използва апаратът на GN.

3. Предполага се, че IF методите могат да бъдат използвани за най-реалистично представяне на ситуацията, която се моделира.

Помощни хипотези:

1. Предполага се, че еволюцията на поведението чрез някои симулации на описаните взаимодействия ще предостави полезна информация за възможното поведение на моделираните индивиди.

2. Предполага се, че резултатите, получени във връзка с поведението на групата могат да бъдат статистически анализирани, за да се намерят полезни модели, които да подкрепят системата за вземане на решения за разрешаването на конфликта и намаляване на последствията от него.

2. Моделиране на сложни системи

2.1. Сложни системи

Терминът „сложни системи“ често се използват като събирателно, което включва научни проблеми от различни дисциплини, като изкуствен интелект, антропология, физика, икономика, еволюционни изследвания, молекулярна биология, психология и социология.

Една система, състояща се от голям брой единици, които са във взаимодействие с други, а също така и с околната среда или с други сложни системи, се нарича сложна система (англ. complex systems). Сложните системи представляват едно много широко интердисциплинарно изследване, което се стреми да обясни как един голям брой, относително прости структури се организират без да използват посредници за контрол, като имат една обща цел, и върху които се прилага сложно поведение. В този контекст терминът "относително прости единици" означава, че едно образувание, или поне неговото индивидуално поведение, е по-просто в сравнение с глобалното поведение на цялата сложна система. Терминът "израз на сложното поведение" означава, че поведението на глобалната система е не само сложно или случайно, но също така се появява като резултат от общия запас на всяка единица, чието отражение в съвместното поведение не е тривиално.

Подходът към сложните системи се фокусира върху значението на изрази, че "цялостта е по-голяма (по-малка) от сумата на частите ѝ" [Heylighen, 2008]. По този начин един много важен фактор, който се използва да се разберат сложните системи, това са взаимодействията между частите (единиците).

Теорията на сложните системи е опит за откриване на основните принципи, които са общи за такива системи. В момента не съществува единна теория, но има

няколко теории и модели, които обясняват поведението и общите явления при сложните системи [Stoyanov S, 2008].

Основните проблеми на сложните системи представляват трудностите с техните формални модели и симулации. От тази гледна точка, в различни контексти, сложните системи, които се изследват се определят въз основа на техните различни качества.

Теорията за сложните системи се базира на два основни метода [Newman, 2011]. Първият подход е свързан с трудовете и изследванията на простите математически модели с помощта на инструменти като теория на динамичните системи, теория на информацията, автоматите, теория на мрежите, компютърна теория на сложността на числените методи. Другият начин е да се създаде един попълнен и реалистичен модел, обикновено под формата на симулирани взаимодействия между единиците, а след това да се изучи и изчисли поведението, което се проявява по време на симулацията. Инструментите, които са включени в този подход са симулация Монте Карло и моделиране и симулация на базата на агент [Stoyanov S., 2014].

2.2. Сложни адаптивни системи

Науката за сложността не е една обикновена и ясна теория. Тя обхваща повече от една теоретична рамка и е силно интердисциплинарна, като търси отговори на някои основни въпроси за живота, гъвкавостта и изменчивостта на системата.

Обща характеристика на повечето системи, е приспособяването на сложните системи, която описва способността да се изучава и да се променя поведението на единицата чрез оптимизиране на няколко нейни характеристики или размери с течението на времето. Биологичната еволюция чрез естествен подбор е класически пример за това: еволюцията е представена като резултат от конкуренцията между представителите на населението и ресурсите, за да изразят само успешните резултати от взаимодействието между тях. Сложните системи, които проявяват

способността да се адаптират, са наречени сложни адаптивни системи (CAS). Така CAS са един специален случай на сложните системи. Те са сложни, защото са съставени от много взаимосвързани помежду си единици, но и са адаптивни, тъй като са в състояние да се изменят и да трупат опит.

Примерите за адаптивни сложни системи включват финансовите пазари, социалните взаимоотношения, биосферата, екосистемите, човешкото мислене, имунната система, клетките и ембрионалното развитие, производствените фирми и всички социални човешки групи, които се основават на културните или социални системи напр. политически партии, общности.

Идеите и моделите на CAS са еволюционни, основаващи се на модерните биологични мисления за приспособяването и еволюцията. Теорията за CAS обвързва развитието на теорията за системите с идеите на Дарвинизма, която ни отвежда до идеите за еволюцията на Дарвин.

Важен принос за подобряване на разбирането на основните термини и многообразието на CAS принадлежи на института SFI (Santa Fe Institut) [M. M. Waldrop, 1992]. Концепцията за CAS идва именно от SFI и се опитва да опише естеството на сложните системи, които се развиват постоянно [Holland, 1996]. Подобни поведения имат много естествени системи (например мозъкът, имунната система, екологията, обществото), като този тип поведение все повече присъства и в изкуствените системи. И според Холанд CAS трябва да се изследват като една особена инстанция в класа на сложните системи. Представени са много дефиниции за CAS. Една от тях принадлежи на Dooley, според която CAS е описан като сложна система, състояща се от много автономни единици (или полуавтономни), където всяка единица има голям брой от собствени индивидуални поведения, които във взаимодействие с другите единици могат да произведат система с извънредно поведение и висока сложност [Dooley, 1996]. По този начин Dodder и Dare, вдъхновени от труда на SFI, добавят още характеристики към CAS, за които те казват, че се състоят от мрежи от много единици, които заедно събират информация, учат се и въздействат върху средата [Dodder, 2000]. Подобни системи

се развиват заедно в средата и техните състояния се намират между това, което е правилно и случайността – на ръба на хаоса.

Това означава, че CAS е една сложна динамична система, която е в състояние да се адаптира към средата, да се променя и да се развива в нея. Важно е да се подчертае, че описанието на концепцията, според която системата винаги се адаптира към една променлива среда, не е възможно да отдели системата от средата ѝ. Вместо това по-добре е да се изследва концепцията за системата, която е тясно свързана с останалите системи. В този контекст промяната се разглежда като коеволюция (англ. *co-evolution*) с всички останали системи, вместо като адаптация към една особена и променлива среда.

CAS нямат някакво върховно командване, но има постоянна реорганизация за да се открие най-добрият начин средата да се приспособи към средата. Системата се организира по начин, даващ възможност за продължаване, чрез процесите на съществуването и на обратната връзка.

Някои от чертите на CAS, които са изведени от Холанд [Holland, 1996] са:

Паралелизъм (англ: *Parallelism*): CAS съдържат голям брой единици (агенти), които са във взаимна връзка помежду си.

Условно действие (англ: *Conditional action*): действията на единиците (агентите) в CAS в голяма част от случаите зависят от информацията, която получават от околната среда. Подобни агенти са с архитектура ако /то (ако x то y)

Модулност: множеството на правилата, които се прилагат при агентите, които могат да действат като “подпрограма”, съответно като блокове. С такива подходи не е необходимо да се предвиждат всички възможни ситуации с ясни правила.

Адаптация и еволюция (англ. *Adaptation and evolution*): агентите на CAS се променят с времето. Промените често пъти представляват адаптация, която подобрява представянето на агентите.

CAS имат черти и на самоорганизация в резултат на взаимодействията между агентите, които не са толкова сложни колкото системата [Namatame, A., 2006].

Сложното поведение е една много важна черта на CAS, която описва нови черти, които се представят поради взаимосвързаността между агентите [Bar-Yam, Y.A., 2004].

2.3. Моделиране на сложните системи

Главната задача на CAS е, че дават възможност да изследваме естествените и изкуствени системи на ясно ниво на абстракция [Brownlee, J., 2007]. При традиционните системи е възможно изучаването на системата като една малка цялост и на тази основа да се опише цялата система, което в повечето случаи не е възможно при сложните системи.

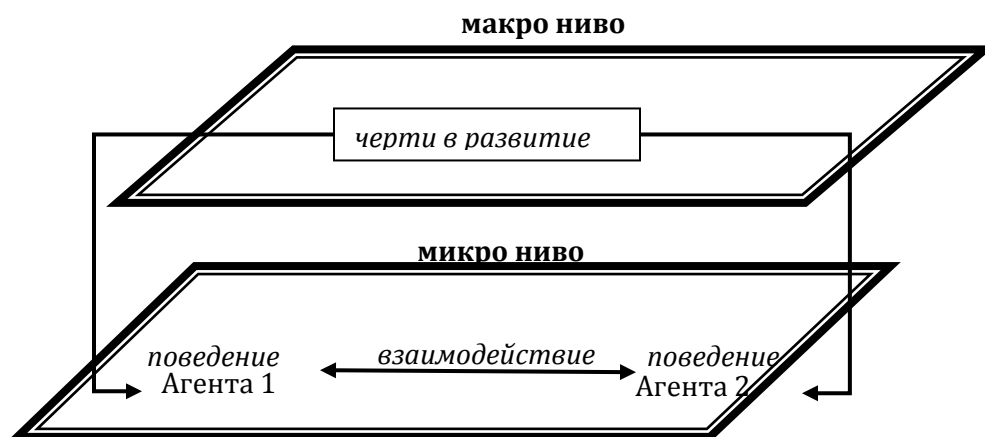
Моделирането на сложните системи основно се базира на разлагането на тази система на автономни елементи (единици) и дефинирането на възможните взаимоотношения между тези елементи и околната среда.

Холтцер и Де Меер са представили методите за математическо моделиране за изучаването на самоорганизацията на сложните системи, които се класифицират с макро ниво на моделиране и моделиране на микро ниво [Holzer, 2011].

При моделирането на макро ниво е необходимо да се опишат само променливите на състоянията на системата, която ни интересува. На това ниво CAS по-често се моделират с динамични продължителни и дискретни системи. Променливите на състоянията се променят с времето, докато тяхното поведение може да се опише с диференциални уравнения. По време на анализа на динамичната система на макроскопично ниво е необходимо да се опише системата с диференциални уравнения, да се открие точката на баланс и да се уточни стабилността [Perko, L., 2000], [Brauer, F., et al., 2000].

При използването на моделиране на микро ниво е необходимо да се опишат поведението на всички елементи на системата и взаимоотношенията между тях, като моделирането на макро ниво трябва да опише само поведението на

променливите, които ни интересуват. Моделирането на микро ниво се занимава с описанието на всяка единица (агент) в системата и с връзките между тях [Holzer, 2011]. За моделирането на CAS на микроскопично ниво се използват предимно клетъчни автомати (англ. Cellular automata), както и моделирането основано на агенти и сложните мрежи.



Фигура 2.1. Представяне на събитието на микро и на макро ниво

Методите, които се използват основно днес за изследването на сложните системи, са моделиране базиращо се на агенти (англ. Agent-based modeling; моделиране ABM). Ниази в своята докторска дисертация представя нуждата от обвързването на моделирането, основано на агенти, с това на сложните мрежи и предлага една рамка за развитието на формалното моделиране, с агенти и с мрежи [Niazi, 2011], [Niazi, 2011a].

Този тип моделиране е компютърен модел, който описва отделните агенти, техните състояния, както и тяхното колективно поведение. Частите на ABM са множеството на агентите и на техните състояния, правилата, които регулират техните взаимоотношения и средата, в която те се намират и съответно действат [Shalizi, 2016].

Състоянието на агентите в дадения момент се определя на базата на правилата, които описват агентите и връзките между тях, които правила могат да

бъдат фиксирани или случайни. Това състояние зависи и от по-ранното състояние и от състоянието на другите агенти, с които са във взаимодействие [Laubenbacher, R., et al, 2008].

Чрез употребата на прости правила АВМ може да представи сложно поведение. Те са интелигентни и често пъти използват структурата ако/то.

Като CAS могат да се приемат и социалните системи (човешките общности), където моделирането включва представянето на човека (индивида), съответно поведението му и взаимоотношенията му с околната среда и с останалите хора (индивиди). Реалното моделиране на тези общности е много комплексно, тъй като самото поведение на човека е сложно и зависи от много фактори като вярата на индивида, познанието му, емоциите, отношенията му с останалите индивиди или средата. Следователно тази нелинейна взаимовръзка е фундаментална за разбирането на действията в групата, в която индивидът споделя информация, ресурси или действа съвместно. Затова тази взаимовръзка на индивидите в общността може да се приеме за CAS.

Като имаме в предвид тези характеристики симулирането на поведението на човека, като част от групата, може да се възприеме като сложна система, в която: „тези сложни системи се състоят от голям брой компоненти или агенти, които си взаимодействат един с друг в съответствие с набора от закони, които ние се опитваме да изследваме, и отговарят за действията си с цел подобряването им и подобряването на поведението на системата, от която те самите са част” [Stacey, 1996].

Изследванията, които са свързани с моделирането на поведението на човека, считат, че това е един ефективен начин за изследването на нелинейните поведения, като добавят и симулацията на системата [Gilbert, 2005]. Специално моделирането на човека, което е развито в социалните науки, се прилага с няколко цели: например изследване и анализ на изкуствените общества [Gilbert, 2005], както и изследване на сложните правила в рамките на сложните организации [Neumann, 2010] и т.н.

В повечето случаи на моделиране и стимулиране на общностите се използват изкуствени единици с цел реалното представяне на човека чрез неговите характеристики, подбрани от една група. Повишаването на развитието на моделите, особено през последните години, е посветено на големия успех на дисциплината на изкуствения интелект, където основната концепция е използването на агенти.

2.4. Моделиране базирано на агенти

Моделирането на сложните системи основно се базира на разлагането на тази система на автономни елементи и на идентифицирането и дефинирането на възможните взаимодействия между тези елементи. Една от основните сфери на изследване, които са допринесли за развитието на моделите и на социалните симулации, което ние ще разглеждаме като адаптивни сложни системи, това е моделирането, базирано на агент (ABM).

ABM е един модел, който представлява множеството на агентите и техните поведения. Основният елемент на ABM е концепцията за агента, който е една автономна софтуерна единица със способност да изпълнява задълженията си сама или във взаимодействие с другите агенти. Един агент, който представлява компютърна единица поставена в среда е способен да действа заедно (да бъде социализиран) с други агенти и със средата. Автономията означава агентът да бъде активна единица, който може да взема решения в зависимост от целите си. Това не е така при обектите, тъй като тяхната задача е изпълнението на операциите, които някой друг иска от тях. Сложните системи често пъти се характеризират с това, че имат разпространени компоненти, както и познания за техните дейности. Агентите представляват единиците, които са съставна част на сложните системи и са в постоянна взаимовръзка с останалите агенти и средата, в която се намират и съответно действат. Те се състоят от три основни компоненти: код, данни и състояния. Кодът на агента е основният компонент (ядрото) на агента и съдържа основните функции на агентите. Данните на агентите са източници, съответно

цялата информация, която те използват и която може би се генерира от страна на агентите.

Моделирането, което е базирано на агентите, се реализира от повече агенти, които са независими. За да могат тези агенти да изпълняват задачите си те трябва да комуникират и да бъдат координирани. Комуникацията на агентите е необходима за да координират действията и поведението си. Координацията е черта на системите, състоящи се от повече агенти, които заедно реализират действията си в околната среда.

Проблем на системите, в които действат повече агенти, е това как да се създадат глобални връзки без наложителен глобален контрол върху агентите. Агентът трябва сам да открие целите, които да реализира заедно с останалите агенти, да намери общите задачи и да избягва конфликтите. Тези дейности лесно могат да се осъществят ако те са организирани в групи, съответно – организации от агенти.

Компонентите на АВМ са множеството на състоянията им, правилата, с които се регулира взаимовръзката между агентите и средата, в която те се намират. На базата на състоянията и правилата на другите агенти, агентът ще осъществи и съответно предприеме действие. Действието може да повлияе върху останалите агенти, тяхното състояние и средата.

В контекста на АВМ моделирането с агент представлява една метафора за начина на мислене за поведението на определени актьори в рамките на системата. С АВМ се създава един симулиран модел, където агентите са тези, които вземат решения за системата, която разглеждаме.

Технологията на АВМ може да бъде разгледана от три перспективи [Luck, 2005]:

- Агентите като метафора на дизайна на системата (напр. Агентите като парадигма, която предлага развитие на програмите като начин за структуриране на програмните системи върху автономни компоненти);

- Агентите като източник на технология (например, агентите се използват като ключов елемент в алгоритъма за разрешаването на даден проблем, какъвто е разпространението на ресурсите), и най-накрая,
- Агентите за симулацията на системата (например агентът представлява домейн в реалния живот, тъй като тези домейни са много сложни за да бъдат описани по друг начин).

ABM дава възможност за симулация на единиците в сложните системи, както и на взаимодействията между тях, също така и по един естествен начин спомага хармонизирането на сложните системи. Това е в противовес с методите за моделиране с диференциални уравнения, при които чертите на системата са на много по-високо ниво от базовите елементи на системата (например гъстотата на населението) а не на индивидуалните елементи от системата. Чрез ABM могат да се откриват явления, които се развиват в системата и може да се предложи начин за гъвкаво и много естествено описание.

За да се изгради един такъв модел ние трябва да вземем решения за:

- какъв ще бъде броят на агентите в модела;
- как ще се движат те (логиката на движение на агентите);
- какви са визиите на агентите;
- дали агентите ще бъдат свързани в мрежа (ще бъдат ли зависими).

Методологиите на обучение определят средствата, чрез които агентите са в състояние за обработка, актуализация, употреба на актуалните информации и от предния опит, който са получили от средата си, за да вземат интелигентни решения по динамичен начин. Чрез методологията на обучение могат да се променят стратегиите (положителни) или да се подпомогнат агентите да подобрят печалбите си или относителното си разположение в средата им на съществуване и на взаимодействие с течение на времето. Способността да се учи и усъвършенства е един важен елемент от приспособяването на човека и има етична важност когато става дума за моделирането на аспектите на взаимодействие с игровата теория, в

контекста на реалния живот – който се характеризира с една среда, която се променя динамично, в която повечето играчи постоянно напасват стратегиите си един спрямо друг. Без процес на обучение, моделирането на поведението на агентите в компютърни модели би било нереално.

От гледна точка на индивидуалните агенти, методологиите на обучение по един идеален начин трябва да вземат в предвид реалните елементи като динамизирането на процеса на обучение, вероятностния характер на вземането на решенията и понятието ограничена рационалност – което включва ограничена информация, несъвършена обработка на познанието (когнитив) и способностите за обучение, както и ограниченото време за вземане на решение. Съдържанието на ограничената рационалност е поради факта, че при тези, които вземат решение обикновено липсват способности и източници за постигането на оптимален реален избор и прилагат своята рационалност само след опростяване на решението, с което разполагат.

Като цяло обучението може да се разгледа като процес, в който единиците на АВМ еволюират постепенно, в отговор на промените на околната среда. Например, агентите не приспособяват веднага и в реално време поведението си в оптималните теоретични стратегии. Ние можем да погледнем на агента и средата му като на допълнителна съвместна еволюция като всеки един минава през обучението под форма на приспособяване един към друг.

Механизмите на обучение, описани ясно за всяка една единица на АВМ моделите, също така са необходими и за разкриването на евентуалните резултати от взаимодействието при игровата теория, за да погледнем към тях от една друга гледна точка. Например, природата на доминиращите стратегии и различните начини за конвергенция на резултатите, динамизирането на които обикновено не е водено от моделите на обучение в класическата теория за играта. От перспективата на аналитичните методи това по един идеален начин се основава на избора за оптимизирането на проблемите с много играчи и води до резултати от избори, при които всички играчи играят със собствена стратегия, която не е най-добрата.

2.5. Моделиране базирано на интуиционистки размита логика

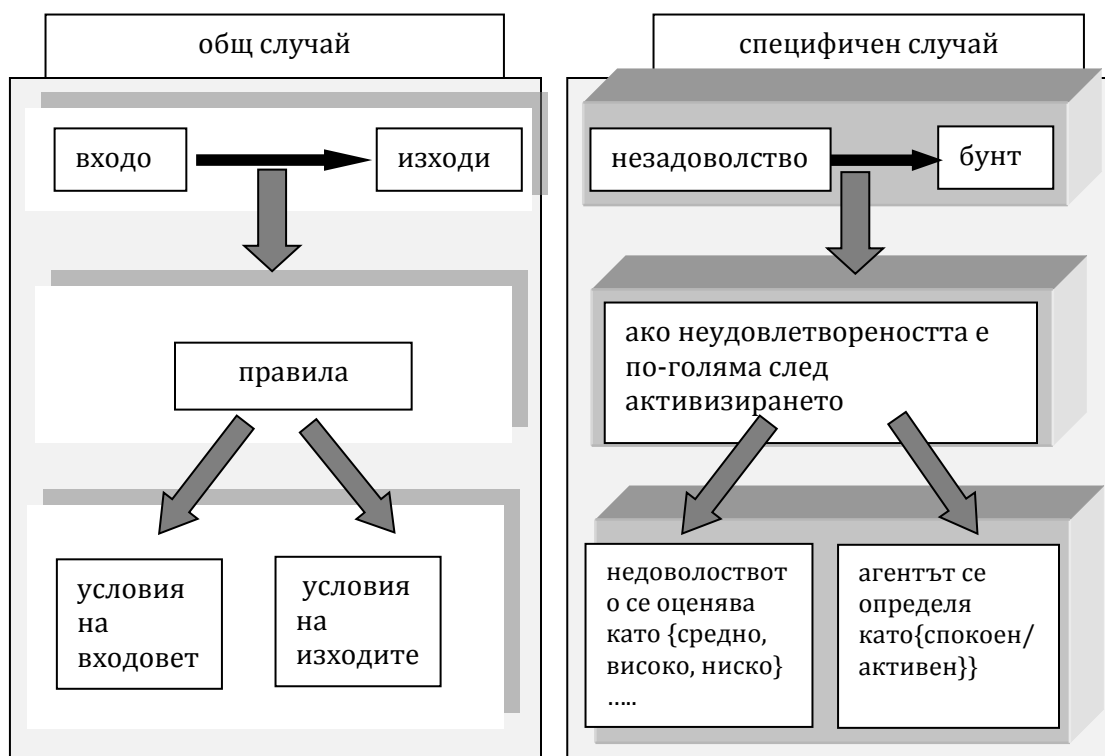
Интуиционистки размитата логика (IF) е предложена и основно развита от Атанасов [Atanassov, 1983]. Преди да пристъпим към прилагането ѝ за моделиране с многоагентни системи ще дадем някои основни понятия и функции. Интуиционистки размитата логика можем да определим като синоним на теорията за интуиционистки размито множество (intuitionistic fuzzy set - IFS), която се отнася към общностите от обекти, които имат неопределени граници и тук се дефинира функцията на принадлежност, непринадлежност и неопределеност. Това дали нещо е част от тези единици се определя на количествено ниво или процентно. Следователно един елемент може да бъде част от дадена общност, може частично да не бъде оценен, той е пълен или не е.

В това изследване IF логиката ще се изследва в съотношение с теорията за IFS. IF логиката се характеризира с употребата на лингвистичните променливи, които имат като стойност или параметри думите, а не числа, т.е. този метод се използва за изчисление на думите, а не на числата. Причината за употребата на думите на мястото на числата, когато е ясно, че думите са по-малко точни от числата, се състои в това, че употребата на думите стои по-близо до човешката интуиция [Marinov, 2016].

Друг параметър, който се използва при IF логиката, е употребата на IF правила. Тези правила са изградени под формата „Ако – То“ (англ. *If – Then*). Системите, които са базирани на правила, са открили една широка употреба на изкуствения интелект. При изграждането на тези системи липсва механизъм, който прави връзката между причината и следствието. Този вид механизъм е изграден в IF система.

Причината за употребата на IF логика се състои в относителността на важността на един конкретен отговор – колко е важно да се получи един точен отговор, когато може би е необходимо получаването на по-общ отговор.

При IF логика се поставят под баланс точността и общото значение на един отговор. По-долу ще опишем графично IF логиката.



Фигура 2.2. Обща илюстрация на IF логиката

2.5.1. Един общ поглед върху IF системи

Проблемът, който трябва да се разреши при употребата на IF логиката, е да се определят взаимоотношенията между входящите и изходящи данни и това става чрез определени правила, като например формата „Ако – То“ [Atanassov, 1983], [Marinov, 2016a1]. При подобни системи можем да имаме няколко правила, които се прилагат паралелно във взаимоотношение един с друг и тяхната подредба не е важна. Тези правила се отнасят до променливите и имената, които ги описват. Първоначално трябва да дефинираме термините, които ще се използват и имената, които ще ги описват, и след това да изградим системата, която ще интерпретира правилата. Следователно, за да кажем, че една централна власт не е легитимна,

трябва да уточним интервала на променливата на легитимността, както и значението на думата „легитимност“.

Причините за прилагането на IF логиката е в това, че основните концепции на тази система са лесни за разбиране. Обосновката, която следва този метод, се основава на базови математически термини. IF логиката е гъвкава като система. Може да действа с лекота заедно с други системи; толерантна е към данните с ниво на неяснота; IF логиката може да моделира нелинейни функции с високо ниво на сложност. Може да се изгради IF система, която да функционира с всякакъв вид данни, както входящи, така и изходящи. Употребата на IF логика се основава на прост комуникационен език. Това прави системата лесна за употреба [Marinov, 2016a2] [Vassilev, 2012]. Последната оценка, направена върху IF система е най-важна. Това са предимствата, които ни стимулират да ползваме IF логиката за социалните адаптивни комплексни системи, като знаем, че много данни, които имат общо с човека като главен герой, както и неговото поведение, са много неясни тъй като зависят от неговата сложната природа, както и много фактори, които влияят върху него.

IF правила от типа "Ако – То"

За да се оперира с данните, които са в системата, съответно – за да се направи връзка между входящи и изходящи данни, за да се извърши някакво действие с цел да се постигне някаква крайна преценка ще използваме лингвистични релации [Zadeh, 1965]. Нека имаме случаят:

Ако x е A , то y е B

Където x и y са два елемента от обекта на дискусията съответно X и Y , докато A и B са лингвистични стойности, чрез които се съотнасят два IFS в обсъжданите съответно X и Y .

Лявата част на отношението се нарича предходна или предпоставка, докато дясната част се нарича консеквенция или извод. Те също така могат да бъдат наричани и причина и следствие.

Лингвистичните релации трябва да се разбират като общност на лингвистичните изрази на входа и на изхода. Като цяло входът представлява една цифрова стойност, която се променя на IF стойност, докато изходът след операцията с IF отношение е едно пълно IF множество. Нашата задача е да превърнем това пълно IF множество в единна цифрова стойност, което ще се постигне чрез така наречения процес на дефъзификация.

От това става ясно, че интерпретацията на едно правило включва две отличителни части – оценка на предпоставката, която включва фъзификация на входа и прилагане на операторите IF, както и получаването на резултата като консеквенция, действие отбелязано като следствие. Докато при бинарната логика прилагането на едно правило се представлява трудност – ако предпоставката е истинна, изводът също е верен. Прилагането на същата логика при IF система предполага, че ако предпоставката е вярна според скалата за вярно и невярно, то изводът също е верен според същата скала за вярно и невярно. Броят на предпоставките, при които се прилагат някои правила и броят на следствията, както и броят на правилата може да се състои от няколко части като например:

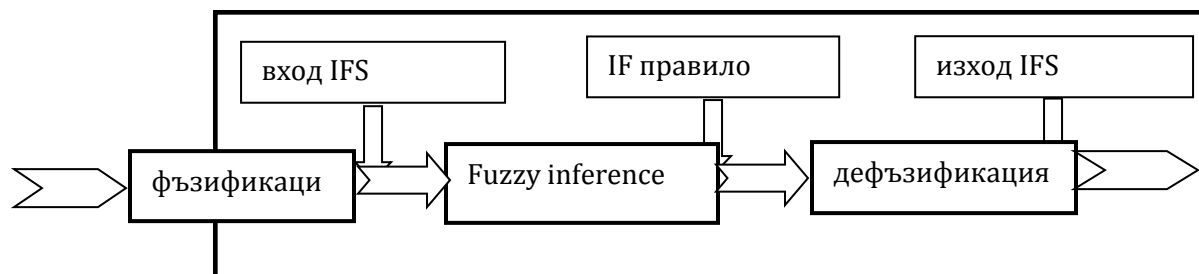
-ако x е A и y е B , то z е C , (2 предпоставки и 1 следствие)

-ако x е A , то y е B и z е C (1 предпоставка и 2 следствия)

При горния пример всяка част от предпоставката е оценена по индивидуален начин.

2.5.2. Функциониране на IF системи

Една IF система се характеризира от функцията на принадлежността и непринадлежността на входа, IF правила и функцията на принадлежността и непринадлежността на изхода, които са представени на фигура 2.5 [Atanassov, 1983].



Фигура 2.3. Системата, базирана на IF правила

Като изхождаме от това, че като цяло входовете на една система не са интуитивни размити, но цифровата стойност на физичната величина е, тогава за да можем да приложим IF логиката трябва първо да се изградят IF функции, което ще рече, че за всяка физическа цифрова стойност да се определи стойност за принадлежността или непринадлежността ѝ, като се създадат съответните IF множества за всяка физическа величина на входа. Този процес се нарича фъзификация. Конкретно за една дадена стойност x_0 и едно IF множество A в обсъжданата система U се изчислява нивото на принадлежност $\mu(x_0)$, или непринадлежност $\nu(x_0)$.

От по-горната фигура, това което се вижда в първия блок е действието на фъзификацията върху входящите променливи. Фъзификацията е един процес, който приема цифровите стойности на входа на IF системата и на базата на познанието върху функциите за принадлежност или непринадлежност при влизането, дава IF общностите, които са генерирани от тези стойности [Vassilev, 2017]. Прилагането на операцията чрез употребата на IF логиката, съответно IF правилата, както е показано и на горната фигура, се осъществява в три стъпки:

1. Процес на фъзификация– Оценява се всяка една входяща информация за системата със степен за принадлежност или непринадлежност от 0 до 1.
2. Изпълнение на IF оператори при причините с повече от един елемент – ако има причини с няколко елемента се прилага един IF оператор и се оценява причината със стойност 0 или 1.

3. Изпълнение на метода на въвличането – чрез този метод се оценява причината с една цифрова стойност от 0 до 1. Тази цифрова стойност дава форма на функцията за принадлежност или непринадлежност, които представляват множеството на изхода. Обработката на функциите за принадлежност или непринадлежност, ако го преведем на езика на думите (а не на цифрите) е в резултат на прилагането на правилото.

При IF система, ако има само едно правило, то неговото приложение не е достатъчно. За изграждането на една ефективна система е необходимо паралелното приложение на две или повече правила. Излизането на всяко правило е едно IF множество, което се представлява от една функция за принадлежност или непринадлежност. Всички тези функции се свързват, за да дадат една крайна функция на изходите. След това се изпълнява процес на дефъзификация, което обработва тази функция и изваждането на една окончателна стойност.

Например: "Ако рискът е висок, то гражданинът остава спокоен". В този случай концепцията "висок" се изписва в системата като число между 0 и 1, така че причината е една интерпретация, която се превръща в число между 0 и 1. Като резултатът е една IF общност.

2.5.3. Система за IF оценка

След като сме "превели" входовете в IF стойност съответно фъзификация, следователно след изграждането на IF функции на входа, се поражда нуждата за откриването на някакви общи резултати. За да се постигне това те се обработват като се използват операции и релации IF. Този процес се нарича преценка или интерференция [Atanassov, 1983]. По време на този процес се оценяват предпоставките на всяко правило, като за всяка декларация се взима в предвид нивото на активизация или не активизация (принадлежност или не) на IF общността, която се разглежда в началото. Например, да вземем в предвид простото правило:

Ако $x \in A$ и $y \in B$, то $z \in C$,

където двете декларации ($x \in A$) и ($y \in B$) ще имат ниво на принадлежност $\mu_A'(x)$ и $\mu_B'(x)$ както и непринадлежност $\nu_A'(x)$ и $\nu_B'(x)$ съответно, които се смятат при процеса на фъзификацията.

В процеса на IF заключаването, като се оперира според всички дадени правила (и като се има в предвид нивото на принадлежност $\mu_A'(x)$ и $\mu_B'(x)$, както и нивото на непринадлежност $\nu_A'(x)$ и $\nu_B'(x)$) се генерират една или много общности с интуиционистки размит изход в резултат. На базата на скалата за истинност на декларациите, които са част от предпоставката, е възможно да се вземе едно ниво на принадлежност за всякакви правила чрез една от по-долу посочените операции:

- Конюнкция AND. $\langle \min(\mu_A'(x), \mu_B'(x)), \max(\nu_A'(x), \nu_B'(x)) \rangle$ В този случай се използва само един от операторите AND. По този начин се постига ниво на принадлежност $\mu_A'(x)$ и $\mu_B'(x)$ и ниво на непринадлежност $\nu_A'(x)$ и $\nu_B'(x)$ за всяко правило, в което предпоставките са свързани чрез логическия оператор AND.

- Дезюнкция OR. $\langle \max(\mu_A'(x), \mu_B'(x)), \min(\nu_A'(x), \nu_B'(x)) \rangle$ В този случай се използва само един от операторите OR. По този начин се постига ниво на активизация за всяко правило, в което предпоставките са свързани чрез логическия оператор OR.

Освен това се използва и още един друг оператор, който служи за генерирането на IF множества, които са модифицирани на изхода, на базата на нивото на истинност на правилото:

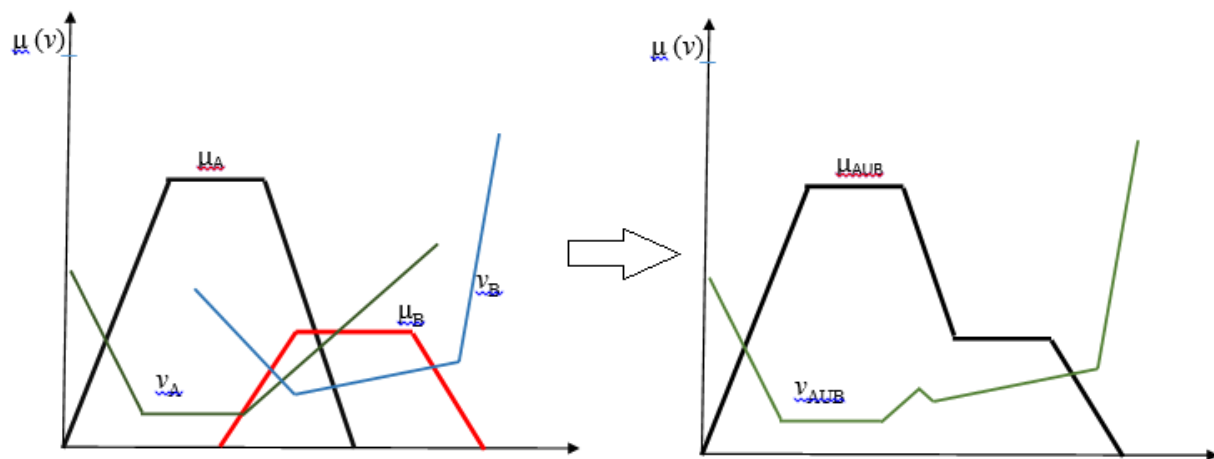
- Импликация. $\langle \max(\mu_B'(x), \nu_A'(x)), \min(\mu_A'(x), \nu_B'(x)) \rangle$ Този оператор обикновено е от типа минимум, алгебричен продукт, разделяне. Той приключва процеса на оценка.

Отделно от тези оператори, които се употребяват по-често, ще употребим и други, които са ограничени в рамките на IF логиката в зависимост от проблемите, които разглеждаме.

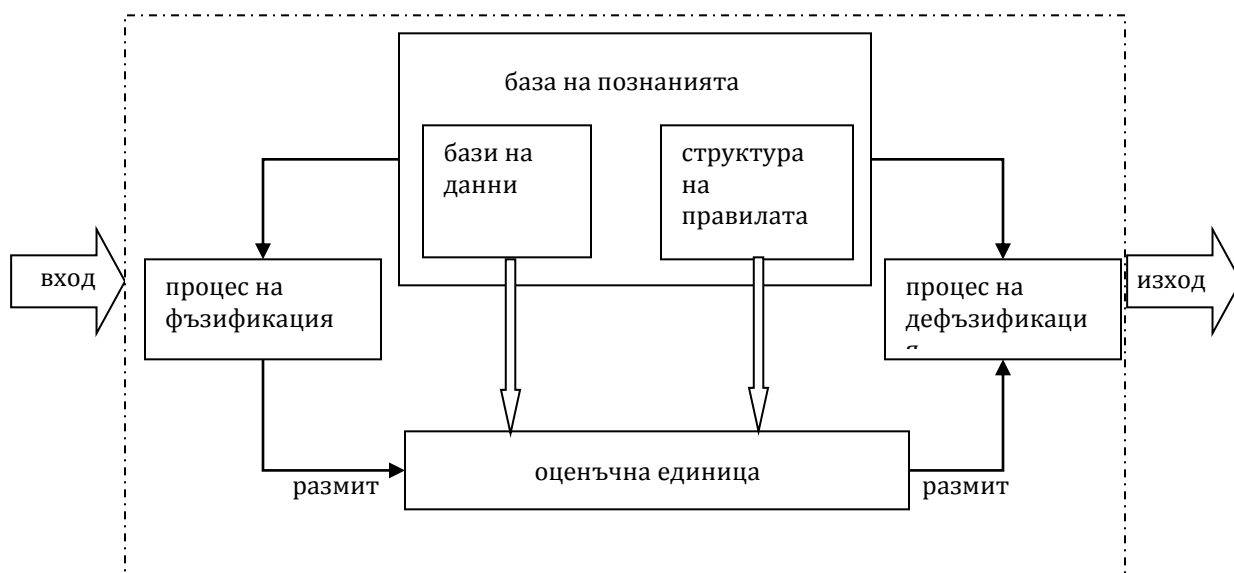
За нашата тема, както ще видим по-късно, ще използваме оператора IFOWA, дистанцията, подобие и другите оператори, които са ограничени съответно за този тип логически общности.

И накрая множествата от IF изходите, които са генерирани по време на процеса на преценка трябва да бъдат редуцирани в едно уникално IF множество преди да можем да получим цифрова стойност на изхода. Като цяло се използва един оператор от типа логическо OR, логическо AND, IFOWA или суми за постигането на това множество.

За да илюстрираме това нека предположим, че има графика на две функции с принадлежност μ_A и μ_B и като използваме сумата, получените множества на изхода по-рано са просто събрани, точка по точка, в света на дискусията U ; в един такъв случай може да се нормализира отново финалната функция, така че да се редуцира максимумът му в единичната стойност. Този прост пример на множество между IFS чрез употребата на логическия оператор OR за стойността на принадлежността сме представили на фигура 2.6.

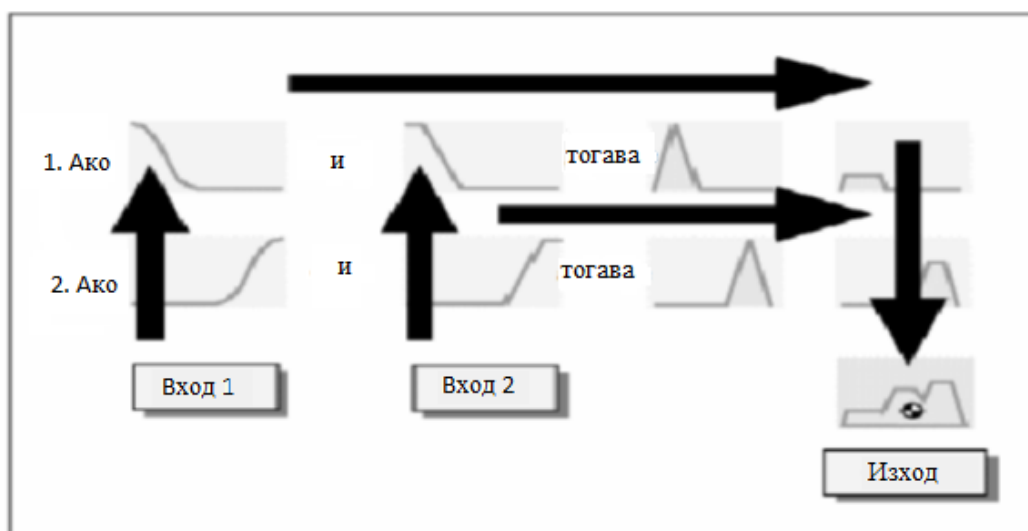


Фигура 2.4. Логическата операция OR чрез приложението на IF логиката за функциите на принадлежност (μ) и непринадлежност (ν)



Фигура 2.5 Детайлна диаграма на IF логиката

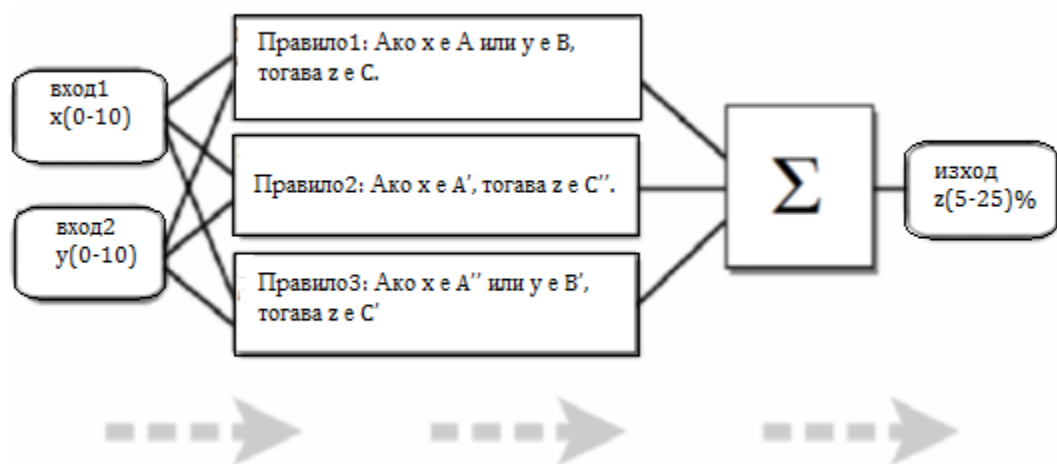
За една система, която има два входа, две правила и един изход блок диаграмата на процеса на оценка ще бъде като на по-долната фигура.



Фигура 2.6 Диаграма на процеса на IF оценка

За да опишем процеса на оценка нека да вземем за пример една система, която има два входа, три правила и един изход. Тук ще разгледаме още един много важен аспект на IF логиката и това е прилагането на правилата паралелно едно с друго.

От горната фигура може да се види, че този процес се състои от процес на фъзификация, прилагане на операторите IF (AND или OR) в частта с причината, процеса на въвлечането от причината към следствието, събирането на последствията чрез IF правила и процес на дефъзификация. Това можем да илюстрираме с долния пример, където имаме една система с два входа, три правила и един изход.



Фигура 2.7 Пример с два входа, три правила и един изход

Процес на фъзификация

В първата част входовете, които обикновено са цифрови данни се променят в IF данни и съответно става определянето на количество на принадлежност и непринадлежност към съответното IFS [Atanassov, 1983]. Това се осъществява чрез функциите за принадлежност μ и не принадлежност ν , като $\mu + \nu \leq 1$. В по-горния пример входовете са цифри, които са ограничени в рамките на интервала и изходът е едно ниво на IF принадлежност или не принадлежност в лингвистичното

множество (винаги се простира в интервал $[0,1]$). Фъзификацията се показва чрез функцията на принадлежност или непринадлежност.

Приложение на логическите IF оператори в частта с причината

Когато имаме причина с IF правило, която има повече от един елемент, се прилагат IF логически оператори, за да се получи едно число, което представлява резултат от причината на това правило. Това число, което се получава от тези логически оператори се прилага от функцията за принадлежност или непринадлежност на изхода. Броят на стойностите при входящите, където се прилага и логическия оператор може да бъде повече от една, докато стойността на един изход е една.

Прилагане на метода за извличането от причината към следствието

Като начало трябва да се уточни поредната тежест, която заема едно IF правило. Всяко правило има поредна тежест в системата и се обозначава с числото 0 или 1, което се прилага спрямо стойността, която произлиза от оценката на причината за правилото. След като се определи тежестта на всяко правило се прилага и процеса на извличането. След прилагането на извличането от причината се получава следствието, което е едно IFS представлявано от една функция на принадлежност или непринадлежност, което акцентира по нужния начин лингвистичните характеристики, които са приложени към тази функция. Функцията за принадлежност или непринадлежност, която представляват следствието се пре моделира от числената стойност, която произлиза от причината. Следователно входът за процеса на извличането е една стойност, обработена от причината, и изходът е едно IFS, представлявано от една функция на принадлежност или липсата му. Извличането се прилага към всяко правило.

Събиране на всички изходи чрез правилата IF

При IF логиката решенията се вземат на база на приложението на IF правила [Atanassov, 1983]. Следователно чрез комбинацията на правилата можем да вземем едно решение. Символът за събиране представен на фигура 2.9 служи за получаването на само едно IFS. Процесът на събиране се случва само веднъж за всяка променлива на входа и се случва преди последния процес, който е дефъзификация.

Входът за процеса на събиране е списъкът на функциите на изходите, ремоделирани от процеса на въвлечение, който се изпълнява при всяко правило. Изходът от процеса на събиране е функция, която представлява IF множество. Редът, по който се изпълняват правилата няма значение.

2.6. Социалните системи и моделирането им

Като имаме в предвид, че темата, която разглеждаме е свързана с конфликтите в обществото чрез АВМ, което често се случва поради 2 причини: неразбирането и различните интереси между индивидите или групите, които представят общностите. В тази работа те са представени като агенти. Първия случай може да възникне в резултат на това, че не всички агенти разполагат с еднаква информация. Така всеки агент може да си изведе различни изводи като се базира на различни предположения. Във втория случай информацията са еднакви при всички агенти. Но въпреки това може да се стигне до несъгласие, тъй като агентите имат различни интереси, желания или вярвания.

Тези социални системи реално са сложни адаптивни системи и следователно са способни да изучават и да променят поведението на една общност, която тук представлява човекът, като оптимизират някои негови черти с течение на времето. Тази еволюция на поведението на индивидите в сравнение с останалите индивиди и средата може да се представи в резултат на конкуренцията между представителите

на населението за ресурси. По време на връзката с другите индивиди и средата те са в състояние да приспособят поведението си.

Социалните системи са достатъчно сложни и трудно предвидими. Те се състоят от общности от индивиди, които си взаимодействат по между си, като еволюират по един автономен начин, мотивиран от вярванията, целите им и от тяхното място в социалната им среда.

ABM се състоят от общностите, софтуерните автономни единици (агенти), които си взаимодействат едни с други и с тяхната среда. Тези агенти са автономни, реактивни и проактивни. Това означава, че могат сами да си правят изводи, да реагират на базата на информацията, получени от средата, в която действат и да влияят върху състоянието на средата, като я пригаждат към себе си с цел постигането на собствените си цели [Stoyanov 2014].

В този смисъл парадигмата на агентите приучава много добре индивида в социалните системи. ABM за тези случаи може да се изпълни и съответно реализира от няколко агенти, които могат да бъдат различен вид в средата, в която ние наблюдаваме поведението на агентите. Наблюдението на агентите може да подпомогне анализа на колективното поведение и посоката на еволюция на системата [Stoyanov 2008]. Това осигурява платформа за емпирични изследвания на социалните системи.

2.7. Приложение на IF логиката при моделирането на социалните системи

Когато се опитваме да моделираме реалните социални системи се появяват няколко ограничения, тъй като поведението на индивидите е достатъчно сложно и неясно. Съществуват много характеристики на човека, които нямат ясни граници или зависят от интерпретацията на контекста.

От друга страна като се тръгне от същността на човека, която се повлиява от емоциите, целите, желанията, вярата и знанието, което той притежава, би било много трудно да се представят чрез ясни познания (фиксираны, точны). За да го постигнем ще се опитаме да приложим Intuitionistic fuzzy (IF) логика [Atanasov, 2017]. IF логиката оперира с “интуиционистки размити множества”, “IF променливи”, “IF числа”, “IF отношения”. IFS са функции, които представляват свойствата на обекта, който разглеждаме в единичния интервал $[0,1]$ [Atansao, 1983]. Комбинирането на логическите неточни правила в една единствена стратегия за вземане на решение се нарича IF довод или извод, базиран на IF правило. В системите, в които са представени конфликтни ситуации и които са моделирани с ABM реакциите и интервенциите на агентите, които са в конфликт са моделирани като са базирани на извода, който е основан на IF правила.

Идеята за комбинирането на интуиционистки размита логика за моделирането, базирано на агенти (ABM) има голям потенциал, който в момента не се използва или се използва малко. ABM е една парадигма на моделирането, която е била много успешна при симулирането на сложни системи. Методологията ѝ се концентрира върху изграждането на една изкуствена среда, обитавана от агенти, които имат директна връзка с атрибутите на средата и между тях самите.

Този подход дава възможност симулацията, която се базира на възприятието, поведението и атрибутите да може да се кодира чрез IF логика. Освен този потенциал и други два аспекта във връзка с ABM също са важни:

- Първо, способността ѝ да включи лесно и нови елементи на симулация (агенти и атрибути), нещо, което не е така лесно при числените модели;

- Второ, идеята за появяването, една черта на симулацията, която се основава на факта, че обикновените правила на взаимодействие между агентите може да доведе до един по - сложен модел на функциониране на системата;

Агентите, които се базират на тази логиката (които ние ще представим като IF агенти) са агенти, които могат да извършват качествени изводи с непълни и неясни данни, в една среда, която съдържа лингвистични променливи.

Нека първо да направим един кратък увод за Intuitionistic Fuzzy Sets (IFS - Интуционистки размити множества) като концепция, която ще се използва при изясняване на поведението на агентите и в самата логика на агентите, които използват IF логика.

Нека X да бъде едно непразно множество.

Едно IFS A в X има вида $A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) : x \in U\}$, където функциите $\mu_A(x), \nu_A(x) : U \rightarrow [0,1]$ дефинират съответно нивата на принадлежност и непринадлежност на елемента $x \in U : 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$. От тук ние имаме $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ който се нарича индекс на неопределеност при IFS или колебание на x в A . $\pi_A(x)$ е нивото на неопределеност на $x \in U$ в IFS A и $\pi_A(x) \in [0,1]$ и $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$ за всяко $x \in U$. $\pi_A(x)$ изразява липсата на познание за това дали x се отнася до IFS A или не.

За да представим една система чрез IF логика, ние трябва първо да размием атрибутите ѝ, след това да действаме на базата на IF правила, да извадим изводи и накрая след като сме си извели извод трябва да ги направим отново неразмити.

2.8. Агенти, които се основават на интуиционистки размитатата логиката

В компютърните науки ,размитите агентите се определят като софтуерни агенти, които прилагат размита логика.

В нашия случай агентите, които се прилагат за разрешаването на проблем с неясни параметри, ще използват интуиционистки размита логика и агентите, които ще използват тази логика ще наричаме “интуиционистки размити агенти” или накратко “IF агент”.

Тези агенти са способни да взаимодействат със средата и с другите агенти, чрез базовите адаптивни правила, които могат да се възприемат и като интелигентни агенти. Затова първо нека да дефинираме интелигентните агенти.

Един интелигентен агент представлява една компютърна система, която е поставена в среда, с която си взаимодейства и който е в състояние самостоятелно да действа с цел постигането на собствените си цели, за които е проектиран. Тези агенти притежават следните черти: автономни; реактивни; проактивни и социални. Това означава, че агентът е в състояние да изпълни задълженията (целите) си по един независим начин на базата на набор от правила, които притежава; на базата на информацията, която получава от средата той може да действа; с действията си е в състояние да промени средата, в която е поставен като я подчини на своите собствени цели; в състояние е да действа с други агенти за постигането на целите си [M. Wooldridge, 1997].

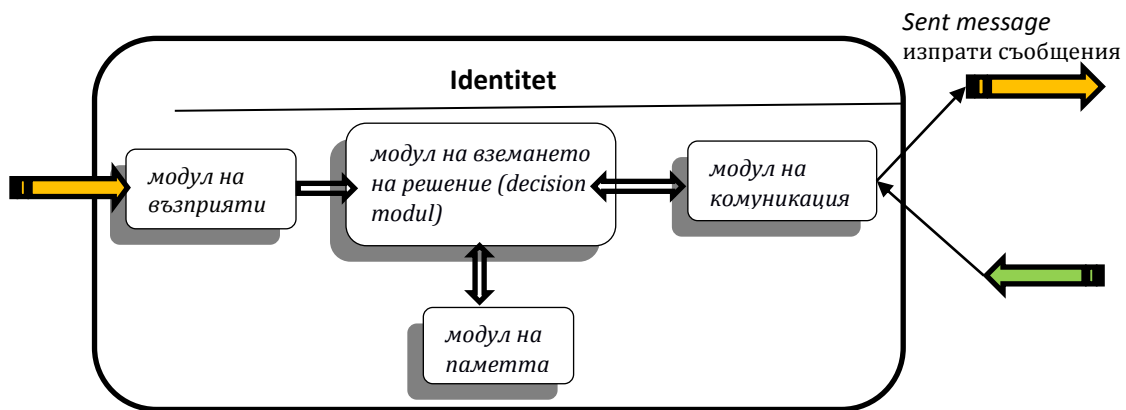
Една друга черта на агентите е и тяхната способност да се свързват и групират, което подразбира поведение или дейност на група от агенти като едно цяло. Фербер [J. Ferber.,et all ,1997] дава определение за това групиране като организация и счита, че в организацията се предполага съществуването на група агенти, които формират една определена общност. Различните елементи на тези агенти са в зависимост един от друг в една интегрална цялост и имат конвергентна активност. Подобни групирания могат да се използват когато искаме да изясним конфликтни ситуации, които се случват между централната власт и

протестиращите, където в една организация ще бъдат активните агенти, в друга спокойните агенти и трета организация ще бъдат агентите полицаи.

За да се изработи модела на сложните системи като съставни части ще използваме агентите, които имат силни интерактивни качества като комуникативност, сътрудничество, координация и т.н. За изработването на сложните системи, които се състоят от повече елементи, които са във взаимна връзка [H.A. Simon, 1969], трябва да се включат и данните във връзка с разпространението и автономността на компонентите на системата, както и процедурата на моделиране трябва да бъде по-точна на комуникационно, координационно ниво, както и на ниво сътрудничество. Едно подходящо ниво на абстракция на този проблем се осигурява от ABM [M. Wooldridge, 2002].

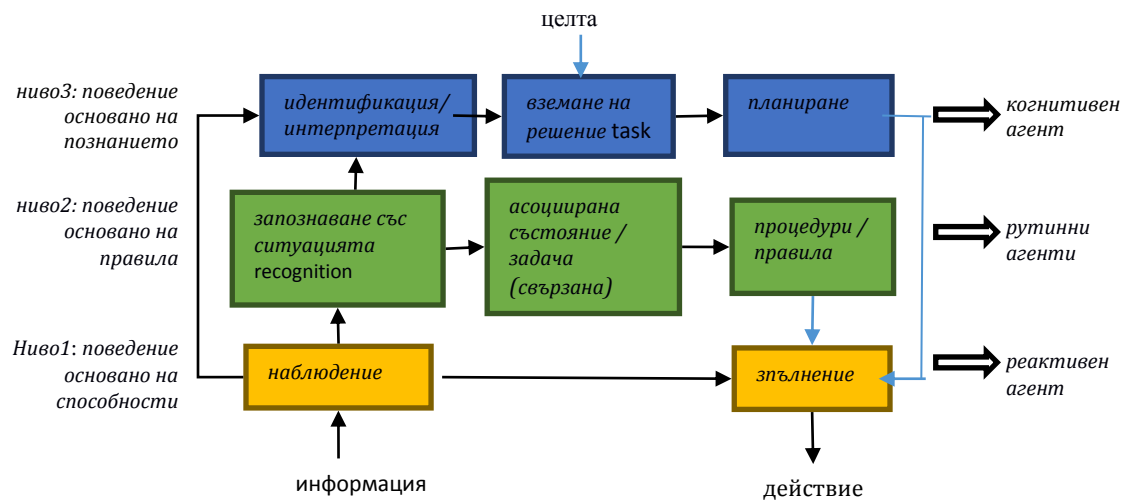
Трябва да се има в предвид, че един агент „живее“ в една среда, в която съществуват и други агенти, с които е в същата организация или е в противопоставяне с агентите, които принадлежат към друга организация от агенти. Следователно един агент е във взаимодействие със средата; получава информация от средата (следователно вижда), на базата на набор от правила, които притежава, може да вземе решение, и на базата на това решение може да предприема действия [Jennings, 2000].

Наличието на автономия представя способността за едно самостоятелно действие с цел постигането на целите, които си е поставил един интелигентен агент, какъвто представлява компютърната система. Автономията на един агент се осъществява технически от независим процес, една индивидуална памет (познания/данни на агента) и способност за взаимодействие със средата и с останалите агенти. По-долу ще представим модулната схема на когнитивния агент.



Фигура 2.8. Модулна архитектура на когнитивните агенти

Дефиницията на нашите агенти е приспособена към модела на оператора Расмусен, който е организиран на три нива [J. Rasmussen, 1983]. Следователно този агент притежава три типа поведения – поведение, базирано на способностите; поведение, базирано на правила и поведение, базирано на познание с интерпретация, вземането на решение и план.



Фигура 2.9. Моделът на Расмусен .

Агентите, които ние ще описваме, притежават черти от когнитивните и реактивни агенти. От фигурата се вижда, че те притежават поведение, което е приспособено към задачите, които имат да изпълнят:

Реактивна задача (*reactive task*), която се характеризира от: *<Observation, Execution>*;

Рутинните задачи се характеризират с:

<Observation, Interpretation, Association state/task, Procedure/rules, Execution>;

Накрая когнитивната задача се характеризира с:

<Observation, Interpretation, Decision of task, Planning, Execution>.

Ние ще създадем агенти, които да представят по-ефективни решения, като използват логика, базираща се на интуиционистка размитост, по подобен начин, по който са създадени размитите агенти на Острос [Ostrosi E., et all, 2011]. Ще тръгнем от това, че всеки агент е поставен в среда (и), има определена роля, притежава познание, във връзка е със средата и останалите агенти, също така ако са поставени в MAS могат да се свързват в групи, които ние ще наричаме организации. Софтуерните агенти, които прилагат IF логика са интуиционистки размити агенти (агенти, които се базират на интуиционистки размита логика).

Една модулна система с агенти $S\alpha$ ще бъде IF ако агентите, които я съставляват са IF. Това означава, че агентите на тази система имат IF познания, IF поведение, IF взаимодействия и ролите им използват IF логика. Също така и организациите на агентите от този тип също са от вида IF:

Поведението на един агент зависи от IF оценката на наблюденията (възприятията), действията и решенията му където:

IF възприятията зависят от IF състоянието на агента и IF състоянието на системата, която е базирана на агенти;

Вземането на IF решение зависи от интерпретацията на IF агента, който притежава IF познание;

IF действие, което зависи от IF решение от IF агент и състоянието на цялата система, която е базирана на агент α .

Взаимодействията между агентите са интуиционистки размити, тъй като отношението (или привличането) между агентите се измерва с IF стойност и взаимодействията предполагат IF оценка на базата на ролите, които агентите играят в един определен момент.

Ролите на агентите са IF, което означава, че всички роли, които IF агенти могат да играят продължително, имат една IF стойност. В един определен момент е възможно да се установи ролята, която един агент има, на базата на IF стойности на неговите роли и една крайна стойност, която дава минималната стойност, която един агент трябва да инвестира в тези роли.

Организмът (или организациите) на системите, които са базирани на агенти, е интуиционистки размит и динамичен, докато разпределянето на ролите, които се играят от IF агенти е в постоянно движение – това определя един самоорганизиран агент, който е резултат от техните многослойни IF взаимодействия и постоянната еволюция на техните роли в глобалната активност на системата, която е базирана на агенти.

Следователно един агент може да бъде представен като наредена четворка, която е описана от следното равенство¹:

$$\alpha_i = \langle P, D, Act, KB \rangle,$$

където P представлява функцията на възприятието (наблюдението) на един агент; D е функцията на вземане на решение, която интерпретира наблюдаваната случка; Act е функцията на дейностите на агента; и KB е съдържанието на познанието, което се намира в неговата памет, което представлява правила за извеждане на изводите и IF стойност за съответния домейн (наблюдаваната случка, вътрешното състояние и т.н.).

¹ E. Ostrosi, et all, 2012

Правилата за вземане на решение, които се дават на агентите са дефинирани от наредената тройка:

$$R = \langle Ev, cond, Act \rangle,$$

където Ev е множеството на случващото се, в което IF агентът може да възприема; $cond$ е множеството на IF условия, към които се прилагат и вътрешните стойности на IF агента, който в нашия случай е α_i ; и Act е множеството от действията, които агентът α_i извършва.

Една система, която е базирана на IF агенти S_α е дефинирана от наредената четворка:

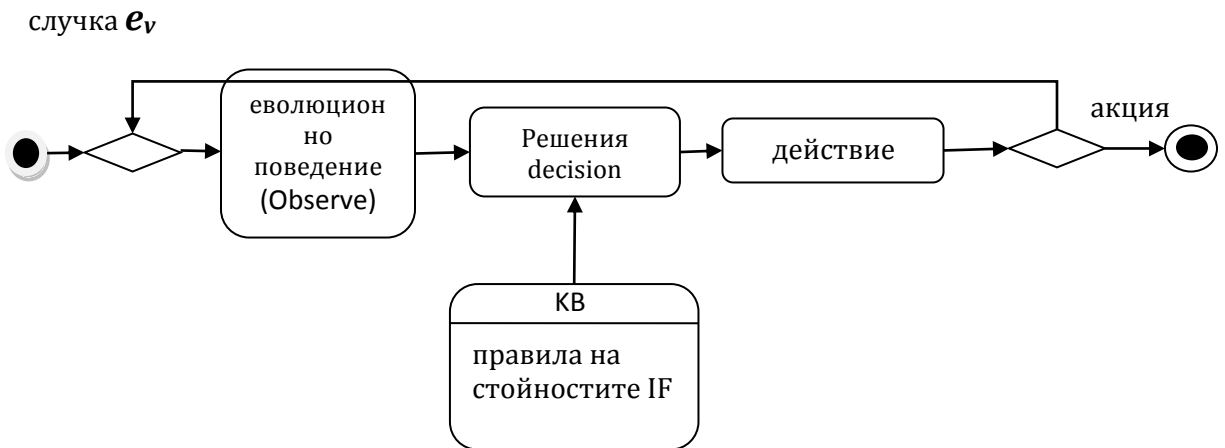
$$S_\alpha = \langle A, I, R, O \rangle,$$

където A е една група от IF агенти, I е IFS на сътрудничеството между IF агенти, които се намират в A ; R е множеството на ролите, които IF агенти могат да играят; и O е IF множество съответстващо на определени организации за IF агентите на A .

При повечето системи, които са базирани на агенти, поведението на един агент който взаимодейства с други агенти на системата, се състои от три фази (Фигура 2.12.):

- получава информация от един друг агент или възприема една промяна в неговата среда,
- интерпретира тази случка и решава действията, които трябва да се предприемат, като се вземат в предвид и останалите агенти,
- изпраща съобщение или извършва действие, което модифицира средата

Така един IF агент $\alpha_i \in S_\alpha$ описан по-горе може да се представи от фигура 2.12:



Фигура 2.10. Дейността на IF агентите

Функциите на поведението на агентите са дадени с по-долу показаните алгоритми за всеки един блок²:

1. Алгоритъм на наблюдението
 $e_v \in E_v$ // IF събитие
 $t \in T$ // задача за разрешаване
 $p \in P$ // функция на наблюдението

```

if  $P(e_v) = true$  then
  if  $t = true$  then
    if  $relation(e_v, t) = true$  then
       $p \leftarrow e_v; D(p)$ 
    else insert  $(e_v, Agenda)$  endif
  else
     $t \leftarrow true$ 
     $p \leftarrow e_v; D(p)$ 
  endif
endif
  
```

2. Алгоритъм на вземането на решението
 $p \in P$ // функция на наблюдението

² E. Ostrosi, et all, 2012

```

 $\rho \in R$  // IF правила
 $\delta \in D$  // IF решение (decision)
if  $D(p) = \text{true}$  then // вземане на решение/действие
    if  $\text{find\_rule}(p, \rho) = \text{true}$  then
         $\delta \leftarrow \rho; \text{Act}(\delta)$ 
    else  $\text{Act}(\text{null})$  endif
endif

```

3. Алгоритъм на действието

```

 $\delta \in D$  // вземане на IF решение
 $\in \text{Act}$  // IF действие
If  $\text{Act}(\delta) = \text{true}$  then
     $\leftarrow \text{извличане\_на\_извод}(\delta)$ 
    process
(
)
else process (null)
endif

```

Всеки IF агент играе една предварително избрана роля, ограничена от неговите IF компетенции, и се формализира от правилата за вземане на IF решение.

Комуникация и взаимодействие на IF агенти

В системите с повече агенти и при моделите, които са базирани на агенти, е необходимо да има взаимодействие между агентите от една и съща група (англ. *intra-communities interactions*), между агентите от различни групи или организации (англ. *inter-communities interaction*) както и между агентите и средата, в която те се намират. При системите, базирани на агенти, като една човешка организация, действията, взаимодействията и комуникациите са тяхно свързани и взаимно зависими [J. Ferber, 1999].

При повечето системи, които са базирани на агенти, поведението на агентите, които са във взаимодействие, се състои от три фази:

- Информиране от другите агенти или възприемане на промените в неговата среда (случки);
- Интерпретация на тези случаи;
- Изпращане на съобщения или предприемане на действия в модифицирани среди. Ако взаимодействията между агентите често пъти са комуникационни, те също така включват и действия като координация, сътрудничество и преговори [Zhang X., et al, 2003].

Комуникацията е обмяна на съобщения между агентите чрез употреба на език [J.M. Fernández de Alba et al, 2010]. Комуникацията в една система, която се базира на агенти, може да се извърши като:

- Адресирана комуникация, в която един агент изпращач (англ. source) изпраща съобщение към един или няколко агенти получатели (англ. destination) (което съответства с модела Shannon [Shannon, 1996]), базовата единица в тази комуникация е актът на речта (англ. speech act) [J.L. Austin, 1962];
- Комуникация без адрес, в която един агент изпращач изпраща съобщение до всички агенти на разположение в средата.

Едно IF взаимодействие $li \in I$ между двама IF агенти αs и αr се определя от наредената тройка

$$li = \langle \alpha s, \alpha r, \gamma s \rangle,$$

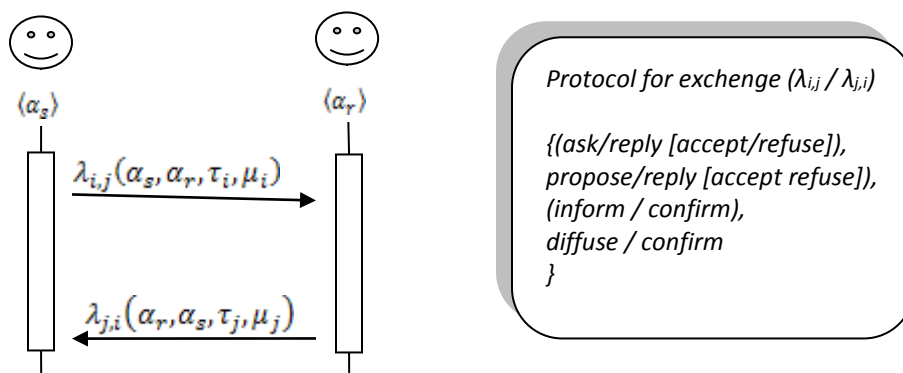
където αs е IF агент, източник в IF взаимодействие, αr е IF агент дестинация в IF взаимодействие и γs е едно IF действие, което се представя в следствие на взаимодействието (степен на активност, степен на успокоение, степен на неопределеност).

За да се сътрудничи (например, за да се сподели информация, за да се потърсят услуги, за договаряне на IF стойности и други) агентите комуникират

помежду си съгласно един език, който произлиза от теорията за speech act (акт на говоренето) [J.L. Austin, 1962]. IF агентите извършват поне пет акта на говорене:

$$L = \{inform, diffuse, ask, reply, confirm\} \quad [E. Ostrosi, et al, 2012].$$

Тези пет акта на говорене са достатъчни за да помогнат на IF агентите да възприемат целта на сътрудничеството, което е свързано с предложението, което съдържа едно IF съобщение. Действието на комуникацията между два IF агенти се определя от един агент източник α_r , агент дестинация α_s , от един акт на говорене λ , тип на съобщенията τ и на разми съобщения μ , представени на фигурата.



Фигура 2.11. Комуникацията между два агента, които се основават на IF логиката.

Протоколите на взаимодействието дават подробна информация за това как си сътрудничат агентите за постигането на общите им цели.

3. Теория на игрите и еволюционните алгоритми

3.1. Теория на игрите

В теорията на игрите, или теорията на стратегическото взаимодействие, се анализират ситуации, в които състоянието на агентите зависи пряко от избора на други агенти. Ето защо, при тези обстоятелства при вземане на решение, всеки агент трябва да предвиди избора или решенията на другите агенти в играта. Затова ние казваме, че се занимаваме с проблеми на стратегическите взаимодействия.

Теорията на игрите не е в състояние да реши всички проблеми, защото тя работи само когато хората играят рационално. Въпреки това, хората не винаги са ирационални и затова можем да кажем, че е полезно да се проучи какво се случва, когато хората действат като мислят с обосновка. Следователно теорията на игрите функционира правилно когато се прилага от хора, които знаят точно какво правят.

Ако играчите играят за да максимизират печалбите (ползи) от тях, то тяхното поведение се счита за рационално. В теорията на игрите целта е да се наблюдават решенията, които играчите вземат, когато те не взаимодействат помежду си, а само играят заедно в играта.

3.1.1. Дилемата на затворника

Този пример представлява една от най-познатите игри в тази област. Случката: Двама души са арестувани за това, че са извършили престъпление [Axelrod, 1987]. Полицията няма достатъчно доказателства, за да осъди заподозрените и затова решава те да свидетелстват един срещу друг. Полицията настанява всеки един от заподозрените в отделна килия, за да се предотврати комуникацията между тях. Полицията информира всеки от тях, че ако той

свидетелства против приятеля си, то той ще бъде освободен, при условие, че приятелят му не е свидетелствал против него. Ако нито един от заподозрените не свидетелства и двамата ще отидат в затвора за определен период; ако и двамата свидетелстват, то и двамата ще отидат в затвора, но ще получат по-малка присъда. Целта на всеки заподозрян е да сведе до минимум потенциалните години затвор. Въпросът е: Какво ще направят заподозряните? Изправени пред този избор двамата заподозрени решават да свидетелстват. Въпреки това, би било по-добре и за двамата, ако никой от тях не свидетелства, тъй като полицията действително нямала достатъчно доказателства, за да ги обяви за виновни.

3.1.2. Определение за играта

За да се дефинира една игра е необходимо:

- Играчи
- Стратегии за всеки играч
- Печалба на всеки играч: Когато някой играч избира определена стратегия след това всеки от тях получава "печалба" или "добро", представени в някаква стойност. Печалбите за всеки играч като цяло зависят от стратегиите на другите играчи.

По-горе в една описателна форма видяхме дилемата на затворника, а сега в тази част ще я формализираме в игра. В играта има двама играчи, първият заподозрян и вторият заподозрян. И двамата трябва да решат едновременно в отделни стаи дали те ще свидетелстват или не един срещу друг. Така че всеки играч има две стратегии: да свидетелства (*cooperate*) (C) или да не свидетелства (*defekt*) (D). Обикновено, цялата необходима информация е записана под формата на матрица, както е показано на фигура 3.1., която се нарича матрица на печалбите.

Редовете на тази матрица представляват стратегиите на първия играч; колоните представляват стратегиите на втория играч. Числата в клетките представляват "доброто" или "печалбите" на съответните играчи. Например, ако първият играч избира стратегия C и вторият играч избира стратегия D, то първият играч печели 0, а вторият печели -10.

$B_1 \backslash B_2$	C	D
C	(- 8, - 8)	(0, - 10)
D	(- 10, 0)	(- 1, - 1)

Таблица 3.1: Матрична форма за "Дилемата на затворника"

Разрешаване на дилемата на затворника: Ако вашият приятел свидетелства е по-добре и вие също да свидетелствате (8 години затвор), отколкото да не свидетелствате (10 години затвор). От друга страна, ако вашият приятел не свидетелства е по-добре вие да свидетелствате (0 години затвор), отколкото да не свидетелствате (една година лишаване от свобода). Следователно, резултатът от тази игра е такъв, че и двамата разумни играчи ще свидетелстват и ще се окажат в затвора в продължение на 8 години. Дилемата тук е представена от факта, че ако и двамата играчи не свидетелстват те отиват само за 1 година в затвора, а не 8 години, един предпочитан резултат и за двамата. Въпреки това, без възможност за комуникация между играчите и без наличието на механизъм, който може да се наложи в такива ситуации, заподозрените не могат да постигнат желания от тях резултат.

3.1.3. Доминиращи стратегии и елиминирането им

Нека се върнем отново към дилемата на затворника. В тази игра има двама играчи, да ги отбележим като B_1 и B_2 , и всеки от тях има две стратегии на разположение. За стратегията на първия затворник ще използваме означението S_1 , а за стратегиите на втория затворник ще използваме S_2 . В допълнение, с P_1 ще отбележим матрицата на печалбата на затворник едно, а с P_2 ще отбележим матрицата на печалбата на втория затворник.

$B_1 \backslash B_2$	C	D
C	-8	0
D	-10	-1

(a) Матрица P_1

$B_1 \backslash B_2$	C	D
C	-8	-10
D	0	-1

(b) Матрица P_2

Таблица 3.2: Алтернативна матрична форма за “Дилемата на затворника”

Доминираща стратегия. За един играч стратегия s доминира над стратегия s_0 ако печалбата от избора на стратегия s_0 е значително по-висока от печалбата от избора на стратегия s , без да се вземат в предвид стратегиите на противника.

За първия затворник B_1 , доминантната сред стратегиите може да се види чрез сравнение между редовете на матрица P_1 . Стратегия s_0 доминира над стратегия s за играч B_1 , в случай, че

$$P_1(s, s_2) < P_1(s_0, s_2), \text{ за всеки } s_2$$

Това означава, че всеки елемент в ред s на матрица P_1 е по-малък от съответния елемент в ред s_0 на същата матрица.

За втория затворник B_2 , доминантната сред стратегиите може да се види чрез сравнение на колоните на матрицата P_2 . Стратегия s_0 доминира над стратегия s за играч B_2 , в случай, че

$$P_2(s_1, s) < P_2(s_1, s_0), \text{ за всеки } s_1$$

Това означава, че всеки елемент в колона s на матрица P_2 е по-малък от съответния елемент в колона s_0 на същата матрица.

По време на анализа на дилемата на затворника използваме концепцията за доминирането на стратегиите. Според матрицата на печалбите на първия затворник P_1 , е ясно стратегия „свидетелствай“ или „С“ доминира над стратегия „не свидетелствай“ или „D“. ситуацията е еднаква и при двамата играчи и затова и двамата трябва да свидетелстват.

Принцип на елиминирането на доминантните стратегии: ако по време на играта играчите са рационални, то те не трябва никога да използват доминантни стратегии, тъй като могат да спечелят повече ако изберат друга стратегия без да се съобразяват с това какво правят другите играчи. По същата логика ако един играч счита, че противникът му е рационален той никога няма да предположи, че противникът би използвал една доминантна стратегия срещу него.

3.2. Еволюционни алгоритми

Опростеният модел на Дарвин се прилага в компютърните науки с цел разрешаването на различните проблеми на оптимизацията [Holland, 1996], [Z. Michalewicz, 1992]. В технически контекст еволюционните алгоритми са доказано успешни при разрешаването на сложните проблеми на оптимизацията, в последно време е особено интензивно проучването в сферата на оптимизационните проблеми с повече критерий. [J. D. Knowles and D. W. Corne, 2000].

Разрешаването на определени проблеми изисква от компютърните програми иновационни черти – възможност наистина да създават оригинално ново решение.

Най-познатият клас от това множество от проблеми е изразено именно в господството на създаването на изкуствения интелект. В по-ранните фази от

развитието на изкуствения интелект се е вярвало, че ще бъде възможно по един прост и ефективен начин да се изгради програма от единство от правила и по този начин да се осъществи поведението на изкуствения интелект.

Биологичната еволюция е непрекъснат източник на вдъхновение за разрешаването на сложни промблеми. Еволюцията всъщност е метод на изследване на един много голям брой решения. В биологията този брой представлява единство от възможните генетични последователности, докато желаният „избор“ са организмите с високо качество - тези, които са способни да оцелеят и да се репродуцират в средата, която ги заобикаля. Ясно е, че механизмите на естествената еволюция са много по-сложни от тези, които се прилагат в еволюционните алгоритми.

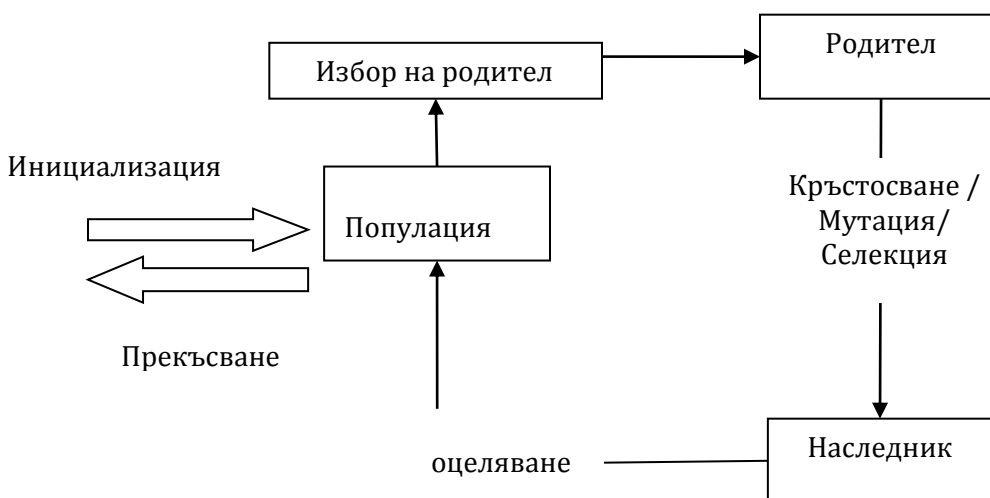
Базовите механизми, върху които се базира еволюционният алгоритъм са опростените механизми на селекция, кръстосване и мутация.

Еволюцията се характеризира с относително опростени механизми: игрите се развиват с помощта на промените на случая (чрез кръстосване и рекомбиниране), след което идва селекцията, която прави възможно оцеляването и репродукцията на качествените индивиди и тези, които се адаптират по-лесно. По този начин генетичният материал на индивида се пренася в следващите поколения.

3.2.1. Базови еволюционни алгоритми

Базовите еволюционни алгоритми се реализират така, че с първата стъпка в зависимост от случая се задейства първоначалната популация на избора. При втората стъпка се оценява приспособимостта на всеки член на поколението. Функцията фитнес прави възможен процесът на еволюцията да бъде направляван в нужната посока, което конкретно влияе върху средата, в която индивидите трябва да се адаптират. Често пъти до функцията фитнес се достига с метода на пробите и грешките, което изисква и време.

След еволюцията се създава избора на новото поколение от популация чрез прилагането на механизмите на селекцията и операторите на вариацията. Механизмът на селекцията гарантира, че индивидите от популация, които имат по-голяма стойност на фитнес функцията си, имат по-големи шансове да оцелеят и да пренесат генетичния си материал до следващите поколения.



Фигура 3.1. Обща схема на еволюционния алгоритъм

Псевдо кодът на еволюционния алгоритъм има следната форма:

НАЧАЛО

ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ на популация на случайните кандидати;

ОЦЕНКА на всеки кандидат

ПОВТАРЯНЕ ДОКАТО УДОВЛЕТВОРЯВА УСЛОВИЕТО ЗА КРАЙ

ИЗБЕРИ родител от популация

1. **ПРЕКОМБИНИРАЙ** двойка родители
2. **МУТАЦИЯ** получените наследници (резултат)
3. **ОЦЕНИ** новите кандидати
4. **ИЗБЕРИ** индивид за новото поколение

Прекъсни когато някое от условията е изпълнено

КРАЙ

Еволюционният алгоритъм е общо наименование за четирите типа канонични алгоритми, *генетични алгоритми (GA)*, *еволюционна стратегия (ES)*, *еволюционно програмиране (EP)* и *генетично програмиране (GP)*.

Разликата между типовете е в начина на кодиране на индивида и вариационния оператор, който се прилага с цел създаването на нов индивид.

Освен тези типове съществуват и други като меметичен алгоритъм, коеволюционен алгоритъм, диференциален алгоритъм и други.

Основните параметри на функционирането на един еволюционен алгоритъм са [K.Youkssel]: (1) Представяне на индивидите; (2) Първоначално популация; (3) Функцията фитнес; (4) Избор на родители; (5) Оператори на промяната.

1. ПРЕДСТАВЯНЕ НА ИНДИВИДИТЕ ОТ ПОПУЛАЦИЯ

Проблемът, който разрешаваме, обикновено зависи от два компонента – кодиране на проблема т.е. представяне на решението и фитнес функцията.

В първия етап на създаването на генетичен алгоритъм се взема решение за генетичното представяне на възможните решения на дадените проблеми. Това включва дефиниране на индивидите и прилагане на възможните решения за тях. Представянето на индивидите може да повлияе много върху ефикасността на GA, затова това е един много важен елемент. Намирането на правилно решение за представянето на индивидите е един сложен проблем и затова ние ще изходим от практиката и опознаването на същността на проблема, който трябва да разрешим.

За представянето на решението обикновено използваме двоична система.

За нашия проблем ще се опитаме да представим индивидите от популацията под формата на двоично представяне. Следователно един кандидат ще се представи като двоичен вектор, където всяка една стойност от n – елемента е 0 или 1, бидейки

вдъхновени от кода на генетичната наследственост на ДНК-то на всеки биологичен организъм, които ние познаваме като хромозоми. Всяка хромозома кодира едно възможно решение или единство от параметри, които трябва да се оптимизират.

Хромозомата представлява едно решение на проблема и се състои от гени или струни с ограничена дължина. Елементите на хромозомата се наричат гени и стойността на един ген се нарича алел. Това представяне, което се базира на двоичната система на числата за n гени се представя с вектора:

$$x = [x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n],$$

където $x_i \in \{0,1\}$

Индивидите, които формират възможно решение в рамките на главния контекст на проблема в GA се наричат фенотипове. Стъпката на представянето на индивидите определя картографирането от фенотипове в една съвкупност от генотипове. Фенотиповете и индивидите се използват за да представят възможните избори в пространството на фенотиповете [Wright, 2011].

В контекста на теорията за играта всяка хромозома ще отбележи една възможна стратегия (което е характерно за теорията на играта), която играчите да използват за взаимодействие или като противодействие срещу стратегията на другите играчи по време на играенето на играта.

2. ПЪРВОНАЧАЛНА ПОПУЛАЦИЯ

След избора на подходящи представители за хромозомите (индивиди) е необходимо създаването на първоначална популация, което да служи като отправна точка за GA. Тази първоначална популация обикновено се създава на случаен принцип. Ролята на популацията е да държи възможните решения, размерът ѝ е константен и не се променя по време на еволюционното проучване.

3. ФИТНЕС ФУНКЦИЯ

GA както и останалите методи за оптимизация изискват измерване на качеството и съответно на предложеното решение.

Функцията фитнес се използва за да се осигури една измервателна мярка за повишаването на приспособимостта на „най-добрите“ индивиди и на цялото популация като цяло. В случай на минимална популация, най-добрите индивиди имат по-ниска цифрова стойност на фитнес функцията.

В много случаи стойността на фитнес функцията отговаря на броя на наследниците, които един индивид може да репродуцира в следващото поколение. Обикновено се използва една трансформация, която представлява пропорционално определяне на фитнесът.

Индивидуалната фитнес $F(x_i)$ за всеки един индивид се изчислява като неговото първо представяне в съотношение с това на цялото популация :

$$F(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^N f(x_i)}$$

където: N – размер на популацията

x_i - стойност на фенотипа за всеки индивид ia

Фитнес функцията гарантира, че всеки индивид има възможност да се възпроизведе според стойността на най-близката му приспособимост.

Струва си да споменем, че всички операции на GA се прилагат върху индивидите освен оценката на фитнесът съответно фитнесът задължително се определя върху декодираните индивиди и съответно възможните решения. Това е много важна част от GA. Представлява ключът на процеса на селекция като се определя кои индивиди да се елиминират и кои да останат в общността. Колкото е по-голяма стойността на фитнесът толкова по-голяма е вероятността за оцеляване.

Съществуват много начини за определянето му. Това трябва да стане относително бързо тъй като се прилага при всяка популация и при всеки един неин член.

Ако сравним фитнес функцията с теорията за играта то доминантната стратегия ще има по-добра приспособимост в сравнение с доминантната. Стойността на фитнесът се използва за определяне нивото, при което една индивидуална стратегия може да се възпроизведе в следващо поколение.

4. ПОДБОР НА РОДИТЕЛИТЕ

Подбора (селекция) на родители от актуалната популация е необходимо за процеса на възпроизвеждане. Избраните родители трябва да бъдат подходящи индивиди от популацията. Ефектът или влиянието на подбора е да превърне в родител избрания по вероятностен начин. Трите техники, които се използват в подбора са [Kim, 2008] *подбор базиран на съответствие*, *подбор базиран на съвпадение (дуел)*, *подбор базиран на рулетка кръг*:

а) Подбор базиран на съответствие

Оригиналният метод за избор на родители е подборът базиран на съответствието на индивидите. При този вид избор на родители, всяка хромозома има шанса да бъде избрана, който е пропорционален по директен начин с неговата приспособимост. Ефектът или влиянието ѝ зависят от пространството на стойностите на съответствието в популация , което анализираме.

б) Подбор базиран на Ротационна рулетка

Идеята, която е скрита зад техниката на подбор на родители чрез ротационна рулетка е в това, че на всеки един индивид се дава възможност да стане родител пропорционално на оценката на неговата приспособимост. Това се нарича ротационна рулетка, тъй като шансовете за избор на родител могат да се разглеждат

като завъртане на рулетка с място на слота за всеки родител, която е пропорционална на неговата пригодност. Следователно, хората с по-голяма достъпност имат повече шансове да бъдат подбрани.

с) Подбор базиран на дуел (Подбор базиран на съвпадение)

При селекцията базирана на дуел са избрани потенциални родители и се провежда дуел, за да се определи кой от тях ще бъде родител. Подборът с дуела е да изберем произволно k -родители и те да бъдат направени най-подходящите.

5. ОПЕРАТОРИ НА GA

а) Кръстосване (англ. crossover)

Кръстосването е базов оператор на GA, който прави възможно създаването на нови индивиди. Кръстосването е процес, който дава рекомбиниране на битовете на гените чрез обмяна на сегменти с двойките хромозоми [Spears, 1991].

Операторът на кръстосване е оператор върху два индивида, които се наричат *родители*. С кръстосването се създават един или два нови индивида, които се наричат *наследници*. Кръстосването е много важно за GA.

Съществуват и други начини за кръстосване, дефинирани на базата на броя на точките на прекъсване [Mühlenbein H.,1994].

Кръстосване с повече точки

Основните елементи за едино кръстосване с повече точки са определени по-долу:

m – позиции на кръстосване,

$k_i \in \{1,2,3, \dots, l - 1\}$ точки на кръстосване и

l – дължина на хромозомата;

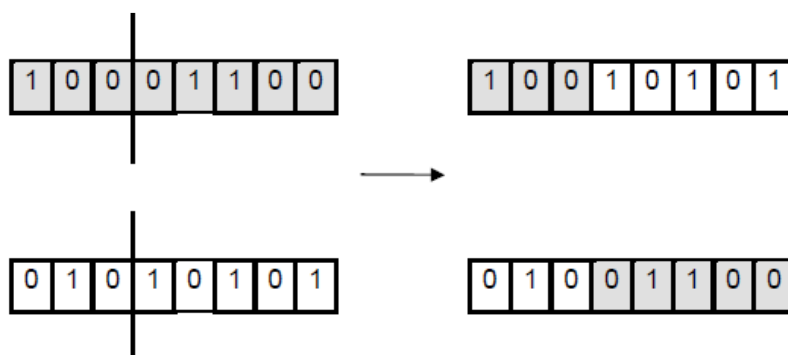
Процесът на функционирането му се състои в обмяната на битове между последователните точки на кръстосване между двама родители с цел създаването

на два нови наследника, където сечението между първата алелна позиция и първата точка на кръстосването не се обменят между индивидите.

Щом се избере двойка хромозоми кръстосването работи за постигането на резултат. Когато вероятността на едно кръстосване има стойност 1.00, това показва, че всички избрани хромозоми са използвани за възпроизвеждане. Въпреки това, емпиричните изследвания показват че най-добрите резултати се постигат, когато стойността на вероятността е между 0.65 и 0.85.

Кръстосване в 1-точка

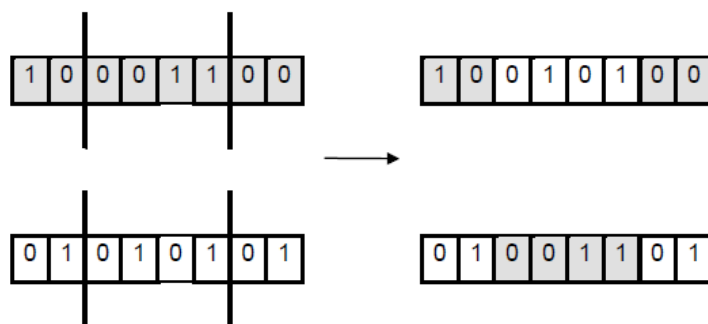
Процедурата на кръстосване в 1-точка е да генерира по случаен начин позицията на кръстосване. След това задържаем битовете пред непроменените числа и сменяме местата на битовете според позицията на кръстосване между двама родители.



Фигура 3.2. Кръстосване в 1-точка

Кръстосване в 2-точки

При едно кръстосване с 2 точки хромозомите се приемат като цикъл като обединяват краищата си една с друга. Процедурата по кръстосване в 2-точки е подобен на кръстосване с 1-точка освен факта, че трябва да изберем две позиции и само битовете между двете позиции се обменят или променят. Този метод на кръстосване може да запази частите на началото и края на една хромозома и може лесно да смени мястото с частта, която се намира по средата.

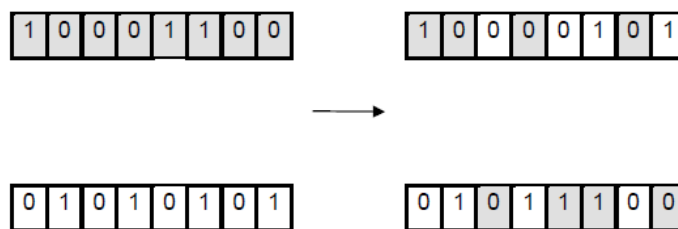


Фигура 3.3. Кръстосване в 2-точки

Равномерно кръстосване

Процедурата на равномерно кръстосване при което всеки ген от първия родител има вероятност от 0.5 за обмяна със съответния ген на втория родител.

Равномерното кръстосване включва средно точки на кръстосване $l/2$ за хромозоми с дължина l . При равномерно кръстосване всеки ген в наследника се създава чрез копиране на съответния ген от двамата родители според произволно генерирана маска на кръстосване.



Фигура 3.4. Равномерно кръстосване

b) Оператор на мутацията

Ако използваме само действието на кръстосване за да стигнем до резултат има един важен проблем с който можем да се сблъскаме - ако всички хромозоми в първоначалната популация имат една и съща стойност към една определена позиция, всички бъдещи резултати ще имат тази стойност за тази позиция. На пример – ако всички хромозоми имат стойност 0 във втора позиция, то всички резултати в бъдеще ще имат стойност 0 в тази втора позиция.



Фигура 3.5. Проста мутация (избрана случайно, втори бит, трети и осми мутират)

За да контролираме тази нежелана ситуация, използваме оператора на мутацията, който предвижда въвеждането на някои случайни генни алтернативи, например: 0 става 1 и обратно. Всеки бит във всяка хромозома се проверява за възможни мутации, генериращи произволно число 0 и 1 и ако това число е по-малко или равно на дадена вероятност за мутация например 0.001, то стойността на битовете се променя. Този оператор завършва работния цикъл на ГА, където адаптацията на всяка хромозома към новата популация е оценена и цялата процедура е повторена.

6. УСЛОВИЕ ЗА КРАЙ

След като се генерира първоначалната популация, над нея се изпълняват процесите които се състоят от селекция, кръстосване и мутация се изпълняват, докато условието за край бъде изпълнено. Това условие също така определя и края на ГА. Тъй като ГА са стохастични методи за изследване, е трудно да се определи изискването за край. Когато стопирането е изпълнено, решението на ГА не означава да представим оптималното решение на проблема, който решаваме, а приближено.

По-често използваните условия за край на ГА са:

- Постигане на максимален брой поколения,
- Сходството между индивидите от популацията,
- Един по-добър индивид се повтаря няколко пъти (определен брой итерации),
- Постигане на оптималното решение, което е определено първоначално,

- Определяне (доказателство) на оптималността на най-добрия индивид (ако е възможно),
- Ограничено време на изпълнение на програмата,
- Прекъсване от страна на потребителите, и т.н.

3.2.2. Коеволюционни алгоритми

GA са успешно приложими при решаване на проблеми в различни области. По време на прилагането на тези алгоритми, успехите или неуспехите им са стимулирали по-нататъшното развитие на GA чрез тяхното подобряване. Това е довело до създаването на нови методи като метода на коеволюционните алгоритми, който е много актуален и много естествен изследователски метод, който може да бъде приложен, когато пространствата са много сложни или е много трудно да се създаде адекватна функция за определена цел. Този метод се характеризира с това как си взаимодействат различните популации. По време на прилагането на многоагентни системи за разрешаване на конфликтни ситуации се дава възможност за еволюция на сложни агенти въз основа на факта, че по-голямата част от проблема се решава в двойките агенти взаимодействащи помежду си.

В нашия случай, където прилагаме теорията на игрите и еволюцията на техните стратегии, коеволюционните алгоритми (CEA) позволяват решаването на проблеми, където е необходимо субективно измерване на фитнес. В този случай, фитнесът на индивида от популация е функциязависеща от фитнесът на индивида с който той се сравнява и промените в разпределението на засегнатата и засягат промяната на всички индивиди от тази популация.

Определение за коеволюция

Чрез метода на коеволюционните алгоритми индивидите подобряват стратегиите в зависимост от избраната стратегия на конкурентния индивид. Коеволюцията ще може да се определи на базата на [P. W. Price, 1991] като реципрочна еволюция повлияна от два или повече вида или популации. Когато това определение се разглежда от гледна точка на биологичните системи, тогава концепцията за коеволюцията в сферата на еволюционните алгоритми е все още достатъчно неясна и слабо определена. Научно-изследователската общност е съгласна с определението, че изчисляването на фитнесът чрез коеволюционни алгоритми е *субективно*, докато при конвенционалните еволюционни алгоритми фитнесът се измерва по *обективен* начин, съответната функция на фитнесът се измерва от всеки индивид, който е част от съответното общество.

Естествената еволюцията е винаги коеволюционен процес, тъй като фитнесът на индивидите е винаги свързана с индивиди, с които се намират в едно общо пространство. За да се избегнат неясноти в начините на промяна на еволюцията на индивидите са представени следващите 4 определения:

Обективно измерване: измерване, което оценява индивида *по независим начин* от всеки друг индивид, освен ефектите от е мащабирането и нормализирането.

Субективно измерване: измерване, което не е обективно.

Вътрешно измерване: измервания, които влияят върху *посоката на еволюцията*.

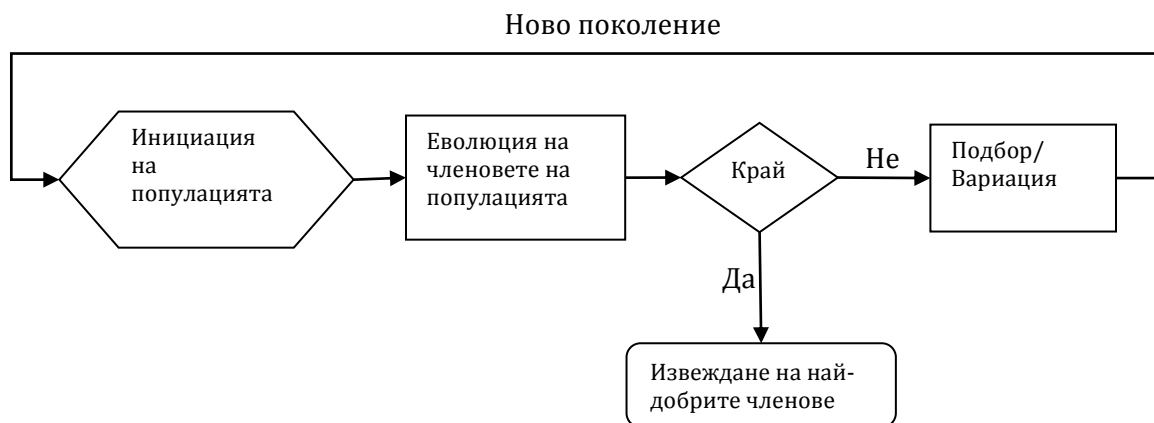
Външно измерване: измервания, които не могат да повлияят по *никакъв начин върху посоката на еволюцията*.

От горните определения се вижда, че фитнесът, когато се използва в областта на изследването на еволюционните алгоритми, винаги е вътрешно измерване. Външните измервания са свързани с примери за статистически мониторинг на

средните фитнеси на популацията или информация за най-доброто решение, намерено във всеки един момент.

Сега въз основа на определенията от 1-4 можем да дадем по-ясно определение за САЕ

Коеволюционният алгоритъм е еволюционен алгоритъм, който за да оцени фитнесът използва вътрешно субективно измерване.



Фигура 3.6. Диаграма на коеволюционния алгоритъм

Това е подходящо за моделиране на взаимодействието в теорията за играта между групите, тъй като играчите (в нашия случай) имат различни стратегии в съответствие с техния интерес. Използването на този метод максимизира поведението на всяко лице, което резонира рационално, за да увеличи максимално печалбата си. По този начин всеки играч започва с първоначалните си стратегии и ги адаптира към динамичната среда, като подобрява стратегиите с течение на времето в зависимост от стратегиите на противника и околната среда.

СЕА предоставя анализ на един сценарий с повтарящи се взаимодействия и моделиране на социалните системи. Можем да представим една таблица, в която е представена аналогията между параметрите на коеволюционните алгоритми и параметрите на теорията на игрите.

Таблица 3.3. Аналогия между теорията за игрите и генетичните алгоритми

СЕА	Game theory
Приспособимост/ <i>Fitness</i>	Payoff
Индивид/Хромозоми <i>Individual/Chromosome</i>	Стратегия
Избор на най-подходящите индивиди/ <i>Selection of fit individuals</i>	Избор на добра стратегия
Подбор/ <i>Selection</i>	Обучение чрез повторение/ <i>Learning by replication</i>
Кръстосване/ <i>Crossover</i>	Обучение чрез социални промени / <i>Learning by social exchanges</i>
Мутация/ <i>Mutation</i>	Обучение чрез експериментиране / <i>Learning by experimenting</i>

Кооперативна и конкурентна коеволюция

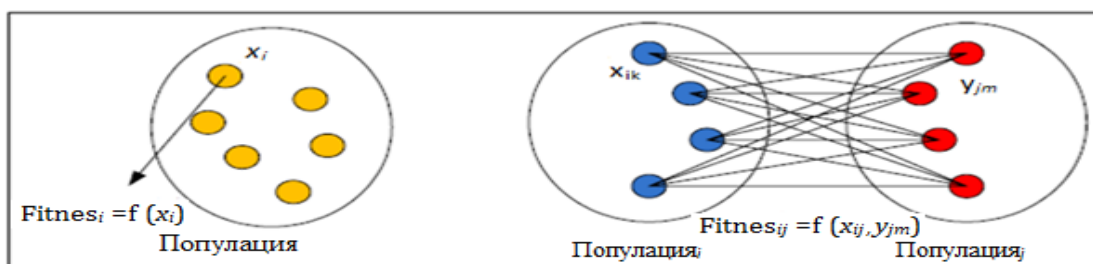
При СЕА се използва субективно фитнес измерване, при което индивидите се оценяват въз основа на взаимодействията им с други индивиди. Тук съществуват два вида взаимодействия, кооперативни и конкурентни.

Това може да бъде илюстрирано с пример, при който индивидите или популациите се конкурират или се борят един с друг, както би бил най-конкретният пример - модела хищник – ловец. Друг подобен пример е преследването на активните протестиращи от страна на полицаите, които се опитват да ги арестуват, и активистите, опитващи се да избягват контакти с полицаи. Популация в първите два примера разработва стратегии които могат да оцелеят и съответно да не бъдат лишени от свобода. Втората популация развива своите стратегии по такъв начин, че достига до лов, съответно до активист чиято стратегия сега еволюира.

Друг пример може да бъде моделът, приложен в контекста на планирането на маршрута на робота, което може да изглежда така: една популация представлява инстанция на командната програма на роботът, втората популация е средата, в която роботът трябва да се движи. Задачата на първата популация е да се разработят най-добрите решения за околната среда от други популации. Задачата на втората популация е да развие най-сложната среда, чрез която роботът да се движи. Тези типове взаимодействия се наричат конкурентно взаимодействие.

Един пример, който е ключът към съвместното действие е там, където всяка популация е част от решаването на по-сложен проблем и задачата на популация е да развие най-доброто решение на частите от проблема от по-голям проблем. Така този метод има за цел да отдели сложни съставни проблеми и тогава всяко съвместно съществуваща популация трябва да се заеме с решаването на своята проблемна част. Ако този проблем може да бъде илюстриран чрез примера на функция с две променливи $F = f(x, y)$, първата популация може да бъде ангажирана с развитието на решението за x , докато втората популация да се занимава с разработката на решение за y .

Днес голяма част от научните изследвания в сферата на коеволюционните алгоритми са фокусирани върху изследването на конкурентна коеволюция и тези изследвания се занимават най-вече с проблема за развитие на стратегиите за игрите.



Фигура 3.7. Оценка на индивидите при стандартна еволюция (в ляво) и коеволюционен алгоритъм (дясно).

При коеволюционните алгоритми фитнесът на всеки член от първата популация, оценката на всеки представител на първата популация с всеки от втората са зависими от структурата на другите популации, както е показано на фигура 3.5. Кумулативният фитнес на индивид i от първата популация е изчислен по формулата:

$$f_i = \sum_{j=1}^N G(i, j),$$

Където j е моментен член на втората популация, N е общият брой членове на другите популации, а G показва взаимовръзката между членовете на различните популации.

3.3. Адаптиране на стратегиите на теорията на игрите

Поведението на сложните взаимодействия може да бъде моделирано, използвайки теорията на игрите. Един особен аспект при моделирането на взаимодействията от голям интерес е в разбирането на специфичните условия, които водят до взаимодействието между самите индивиди.

Класическият IPD може да се определи лесно като игра с двама играчи, не кооперативен и като едно сума със стойност различна от нула [Chellapilla dhe Fogel (1999)]. Сумата е различна от нула, тъй като печалбите за един играч не е задължително да водят до наказания за другия играч. Некооперативна е, тъй като липсва комуникация между двамата играчи.

Играта IPD може да се формулира като се разгледа една предварително определена матрица на печалбите, която уточнява печалбата, която всеки един играч взема при избора съответно стратегията, която той и противникът правят. Като се позовават на матрицата на печалбите двамата играчи вземат съответни стойности за стратегиите, които са избрали и в зависимост от това дали играчите ще си сътрудничат, единият ще си сътрудничи, а другият няма, или никой няма да си сътрудничи.

Играта се играе, когато и двамата играчи избират между два алтернативни избора на поредица от ходове. Трябва да се отбележи, че играта е напълно симетрична, т.е. същата матрица на печалбите се прилага и за двамата играчи.

Когато играта се повтаря по време на много стъпки, играчите могат да адаптират стратегията в играта, където един отговор се базира на това, което се е случило в предишните ходове и трябва да отбележим, че липсата на не сътрудничество (D) не е непременно най-доброто решение за играта. Вместо това много проучвания показват, че сътрудничеството в играта ще бъде плодотворна стратегия. По-късни проучвания показват, че стратегиите за сътрудничество могат да бъдат преподавани от първоначална популация като използва еволюционни алгоритми [Axelrod, 1987]; [Fogel (1991, 1993)]; [Darwen, 1995].

4. Конфликтна ситуация

4.1. Увод

Темата, която разглеждаме, е свързана с представянето на конфликтите в обществото чрез АВМ, което в повечето от случаите се случва по две причини: неразбиране и различни интереси.

- В първия случай до нея може да се стигне в резултат на това, че не всички агенти разполагат с еднаква информация. По този начин всеки агент може да си изведе различни изводи, базирайки се на различни предположения.

- Във втория случай информацията са еднакви при всеки един агент. Въпреки това несъгласието се проявява в резултат на това, че агентите имат различни желания, вярвания или цели.

Тези социални системи в реалност са сложни адаптивни системи и следователно – могат да се учат и да променят поведението на една общност, каквато е човекът, като оптимизират някои от чертите му с течение на времето. Тази еволюция на поведението на човека, в сравнение с останалите индивиди и средата, може да се представи като резултат от конкуренцията между представителите на общността за ресурси, и съответно по време на взаимодействието с другите индивиди или със средата те са в състояние да приспособят поведението си.

Социалните системи са достатъчно сложни и непредвидими. Те се състоят от общности от индивиди, които си взаимодействат като еволюират по един автономен начин, мотивирани от вярванията си, целите си, както и от състоянието на тяхната социална среда.

Моделирането на тези системи се осъществява чрез АВМ, които се състоят от множества от автономни софтуерни единици (агенти), които си взаимодействат помежду си и със средата си. Тези агенти са автономни, реактивни, проактивни и социални, което означава, че сами могат да стигат до изводи и след това да действат, да реагират на базата на възприятията (информацията), които получават от средата, в която действат, да влияят върху нея като я променят така, че да я приспособят в името на постигането на собствените си цели; да бъдат социални, да делят ресурси с другите агенти за постигането на целите си по-лесно и по-бързо. В този смисъл парадигмата на агентите много добре обхваща индивидите в социалните системи. АВМ може да се инициира и съответно реализира от няколко агенти, които могат да бъдат различен вид в средата, която разглеждаме, и където се наблюдава поведението на агентите. Наблюдението на агентите може да подпомогне анализа на колективното поведение и посоката на развитието на системата. Това осигурява платформа за емпирично изследване на социалните системи.

В следващата част ще дадем рамката за моделиране с АВМ на социалните системи, които представляват изкуствено общество, в което действат три различни групи агенти. Тези групи са в конфликт и по време на създаването на модела е необходимо също така да имаме в предвид, че това явление е хетерогенно и многообразно.

4.2. Конфликтна ситуация

В обществото често пъти могат да се представят неприятни ситуации, които да провокират реакция на групите от хора относно причините за тези неприятности. Формата на реакция може да бъде организиран или спонтанен митинг (чрез социалните мрежи). Същата ситуация би се получила и ако сме свързани с групи граждани, които реагират чрез протест срещу централната власт, където може да се стигне и до конфронтации и изблици на насилие.

Тъй като атакуващите или представителите на държавата се страхуват от мощта на митинга, тези протести се употребяват като мощно средство, което хората и обществото да използват и постигат промените, които целят. Използването на информационните технологии и на комуникацията (ICT) е променило и динамиката на социалните конфликти [Faris, 2010]. Този страх се е увеличил, тъй като протестиращите използват постиженията на ICT каквито са социалните мрежи (Social Media Networks (SNM)) и мобилните съоръжения за комуникация, чрез които успяват да се координират и да се оповестят публично фотографии и видео записи, които се публикуват в почти реално време по целия свят [Faris, 2010].

По време на тези масови движения могат да се появят конфронтации на насилие между протестиращите и полицията или военните сили, ако става дума за големи размери, като в резултат може да има и жертви.

Протестите, за случая за който се използват, се появяват в резултат на бедност, сблъсъци, загубата на легитимност на върховната власт, алчност и други фактори, които влияят върху хората, за да ги накарат да се групират и да заявят своето несъгласие. Това ще бъдат и параметрите, които ние ще използваме когато анализираме позицията на индивида в обществото.

На тези протести ще се стигне до конфликт и съответно конфронтации между активистите срещу властта, тоест конфронтации между групите, които искат промяна и тези, които ги защитават. Тези конфликти могат да се представят под много форми и се типизират според природата, нивото на участие и сериозността на

конфликта. Тези конфликти могат да бъдат малки протести или протести с по-широк спектър каквито са гражданските и етническите войни.

Индивидите, които участват в тези събития, представят колективно комплексно поведение като реализират различни дейности (могат да скандират, да протестират кротко или да провокират насилствени конфронтации), които могат да се третират като спешни (в развитие), което е в резултат на общите правила за взаимодействие.

Съществуват няколко емпирични модели за социални конфликти които са под формата на:

- Riot Games [Parikh, 2000],
- Моделите на игровата теория [Mayerson, R. B., 1997], [Ginkel, J. and Smith, A., 1999] и
- Симулация на социалните мрежи, което служи за да осигурят статистически, пространствени и времеви анализи [Gulden, 2002] на конфликтите и ролята, която играе динамиката на тълпата, която да произведе социалните феномени като масовите мобилизации и масовите конфликти [Situngkir, 2004], които без съмнение са огледало на реалните конфликти.

Тези модели могат да осигурят рамка за разглеждане на стратегии за управление на насилието и поведението на агентите, които функционират като се основават на факта, че хората се учат и се адаптират.

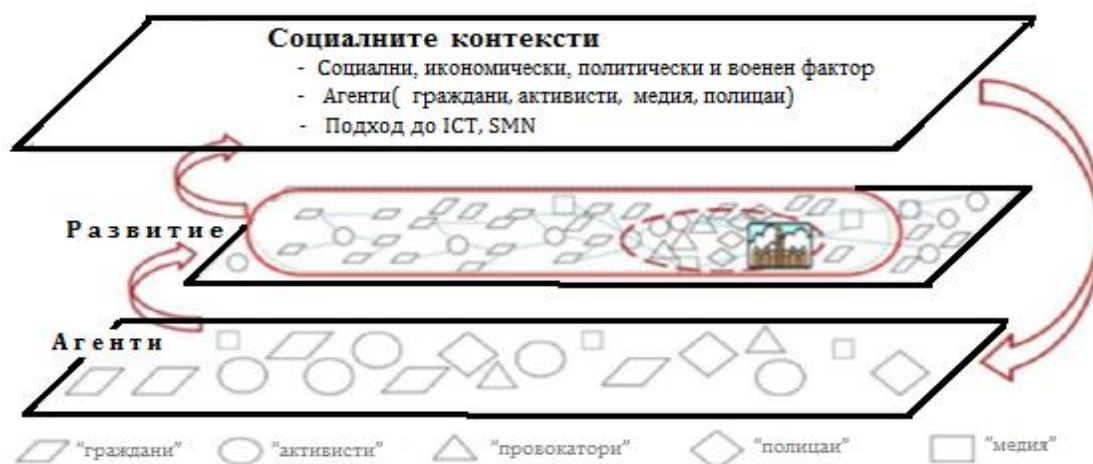
Проблемите, които разглеждаме ще използват мултиагентната система и инструментите от изследванията на сложните системи.

Някои от ABM моделите, които разглеждаме при случая, който анализираме са: ABM за моделиране и симулация на гражданското насилие [Epstein, 1996],[Epstein, 2002], конфронтации между две противоположни групи [Jager, 2001], въстания [Davies, 2013] както и войни [Ilachinsky, 2004]. Един всеобхватен образ на

моделирането на социалните конфликти може да бъде открит при [Amblard, F., et al, 2010].

По долу ще представим теоретичната рамка на нашия модел. Тази рамка се състои от: I) концептуални характеристики на протестите на три нива – *макро* или ниво на социалния контекст; -*микро* или на ниво на агентите и на ниво на *протестите* които се третират като в процес на развитие (спешни) на една комплексна система и II) по-опростена схема за анализ и реализация на различните модели.

По-късно ще представим и модела ABM на базата на схемата, която е описана по-долу.



Фигура 4.1. Протестите и взаимоотношенията им на макро (социален контекст) и микро ниво (агент). Горният слой представлява факторите на макро ниво, които влияят върху социалните конфликти. В долния слой (микро ниво) са съответните видове агенти. Средният слой представлява протестите, които се случват и се вижда в развитие. Хората, които се присъединяват към протестите са представени чрез удебелени линии [Lemos, 2018].

4.3. Теоретична рамка

Хората се групират за да протестират тогава, когато социалните контексти се увеличават в резултат на повишените оплаквания на голям брой от населението или загуба на легитимността на върховната власт и т.н. Тези протести могат да бъдат свикани на едно или повече места и могат да бъдат организирани от организации (координирани протести) или групи активисти (некоординирани протести, в последно време организирани от хората чрез социалните мрежи). Хорските тълпи могат да бъдат спокойни или част от масата може да провокира насилствени конфликти с полицията.

Хората могат да се информират за протестите от повече източници, докато решението дали да се присъединят или не ще опишем като процес на „инфектиране“. За да се разбунят хората протестите могат да бъдат тихи или част от хората да бъдат агресивни, да има конфронтации с полицията. В зависимост от интензивността на социалните конфликти и нивото на оплакванията на протестиращите, протестите могат да продължат във времето или да се повтарят периодично с цел да бъдат разрешени въпросите, които поставят.

Това качествено описание на протестите и връзките им със социалния и индивидуалния (на агентите) контекст е представено графично на фигура 4.1.

ABM могат да се опишат и анализират в съответствие с няколко схеми, в които протоколите „Образ, концепция на проекта и детайли“ (ODD) [Grimm, 2010] е един от най-популярните методи.

По време на проектирането на моделиране с ABM сме взели в предвид:

- Целта – която подразбира сферата на моделиране (вида феномен, който се моделира)
- Общността – видовете агенти (атрибути, правила, реактивни или обмислени) и средата (хомогенна или не);

- Базов времеви цикъл – времеви цикъл, последователност на операторите, синхронно или асинхронно активизиране на агентите;
- Резултати на модела – разясняване на явленията, скала на чертите в развитие (време, % на агентите, които протестират, продължителност на събитието и т.н.)
- Наблюдение – употреба на емпирична информация за параметризиране (валидиране);
- Мощност и ограничения на модела – мощност на яснота; празноти (дупки) между резултатите на модела и реалните събития;

Вдъхновени от еволюционните изчисления агентите могат да се моделират от мултидисциплинарна перспектива [Axelrod, P., 2006] и техните стратегии се развиват във времето чрез коеволюция и учене.

4.4. Представяне на еволюцията на агентите

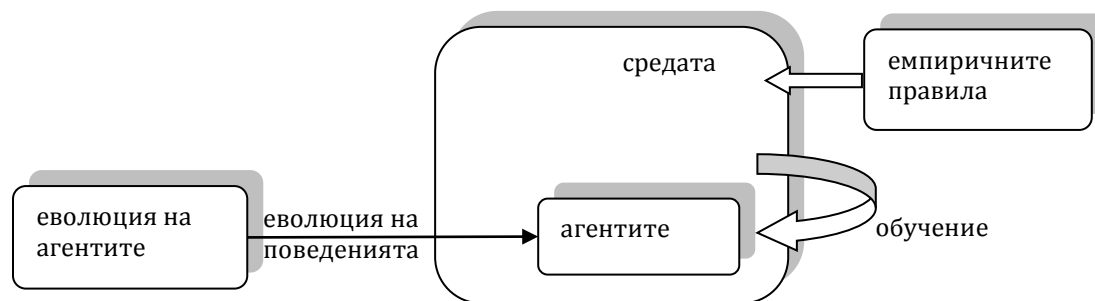
В тази глава ще се фокусираме върху проектирането и пространственото развитие на еволюцията на агентите с цел да изучим макро динамиката на поведението на тълпата, която в определени ситуации може да ескалира като причини насилие и върху гражданите от страна на полицията, която е лоялна към върховната власт. Тези взаимодействия ще представим като резултат от теорията на играта и коеволюционния алгоритъм.

Теорията за играта има широка употреба при подхода за моделиране, който е базиран на агенти [Axelrod, 2006] за да моделира човека като единство. Конкретно в нашето изследване ще използваме “Итеративната дилема на затворника (IPD) [Axelrod, 1987].

Рамката на еволюцията на агентите на модела, който ще използваме, представя агентите и средата като резултат от взаимодействието между агентите от

различните групи, както и агентите и средата. Следователно моделът ще има един еволюционен механизъм, който способства еволюцията на агентите в зависимост от реципрочните им взаимодействия; средата, която представя пространството, в което са поставени агентите, емпиричните правила, които са наложени за средата и агентите. Този модел се базира на концепцията за еволюционната теория за играта [Weibull, 1992], коеволюционните алгоритми и е изградена върху съществуващите модели на [Epstein, 2006a] и [Yiu, 2002] с определени модификации.

Взаимодействията между агентите и техните действия ще се представят по подобен начин, като начина по който действат помежду си играчите в игровата теория, където техните стратегии се развиват чрез обучение по независим начин и коеволюция като се използват коеволюционни алгоритми (EA). Като цяло агентите се опитват да моделират конфликтните събития като интегрират сложността на човешкото поведение и природата му със случайното движение на тълпата. Акцентът е поставен върху моделирането чрез агент и взаимодействията между тях с помощта на правилата, на поведението на микроскопско ниво, с цел да се създадат макро резултати в развитието в съответствие със съвременните гледни точки.



Фигура 4.2. Рамка на еволюцията на поведението на агентите

Взаимодействия между активните агенти и полицията които се базират на игровата теория

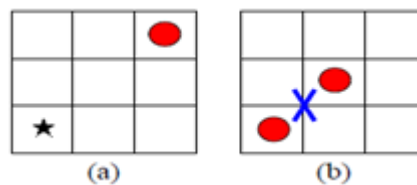
Моделът се развива в 2D мрежа, която се състои от пачове във формата на четириъгълник. Движението на агентите ще се базира на движението на база на

Moore Neighbor – следователно ще има възможност за 8 опции за движение, които ще представим като визии. Също така трябва да се подчертае, че сме взели решение да имаме само един агент в един определен пач, който да бъде визуално по-ясен. Агентите взаимодействат едни с други като използват характеристиките на играта IPD [Axelrod,1997],[Frayn, C.M., 2006]. Въпреки, че е опростен, този подход се занимава с комплексните проблеми, които са свързани с вземането на решения от личен интерес, където базовите концепции са субтилни (второстепенни), но отново са привлекателни и с широка употреба като пример за изучаване структурата на социалните мрежи [Smucker, M. D, 1994]. Чрез употребата на IPD можем да развием динамиката с интерес към това как агентите да повишат своята изгода като функция от промяната на ситуациите [Nishizaki, 2004].

В модела се уточняват общо 3 различни вида агенти:

- Спокойни граждани - ○
- Активисти - ●
- Полиция - ★

Във всеки времеви момент движението е ограничено в едно времево пространство от мрежата 2D. Всеки агент решава да играе играта с представителя на противоположната страна (например полицаи и активист) като част от визията си, с най-добрия начин, по който знае. Липсва взаимодействие между агентите от един и същи вид (Фигура 4.4).



Фигура 4.3: (a) взаимодействие между различните агенти, (b), липса на взаимодействие между еднакъв тип агенти.

Агентите от съответната група, активисти или полиция, ще еволюират стратегиите си на базата на броя и вида агенти, които са там, както и в зависимост от процеса на обучение. На базата на тези стойности ще изготвим и матрицата на печалбата (ang. *payoff matrix*) за агентите от съответните групи. Всяка група се опитва да има повече печалби на базата на познанията, които притежава. Тези ползи, които ще спечелят, зависят от стратегията, която са избрали. За всеки случай ще зависи какъв е броят на групата сравнен с другата група. Предполага се, че съответните групи агенти ще играят по един обоснован начин т.е. ще се опитват да имат повече печалби на базата на знанията, които притежават.

Като се вземе в предвид, че теорията за играта се състои от: играчи, стратегии и матрици на печалбите, тогава за случая, който разглеждаме, играчи ще бъдат съответните групи, които играят една стратегия и имат една матрица с печалби, която се променя и зависи от актуалното състояние на агентите в 2D пространството. Така един сет от три матрици на печалба отговаря на следните сценарии: броят на полицаите е равен, по-голям или по-малък от броя, който се приема за достатъчен за да осигури успешно навлизане сред активистите и са представени в таблицата (4.2.а-с). Всеки играч има възможност да сътрудничи (C) или не (D). Тази идея се променя за играта на различните агенти. За приспособяването на модела MANA [19] активистите ще имат следните стойности:

C (сътрудничат) ако активният агент не е агресивен активист, например, не извършва насилие, не провокира полицаите или не кара мирните граждани да се присъединяват към тълпата; Ще имат стойност D (липса на сътрудничество) за други случаи.

Полицаите ще имат стойности: C (сътрудничат) когато трябва да защитят гражданите, не нападат за да арестуват активисти; D (липса на сътрудничество) да преследват активно протестиращите за да ги арестуват.

Всяка една група от агенти следва противоположни цели. Активистите имат за цел да създадат значително насилие, за да спечелят подкрепата от страна на мирните граждани и да подпалят (провокират) размирици с големи размери, но и да

избегнат арестите. Полицаяте имат за цел да потушат конфликта и да запазят гражданския ред в рамките на режима, като изпълняват ролята си на защитници на обществото и властта като минимизират загубите. Също така се взема в предвид и това, че полицаите са лоялни към върховната власт.

Таблица 4.1: Матрица на печалбите в случаите когато: броят на полицаите и този на активистите е (а) равен, (b) по-голям или (с) по-малък от предварително определения като референтен брой.

		<i>активистите</i>	
		<i>сътрудничат</i>	<i>не сътрудничат</i>
<i>полицаите</i>	<i>сътрудничат</i>	4,4	0,6
	<i>не сътрудничат</i>	6,0	1,1

a)

		<i>активистите</i>	
		<i>сътрудничат</i>	<i>не сътрудничат</i>
<i>полицаите</i>	<i>сътрудничат</i>	1,5	3,3
	<i>не сътрудничат</i>	4,4	5,1

b)

		<i>активистите</i>	
		<i>сътрудничат</i>	<i>не сътрудничат</i>
<i>полицаите</i>	<i>сътрудничат</i>	4,1	4,4
	<i>не сътрудничат</i>	3,3	1,4

c)

Обосновка за различните печалби: Матриците са изградени на базата на целта на всяка една група от агенти за увеличаване на печалбата им и намаляване на загубите в различни ситуации.

Разглеждаме сценарий, като се основаваме на горното определение за стойностите на матрицата на печалбите, когато полицаите са по-малко от активистите сравнено с референтния брой, подчертан по-горе, в едно определено пространствено поле на взаимодействие ще имаме следната обосновка.

➤ Ако двете групи са D активистите са победител поради по-големия си брой, докато полицаите ако нападнат ще извършат действието *sucker* (незрял, детински, непечеливш). Печалбите ще бъдат за агентите, полицаите ще имат печалба *sucker* (S), докато активистите ще бъдат наградени с печалба *temptation* (T).

➤ Ако двете групи са C, печалбите ще бъдат в полза на полицаите, тъй като тези активисти ще са изпуснали случая да се възползват от количественото си предимство спрямо полицаите. Печалбите ще бъдат: за активистите ще имаме *sucker* (S) докато за полицаите, които избягват контакти, тъй като са по-малко от референтната бройка, уточнена по-горе, ще има печалба *Temptation*(T).

➤ Ако полицаите са C и активистите са D ще имаме логическо равенство, тъй като полицаите поради неравностойната си бройка не нападат, а активистите нападат или комуникират с мирните агенти като използват числото си предимство. Изравнените печалби за двете групи ще бъдат *reward* (R).

➤ Ако полицаите са D и активистите са C, то ще има наказание и за двете групи, тъй като те не извършват действия, които оправдават броя им разположен в пространството, в което трябва да действат. Печалбата за двете групи ще бъде *punishment (penalty)* (P).

➤ Разглеждаме сценарий, в който броят на агентите полицаи сравнен с референтната бройка е по-голям, в едно определено пространствено поле на взаимодействие и ще имаме следната обосновка.

➤ Ако двете групи са D полицаите ще спечелят горната част поради тяхното числено превъзходство. Тяхната успешна намеса за овладяване на напрежението ще се възнагради с награда *temptation* (T). Активистите, поради дадените големите жертви причинени от малкия им брой в пространството, ще бъдат възнаградени с печалба *sucker* (S).

➤ Ако двете групи са С печалбите ще се възвърнат в полза на активистите тъй като полицаите са изгубили възможността да арестуват като защитават населението. За активистите С е било ценно, тъй като успешно са избегнали конфликтите с по-голямото количество полицаи. Печалбата на активистите ще бъде *temptation* (T), докато за полицаите ще бъде *punishment* (P).

➤ Ако полицаите са С и активистите са D, и двете групи получават печалба *punishment* (P), и С и D са използвани по неподходящ начин. Полицаите трябва да имат D, за да се справят с активистите. Активистите трябва да имат С, за да избегнат открития сблъсък при прилагането на доминантния закон и на жертвите.

➤ Ако полицаите са D и активистите са С, то е постигнато логическо равенство, където множеството доминира над малцинството, като те избягват директен конфликт и арест. Това е най-добрата ситуация, тъй като печалбите на двете групи са изравнени и получават печалба *reward* (R).

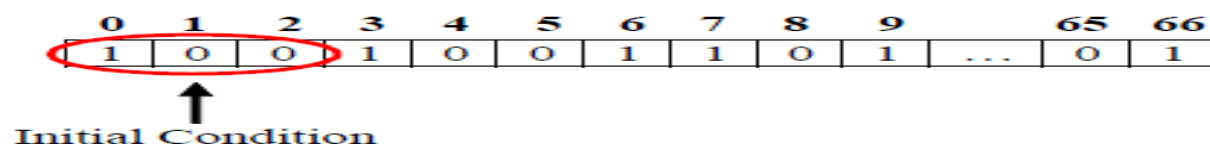
➤ Разглеждаме сценария, като се базираме на горното определение за стойностите на матрицата на печалбите, където полицаите са равен брой с референтния, който е описан по-горе, и в едно определено пространствено поле на взаимодействие ще имаме следната обосновка.

➤ Ако двете групи са С, то имаме логическо равенство, където всеки има собствена позиция и никой няма числено превъзходство. Следователно и двете групи ще получат награда *reward* (R).

- Ако и двете групи са D, полицаите не могат да бъдат сигурни в победата си, а също така и активистите, и ако атакуват не е ясно дали ще успеят да избегнат ареста. Печалбата за двете групи ще представлява *punishment* (P).
- Ако полицаите са C и активистите са D, то активистите, които атакуват няма да бъдат арестувани от полицаите и следователно ще имат печалба *temptation* (T), докато полицаите като искат само да запазят собствената си позиция ще загубят и ще получат печалба *punishment* (P).
- Ако полицаите са D и активистите C, то полицаите нападат и използват случая, че активистите са мирни, не нападат и не комуникират с мирни активисти. Печалбите за полицаите ще бъдат *temptation* (T), докато за активистите ще бъдат *punishment* (P).

4.5. Представяне на рамката на адаптиране и еволюция

Избраните стратегии ще представим чрез генетичния алгоритъм (GA) в контекста на IPD. Всяка стратегия е представена чрез определен брой бинарни хромозоми. Първите три бита съдържат условията, които водят до трите първи движения в началото на всеки сет (множество) от повтаряеми игри, докато останалите битове представят възможната история на паметта и се използват за вземането на решение за бъдещите ходове на играча. По време на всяка игра всеки извежда своята способност от постигнатите резултати с останалите играчи. GA по същество е един коеволюционен алгоритъм (CEA) който еволюира стратегиите от коеволюционното учене.



Фигура 4.4: Представяне на стратегиите на определени игри/първични условия

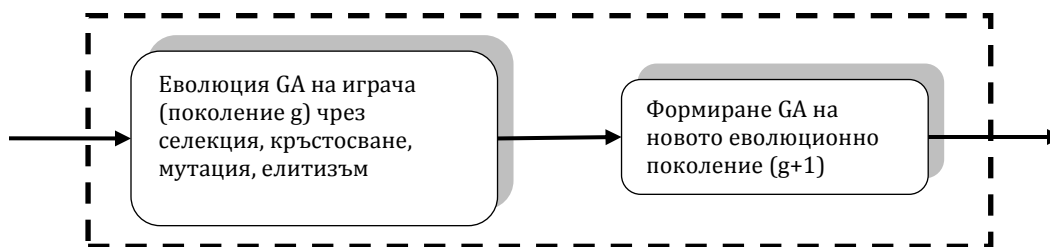
Първоначалното население се генерира случайно. Способността му е дадена от събраните по време на играта победи, която се определя след всеки един пълен турнир (състезание). Ще бъде използван механизмът на създаване на ниша (niching), при който освен, че се запазва най-доброто постигнато решение, също се пази средното и най-лошото. Целта е поддържане на разнообразие в популацията. Общата способност е:

$$\text{Обща способност} = (\text{резултат от играта}) / (1 + \text{резултат на нишата})$$

От по-горното става ясно, че използването на механизма *niching* (който служи за запазването на разнообразието) влияе върху способността. За подобрите индивиди ще се действа и с операторите мутация и кръстосване.

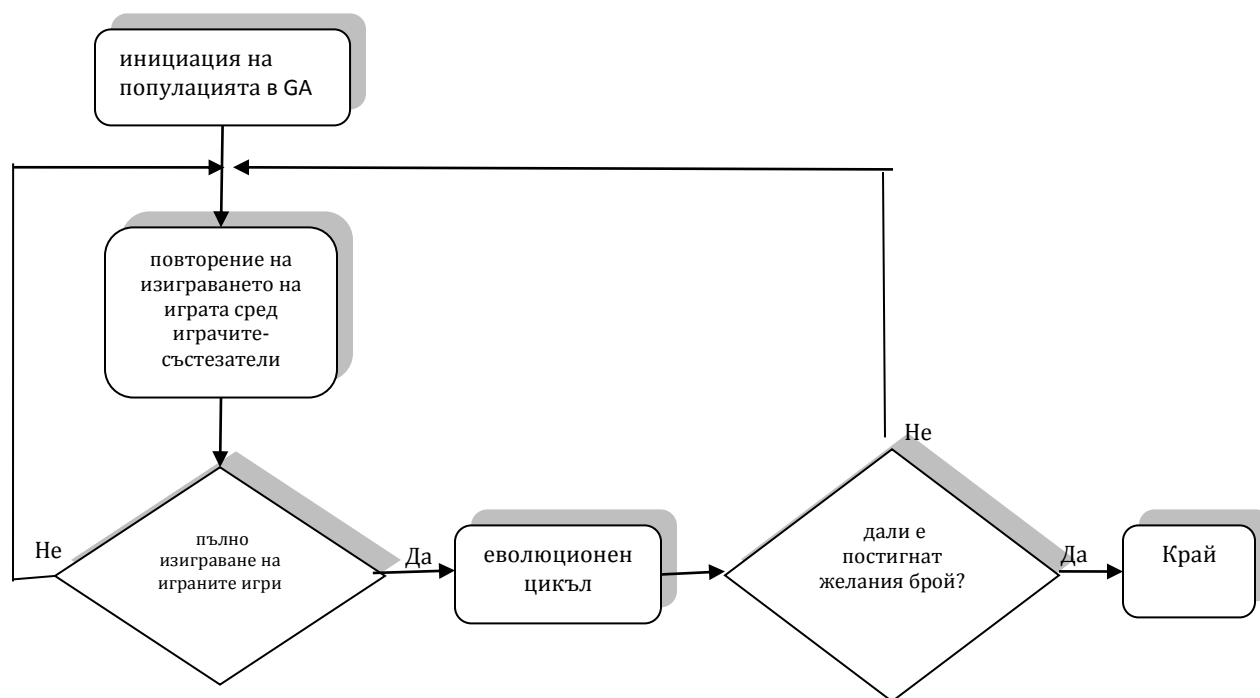
Новата генерация от стратегии се формира от индивидите, които са преминали през механизма на елитизъм и през процеса на вариация.

Блокът, който представя еволюцията на агентите на фигура 4.3. ще съдържа следния еволюционен цикъл:



Фигура 4.5. Еволюционен цикъл

По долу ще представим целия процес на подреждане на GA стратегиите:



Фигура 4.6. Опростено описание на операциите на стратегия GA

4.6. Еволюция на стратегиите на агентите полицаи и активисти

След формирането на параметрите на изкуственото социално общество, което в конкретния случай представлява ситуация, в която две групи са в конфликт, е важно да се създадат насоките за агентите и тяхното най-добро представяне в стохастичните модели. Това става възможно чрез подобряването на стратегиите с течение на времето чрез еволюция и обучение. Двата процеса улесняват агентите при дефинирането на поведението им и осигуряват познание върху автономното развитие на поведението на различните видове агенти.

Еволюция на поведението на агентите, която се базира на броя на агентите активисти и на полицаите.

В началото на всяко поколение при модела, който ние представяме, агентите преминават през един процес на еволюция, при който се случва коеволюция на

стратегииите [Reynolds, 1994] (Фигура 5.2) – групите еволюират по един независим начин като се съотнасят към горната фигура (Фигура 4.5). Тази рамка се използва за да: се изпълнят евристичните изследвания [Hugues, 1998], генерират се преследване и укриване (измъкване) на поведението на автономните агенти [Cliff, 1995], анализ на динамиката на населението [Hofbauer, 1998] и да се изучат взаимодействията между агентите, като се базираме на игровата теория, стратегиите на които еволюират чрез обучението и колективната еволюция чрез употребата на коеволюционния алгоритъм [Wiegand, 2002a], [Wiegand, 2002b].

В предложения модел коеволюцията е представена според аналогията за обмяна на идеи, в реалност, между агентите от различните групи. Чрез потока от информация в повече направления агентите със слаби стратегии се учат от тези с по-мощни като адаптират някои от по-добрите черти.

Общото състояние на всяка една група се повишава като агентите разкриват повече компоненти от стратегиите на предишните поколения. Този допълнителен размер на реализацията подпомага анализа на интересните резултати във връзка с взаимодействието на агентите между различните сцени на коеволюцията с течение на времето.

Хромозомно представяне: всеки агент е дефиниран от един 15-битов бинарен низ, който кодира стратегията на битовете. В този низ с „1“ ще отбележим момента, в който агентите си сътрудничат т.е. – С, докато с „0“ ще отбележим случая, в който не си сътрудничат – D, който използваме в различни ситуации (Фигура 5.4.). По генотип в трите първи цифри се представят основните условия, докато при последващите събрани битове в три групи от по 4 бита ще се представят стратегиите, които са свързани с конкретна ситуация, съответно когато броят на агентите от цивилни и полицаи е по-голям, равен или по-малък от един определен брой по-рано като необходим брой полицаи, които могат да управляват ситуацията на място. Последващото движение ще се предприеме на базата на по-ранните движения, които са извършили агентите и техните противници. Ако няма история за това движение, то ще се определи чрез определянето на първоначалните условия, които се поставят по време на кодирането с битове.

Представяне на способността: Способностите на всяка стратегия са определени от равенството:

$$I_{nau_{gen}} = \frac{Ia_{gen}}{IH_{gen}}$$

Където

$I_{nau_{gen}}$ – нормализирана фитнес (способност) на всяка стратегия върху следващото поколение;

IHa_{gen} – брой на изиграните игри по време на всяко предходно поколение;

Ia_{gen} – способност на стратегиите на един агент по време на симулацията, съответно нормализация на печалбата от играта по време на изминалите поколения;

Тук в съответната под-популация за еволюция се включват само агенти, които са играли поне една пълна игра в предишната генерация (минала) и по този начин сме сигурни, че еволюцията на способността е пълноценна.

Елитизъм: тъй като елитизмът представлява механизъм, за да могат в последващото поколение индивидите да минават през него, в конкретния случай към по-добри стратегии. Като механизъм следователно си гарантираме, че стратегиите, които в същността си са добри, се изпълняват, адаптират от страна на агентите в следващите поколения. Тези стратегии, които са стратегии над нормалните, ще служат като репер за останалите, за да се научат и еволюират те самите. Средно генерираното за способността (SGF) на всяка популация се използва като ниво за прилагане на елитизма. Стратегиите с по-големи печалби на SGF имат приоритет при повторна употреба, така че популацията може да продължи да се облагодетелства от тях в следващите поколения. Математически SGF се изразява по следния начин:

$$SFG(\text{популация}) = \frac{\sum_{i=1}^{\text{агент}} I_{nau_{gen}}(i)}{Ag_{\text{валиден}}}$$

където *Agвалиден* представя агентите (техният общ брой), които са изиграли поне една валидна игра.

Един друг механизъм, който се използва заедно с елитизма е и ниша, чрез който се запазват агентите, които имат различни черти т.е. запазва се разнообразието на населението. Това влияе върху общата способност, която е показана по-горе.

Генетични оператори: прилага се единно кръстосване с цел симулация на обмяната на познания между стратегиите, които са разпространени върху бъдещите поколения. Това прави възможно желаните черти на стратегиите да преминат върху наследниците, за да създадат още по-добри стратегии за новите поколения.

4.7. Обучение

Ако агентите са изолирани, съответно пред тях няма други агенти, а именно липсва комуникация между тях, то те имат възможност да преразгледат своите стратегии като разчитат на учебния процес. Процесът на обучение е форма на дейност, която се позовава на информация на местно ниво за търсене, която е прехвърлена от агентите с по-добро представяне на базата на евристична форма, която използва информация от конкретни домейни, които има на разположение. Така че този процес се отличава от еволюцията, тъй като се извършва по независим начин.

Функционирането на човека трябва да бъде един добър пример за подражание на агента или в общите случаи на един субект, който след това да бъде в състояние да вземе сложни независими решения. В динамичните социални системи агентите, които сме проектирали реагират в резултат на информацията, която получават от средата като променят своите стратегии. Тук се използват реактивните качества на агентите. За да може един агент да използва процес на учене той трябва да притежава частична памет, в която да има информация от

минал опит. Този процес улеснява автономното развитие на поведението на агентите и подобрява тяхното представяне като носи от вън (при липса на комуникация в средата и другите агенти) интересна динамика която е от полза за изучаването на човешкото поведение в различни ситуации. Изхождайки от казаното до тук става ясно, че когато ни липсва възможност за обмяна на информация, и сътрудничество, агентите в общността са намалели до субекти, които имат нужда да се учат по един независим начин като използват информацията, която възприемат. Като се имат в предвид различните неочаквани ситуации, в които могат да попаднат агентите, те неизбежно ще бъдат накарани да се възползват от тях и да учат. Като цяло най-добрите стратегии за обучение са тези, които отговарят и се адаптират най-добре към стратегиите на опонентите в процеса и успяват да увеличат печалбата. Основите на адаптираното учене в тази работа са създадени като се спазва описа на успешните и неуспешни акумулирани опити от всички битове стратегии по време на играенето на играта.

За да се подобрят стратегии разчитат на учебния процес, като ние трябва да запазим най-добрите стратегии. Ако разгледаме броя на "успешните" и "неуспешни" изиграни игри от агентите (активни и полиция), то можем да видим, че бит на стратегията би се ревизирал. Интуитивно, битовете на най-добрите стратегии имат най-голям брой за "успех" и най-малък за "провал".

Процесът на изследване ще ревизира само битовете на стратегиите, в които броят на акумулираните успешни опити (тестовете) от предишните поколения е по-малък от сумата на броя на акумулираните неуспешни опити от предходните поколения и десетократно броя от изиграните изгубени игри (даден е като средство за наказание на стратегиите, които губят постоянно).

По този начин се гарантира, че битовете на силните и желани стратегии се очаква да останат непроменени, докато битовете на слабите стратегии след всички опити ще бъдат променени.

Обучението се използва за подобряване на нежеланите характеристики на настоящите стратегии (текущи) и това дава възможност за по-добро приспособяване към средата на стратегиите на противниците.

5. Модел на социалните конфликти

5.1. Увод

Като се има предвид, че адаптивните социални системи са много сложни ние ще се опитаме да представим конфликтните ситуации в едно общество чрез АВМ, а след това да маневрираме с параметри, които са характерни за тези случаи за да можем да извлечем заключения, с които би било трудно (невъзможно) да експериментираме в реалния живот или това би било на много висока цена.

Представеният модел се състои от три различни компонента: агенти, емпирични правила и околна среда. И така за моделиране на конкретна ситуация ние създаваме повече агенти, които взаимодействат помежду си и съществуват съвместно в едно изкуствено общество, в една компютърна структура [Sawyer, 2003]. Нашият модел се основава на изграждането на динамични модели върху един пространствен пейзаж (например [Epstein, 2002], [Findley и Young, 2007], [Schelling, 1978]). Основните разлики от посочените по-горе модели са комуникацията и разликата в оплакванията по време на процеса, който ще разгледаме.

Събитието, което ще симулираме се състои от група хора, които могат да бъдат физически лица, които са повлияни от различни атрибути, като например легитимността на властта, както и броя на активните агенти и полицията, или някои други атрибути. В резултат на тези атрибути те могат да бъдат активни, да останат мирни или по време на взаимодействието с полицаи може дори да попаднат в затвора. Предполага се също така, че агентите, които са от друг тип, могат да бъдат поддръжници на централната власт. По време на движението на активните агенти те имат за своя цел да избегнат полицията, да се приближат до мирните агенти, за да ги убедят да се присъединят към тълпата или да се сближат с другите активни или мирни агенти и да създадат общество по време на симулацията, което ще бъде

представено чрез линия, която свързва тези два агента. Мирните агенти обикновено имат за цел да избегнат тълпата и полицаите, които може да ескалират в насилие, но са в състояние понякога да реагират на вътрешни стимули, за да изразят бунта си срещу централната власт. Но има и мирни граждани, които са приближени до централната власт и търсят защита от полицаите.

Симулацията е изградена с програмата NetLogo (North, Howe, Collier, & Vos, 2007). Основното виртуално пространство, в което агентите се движат са мрежи, изградени от патчове. Агентите се движат произволно във всяка секунда от симулираното време. Всеки патч има способността да приеме само един полицаи или гражданин. Това предотвратява групирането на всички агенти в много малки пространства и дава възможност за по-голяма визуализация, но и значително увеличава сложността на компютъра. По време на симулацията гражданите постоянно актуализират статуса си, който може да се променя.

5.2. Агенти

N агенти са определени на случаен принцип в първоначалната локация в дефинираното пространство. Агентите са хетерогенни в зависимост от характеристиките, които определя техния статус (мирни, активни, затворници, полицаи).

Всеки агент се характеризира с отговорност, ангажираност и вяра в настоящата централна власт. Така в агентите (които не са полицаи) е заложено да бъдат мирни (неутрални). Обаче те са хетерогенни в тенденцията си да променят ангажиментите си спрямо протестите. В зависимост от непримиримостта с легитимността и стойността на NAI цивилните агенти могат да променят своята ангажираност. Агентите са хетерогенни във вярванията си във връзка със силата на протестите. Първоначално една вяра е задвижена по външен път, но след това

вярата на един агент бива актуализирана във всеки един времеви момент според ангажираността на агентите локално.

След като моделът е задвижен той се обработва в итеративен процес в три стъпки:

- (1) Агентите се движат в пространството,
- (2) Взаимодействат с останалите агенти, и
- (3) Актуализират своите вярвания.

Всеки вид агент извършва поне някои от тези задачи, но всеки агент може да ги извърши по различен начин. Ние сега ще разгледаме правилата, които регулират движението, взаимодействието и актуализираната вяра.

5.3. Мобилност (подвижност)

Агентите поставени в 2D мрежа имат възможни пространства да се придвижват, които ще представим като визия. Тяхната визия е ограничена и цялата информация е локализирана (на базата на движението по модела *Moore Neighbor* – агентите имат 8 визии в мрежата т.е. могат да се движат само в съседните им пачове). В момента, в който казваме, че цялата информация е локализирана имаме впредвид, че в нея те нямат никаква централна команда, която ги координира.

По време на фазата на движение агентите от различен вид ще имат стратегии и те са:

1. **Мирен гражданин**, случайно е определил една траектория. Мирните граждани след това се опитват да се движат в тази траектория.
2. **Активни граждани**, придвижват се в рамките на визията си и се опитват да:
 - Ако най-близкият съсед е мирен гражданин, то те ще се движат към мирните граждани и ще се опитват да повлияят върху тях за да ги присъединят към тълпата.

- Ако най-близкият агент е полицай агентите ще се опитват да се движат надалеч от този тип агент.

- Ако най-близкият агент е активен гражданин или няма съседи, то той се движи на случаен принцип.

- Ако няма свободен патч и всички са заети, то не се движи.

3. **Полицаи** – движат се към активните граждани, които са най-близо или мирни граждани в полезрението на визията им. Те се опитват да повлияят на мирните граждани да не се включват в протести и да ги защитават от активните агенти. Движат се към активните граждани и се опитват да ги неутрализират като ги вкарват в затвора. Ако в рамките на визията му няма активен или мирен гражданин той се движи случайно.

5.4. Базови атрибути

В ABM основните елементи са самите агенти, които представляват лица, които са съставна част от сложни динамични системи (променят се с течение на времето) [Shalizi, 2016]. Затова най-точното описание на атрибутите, които характеризират агенти значително ще се отрази на точността на модела, който представлява ситуацията, която искаме да разгледаме. Точността на моделирането на агентите е от решаващо значение за най-точното описание на агентите като в този случай ще бъде самият човек и поведението му в ситуация на нестабилност, която се проявява в резултат на социални конфликти.

В този модел гражданите (мирни) са неутрални членове на обществото, които се намират в среда на бунтове и трудности. Те не представляват риск за централната власт, но от време на време реагират на външни или вътрешни дразнителни, които са свързани с недоволство срещу властта, което може да дойде като резултат от социалния им статус. Обикновено те са мирни и зачитат законите, но когато се превръщат в активни, ако са създадени благоприятни условия за това, те изразяват бунта и разочарованието си публично. Активистите са разбунтувани граждани,

недоволни от централната власт, които се опитват чрез този бунт да се изразят и пред агентите, които представляват мирните граждани, които не са част от тази власт и са й ядосани и по този начин създават комуникация и близост с тях. Агентите полицаи пазят обектите на централната власт и мирните граждани и ако им се даде възможност, затварят активистите. От избора на стратегии на полицаите и в зависимост от броя им зависи и успеха на управление и контрола на ситуацията на място.

Оплакванията и **алчността**, които се явяват като идеализирани компоненти в процеса на моделиране, измерват тенденцията дали агентите не-полицаи биха се присъединили към разбунтуваната тълпа или не [Collier, 2004]. Гражданите също са изправени пред един допълнителен притеснителен фактор, страха в резултат от ограбване от страна на активистите или репресиите от полицаи с тенденция да изкоренят бунта. Атрибутът, влияещ върху статута на гражданите са възприетите **трудности** (*perceived hardship*) $H = U(0,1)$, на които се дава случайна стойност в интервала (0,1).

Друг много важен атрибут (параметър) е **легитимността** (*government – legitimacy*) L , която представлява равномерно разпределение между 0 и 1, $L = U(0,1)$, което се отнася до възприемането на легитимността на централната власт [Epstein, 1996] и е еднакъв за всички граждани, които не са близки до централната власт.

Размерът на **жалбата** (*grievance*) представлява размера на настроенията срещу властта, който има един гражданин [Epstein 2006]. **Жалбите** (G) се дефинират като функция на H и L под формата:

$$G = H(1 - L).$$

Друг параметър, който може да повлияе на бунта, е **алчността** (*greed*) $Gr = U(0,1)$, която представя ползите, които индивидът може да извлече от активирането в непокорната тълпа. Така от икономическа гледна точка алчността зависи от това колко е рентабилен бунта. Когато се гледа от психологическа гледна точка, един агент има тенденция да се разбунтува дори ако печалбата е малка. Според Collier и Hoeffler [Collier, 2004], G инициира бунт, докато Gr го подкрепя (поддържа).

Протестите са един развиващ се процес, който зависи от броя на протестиращите и полицаите, стратегиите, които избират, които могат да се променят с течение на времето, както и статута на мирни граждани може да варира в зависимост от мислите, които имат за създалата се ситуация.

Много важен параметър, който индивидът ще свързва с тълпата или не, е **нетният риск**, който е разпределен за един агент. Това е оформено от три измерения - тенденцията да се поеме риска, вероятността да бъде хванат, а третото измерение е присъдата след влизането в затвора, и съответно срока на затвора. Несъгласието с риска, $R_A = U(0,1)$ представлява готовността и капацитетът на агента да поеме риска.

5.5. Взаимодействия

Като изхождаме от модела на Епщайн (2002 г.), в който ключът към динамиката е дали агентите избират да се бунтуват, ако са изпълнени определени критерии. В нашия модел полицията и активните цивилни изграждат стратегии за победа над мирните граждани. Нашият модел включва комуникация между агентите, които могат да създават дори и приятелства.

Нека да разгледаме логиката на функционирането на агентите от различен тип, при които бихме имали различни възможни взаимодействия между агентите.

Първо нека да дадем логиката на функционирането и на трите типа агенти.

5.5.1. Логика на мирните граждани

Първоначално предполагахме, че протестите нямат организатор. Те се инициират чрез социалните мрежи или спонтанно, така че първоначално всички са мирни граждани. След това тяхното състояние се развива въз основа на атрибутните

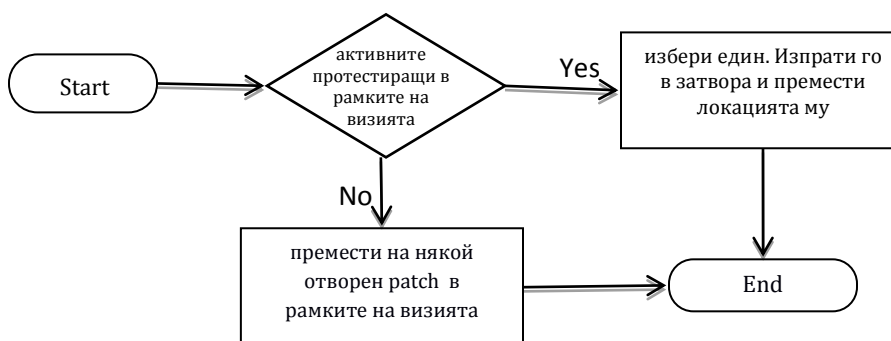
стойности, които ги характеризират. Така че тези агенти могат да преминат от мирни към активни или да останат мирни. Степента на промяна в ангажираността се претегля въз основа на реакция на агента въз основа на стойността на NAI.

Мирните цивилни нямат способността да инициират взаимодействия с други агенти; въпреки това и активните агенти, така и полицаите са склонни да се възползват от същото.

5.5.2. Логика на полицаите

Като се има предвид горното определение относно мобилността на агентите можем да забележим, че полицейските агенти са посветени на това да изпълнява две директни задачи: арест на активните протестиращи, ако те са в тяхно съседство и движение в пространството през 8 възможни съседни патча, за да се приближат към активните агенти, но при условие, че такава стратегия носи съответната печалба и ако броят на полицейските служители е по-голям от един брой определен като достатъчен за справяне с активните граждани, които се бунтуват на базата на определението дадено в раздел 4.4.1. Логиката е представена на фигура 5.1.

Всеки полицай има идентична визия и обхват на движение, определен *pVision*, който е зададен от потребителя. За случая когато полицейските служители D (които искат да арестуват активист) първо търсят активния цивилен в обхвата на *pVisio* (в съседство). Ако намерят някой агент, той избира случаен агент и го арестува. Арестът се състои в поставяне под статус затворник, който в модела, представен с NetLogo, се появява в черни кръгове.



Фигура 5.1 Логика на полицаите

Агентът полицаи ако в обхвата (визията) си няма друг активен агент, то ще се придвижи до един празен патч, който е избран на случаен принцип в рамките на визията му или заема мястото на арестувания агент. Ако няма празни патчове той просто не се движи.

Чрез дефинирането на движението на гражданите полицаите влияят върху съвместното развитие на стратегиите на гражданите, тъй като присъствието на полицията оказва влияние и върху подбора на стратегиите на гражданските агенти въз основа на Таблица 4.2. По-конкретно полицейските служители също служат като източник на информация за гражданите. Тяхното присъствие в дадена област засяга поведението на гражданите, които са наясно с присъствието на полицаите. Това ще бъде по-подробно в логиката на гражданите.

5.5.3. Логика на гражданите

Активните граждани, които са директни участници в протестите, могат да избират две стойности, D или C, в зависимост от съотношението между техния брой и полицаите, както е определено в раздел 4.4.1. Те могат да бъдат по-агресивни или да взаимодействат с мирните граждани, като установят приятелство с тях или ако са по-малко на брой (C), то се опитват да запазят позициите си и да избягват контакти с

полицейските служители, които в този случай трябва да са склонни да ги затворят. Логиката на действие на гражданите е много по-сложна от тази на полицаите. Пълната логика е показана на фигура 5.2. Областта на движение на гражданите е означена като *cVision*. Гражданите са наясно със специфичния си кръг и могат да се преместят в друг патч, който се появи в областта на движението им.

Ако един гражданин е затворен той просто проверява дали срокът му на затваряне е изпълнен (*J-max-term*). Ако е изпълнен той се придвижва до един случаен празен патч, става видим (в зелен цвят) и взема решение за статуса си в зависимост от недоволството и опасността.

Ако гражданинът е свободен се движи в мрежи където среща мирни граждани и комуникира в зависимост от това дали ще избере C или D. Ако гражданинът не е затворен и един или повече граждани са в рамките на *cVision* и един мирен агент, който е недоволен от властта един от тези агенти е избран на случаен принцип за да го сравни подобията, които има или да му повлияе.

Ако е нападат от полицаи гражданинът ще се премести в един случаен патч в рамките на визията си, който е близко до мирен или активен гражданин, с цел да избегне ареста. Ако няма активни или мирни агенти, с които да се сприятели в рамките на *civVision* и активният агент се придвижва на случаен принцип в един празен патч в рамките *civRange*, или остава в случай, че няма свободен патч на разположение.

След комуникацията с мирен агент той взема решение дали трябва да бъде активен. Тази логика е аналогична на тази на Epstein (2006). Тук се представя и един друг параметър, който оценява вероятността от арест (P) от страна на полицаите, който зависи от броя на полицаите (N_C) и броя на активните протестиращи (N_A) в рамките на *cVision* [Epstein, 1996] и се изчисляват по формулата:

$$P = 1 - e^{-k \left(\frac{N_C}{N_A} \right)}$$

Където N_C/N_A - представя отношението между броя на полицаите и активистите (N_C/N_A)

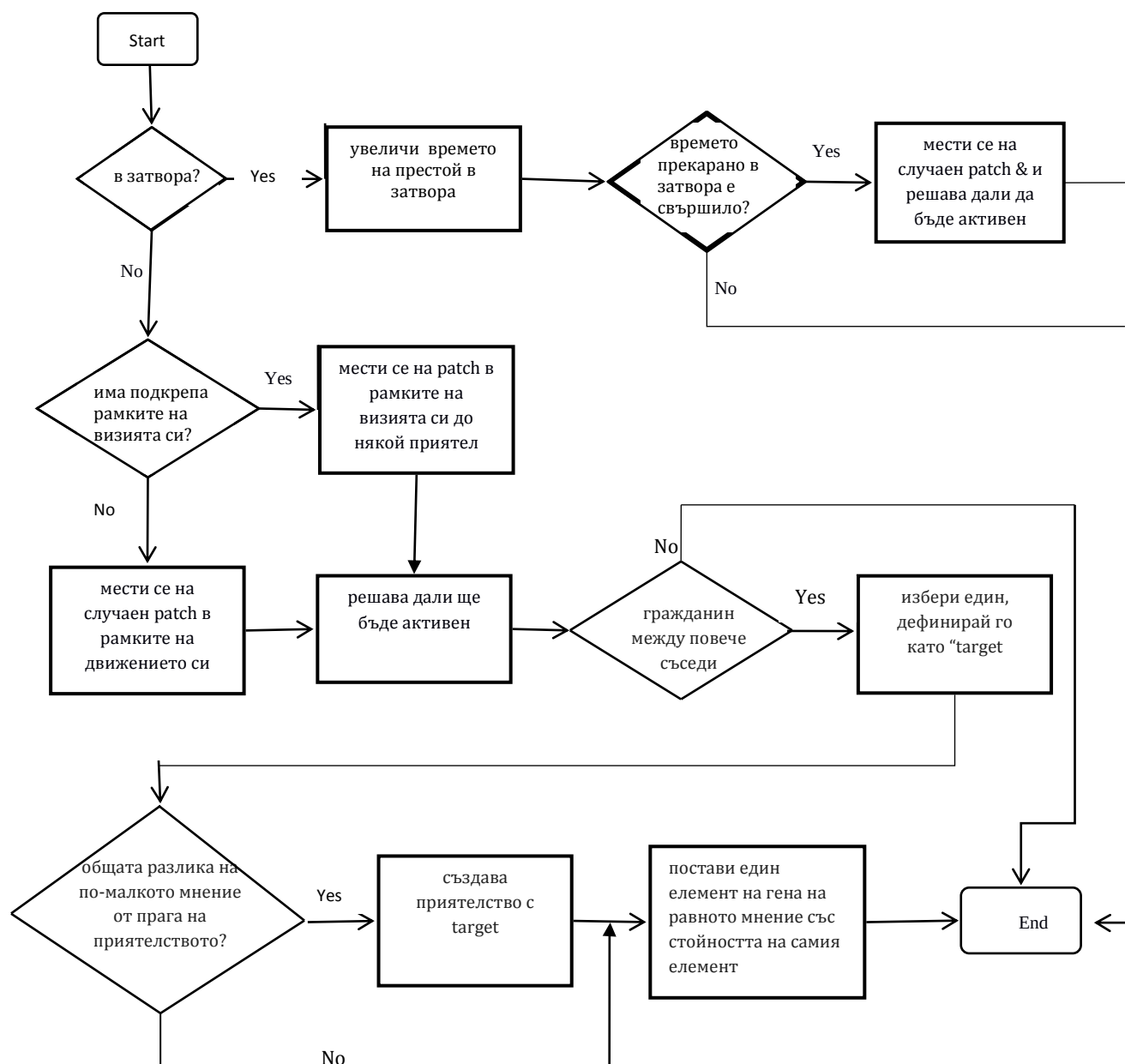
k е константа, която винаги е по-малка от 1, тъй като агентът се приема за активен само когато се изчислява P .

На базата на дефинираните атрибути за гражданите, несъгласието с опасността (*risk-aversion* R_A) и вероятността от арест (*estimated-arrest-probability* P) можем да изчислим нетната стойност на опасността (N), една стойност между 0 и 1, която се запазва константа за всеки гражданин и се извежда от уравнението ($N = U(0,1)$),

$$N = RP$$

Ако разликата в тенденцията за бунт (затруднение) G и нетната опасност (N) е по-голяма от една пределна стойност, определена като $AThreshold$, тогава мирният гражданин ще стане активен, ако не е - остава мирен.

Ако активният агент има в близост някой полицаи, то на в следващата стъпка той ще бъде вкаран в затвора и ще остане там за определен брой стъпки. Последната част от гражданската логика е комуникацията. Ако в околността има други граждани, в осем патча, които ограничават агента, един от тях се избира на случаен принцип като цел (таргет) за комуникация. Ако несъгласията им са близки, то се създава приятелство между двамата граждани. Тази връзка ще остане за определен брой бъдещи стъпки при липса на комуникация в бъдещето.



Фигура 5.2. Логика на гражданите³

³C. W. Weimer-Forecasting effects of influence operations: a generative social science methodology

5.6. Симулация на еволюцията в поведението на агентите

По-долу ще представим симулация на поведението на агентите въз основа на зависимостта от броя на полицаите NC, активните граждани NA, вероятността от задържане, съответно риска, както и влиянието на трудностите (G) и легитимността L. В зависимост от стойностите на атрибутите, споменати по-горе, зависи и еволюцията на състоянието на агентите.

Следващата таблица показва параметрите, които ще се използват за симулацията.

Таблица 5.1. Таблица на стойностите на параметрите, които се използват по време на симулацията

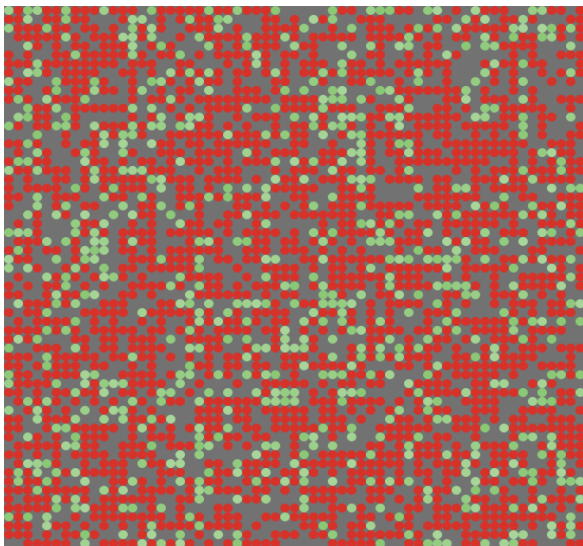
Параметри по време на симулацията	Стойност
Големина на мрежата (max-pxcor и max-ycor)	60x60
Брой на гражданите	Варира
Брой на полицаите	Варира
Визия на полицаите/агентите	1
Максимален срок на престой в затвора	20
Легитимност	0.3
Несъгласие с риска	random 0-1
Athreshol	0.2

Симулацията се осъществява чрез програмата NetLogo, която използва *turtle*, където се представят агентите и може да се направи визуализация и симулация на протестите, в които агентите първоначално са мирни и след това променят състоянието си, съответно еволюира стратегията им в зависимост от недоволството и опасността да бъдат арестувани. Пределна стойност е определена от Athreshold = 0.2.

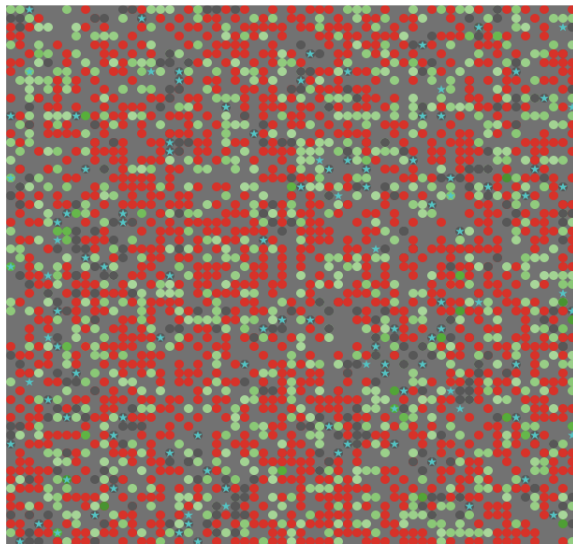
Първо нека да разгледаме как ще се промени с времето броя на гражданите, които стават активни като променят и броя на полицаите NC=0 (или 0% от броя на всички патчове) NC= 112 (или 3% от броя на всички патчове), NC= 186 (или 5% от

броя на всички патчове), $NC = 260$ (или 7% от броя на всички патчове), когато броят на гражданите остава непроменен $NA = 2605$ (или 70% от броя на всички патчове).

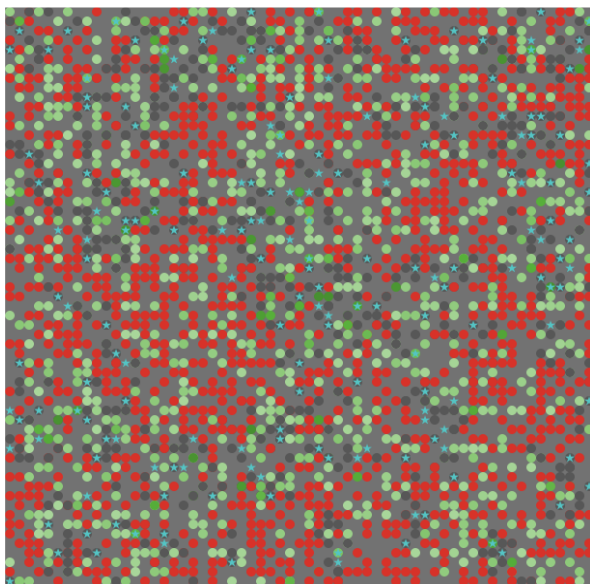
a) $NC = 0$ (0%)



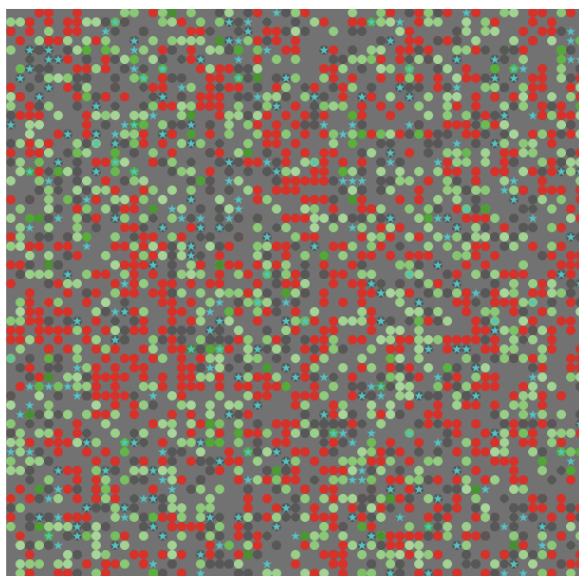
b) $NC = 112$ (3%)



c) $NC = 186$ (5%)



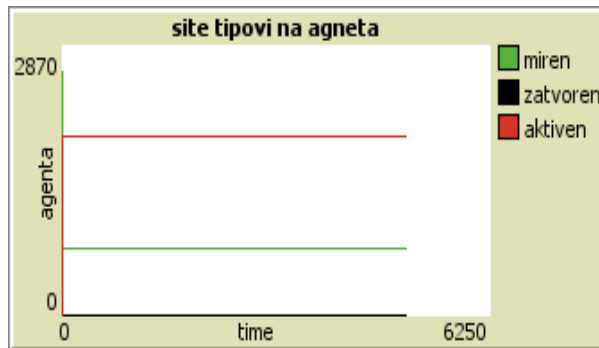
d) $NC = 260$ (7%)



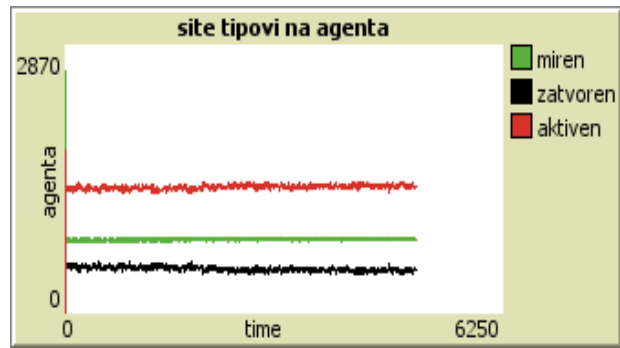
Фигура 5.3 Пространствено представяне на състоянието на гражданите в зависимост от броя на полицаите NC

Графиките, на които се представя състоянието на гражданите, активни или затворници в зависимост от NC за 5000 цикъла ще изглежда както следва:

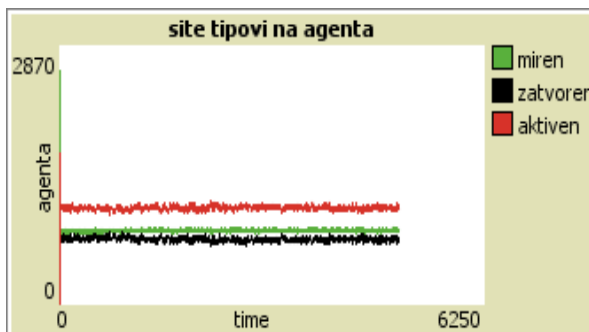
a) NC=0 (0%)



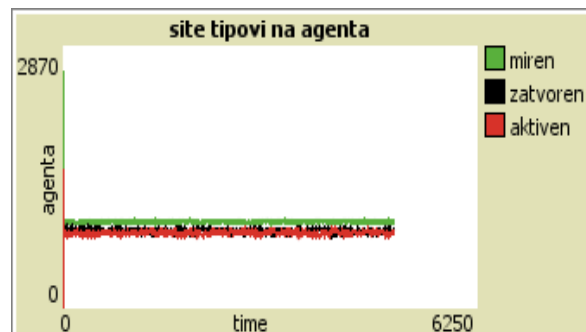
b) NC= 112 (3%)



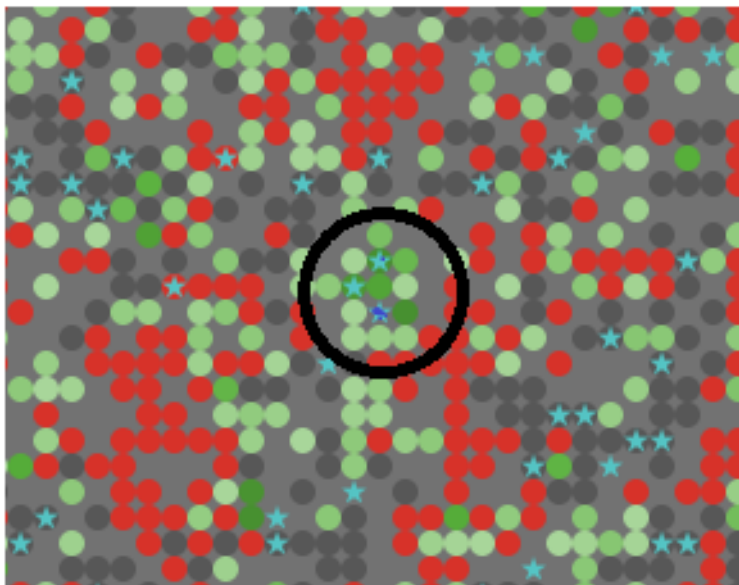
c) NC=186 (5%)



d) NC= 260 (7%)



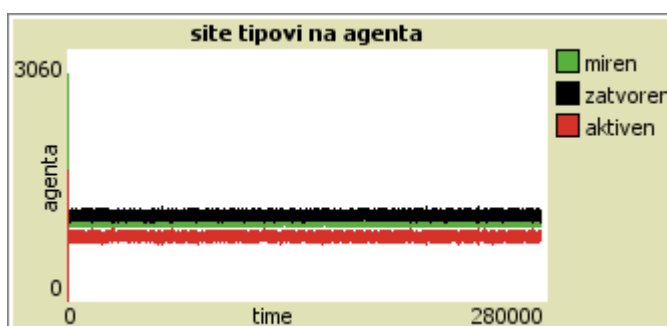
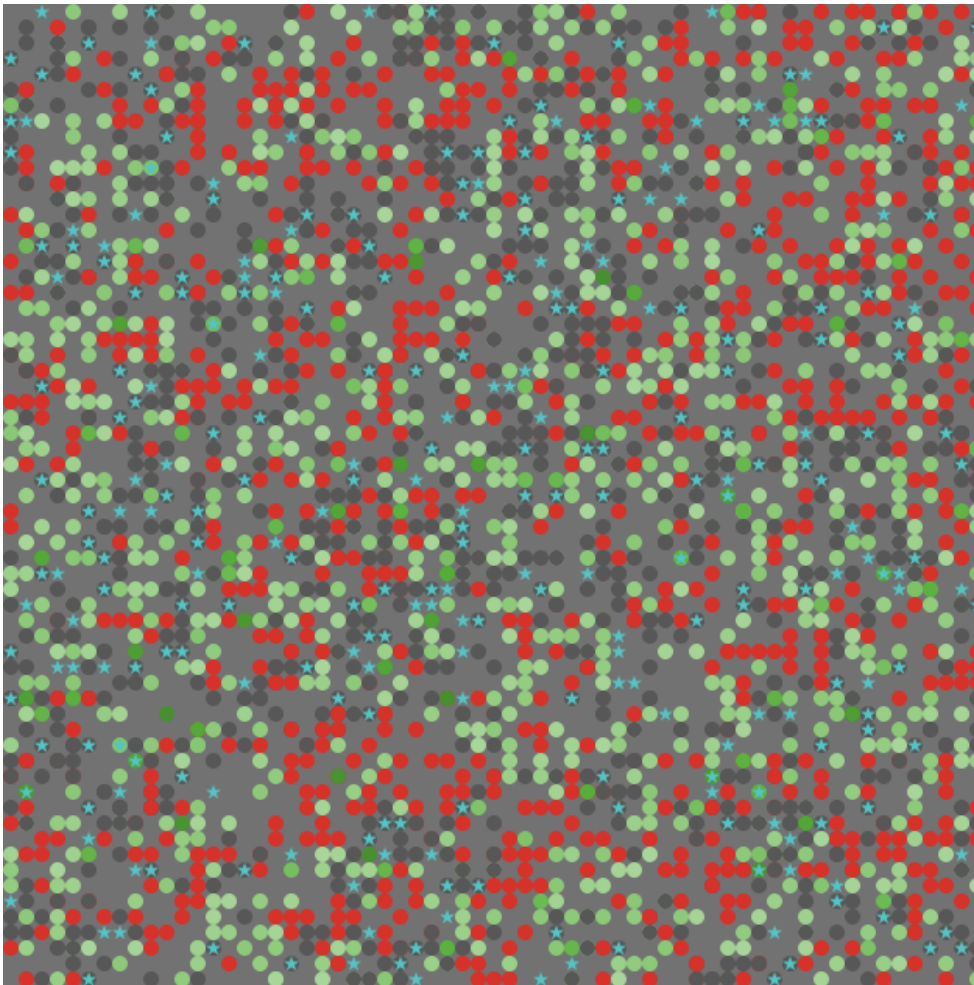
Фигура 5.4 Графично представяне на броя на трите типа граждани в зависимост от броя на полицаите NC, където може да се види как се повишава броя на арестуваните и намалява броя на активистите в мрежата с повишаването броя на полицаите.



Фигура 5.5. Представяне на полица, който няма свободен патч

На фигура 5.5 е представен случай, при който след 5000 кръга полицаят не се движи, тъй като няма свободен патч, всички са окупирани от гражданите. Около него (в съседство) се намират мирни граждани, които не променят състоянието си. Около тези мирни граждани в близост до полица (който е в черно на фигура 5.5) състоянието на агентите в съседство еволюира с течение на времето. Те продължават да бъдат мирни въпреки, че са недоволни, което може да се забележи от промяната на цвета им (тъмно зелен). Това се случва поради използваните стратегии съгласно правилата за най-подходящите стратегии представени в глава 4.

При избухването на протеста фактор, който влияе е максималният срок на затваряне (*max-jail-term*), който в горната симулация сме приели, че е 20 стъпки, което означава, че времето за освобождаването на един агент-затворник са 20 стъпки. Ако този брой е по-голям (по-малък), то ще се намали (увеличи) и броя на активните агенти.



Фигура 5.6. Представяне пространственото състояние и график на еволюцията на гражданите, мирни, затворници и активни, след 276942 стъпки.

На фигура 5.6. може да се види, че след по-дълъг период на симулация броят на гражданите ще има малки колебания. Съответно броят им ще се променя според графиката по-горе, докато не се промени някой от атрибутите, които приемаме, че могат да се променят в зависимост от възприятията им за легитимност, нетен риск, срок на пребиваване в затвора, отношението полицаи/гражданин, визия.

С помощта на този модел можем да работим с посочените по-горе атрибути и да проучим как това може да промени положението в зоната. Тези промени в реалния живот биха били почти невъзможни. Самата концепция за моделиране няма впредвид представянето на реална ситуация тъй като това би било доста сложно. Ето защо, в сегашния модел на конфликтна ситуация между разгневени граждани и защитници на централната власт се разглеждат само няколко атрибути, за които ние вярваме, че ще подпомогнат разрешаването на конкретен проблем и биха дали полезни резултати.

6. Приложение на обобщените мрежи в логиката на цивилните агенти и полицаите

Ще представим логиката на агентите и полицаите чрез обобщените мрежи (GN), за да имаме по-ясна представа за движението на агентите в 2D мрежата.

Нека първо да представим основните понятия за обобщена мрежа, които се считат за разширения съответно като обобщение на мрежите на Petri. К. Т. Атанасов [Атанасов, 2007] предлага нова дефиниция на мрежите за моделиране и анализ на различните видове динамични системи, които нарича обобщени мрежи. Нека първо да представим концепциите за обобщена мрежа, които се основават на основните понятия: място, връзка. Тези мрежи се характеризират със статична структура, динамични елементи, наречени ядро (token) и временни компоненти, където:

- Статичната **структура** на обобщена мрежа се характеризира с преход.
- **Ядрата** са описани с различни характеристики, които предполагат, че играят ролята на памет на мрежата.
- **Времевите константи** са три вида: начален момент, в който мрежата започва да функционира, основна времева скала и продължителност на операцията.

6.1. Основни концепции за обобщена мрежа

Можем да забележим, че първата разлика между обобщените мрежи и мрежите на Petri е мястото на транзакцията [Atanassov, 2016]. При теорията за обобщена мрежа преходите имат много комплексна същност и символно се представят с $\bigcirc$ а преходите с $\downarrow$.

Обобщените мрежи съдържат ядра (които представляват аргументи), които се пренасят от едно място на друго. Всеки от тях носи в себе си информация, която е описана от характеристиките на ядрата и всеки един от тях влиза в мрежи с една

първоначална характеристика. След прехода характеристиките биват модифицирани. Преходите имат входяща и изходна точка.

Формално всеки преход е описан от следната седмица:

$$Z = \langle L, L', t_1, t_2, r, M, \rangle$$

Където:

- $L'_1 = \{l'_1, l'_2, \dots, l'_m\}$ е крайно непразно множество на преходите на входящите точки;
- $L''_1 = \{l''_1, l''_2, \dots, l''_m\}$ е крайно непразно множество на преходите на изходните точки;
- t_1 е актуалното време началото на прехода;
- t_2 е актуалната продължителност на прехода на активните състояния;
- r е състоянието на определен преход, който ядрата (аргументите) ще преминат (или трансферира) от входяща към изходяща транзакция; който има формата на матрица описана в [4];
- където r_{ij} е предикат, който си отговаря с входящите точки на i – тата и изходящите точки на j – тата, $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$; когато стойността му е вярна той е true, ядрото може да премине прехода от входящата i до изходящата точка j .
- M е един матричен индекс на капацитетите на преходните дъги;
- където $m_{ij} \geq 0$ са естествени числа;
- $\square$ е обект на една форма подобна на булев тип, тя може да съдържа като променлив символ, които служат като преходен етикет на входящите точки и $\square$ е израз изграден от променливи и булеви връзки $\wedge$ и $\vee$, чиято семантика е определена от следното $\bigwedge (l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu})$ - всяко място $l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu}$ трябва да съдържа най-малко едно ядро, $\bigvee (l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu})$ – трябва да има най-малко един знак във всички места $l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu}$, където $\{l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu}\} \subseteq L'$; когато стойността на един вид (изчислена като булев тип израз) е

вярна преходът може да стане активен, в противен случай това няма как да стане.

- Наредената четворка (четири триплета подредени както следва по-долу:

$$E = \langle \langle A, \pi_A, \pi_L, c, f, \theta_1, \theta_2 \rangle, \langle K, \pi_K, \theta_K \rangle, \langle T, t^0, t^* \rangle, \langle X, \Phi, b \rangle \rangle$$

Се нарича обобщена мрежа ако елементите са описани както следва:

- A е една група от прехода;
- π_A е една функция, която дава приоритет на прехода $\pi_A : A \rightarrow N$, където $N = \{0, 1, 2, \dots\} \cup \{\infty\}$,
- π_L е една функция, която отдава приоритет на местата $\pi_L : L \rightarrow N$, където $L = \text{pr}_1 A \cup \text{pr}_2 A$, и $\text{pr}_i X$ е проекция i -на множество с размерност n където $n \in N$, $n \geq 1$ и $1 \leq i \leq n$ (L е множество на всички места на обобщената мрежа),
- c е функция, която дава капацитет на местата $c : L \rightarrow N$
- f е функция, която изчислява верността на стойностите на предиктите на условията на прехода на функцията, f има стойност вярно или грешно, true/false, следователно стойност от множеството $\{1, 0\}$
- θ_1 е функция, която дава моменти в момента в бъдещето когато преход Z може да се активира: $\theta_1(t) = t'$, където $\text{pr}_3 Z = t$, $t' \in [T, T + t^*]$ и $t \leq t'$; стойността на функцията е изчислена в момента, в който преходът свършва своето функциониране,
- θ_2 е функция, която дава продължителността на активното състояние на даден преход Z : $\theta_2(t) = t'$, където $\text{pr}_4 Z = t \in [T, T + t^*]$ и $t' \geq 0$; стойността на тази функция е изчислена в момента, в който преходът започва функционирането си,
- K е множеството от ядра на обобщената мрежа; в някои случаи е подходящо да се разгледа и като множество под формата:

$$K = \bigcup_{l \in Q^I} K_l$$

Където K_l е множество ядра, където влизат мрежи от мястото l , и Q^I и множество от всичките входящи точки на мрежата,

- π_k е функция, която отдава приоритет на ядрата (аргументите), тоест $\pi_k : K \rightarrow N$,

- θ_k е функция, която дава времевия момент, в който дадено ядро може да навлезе в мрежа: $\theta_k(\alpha) = t$, където $\alpha \in K$ и $t \in [T, T + t^*]$,

- T е времевият момент, в който обобщената мрежа започва да функционира; този момент е определен като се взема в предвид едновременно една фиксирана скала (глобална),

- t^0 е една елементарна времева скала, свързана с фиксирана (глобална) времева скала, която се съобразява с една фиксирана скала,

- t^* е продължителността на функционирането на обобщената мрежа;

- X е множеството на всички първоначални характеристики, които ядрата могат да получат за да влязат в мрежата;

- Φ е една характерна функция, която определя новите характеристики на всяко ядро, когато той се мести от входяща към изходяща точка при даден (определен) преход;

- b е една функция, която представя максималния брой характеристики, които даден token може да приеме тоест $b: K \rightarrow N$; например $b(\alpha) = 1$ за някои ядра α , тогава това ядро ще навлезе в мрежата с няколко първоначални характеристики и след това ще запази само актуалните си характеристики; когато $b(\alpha) = k < \infty$ ядрото α ще запази всичките си характеристики; когато $b(\alpha) = k < \infty$ ядрото ще запази финалните си характеристики (най-старата характеристика от последната k ще бъде забравена); в един по-общ случай всяко α ядро има $b(\alpha) + 1$ характеристики, оставени от мрежата която оставят;

В една определена (дадена) обобщена мрежа могат да липсват някои от по-горните компоненти. В такива случаи всеки един изгубен компонент ще се премахне [Sotirov, 2016], [Sotirova, 2016]. При обобщена мрежа от този тип се формира една специфична класа, която наричаме редуцирани обобщени мрежи. Обобщените мрежи дават възможност процесите да се описват в дълбочина и в развитие [Dimitrov, 2017], [Fidanova, 2011], [Georgieva, 2015], [Ribagin, 2016]. В началото, с обобщена мрежа се дава само общата рамка на процеса, след което всеки идин възел от мрежата може да бъде заменен от мрежа, описваща просеса в по-големи подробности [Georgieva, 2015], [Ilkova, 2015], [Roeva, 2018]. Сравнявайки обобщените мрежи на два просеса (алгоритъма) можем да видим техните прилики и разлики и доколко сходството между тях е съществено [Dimitrov, 2015], [Pencheva, 2016], [Perez, 2016].

6.2. Приложение на обобщена мрежа при описване движението на членовете в конфликтни ситуации

Като се базираме на логиката на гражданите (гражданите) първо ще разгледаме техния статус в следните няколко стъпки:

- 1) Стартира като разглежда статуса му, тоест дали е свободен или затворник;
- 2) Ако е затворник ще видим дали е изпълнен срокът на престой в затвора или не;
- 3) Ако е свободен ще продължи да се движи като взема решения независимо или под влияние на другите агенти (активисти или полицаи) за да се присъедини към протестите или да продължи да бъде мирен гражданин въпреки опасността и недоволството от легитимността на централната власт;
- 4) Ще използваме термините активен или мирен на базата на критериите, които определят дали недоволството (като вземем в предвид

и опасността от затвор) NAI е по-голяма от предварително определената стойност на прага (***Athreshold***).

На базата на тези стойности както споменахме и в по-горните параграфи и в съответствие с таблица 4.2 в част 4.4. в глава четвърта ще имаме следните случаи:

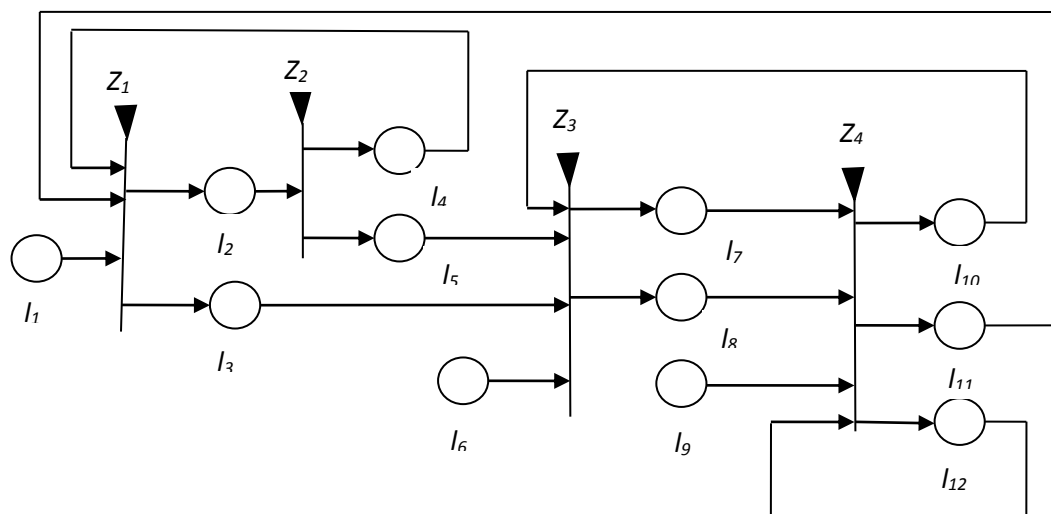
- Ако е мирен агент и ако **$NAI > Athreshold$** ще стане активен т.е. има недоволство и опасността от арест не е голяма;
- Ако е активен агент и ако **$NAI > Athreshold$** ще остане активен т.е. агентът е недоволен от централната власт и опасността от арест е малка;
- Ако е мирен агент и ако **$NAI < Athreshold$** ще остане мирен т.е. ако агентът, който представлява е мирен гражданин част от централната власт или опасността от арест е голяма;
- Ако е активен агент и ако **$NAI < Athreshold$** ще стане мирен агент и съответно опасността от арест е голяма въпреки, че е недоволен от централната власт;

След вземането на решение се активизира и логиката на полицаите:

- Ако полицаят срещне мирния гражданин в съседни патчове се придвижва в друг в рамките на обхвата му.
- Ако срещне активен гражданин в съседни патчове го арестува и може да се движи в този патч ако другите са заети или няма активисти в съседство.
- Ако в обхвата му няма активни или мирни граждани прави случайни движения в рамките на обхвата си.

За да представим логиката на движение на полицаите чрез обобщена мрежа ще използваме четири прехода (Z_1, Z_2, Z_3 и Z_4) както и 12 места (*places*) ($l_1, l_2, \dots, l_{12}$) [S. Ismaili, 2018].

Нашата мрежа ще изглежда както следва:



Фигура 6.1 Обобщена мрежа при описване движението на членовете в конфликтни ситуации

Характеристиките на ядрата в различните позиции са както следва:

- l_1 – “гражданин, който няма статус”
- l_2 – “гражданин, който е затворник”
- l_3 – “гражданин, който е свободен”
- l_4 – “срокът на затвора не е завършил”
- l_5 – “срокът на затвора е завършил”
- l_6 – “активен гражданин”
- l_7 – “става мирен гражданин”
- l_8 – “става активен гражданин”
- l_9 – “полицай”
- l_{10} – “мирен гражданин (който не е затворник)”
- l_{11} – “атворник”
- l_{12} – “движещ се по случаен начин”

За този случай имаме четири прехода:

Преходът Z1: ще се опишат от входящото място (позиции) L' , изходните точки (позиции) L'' , матрицата на индексите r_1 и операторът $\square$

$$Z_1 = \langle L', L'', r_1, \square \rangle$$

$$L' = \{l_1, l_4, l_{11}\}; L'' = \{l_2, l_3\}; \square = v(l_2, l_3) \text{ и}$$

$$Z_1 = \langle L', L'', r_1, \square \rangle = \langle \{l_1, l_4, l_{11}\}, \{l_2, l_3\}, r_1, v(l_2, l_3) \rangle$$

	l_2	l_3
$r_1 =$		
l_1	$W_{1,2}$	$W_{1,3}$
l_4	$W_{4,2}$	$false$
l_{11}	$W_{11,2}$	$false$

където $W_{1,2} = W_{4,2} = W_{11,2}$ - "агентът е затворник"

W_{13} - "агентът е свободен"

Преходът Z2: статусът на затворниците

$$Z_2 = \langle L', L'', r_2, \square \rangle = \langle \{l_2\}; \{l_4, l_5\}; r_2, v(l_4, l_5) \rangle$$

	l_4	l_5
$r_2 =$		
l_2	$W_{2,4}$	$W_{2,5}$

където

$W_{2,4}$ - "срокът на затвора не е завършил"

$W_{2,5}$ - "срокът на затвора е приключил"

Преходът Z3: преходът на статуса на цивилните

$$Z_3 = \langle L', L'', r_3, \square \rangle$$

$$L' = \{l_3, l_5, l_6, l_{10}\}; L'' = \{l_7, l_8\}; \square = v(l_7, l_8) \text{ и}$$

$$Z_3 = \langle L', L'', r_3, \square \rangle = \langle \{l_3, l_5, l_6, l_{10}\}, \{l_7, l_8\}, r_3, v(l_7, l_8) \rangle$$

	l_7	l_8
$r_3 =$		
l_3	$W_{3,7}$	$W_{3,8}$
l_5	$W_{5,7}$	$W_{5,8}$
l_6	$W_{6,7}$	$W_{6,8}$
l_{10}	$W_{10,7}$	$W_{10,8}$

Където:

$W_{3,7} = W_{5,7} \quad -NAI < Athreshold \Rightarrow$ ядрото в позиция l_7 получава характеристика в “покой”

$W_{3,8} = W_{5,8} \quad -NAI > Athreshold \Rightarrow$ ядрото в позиция l_8 получава характеристика “активен”

$W_{6,7} \quad -NAI < Athreshold \Rightarrow$ ядрото в позиция l_7 получава характеристика в “покой”

$W_{6,8} \quad -NAI > Athreshold \Rightarrow$ ядрото в позиция l_8 получава характеристика “активен”

$W_{10,7} \quad -NAI < Athreshold \Rightarrow$ ядрото в позиция l_7 получава характеристика в “покой”

$W_{10,8} \quad -NAI > Athreshold \Rightarrow$ ядрото в позиция l_8 получава характеристика “активен”

Преходът Z₄: логиката на полицаите

$Z_4 = \langle L', L'', r_3, \square \rangle$

$L' = \{l_7, l_8, l_9, l_{12}\}; L'' = \{l_{10}, l_{11}, l_{12}\}; \square = v(l_{10}, l_{11}, l_{12})$ и $r_4 =$

$Z_4 = \langle \{l_7, l_8, l_9, l_{12}\}, \{l_{10}, l_{11}, l_{12}\}, r_4, v(l_{10}, l_{11}, l_{12}) \rangle$

Където

	l_{10}	l_{11}	l_{12}
l_7	true	false	false
l_8	false	$W_{8,11}$	false
l_9	false	$W_{9,11}$	true
l_{12}	false	$W_{12,11}$	$W_{12,12}$

$W_{12,11} = W_{8,11} = W_{9,11}$ – “извършен е арест”

$W_{12,12}$ - “движение то на полицаите е ълучайно “

7. Приложение на IFS при разрешаване на конфликтите с АВМ

7.1. Увод

За да представим реалистично противоречивите ситуации, които са сложни и доста непредвидими адаптивни системи, ще се опитаме да използваме IF интуитивна логика, дефинирана в раздел 2.5. В тези системи има индивиди, които могат да променят своите стратегии въз основа на атрибутите, които индивидите представят и взаимодействат помежду си. Съществуват известни ограничения в модела на протестите, представен в глава 5, тъй като поведението на индивидите е доста сложно и неясно. Има много човешки характеристики, които нямат ясна граница или зависят от интерпретацията на контекста.

За да постигнем това, ние ще се опитаме да приложим IF логика [Atanasov,2017], която е обобщение на размитата логика на Zadeh [Zadeh, 1965]. IF логиката оперира с "*intuitionistic fuzzy sets*", "*fuzzy променливи*", "*fuzzy числа*", "*fuzzy отношения*". IFS са функциите, които оценяват естеството на обекта, който изследваме в интервала $[0,1]$ [Atanasov, 2017].

Логиката на IFS се отнася до множествата от обекти, които имат неопределени граници, определящи функцията на членство, нечленство и колебание или неопределеност. Участието в тези множества се определя в количествено или процентно отношение. IFS логиката се характеризира с използването на лингвистични променливи, които имат като параметри стойност или думи, защото думите са по-близо до човешката интуиция, а не числата, тоест този метод използва за изчисления думите, а не числата. Друг параметър при използването на IF логика е използването на IF правила. Тези правила се изграждат под формата "Ако-То (англ. *If - Then*)".

Функцията на членство, нечленство и неопределеност са дефинирани в секция 2.5., според която: нека X да бъде едно непразно множество. IFS A в U има

следната форма $A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) : x \in U\}$, където функцията $\mu_A(x), \nu_A(x) : U \rightarrow [0, 1]$ дефинират съответно нивото на членство и нечленство на елемента $x \in U$: $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$. От тук имаме $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$, който се нарича индекс на неопределеността в IFS или колебание на x в A и $\pi_A(x) \in [0, 1]$ $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$ за всеки $x \in U$ и изразява липсата на познание за това, че x се отнася до IFS A или не.

В случая на социалните конфликти имаме среда, която разглеждаме, която не е ясна и не е сигурна в няколко аспекта. Много от атрибутите, които описват човека нямат ясна граница или тя зависи от интерпретацията или контекста, например, ядосан е един затворен агент. Това може да се представи от една IFS, която описва самия човек и му придава степен на членство или нечленство на конкретните атрибути.

7.2. Дефиниране на операторите t-norm, s-norm и отрицание

За да приложим IF логиката към модела, който представя социалните конфликти или протести, понякога е необходимо да моделираме и работим с алгебрични операции върху тях. Следователно трябва да бъде модифицирана стъпка по стъпка чрез сливането на набор от аспекти. Чрез употребата на IF логика може видимо да увеличим точността на модела, който представяме и развитието на стратегиите им [Sotirov, 2016a]. Преди да използваме IF оператори, първо трябва да „фъзифицираме“ (размием) променливите (представящи характеристиките (атрибутите) на лицето, което е участник в конфликта, т.е. активния агент, мирния агент или полица), които ще бъдат използвани или формално определящи IFS за тези атрибути (представляващи променливи).

Трябва да използваме различни оператори, за да ги дефинираме алгебрично или логически, обобщавайки в класическите операции: сечение, съюз, отрицание или допълнение, които също са ограничени в крайни множества.

Първоначално трябва да се дефинират интуиционистските оператори t-norm и t-conorm, които ще са ни нужни по-късно.

За да дефинираме t-norm или t-conorm (s-norm) дефинираме L^* . Нека да бъде [Atanassov,1986],[Deshrijev (2004)]:

$$L^* = \{(x_1, x_2) \in [0,1] \times [0,1] | x_1 + x_2 \leq 1\}.$$

Където релацията $\leq_{L^*}$ на L^* е дефинирано като: $\forall (x_1, x_2), (y_1, y_2) \in L^*$,

$$(x_1, x_2) \leq_{L^*} (y_1, y_2) \Leftrightarrow x_1 \leq y_1 \text{ и } x_2 \geq y_2$$

Релацията $\leq_{L^*}$ е частично подредено в L^* и двойката $(L^*, \leq_{L^*})$ е *latic complete* с елементи по-малки от $0_{L^*} = (0, 1)$ и по-големия елемент $1_{L^*} = (0, 1)$.

Като изхождаме от Deshrijev (2004), който за да достигне до интуиционистката t-norm и t-conorm използва *latic* -ата $(L^*, \leq_{L^*})$ и дефинира IF t-norm и IF s-conorm.

Така съответните дефиниции според Deshrijev (2004) ще бъдат:

Една триъгълна норма (t-norm) е $(L^*)^2 - L^*$ на T , което удовлетворява следните условия:

- $(\forall x \in L^*) (T(x, 1_{L^*}) = x)$ (*border conditon*) гранични условия
- $(\forall (x, y) \in (L^*)^2) (T(x, y) = T(y, x))$ комутативен
- $(\forall (x, y, z) \in (L^*)^3) (T(x, T(y, z)) = T(y, T(x, z)))$ асоциативен
- $(\forall (x, x', y, y') \in (L^*)^4) (x \leq_{L^*} x' \text{ и } y \leq_{L^*} y' \Rightarrow (T(x, y) \leq_{L^*} T(x', y')))$ монотонност

Една интуиционистична t-conormе триъгълник (S-norm) е $(L^*)^2 - L^*$ представя S , който удовлетворява следните условия:

- $(\forall x \in L^*) (T(x, 0_{L^*}) = x)$ (*border conditon*) *granicni uslov*
- $(\forall (x, y) \in (L^*)^2) (S(x, y) = S(y, x))$ комутативен
- $(\forall (x, y, z) \in (L^*)^3) (S(x, S(y, z)) = S(y, S(x, z)))$ асоциативен
- $(\forall (x, x', y, y') \in (L^*)^4) (x \leq_{L^*} x' \text{ and } y \leq_{L^*} y' \Rightarrow (S(x, y) \leq_{L^*} S(x', y')))$ монотонност

В теорията за IFS t-norm се използва за моделирането на две fuzzy множества или по аналогичен начин с логически термини конюнкция. T-conorm се използва за моделиране на дизюнкцията или обединението.

Интуиционистските оператори t-norm (t-conorm) могат да се използват за да определят (обединението) на два IFS A и B, както следва:

$$A \cap_T B(u) = T(A(u), B(u))$$

$$A \cup_S B(u) = S(A(u), B(u))$$

Друг оператор, който ще ни трябва е отрицанието, който е дефиниран както следва:

Ако IF **отрицание** в L^* е едно отношение $N: L^* \rightarrow L^*$ което удовлетворява $N(0_{L^*}) = 1_{L^*}$, и $N(1_{L^*}) = 0_{L^*}$.

Ако $N(N(x)) = x$ за всички $x \in L^*$ то N се нарича IF инволютивно отрицание, както и представянето N_s което се дефинира като $N(N(x_1, x_2)) = (x_1, x_2)$, за всяко $(x_1, x_2) \in L^*$ се нарича стандартно IF отрицание.

Операторът Λ и операторът V в $(L^*, \leq_{L^*})$ свързани с подредбата $\leq_{L^*}$ са съответно дефинирани като $\forall (x_1, x_2), (y_1, y_2) \in L^*$,

$$(x_1, x_2) \Lambda (y_1, y_2) = (\min(x_1, y_1), \max(x_2, y_2)),$$

$$(x_1, x_2) V (y_1, y_2) = (\max(x_1, y_1), \min(x_2, y_2)),$$

$$\text{и} \quad x = y \iff x \leq_{L^*} y \text{ и } y \leq_{L^*} x$$

Повечето от IF логиката по време на приложението й използват IF t-norm и IF t-conorm.

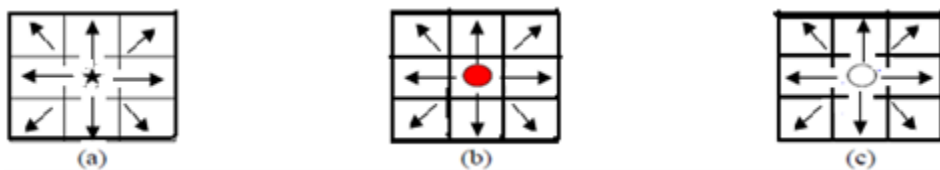
7.3. Възможности за движение на агентите в 2D мрежата като използват IFS

В глава 4 и 5, където представяме конфликтните ситуации и моделирането на тези ситуации можем да прилагаме IFS за да представим възможностите за движение на агентите в 2D мрежата (симулирана в Netlogo), като имаме в предвид правилата за движение на съответните агенти, където:

- a) Активният агент се опитва да избегне полицаите, да срещне мирни граждани или да се придвижи случайно до един празен *patch*.
- b) Агентът полицай се опитва да срещне гражданин, който да арестува, или да се придвижи случайно до един празен *patch*.
- c) Мирният гражданин се движи случайно до един празен *patch*.

В моделът се определят общо три различни вида агенти, които символно представяме чрез обозначенията: мирен гражданин - ○ ; активист - ● ; полицай - ★

Всеки един от тях е представен като агент, който има свой обхват на движение, има 8 възможни хода т.е. може да се движи в един патч в осем възможни посоки.



Фигура .7.1. Движение на агентите [Atanassov,2012]

Въз основа на тази логика да разгледаме движението на тези агенти в една мрежа, състояща се от 10 x 10 т.е. 100 patch-а. Следователно възможните движения в patch са 99, за $n=99$ и възможните движения на агентите са 8, т.е. $m=8$, като следователно той не може да отиде в 91 patch-а $n-m=91$.

От [Atanassov, 2017] имаме:

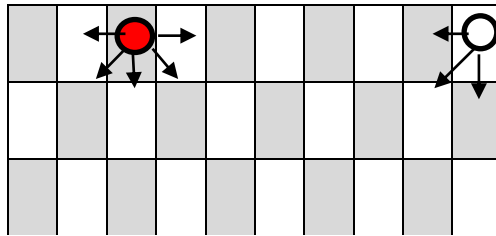
$$\frac{m}{n} + \frac{n-m}{n} = 1$$

За случая, в който в мрежата няма други агенти и агентът не е на ръба, където ще бъдат невъзможни някои от движенията ще имаме:

$$V(agent) = \left\langle \frac{8}{99}, \frac{91}{99} \right\rangle$$

Обаче ако по време на движението той се намира в позиции, които не му позволяват всички движения, например, намира се в ъгъл или в близост има други агенти, тогава тази ситуация ще се промени.

На пример ако имаме ситуация като на следващата фигура:



Фигура. 7.2. Разположение на агентите

Като изпълним формулата ще имаме

$$V(\text{мирен}) = \left\langle \frac{3}{99}, \frac{96}{99} \right\rangle$$

$$V(\text{активен}) = \left\langle \frac{5}{99}, \frac{94}{99} \right\rangle$$

Това са междинни оценки на отделните агенти. Сумарната оценка на агентите ще бъде:

$$V = \left\langle \frac{3}{99}, \frac{91}{99} \right\rangle$$

Като прилагаме IFS за конкретните случаи ще имаме различни ситуации въз основа на моментните състояния, които разглеждаме.

Всяко движение може да се оцени като полезно (*useful*), вредно (*harmful*) или неутрално (*indifferent*).

Сега да дефинираме три числа както следва по-долу, които да отговарят на три ситуации.

В мрежата, в която действат агентите имаме:

- Агенти полицаи a_p с член $f_1^p, f_2^p, f_3^p \dots, f_{a_p}^p$,
- Агенти активни цивилни a_A с член $f_1^A, f_2^A, f_3^A \dots, f_{a_A}^A$,
- Агенти мирни цивилни a_m с член $f_1^p, f_2^p, f_3^p \dots, f_{a_m}^p$,

Нека $\varphi(f^x, t)$ е броят на възможните ходове в момент t , на агента f^x където $x \in \{a, p, m\}$.

Нека $\varphi_u(f^x, t)$, $\varphi_h(f^x, t)$ и $\varphi_i(f^x, t)$ е броят на възможните ходове (в момент t , който ние разглеждаме) в мрежата. Ясно е, че

$$\varphi_u(f^x, t) + \varphi_h(f^x, t) + \varphi_i(f^x, t) = \varphi(f^x, t).$$

така ние дефинираме, сумирането е по възможните ходове:

$$\mu_x(t) = \frac{\sum \varphi_u(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\nu_x(t) = \frac{\sum \varphi_h(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

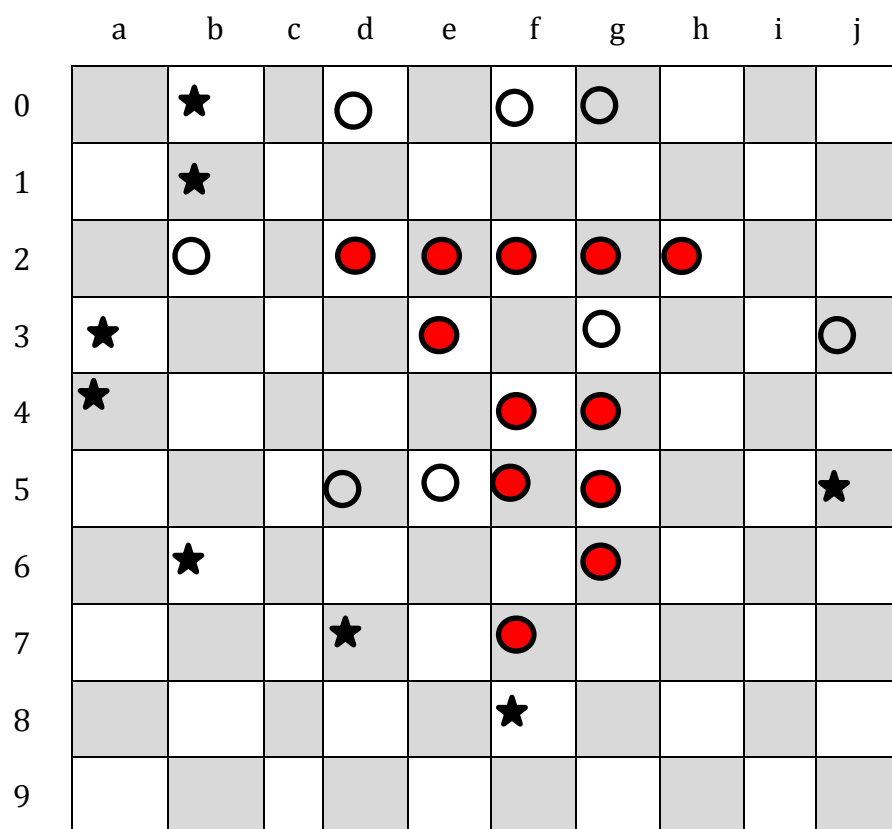
$$\pi_x(t) = \frac{\sum \varphi_i(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

е ясно, че $\mu_x(t) + \nu_x(t) + \pi_x(t) = 1$

следователно подредената двойка $\langle \mu_x(t), \nu_x(t) \rangle$ е една интуиционистки размита оценка в мрежата, в която са поставени агентите в момента t .

Нека да вземем за пример една мрежа 10 x 10, която се състои от 100 *patch-a*, в които са поставени 8 агенти полицаи, 10 активни цивилни и 8 мирни цивилни [Ismaili, 2018a1], [Ismaili, 2018a2].

Това ще бъде представено както следва:



Фигура. 7.3. Взаимодействие на агентите

За 8-те агенти полицаи възможните движения ще бъдат:

- $b0 \rightarrow a0, a1, c0, c1$
- $b1 \rightarrow a0, a1, a2, c0, c1, c2$

- a3 → a2, b3, b4
- a4 → a5, b3, b4, b5
- b6 → a5, a6, a7, b5, b7, c5, c6, c7
- d7 → c6, c7, c8, d6, d8, e6, e7, e8
- f8 → e7, e8, e9, f9, g7, g8, g9
- j5 → i4, i5, i6, j4, j6

Следователно полезните, вредните и неутралните движения в момента на разглеждане ще бъдат:

Таблица 7.1. Възможни придвижвания, 8 агента от тип Р

Agent position	bo	b1	a3	a4	b6	d7	f8	j5
Possible movement	$\varphi = 4$	$\varphi = 6$	$\varphi = 3$	$\varphi = 4$	$\varphi = 8$	$\varphi = 8$	$\varphi = 8$	$\varphi = 5$
Useful movement	$\varphi_u = 1$	$\varphi_u = 2$	$\varphi_u = 1$	$\varphi_u = 2$	$\varphi_u = 1$	$\varphi_u = 3$	$\varphi_u = 1$	$\varphi_u = 3$
Harmful movement	$\varphi_h = 2$	$\varphi_h = 3$	$\varphi_h = 1$	$\varphi_h = 1$	$\varphi_h = 6$	$\varphi_h = 3$	$\varphi_h = 3$	$\varphi_h = 1$
Indifferent movement	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 2$	$\varphi_i = 4$	$\varphi_i = 1$

Като използваме формулите (1), (2), (3) ще имаме, сумирането е по възможните ходове:

$$\mu_x(t) = \frac{\sum \varphi_u(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{ub0} + \varphi_{ub1} + \varphi_{ua3} + \varphi_{ua4} + \varphi_{ub6} + \varphi_{ud7} + \varphi_{uf8} + \varphi_{uj5}}{\varphi_{b0} + \varphi_{b1} + \varphi_{a3} + \varphi_{a4} + \varphi_{b6} + \varphi_{d7} + \varphi_{f8} + \varphi_{j5}} = \frac{14}{46} = 0.304$$

$$\nu_x(t) = \frac{\sum \varphi_h(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{hbo} + \varphi_{hb1} + \varphi_{ha3} + \varphi_{ha4} + \varphi_{hb6} + \varphi_{hd7} + \varphi_{hf8} + \varphi_{hj5}}{\varphi_{b0} + \varphi_{b1} + \varphi_{a3} + \varphi_{a4} + \varphi_{b6} + \varphi_{d7} + \varphi_{f8} + \varphi_{j5}} = \frac{20}{46} = 0.435$$

$$\pi_x(t) = \frac{\sum \varphi_i(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{ib0} + \varphi_{ib1} + \varphi_{ia3} + \varphi_{ia4} + \varphi_{ib6} + \varphi_{id7} + \varphi_{if8} + \varphi_{ij5}}{\varphi_{b0} + \varphi_{b1} + \varphi_{a3} + \varphi_{a4} + \varphi_{b6} + \varphi_{d7} + \varphi_{f8} + \varphi_{j5}} = \frac{12}{46} = 0.261$$

$$\text{Където } \mu_x(t) + \nu_x(t) + \pi_x(t) = 0.304 + 0.435 + 0.261 = 1$$

За 12-те активни агенти възможните движения са както следва:

- d2 → c1, c2, c3, d1, d3, e1
- e2 → d1, d3, e1, f1, f3
- e3 → d3, d4, e4 f3
- f2 → e1, f1, f3, g1
- f4 → e4, f3
- f5 → e4, e6, f6
- f7 → e6, e7, e8, f6, g7, g8
- g2 → f1, f3, g1, h1, h3
- g4 → f3, h3, h4, h5
- g5 → f6, h4, h5, h6
- g6 → f6, g7, h5, h6, h7
- h2 → g1, h1, h3, i1, i2, i3

Таблица 7.2. Възможни придвижвания, 12 агента от тип А

Agent position	d2	e2	e3	f2	f4	f5	f7	g2	g4	g5	g6	h2
Possible movement	$\varphi=6$	$\varphi=5$	$\varphi=4$	$\varphi=4$	$\varphi=2$	$\varphi=3$	$\varphi=6$	$\varphi=5$	$\varphi=4$	$\varphi=4$	$\varphi=5$	$\varphi=6$
Useful movement	$\varphi_u=2$	$\varphi_u=3$	$\varphi_u=2$	$\varphi_u=3$	$\varphi_u=1$	$\varphi_u=0$	$\varphi_u=1$	$\varphi_u=2$	$\varphi_u=2$	$\varphi_u=0$	$\varphi_u=1$	$\varphi_u=5$

<i>Harmful movement</i>	$\varphi_h=2$	$\varphi_h=1$	$\varphi_h=2$	$\varphi_h=1$	$\varphi_h=1$	$\varphi_h=3$	$\varphi_h=5$	$\varphi_h=1$	$\varphi_h=2$	$\varphi_h=3$	$\varphi_h=1$	$\varphi_h=0$
<i>Indifferent movement</i>	$\varphi_i=2$	$\varphi_i=1$	$\varphi_i=0$	$\varphi_i=0$	$\varphi_i=0$	$\varphi_i=0$	$\varphi_i=0$	$\varphi_i=2$	$\varphi_i=0$	$\varphi_i=1$	$\varphi_i=3$	$\varphi_i=1$

Като използваме формулите (1), (2), (3) ще имаме, сумирането е по възможните ходове:

:

$$\mu_x(t) = \frac{\sum \varphi_u(f^x, t)}{\sum_{i=1}^{a_x} \varphi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{ud2} + \varphi_{ue2} + \varphi_{ue3} + \varphi_{uf2} + \varphi_{uf4} + \varphi_{uf5} + \varphi_{uf7} + \varphi_{ug2} + \varphi_{ug4} + \varphi_{ug5} + \varphi_{ug6} + \varphi_{uh2}}{\varphi_{d2} + \varphi_{e2} + \varphi_{e3} + \varphi_{f2} + \varphi_{f4} + \varphi_{f5} + \varphi_{f7} + \varphi_{g2} + \varphi_{g4} + \varphi_{g5} + \varphi_{g6} + \varphi_{h2}}$$

$$= \frac{22}{54} = 0.407$$

$$\nu_x(t) = \frac{\sum \varphi_h(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{hd2} + \varphi_{he2} + \varphi_{he3} + \varphi_{hf2} + \varphi_{hf4} + \varphi_{hf5} + \varphi_{uh7} + \varphi_{hg2} + \varphi_{hg4} + \varphi_{hg5} + \varphi_{hg6} + \varphi_{hh2}}{\varphi_{d2} + \varphi_{e2} + \varphi_{e3} + \varphi_{f2} + \varphi_{f4} + \varphi_{f5} + \varphi_{f7} + \varphi_{g2} + \varphi_{g4} + \varphi_{g5} + \varphi_{g6} + \varphi_{h2}}$$

$$= \frac{20}{54} = 0.370$$

$$\pi_x(t) = \frac{\sum \varphi_i(f^x, t)}{\sum \varphi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{id2} + \varphi_{ie2} + \varphi_{ie3} + \varphi_{if2} + \varphi_{if4} + \varphi_{if5} + \varphi_{if7} + \varphi_{ig2} + \varphi_{ig4} + \varphi_{ig5} + \varphi_{ig6} + \varphi_{ih2}}{\varphi_{d2} + \varphi_{e2} + \varphi_{e3} + \varphi_{f2} + \varphi_{f4} + \varphi_{f5} + \varphi_{f7} + \varphi_{g2} + \varphi_{g4} + \varphi_{g5} + \varphi_{g6} + \varphi_{h2}}$$

$$= \frac{12}{54} = 0.222$$

За 8-те мирни граждани възможните движения ще бъдат:

- b2→a1, a2, b3, c1, c2, c3
- d0→c0, c1, d1, e0, e1
- d5→ c4, c5, c6, d4, d6, e6
- e5 → d4, d6, e4, e6, f6
- f0 → e0, e1, f1, g1

- $g0 \rightarrow f1, g1, h0, h1$
- $g3 \rightarrow f3, h3, h4$
- $j3 \rightarrow i2, i3, i4, j2, j4$

Следователно полезните, вредните и неутралните движения в момента на разглеждането t за мирните агенти ще зависят от стойността на недоволството, както и от чистата стойност на риска от затваряне сравнено със стойността ***Athreshold***.

Ако останат мирни ще направят случайно движение, докато ако станат активни, то ще прилагат логиката на взаимодействието, също както при активните агенти. За първия случай няма да има вредни движения. За втория случай когато стават активни ще има полезни движения, вредни и неутрални в момента на разглеждане t ще имаме:

Таблица 7.3. Възможни придвижвания, 8 агента от тип М

Agent position	b2	d0	d5	e5	f0	g0	g3	j3
Possible movement	$\varphi = 6$	$\varphi = 5$	$\varphi = 6$	$\varphi = 5$	$\varphi = 4$	$\varphi = 4$	$\varphi = 3$	$\varphi = 5$
Useful movement	$\varphi_u = 1$	$\varphi_u = 1$	$\varphi_u = 2$	$\varphi_u = 0$	$\varphi_u = 3$	$\varphi_u = 3$	$\varphi_u = 0$	$\varphi_u = 2$
Harmful movement	$\varphi_h = 5$	$\varphi_h = 3$	$\varphi_h = 3$	$\varphi_h = 2$	$\varphi_h = 0$	$\varphi_h = 0$	$\varphi_h = 1$	$\varphi_h = 2$
Indifferent movement	$\varphi_i = 0$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 3$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 1$	$\varphi_i = 2$	$\varphi_i = 1$

Като използваме формулите (1), (2), (3) ще имаме, сумирането е по възможните ходове:

:

$$\mu_x(t) = \frac{\sum \varphi_u(f^x, t)}{\sum \phi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{ub2} + \varphi_{ud0} + \varphi_{ud5} + \varphi_{ue5} + \varphi_{uf0} + \varphi_{ug0} + \varphi_{ug3} + \varphi_{uj3}}{\varphi_{b2} + \varphi_{d0} + \varphi_{d5} + \varphi_{e5} + \varphi_{f0} + \varphi_{g0} + \varphi_{g3} + \varphi_{j3}} = \frac{12}{38} = 0.316$$

$$\nu_x(t) = \frac{\sum \varphi_h(f^x, t)}{\sum \phi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{hb2} + \varphi_{hd0} + \varphi_{hd5} + \varphi_{he5} + \varphi_{hf0} + \varphi_{g0} + \varphi_{hg3} + \varphi_{hj3}}{\varphi_{b2} + \varphi_{d0} + \varphi_{d5} + \varphi_{e5} + \varphi_{f0} + \varphi_{g0} + \varphi_{g3} + \varphi_{j3}} = \frac{20}{38} = 0.421$$

$$\pi_x(t) = \frac{\sum \varphi_i(f^x, t)}{\sum \phi(f^x, t)} = \frac{\varphi_{ib2} + \varphi_{id0} + \varphi_{id5} + \varphi_{ie5} + \varphi_{if0} + \varphi_{ig0} + \varphi_{ig3} + \varphi_{ij3}}{\varphi_{b2} + \varphi_{d0} + \varphi_{d5} + \varphi_{e5} + \varphi_{f0} + \varphi_{g0} + \varphi_{g3} + \varphi_{j3}} = \frac{10}{38} = 0.263$$

7.4. IF в контекста на модела, базиран на агенти

За да представим различните отношения между индивидите, които са част от тълпата, ще представим IF отношенията, които ще дефинираме по-долу.

IF отношения R: $U \times U$ $[[0,1]]$ имат много приложения, с които да представят нивото на отношенията между обектите в едно пространство. Тези отношения могат да се характеризират без ограничение, като приятелска връзка, реакция към различни ситуации в тълпата. Класическите взаимоотношения също не могат да изразят някои видове информация. "ние сме повече или по-малко със същото отношение към централната власт" или "властта няма легитимност" или "приятелят на моя приятел не е мой приятел" и т.н.

Взаимоотношенията IF се използват главно в приложенията на изкуствения интелект, за да представят сходство (което не определя ясни групи) или да моделират правилата на последствията от несигурните изводи, с неточности или с липса на познания.

Ние ще дефинираме IFS и IF взаимоотношенията в пространството с агент $U = \{\text{Individ}\}_{i=1..N}$ за да представим различни характеристики, лингвистични променливи и отношения между агентите.

7.4.1. IF Отношения за IF агентите

Анализът на развитието на атрибутите в човешкото общество не е маловажен случай за моделиране на базата на агенти. Въпреки това абстракциите за моделирането на агентите в някои аспекти са силно опростени и не позволяват на учените от социалните науки да интерпретират резултатите при същите условия, при които данните от изследването се изразяват в реалния живот. По този начин някои опростявания водят до известни разлики в резултатите по отношение на данните от проучването. Тези факти са мотивирали използването на IF логика за получаване на модели на агенти, които са по-близо до реалните системи. По този начин, базираните на агент модели използват IF логика в няколко аспекта, като: взаимоотношения между агентите, както и някои променливи атрибути, които определят чертите на агента.

В контекста на темата за мултиагентните системи, взаимодействията между "активните" и "мирни" агенти; както и "полицаи" „мирни“, по време на които взаимодействието с активните агенти може да убеди или разубеди мирните агенти да се присъединят към тълпата, както и взаимодействието между полицаите и мирни цивилни, които се опитват да не им позволят да се присъединят към тълпата и да я предпазят от насилници. Тези взаимоотношения естествено имат предразположеност да се размият, тъй като, ако връзките се дефинират като булеви, където двама агенти могат да се убедят или не (да го направят сами), то това е нереалистично в реалния живот.

Така че ще се опита да използваме модел, който може да представи от близо тези взаимоотношения, използвайки постоянен обхват на процеса на "убеждаване". Поради тази причина, това взаимодействие се определя като IF взаимодействие с реална скала на взаимодействие между 0 и 1 за всяка двойка взаимодействащи си агенти.

Нека имаме $R_{агент}: U \times U \rightarrow [0,1]$ което да бъде IF взаимоотношение с групата от агенти, които ни дават ниво на взаимодействие (за убеждаване) сред агентите от различните групи. Това IF убеждаване представя ниво на взаимодействие в интервал $[0, 1]$ за всяка двойка агенти (които общуват). Нека имаме Ind един агент в U . Класическото множество $Агент(Ind)$ е дефинирано от множество от всички агенти x в U където $R_{агент}(Ind, x)$ е по-голям от 0.

Всеки агент от случая „случайно среща“ други агенти от другите групи, които са в рамките на визията му. При този начин на ограничение могат да се сложат няколко ограничения с цел да се приспособят към нуждите на контекста.

Отношението “еднакви цели (непримиримост към властта, оплаквания...)” също така е размито и както следва се намира, че това отношение е „1“ ако има по-голямо недоволство и „0“ с агентите, които са близки до властта. Така характеристиката дали ще бъде активен или ще остане мирен е моделирана с IF отношение $R_{взаимодействия}: U \times U \rightarrow [0,1]$.

7.5. Симулация на събитията чрез IF методи

Тъй като социалната система е сложна адаптивна система, тогава ще се опитаме да симулираме събитие, което се развива в момента, в който го разглеждаме. След като бъде взето решение (напр. активно), то такова решение може да се определи като една класическа връзка: след решението мирният агент ще премине в "активно" или в "мирно" състояние.

Предлагаме да изучим това класическо отношение $R_{съсед}: U \times U \rightarrow \{0,1\}$ да използваме приблизителната обосновка и IF взаимоотношения.

Със сигурност ако знаем отношението $R_{съсед}$, ние също така знаем и едно класическо множество в U , което се определя като:

$$‘активен(инд) = \begin{cases} 1, & \exists ind2 | R_{съсед}(ind, ind2) = 1. \\ 0, & \text{в противен случай} \end{cases}$$

$$\text{мирен}_{(\text{инд})} = \text{NOT}'\text{aktiv}'(\text{ind}) \text{ AND NOT }'\text{police}'$$

Характеристиките, които ще представим тук като променливи, които определят, че ако един агент вземе решение за неговия статус в тълпата (ако има неудовлетвореност от централната власт, ако централната власт няма легитимност, продължителността на протеста е и ако вероятността да бъде арестуван, то рискът е нисък), всичко това се изразява чрез параметрите G-оплакване, L-легитимност, срок на лишаване от свобода, R_A -риск, както е определено в глава 5 в съответния модел ,

Една избрана ще бъде "по-съвместима", където съвместимостта се дефинира като сливане, което е резултат от стойностите на променливите (параметрите), споменати по-горе, и от това колко са сходни (сравняване на стойностите на променливите които определят дали са мирни, активни или полицаи). Дори това е опростяване на реалните събития и в по-нататъшната работа ще използваме известно "съвпадение" в този процес.

Тази важна информация за това как се случва взаимодействието между двама агенти може да се приеме като извод от IF взаимоотношение, който ще дефинираме като $R_{\text{съвместим}}: U \times U \rightarrow [0,1]$, която може да се вземе като се използва един IF оператор aggregation, $[X \text{ и } Z.S]$, и операциите в класическото множество:

$$\text{" става активен": } U \rightarrow \{0,1\}, \quad \text{"мирен": } U \rightarrow [0,1], \quad \text{"е полицаи": } U \rightarrow [0,1]$$

и едно IF правило за вземане на решение, където Предпоставката (предварителното условие) е конюнкция от класическото множество.

Конкретно за вземане на решение ще използваме IF Ordered Weighted Averaging (IFOWA) $[X \text{ и } Z.S]$ който представлява един агрегат от мултикритерийни процедури.

Като определим годността на изредените тежести w (ordered weights) (сумата от които винаги ще бъде 1) е възможно да се промени формата на агрегирането.

Ние можем формално да определим IF отношението $R_{\text{съвместим}}: U \times U \rightarrow [0, 1]$ като използва IF отношения $R_{\text{подобие}}: U \times U \rightarrow [0, 1]$ и $R_{\text{агент}}: U \times U \rightarrow [0, 1]$ като отношение както следва:

$$R_{\text{съвместим}}(Ind, Ind2) := IFOWA(R_{\text{агент}}(Ind, Ind2), R_{\text{подобие}}(Ind, Ind2)) = w_1 * R_{\text{агент}}(Ind, Ind2) \oplus w_2 * R_{\text{подобие}}(Ind, Ind2)$$

за всички $Ind, Ind2$ в U , където $w_1 + w_2 = 1$.

След изчислението на IF отношението $R_{\text{съвместим}}$, IF отношение $R_{\text{взаимодействие}}: U \times U \rightarrow [0, 1]$ може да се изчисли като се използва множеството “мирен” U , както следва:

$$R'_{\text{взаимодействие}}(Ind, Ind2) := \text{активен}(Ind) \text{ AND 'мирен'}(Ind2) \text{ AND } R_{\text{съвместим}}(Ind, Ind2).$$

За агентите полицаи ще имаме:

$$R'_{\text{взаимодействие}}(Ind, Ind2) := \text{полицай}(Ind) \text{ AND 'мирен'}(Ind2) \text{ AND } R_{\text{съвместим}}(Ind, Ind2).$$

Подчертаваме, че конюнкцията AND се прилага от една IF t-норма. Това може да стане много пъти поради асоциативните характеристики на IF t-нормите т.е. $T(x,y,z)=T(T(x,y),z)$.

7.6. Определяне на сходството между агентите

За да изчислим IF отношение $R_{\text{съвместим}}$, което се използва за да се види статусът на агентите сме използвали IF отношение $R_{\text{similarity}}: U \times U \rightarrow [0, 1]$.

В MAS сходството се моделира и изпълнява чрез алгоритъм, който събира много данни, които сравняват ясно дефинираните свойства на агентите. Като дефинираме интуиционистското размито множество (IFS) върху тези променливи (атрибути) и IF оператор на сходството, основаващо се на тях, ще можем да имаме много по-голяма точност при определяне на приликата между отделните индивиди.

Освен това, с това IF множество ще можем да стигнем и до заключения въз основа на тях.

Първо да определим IFS въз основа на променливите, които дефинират всеки агент. Въпреки че някои от променливите не могат да бъдат итуициониски размити, повечето от тях ще ни определят един IFS.

Сега, като формираме IFS с атрибутите, които характеризират съответния агент, можем да дефинираме и IF аналогията, която обобщава класическите равностойни еквиваленти. И така като я използваме ние ще дефинираме като Т-неразличимост (indistinguishability), която генерализира връзката на класическата еквивалентност. Това може да се получи от отрицанието на разстоянието, казано по-просто, без да навлизаме в подробности при определяне на разстоянието, разстоянието между атрибутите на един агент прави сравнение на това колко "далечни са" т.е. колко различни са те, така че отрицанието на това на нас ни подсказва колко подобни са те.

Ако отбележим с α_i атрибутите IF на агента и с A отбележим множеството на тези атрибути, то $T_{similarity}$ за съответния атрибут α_i ще изчислим като:

$$R_{similarity}(ind_1, ind_2) = IFOWA(\forall \alpha_i \in \{ind, N(d(\alpha_i(ind), \alpha_i(ind_2)))\})$$

IFOWA е процедура за многокритерийни комбинации. Като уточним, че е необходимо необходимите тежести w (сумата на които е винаги 1) да е възможно да променят формата на агрегацията.

Първо нека да дадем определение за IFOWA, което е представено в [D.-F. Li, 2014].

Нека имаме $A_j = \langle j = 1, 2, \dots, n \rangle$ един IFS. Представянето (mapping) $f_w^A: F^n \rightarrow F$ се нарича интуиционистки размит оператор (IFOWA) ако удовлетворява:

$$f_w^A(A_1, A_2, \dots, A_n) = \sum_{j=1}^n w_j A_j$$

Където $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ е вектор на тежестите на $A_j = \langle \mu_j, \vartheta_j \rangle$, ($j = 1, 2, \dots, n$), който удовлетворява условието за нормализиране $w \in [0, 1]$ ($j = 1, 2, \dots, n$) и $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

Следователно за да изчислим оператор f_w^A целият IFS A_j ($j=1,2,\dots,n$) първо се измерва с w_j и след това производното $w_j A_j$ се събират .

За да изчислим IFOWA нека да използваме формулата, която е дефинирана в проверената теорема в [D.-F. Li, 2014] според която:

Ако A_j е един IFS и $A_j = \langle \mu_j, \vartheta_j \rangle$ ($j = 1, 2, \dots, n$) са стойностите на членството и липсата му в съответните IFS, тогава IFOWA f_w^A ще изчислим по формулата $f_w^A(A_1, A_2, \dots, A_n) = \langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n \vartheta_j^{w_j} \rangle$

В началото подчертахме, че в нашия модел има комуникация между агентите и това: между мирни и активни агенти, полицаи и мирни, двама активни агента, които също могат да създадат приятелство, ако са сходни (приблизителни) и съответно техните атрибути са сходни.

Ако вземем пример, в който да разгледаме комуникацията между активния агент и трима мирни агенти, които са съседни като считаме, че комуникацията със съседните агенти, които са в взаимодействие според правилата уточнени по-рано, нека да дадем съответните параметри:

Нека да предположим, че имаме активен агент А, при който легитимността има стойност $A = \langle 0.1, 0.7 \rangle$ и мирните агенти, които за легитимността на централната власт имат различни стойности и това е свързано с това как един индивид възприема, и ако например сме част от централната власт или индивидите имат други интереси, тогава тази легитимност ще се промени въпреки, че в модела сме симулирали стойност на легитимността като една и съща за всички агенти. Да предположим, че за 3 от мирните граждани бихме имали следните стойности $M1 = \langle 0.2, 0.5 \rangle$, $M2 = \langle 0.4, 0.5 \rangle$ и $M3 = \langle 0.1, 0.5 \rangle$.

Също така да уточним векторната тежест $w = (0.5, 0.2, 0.1, 0.2)$ и за четиримата агенти.

За да изчислим легитимността L за един активен агент и 3ма мирни агенти така както те я възприемат ние можем да изчислим L_w^A като изходим от формула 2.

$$\begin{aligned}
 L_w^A(A_1, M_1, M_2, M_3) &= \langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j)^{w_j}, \quad \prod_{j=1}^n \vartheta_j^{w_j} \rangle = \\
 &< 1 - (1 - 0.1)^{0.5} (1 - 0.2)^{0.2} (1 - 0.4)^{0.1} (1 - 0.1)^{0.2}, \\
 0.7^{0.5} * 0.5^{0.2} * 0.5^{0.1} * 0.5^{0.2} &> = 1 - 0.9^{0.5} * 0.8^{0.2} * 0.6^{0.1} * 0.9^{0.2}, \\
 0.7^{0.5} * 0.5^{0.2} * 0.5^{0.1} * 0.5^{0.2} &> = < 1 - 0.84467, 0.591 > = \\
 < 0.155, 0.591 > \approx < 0.155, 0.591 >
 \end{aligned}$$

От тук виждаме, че нивото за това доколко са доволни четирите агента е 0.16, докато скалата, която изразява това доколко се съмняват в легитимността на централната власт е 0.591. Скалата за неопределеност е 0.254, т.е. това е скалата, за която нямаме конкретна оценка.

Причината, поради която тук е дадена по-висока стойност е заради активния агент, тъй като считаме, че той е по-влиятелен, тъй като ако няма съмнения относно легитимността на властта, то мирните агенти биха избягвали активните и биха се обърнали към полицейските служители. Чрез тези тежести е възможно да се контролира значението на теглото и съответните стойности.

Сега нека да се съсредоточим върху прякото взаимодействие между агентите. Както споменахме по-рано, в тази адаптивна система има някои атрибути, които се отразяват един върху друг. Атрибути като пол или възраст не са повлияни от други атрибути, но пък такива като идеология, икономическа ситуация, статус в обществото, са повлияни от политическите тенденции, статуса в обществото и т.н.

Друга важна страна на агентите е тяхното състояние. Статутът на един агент се определя от неговата позиция в обществото и определя поведението му. Следователно "мирен" агент, който е участник във властта, не би могъл да има влияние, докато агент, който няма благоприятна позиция, ще има по-голяма вероятност да се присъедини към тълпата. Тук няма строго ограничение, следователно това е един типичен случай за приложение на IF логика.

8. Заключение

В този труд социалните системи се третират като сложни адаптивни системи, които имат качеството да променят тяхното състояние или това на средата. Субектите като компоненти на сложните системи представляват лицата, които се намират в тези социални системи. Целта е моделирането на тези системи чрез софтуерни агенти и по този начин да се разработят модели на социалните системи, които конкретно са конфликтни ситуации, в които можем да променим характеристиките, които са характерни за тях, и да постигнем резултати, които биха били невъзможно или би било скъпо, ако в действителност експериментираме с тези системи. Социалното моделиране и симулация могат да помогнат за по-доброто разбиране на наблюдаваните тенденции или за откриване на нови тенденции в една социална система.

Една нова форма на АВМ ще има ако моделираме тези системи чрез модела на агентите, които използват интуиционистки размита логика или накратко IF агенти, тъй като самото естество на лицата, ако се представят с фиксирана стойност е нереално.

За да се разгледат действията на групите от агенти, които представляват конфликтни ситуации, съответно активни агенти, мирни граждани и полицаи, тогава ще използваме теорията на игрите или IPD, където изборите, които правят агентите се представят като стратегии, които могат да имат две възможни стойности, липса на взаимодействие D или взаимодействие C. Това решение ще бъде направено въз основа на печалбите, които могат да бъдат извлечени от таблото на печалбите, която се определя, ако те изберат конкретни стратегии. Тъй като играта е повтаряща се, то и последващите стратегии, които са избрани ще се развиват в зависимост от стратегиите, които е избрал противника, т.е. ще се занимаваме с коеволюционен избор, по време на който те ще съществуват като избират стратегия, която да увеличава печалбата им.

Състоянието и стъпките от движението на агентите са описани чрез обобщени мрежи GN, които ни дават по-ясна представа за това как да се движат самите агенти и как ще се развиват в съответната среда в зависимост от IM (index matrix), които се описват от тези преходи.

Моделът, представен чрез 2D мрежа чрез програмата NetLogo ни дава визуална представа за това как могат да еволюират състоянията на гражданите в зависимост от атрибутите, които определят статута на гражданите. Този модел взема предвид и комуникацията между активните и мирни агенти, така че да могат да ги убедят да се присъединят към разбунтуваната тълпа. Резултатите от пространствената и времевата симулация разкриват интересните феномени на глобалното проявление, както и интересни модели на движението на групата и автономното развитие на поведението. Чрез анализа на този модел можем да получим смисъла като променим стойностите на различни атрибути например променяйки броя на активистите в зависимост от легитимността, съотношението между полицията и цивилното население и колко е срокът на лишаване от свобода. С разширяването на сложността също така се използва и за изследване на въздействието на различните атрибути върху вземането на решения в резултат на протестите.

Списък на публикациите свързани с дисертацията

1. Ismaili S., Fidanova S., Representation of Civilians and Police Officers by Generalized Nets for describing Software Agents in the Case of Protest, Advanced Computing in Industrial Mathematics, Studies of Computational Intelligence 728, K. Georgiev, I. Georgiev eds., Springer, ISBN 978-3-319-65529-1, 2018, pp. 71-78. SJR 0.187.
2. Ismaili S. Fidanova S., Application of IFS for Conflict Resolution Modelling and Agent Based Simulation, Int. J. Bioautomation, SJR 0.250, (accepted)
3. Ismaili S., Fidanova S., Application of game theory and evolutionary algorithms in solving conflicts in social systems Int. J. Bioautomation, SJR 0.250, (accepted)
4. Ismaili S., Fidanova S., Modeling Software Agents Applying Intuitionistic Fuzzy Logic, Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences, IF 0.251, (accepted)

Апробация на резултатите

Част от резултатите в дисертацията са докладвани на семинара на секция „Паралелни алгоритми“ към ИИКТ – БАН, както и на годишната конференция на българската секция на SIAM.

Резултатите от дисертацията са публикувани в 4 статии, 3 от които имат SJR ранг, а една импакт фактор.

Приноси

Приносите в тази дисертация са научноприложни. Изследванията, описани в тази статия, са мултидисциплинарни и съчетават понятия и методи от различни сфери, каквито са: Мултиагентни системи, теория на игрите, еволюционни алгоритми, социология, психология, обобщените мрежи и интуиционистки размити множества.

1. Предложен е модел с използването на обобщени мрежи за случаят на конфликтни ситуации;
2. Разработен е модел на конфликтни ситуации с използването на интуиционистки размити множества;
3. Разработен е модел за решаване на конфликтни ситуации с използването на теория на игрите и генетични алгоритми.

Декларация за оригиналност на резултатите

Декларирам, че

Настоящата дисертация съдържа оригинални резултати, получени при проведени от мен научни изследвания (с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител).

Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са надлежно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящата дисертация не е прилагана за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

София
2018

Подпис:
Ш. Исмаили

Цитирана литература

- [Allan R.J., 2009] Allan R.J., Survey of agent based modelling and simulation tools, 2009.
- [Amblard, F., et al, 2010] Amblard, F., Geller, A., Neumann, M., A. Srbljinovic, A., Wijermans, N.: NATO Science for Peace and Security Studies, in Complex Societal Dynamics Security Challenges and Opportunities. Amsterdam: IOS Press, 2010 pp. 126—141.
- [Atanassov K. 1983] Atanassov K., Intuitionistic fuzzy sets, VII ITKR Session, June 1983, (in Bulgarian). Reprinted: Int. J. Bioautomation Vol. 20(S1), 2016, pp. S1-S6.
- [Atanassov K, 1986] Atanassov K., Intuitionistic fuzzy sets, Fuzzy Sets and Systems 20, 1986, pp. 87-96.
- [Atanassov, 1991] Atanassov K., Generalized Nets, World Scientific. Singapore, London, 1991.
- [Atanassov K., 2007] Atanassov K., On Generalized Nets Theory, Prof. M. Drinov Academic Publ. House, 2007.
- [Atanassov, 2012] Atanassov K., On Intuitionistic fuzzy sets, Springer, 2012.
- [Atanassov, 2016] Atanassov K, Generalized nets as a tool for the modelling of data mining processes, Innovative issues in Intelligent Systems, Springer, 2016, pp. 126-215.
- [Atanassov, 2017] Atanassov K., On Intuitionistic fuzzy logic, Springer, 2017.
- [Axelrod, 1981] Axelrod, R. & Hamilton, W.D., The evolution of cooperation. *Science* 211, 1981, pp. 1390–1396.

- [Axelrod, 1987] Axelrod, R., The evolution of strategies in the iterated prisoner's dilemma, in Lawrence Davis (ed.) Genetic Algorithm and Simulated Annealing, London: Pitman, 1987, pp. 32-41.
- [Axelrod, 1997] Axelrod, R., The Complexity of Cooperation. New Jersey: Princeton University Press, 1997.
- [Axelrod, 2006] Axelrod, R., Agent-Based Modeling as a Bridge Between Disciplines, in Leigh Tesfatsion and Kenneth Judd (eds.), Handbook of Computational Economics, vol. 2: Agent-Based Computational Economics, New York: North-Holland, 2006, pp. 1565-84.
- [Bickmore, 2008] Bickmore T., Pfeifer L., Relational Agents for Antipsychotic Medication Adherence., J. Interacting with Computers, Vol. 22(4), 2010, pp. 276-288.
- [Cliff, 1995] Cliff, D., and Miller, G. F., Tracking the Red Queen: Measurements of adaptive progress in co-evolutionary simulations, in Proceedings of the Third European Conference on Artificial Life, 1995, pp. 200-218.
- [Collier, 2004] Berdal, M. and Malone, D. M. (eds.), Greed and Grievance: Economic Agendas in Civil Wars, Lynne Rienner Publishers, 2000.
- [Core, 2006] Core M., Traum D., Lane H. C., Swartout W., Gratch J., van Lent M., Marsella S.: Teaching Negotiation Skills through Practice and Reflection with Virtual Humans. SIMULATION. Vol. 82(11), 2006, pp. 685-701.
- [Darwen, 1995] Darwen P., Yao X., On evolving robust strategies for the iterated prisoner's dilemma, in Progress in Evolutionary Computation, ser. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 956, 1995, pp. 276-287.
- [Davies, 2013] Davies, T. P., Fry, H. M., Wilson, A. G., Bishop, S. R., A mathematical model of the London riots and their policing, Scientia Reports, Vol. 3(1303), 2013.
- [Dimitrov, 2015] Dimitrov K., Roeva O., Development of Generalized Nets for testing of different mathematical models of E.Coli cultivation process, Advances in Intelligent Systems and Computing, 322, 2015, pp. 657-668.
- [Dimitrov, 2017] Dimitrov K., Roeva O., Development of Generalized Nets for comparison of different models obtained using metaheuristic algorithms, Issues in IFS and GNs, Vol. 13, 2017, pp. 109-118.
- [Dodder, 2000] Dodder R., Dare R., Complex adaptive systems and complexity theory: Inter-related knowledge domains, Research seminar in engineering systems, MIT, Boston, 2000, 14p.
- [Dooley, 1996] Dooley K., A nominal definition of complex adaptive systems, The chaos network, Vol. 8(1), 1996, pp. 2-3.

- [Epstein, 2006] Epstein, J. M., Agent-based computation models and generative social science. In J. M. Epstein, *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computation Modeling*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press., 2006, pp. 4-45.
- [Epstein, 1996] J. M. Epstein i R. L. Axtell, *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, MIT Press, 1996.
- [Epstein, 2006a] Epstein, J. M. *Generative social science*. Princeton, NJ: Princeton University Press. *Papers*, Vol. 56(4), 2004, pp. 563-595.
- [Epstein, 2002] Epstein, J. M.: Modeling civil violence: An agent-based computational approach, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, 2002, pp. 7243—7250.
- [Faris, 2010] Faris, D.: *Revolutions without Revolutionaries? Social Media Networks and Regime Response in Egypt*, Ph.D. Thesis, University of Pennsylvania, 2010.
- [Fidanova, 2011] Fidanova S., Atanassov K., Marinov P., *Generalized Nets and Ant Colony Optimization*, Bulg. Academy of Sciences Pub. Hous, ISBN 978-954-322-473-9, 2011.
- [Furnham et al., 1999] Furnham A., Forde L., Kirsti F.: Personality and work motivation. In *Personality and Individual Differences* 26, 1999, pp. 1035-1043.
- [Flake W.G., 1998] Flake W.G., *The computational beauty of nature: Computer explorations of fractals, chaos, complex systems, and adaptation*, MIT Press, 1998.
- [Fogel D.B., et al., 1995] Fogel D.B., and G. B. Fogel, “Evolutionary stable strategies are not always stable under evolutionary dynamics,” in *Evolutionary Programming IV*, J. McDonnell, R. Reynolds, and D. B. Fogel, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, 1995, pp. 565-577.
- [Fogel D.B., et al., 1997] Fogel D.B., G. B. Fogel, and P. C. Andrews, “On the instability of evolutionary stable strategies, *Biosystems*, Vol. 44(2), 1997, pp. 135-152.
- [Fogel D.B., 1993] Fogel D.B., 1993 “Evolving behaviors in the iterated prioner’s dilemma,” *IEEE Transactions on Evotionary Computation*, Vol. 1, no. 1, 1993, pp. 77-97
- [Fonoberova и др., (2012)]. Fonoberova, M., Fonoberov, V. A., Mezic, I., Mezic, J., Brantingham, P. J.: *Nonlinear Dynamics of Crime and Violence in Urban Settings*, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 15(1), 2012.
- [Frayn, C. M.et al , 2006] Frayn, C. M., Pryke, A. N. and Chong, S. Y., “Exploring the effect of proximity and kinship on mutual cooperation in the iterated prisoner's dilemma,” in *Proceedings of theNinth Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, 2006, pp. 701-710.

[Fu L., 2017] Fu L., Song W., Lo S., A fuzzy-theory-based method for studying the effect of information transmission on nonlinear crowd dispersion dynamics, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol. 42, 2017, pp. 682-698.

[Furnham, 1999] Furnham A., Forde L., Kirsti F.: Personality and work motivation. In Personality and Individual Differences 26, 1999, pp. 1035-1043.

[Georgieva, 2015] Georgieva V., Roeva O., Pencheva T., Generalized Net model of physico-chemical wastewater treatment, J. of International Scientific Publications: Ecology & Safety, Vol. 9, 2015, pp. 468-475.

[Georgieva, 2016] Georgieva V., Angelova N., Roeva O., Pencheva T., Simulation of parallel processes in wastewater treatment plan using generalized net integrated development environment, Proceedings of Bulgarian Academy of Sciences, Vol 69(11), 2016, 1493-1502.

[Gilbert, 2005] Gilbert N., & Troitzsch, K., Simulation for the social scientist. Open University Press. 2005.

[Grimm, 2010] Grimm, V., U. Bergern, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., Railsback, S. F.: The ODD protocol: A review and first update, Ecological Modelling, Vol. 221, 2010, pp. 2760–2768.

[Gulden, 2002] Gulden, T. R., "Spatial and temporal patterns in civil violence Guatemala 1977-1986," The Brookings Institution, Washington, DC, Center on Social and Economic Dynamics, Working Paper no.26, 2002.

[Heylighen, 2008] Heylighen F., Complexity and self-organization, Taylor & Francis, 2008.

[Holzer, 2011] Holzer R., De Meer H., Modeling and application of self-organizing systems - tutorial paper, In SASO'11, 2011, pp. 235-243.

[Hofbauer, 1998] Hofbauer, J. and Sigmund, K., Evolutionary games and population dynamics. Cambridge University Press, 1998.

[Holland, 1996] Holland J.H, Hidden order: How adaptation builds complexity, Harper Collins Canada, Perseus Books, 1996.

[Hugues, 1998] Hugues, J., and Pollack, J. B., Coevolving the 'Ideal' trainer: Application to the discovery of cellular automata rules, in Proceedings of the Third Annual Genetic Programming Conference, 1998, pp. 519-528.

[Ilachinsky, 2004] Ilachinsky, A.: Artificial War. Multiagent-Based Simulation of Combat, World Scientific, 2004.

[Ilkova, 2015] Ilkova T., Petrov M., Roeva O., Carnitine role in human diseases pharmaceutical ways, optimization and generalized net description, J. of Int. Scientific Publications: Materials, Methods & Technology, Vol. 9, 2015, pp. 585-597.

- [Ismaili, 2018] Ismaili S., Fidanova S., Representation of Civilians and Police Officers by Generalized Nets for describing Software Agents in the Case of Protest, Advanced Computing in Industrial Mathematics, Studies of Computational Intelligence 728, K. Georgiev, I. Georgiev eds., Springer, ISBN 978-3-319-65529-1, 2018, pp. 71-78.
- [Ismaili, 2018, a1] Ismaili S. Fidanova S., Application of IFS for Conflict Resolution Modelling and Agent Based Simulation, J. Bioautomation, SJR 0.250, (accepted)
- [Ismaili, 2018, a2] Ismaili S., Fidanova S., Application of game theory and evolutionary algorithms in solving conflicts in social systems, J. Bioautomation, SJR 0.250, (accepted)
- [Ismaili, 2018, a3] Ismaili S., Fidanova S., Modeling Software Agents Applying Intuitionistic Fuzzy Logic, Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences, IF 251, (accepted)
- [Jager, 2001] Jager, W., R. Popping, R., van de Sande, H.: Clustering and Fighting in Two-party Crowds: Simulating the Approach-avoidance Conflict, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 4(3), 2001,
- [Jennings, 2000] N.R. Jennings N.R., "On Agent-Based Software Engineering," Artificial Intelligence", Vol. 177(2), 2000, pp. 277-296.
- [Doran, 2005] Doran, J.: Iruba: An Agent-Based Model of the Guerrilla War Process, Pre-Proceedings of the Third Conference of the European Social Simulation Association (ESSA), Koblenz, 2005, pp. 198-205.
- [Kim, 2008] Kim, D.S., and Park, G.S.: Modeling network intrusion detection system using feature selection and parameters optimization, Ieice Transactions on Information and Systems, E91D, (4), 2008, pp. f. 1050-1057.
- [Kim, 2011] Kim, J. W., Hanneman, R. A.: A Computational Model of Worker Protest, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 14(3), 2011
- [Lemos, 2018] Lemos C., Agent-based modeling of social conflict: from mechanism to complex behavior, Springer, 2018.
- [Luck, 2005] M. Luck. et al., Agent Technology: Computing as Interaction. A Roadmap for Agent Based Computing, AgentLink III, 2005
- [Marinov, 2016] Marinov, E., Atanassov, K., Vassilev, P., Su, J., Directed intuitionistic fuzzy neighbourhoods, IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems, 2016, pp. 544-549.
- [Marinov, 2016a1] Marinov, E., Vassilev, P., Atanassov, K., On separability of intuitionistic fuzzy sets, Advances in Intelligent Systems and Computing, 401, 2016, pp. 111-123.
- [Marinov, 2016a2] Tsvetkov, R., Vassilev, P., Intuitionistic fuzzy inclusion indicator of intuitionistic fuzzy sets, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 332, 2016, pp. 41-53.
- [Miller J., 2009] Miller J., Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life, Princeton UP, 2009.

- [Niazi, 2011a] Niazi M.A.K., Towards a novel unified framework for developing formal, network and validated agent-based simulation models of complex adaptive systems, PhD Thesis, University of Stirling, UK, 2011.
- [Newman, 2011] M. E. J. Newman M.E.J., "Complex systems: A survey", Am. J. Phys., Vol. 79, 2011, pp. 800-810.
- [Niazi, 2011] M. A. Niazi M.A., Hussain A., "Sensing Emergence in Complex Systems," IEEE Sensors, Vol. 11(10), 2011, pp 2479-2480.
- [Nishizaki, 2004] Nishizaki, I., Sakawa, M. and Katagiri, H., "Influence of environmental changes oncooperative behavior in the Prisoner's Dilemma game on an artificial social model," Applied Artificial Intelligence, Vol. 18(7), 2004, pp. 651-671.
- [Parikh, 2000] Parikh S. and Allen W., Riot games: A theory of riots and mass political violence, presented at 7th Wallis Institute Conference on Political Economy, University of Rochester, New York, October, 2000, pp. 1-42.
- [Pencheva, 2016] Pencheva T., Roeva O., Shannon A., Generalized nets models of basic genetic algorithm operators, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 332, 2016, pp. 305-325.
- [Perez, 2016] Perez J., Valdez F., Roeva O., Castillo O., Parameter adaptation of the bat algorithm using type-1 interval type-2 fuzzy logic and intuitionistic fuzzy logic, Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets, Vol 22(2), 2016, pp. 87-98.
- [Reynolds, 1994] Reynolds, C. W., "Competition, Co-evolution and the Game of Tag," in Proceedings of the Fourth International Workshop on Artificial Life, Brooks, R. and Maes, P., Eds. Cambridge, USA: MIT Press, 1994, pp. 59-69.
- [Ribagin, 2016] Ribagin, S., Roeva, O., Pencheva, T., Generalized Net model of asymptomatic osteoporosis diagnosing, IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems, 2016, pp. 604-608.
- [Roeva, 2018] Roeva O., Atanassov K., Universal generalized net model for description of metaheuristic algorithms: verification with the bat algorithm, Advances in intelligent systems and computing, Vol. 643, 2018, pp. 244-255.
- [Rubin, 2011] Makowsky, M. D., Rubin, J.: An Agent-Based Model of Centralized Institutions, Social Network Technology, and Revolution, Working Paper 2011-05, Towson University Department of Economics, 2011.
- [Salles B., 2001] Salles B., "Constructing progressive learning routes through qualitative simulation models in ecology," in *Proceedings of the International Workshop on Qualitative Reasoning, QR'01*, 2001, pp. 82-89.
- [Sawyer, 2003] Sawyer, R. K., "Artificial societies: Multiagent systems and micro-macro link insociological theory," Sociological Methods & Research, Vol. 31(3), 2003, pp. 325-363.
- [Schelling, 1978] Schelling, T. C., Micromotives and Macrobehavior, pp. 137-57, Norton, New York, 1978.

- [Shalizi, 2006] Shalizi C.R., "Methods and techniques of complex systems science: An overview", arXiv:nlin/0307015v4, 2006.
- [Shannon, 1996] Shannon A., Sorsich J., Atanassov K., Generalized Nets in Medicine, "Prof. M. Drinov" Academic Publishing House, So_a, 1996.
- [Shen, 2006] Shen Z., Zhou S.: Behavior Representation and Simulation for Military Operations on Urbanized Terrain. SIMULATION. Vol. 82(9), 2006, pp. 593-607.
- [Situngkir, 2004] Situngkir, H., "On massive conflict: Macro-micro link," Journal of Social Complexity Vol. 1(4), 2004, pp. 1-12.
- [Sotirov, 2016] Sotirov S., Sotirova E., Werner M., Simeonov S., Hardt W., Simeonova N., Intuitionistic fuzzy estimation of the Generalized nets Model of Spatial-temporal Group Scheduling Problems, Volume 332 of the series Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, 2016, pp. 401-414.
- [Sotirov, 2016a] Sotirov, S., Sotirova, E., Melin, P., Castilo, O., Atanassov, K., Modular Neural Network Preprocessing Procedure with Intuitionistic Fuzzy InterCriteria Analysis Method. In Flexible Query Answering Systems 2015, Springer International Publishing, 2016, pp. 175-186.
- [Sotirova, 2016] Sotirova E., Bureva V., Sotirov S., A Generalized Net Model for Students Evaluation Process, Using InterCriteria Analysis Method, Volume 332 of the series Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, 2016, pp. 389-399.
- [Spears, 1991] Spears W.M. and K. A. De Jong K.A., "An Analysis of Multi-Point Crossover", In Foundations of Genetic Algorithms, J. E. Rawlins (Ed.), 1991, pp. 301-315.
- [Stoyanov S., 2008] Stoyanov S., Ganchev I., Popchev I., O'Dorma, Service-oriented and agent-based approach for the development of InfoStation eLearning intelligent system architectures, In Proc. Of Int IEEE Conf. "Intelligent System", 2008, pp. 6-20.
- [Stoyanov S., 2014] Stoyanov S., Valkanov V., Popchev I., Stoyanova-Doycheva A., Doychev E., A model of context-aware agent architecture, Compt. Rand. Acad. Bul. Sci., 67(4), 2014, pp. 487-496.
- [Traum, 2007] Traum D., Roque A., Leuski A., Georgiou P., Gerten J., Martinovski B., Narayanan S., Robinson S., Vaswani A., Hassan: A virtual human for tactical questioning. In Proceedings of the 8th SIGdial Workshop on Discourse and Dialogue, 2007, pp. 71-74.
- [Vassilev, 2012] Vassilev, P., Intuitionistic fuzzy sets with membership and non-membership functions of exponential type, IS'2012 - 2012 6th IEEE International Conference Intelligent Systems, Proceedings, 2012, pp. 145-149.
- [Vassilev, 2017] Vassilev, P., Intuitionistic fuzzy sets generated by archimedean metrics and ultrametrics, 2017, Studies in Computational Intelligence, 657, pp. 339-378.
- [Weibull, 1992] Weibull, J., Evolutionary game theory. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

[Wiegand, 2002a] Wiegand, R. P., Liles, W. C. and De Jong, K. A., "Analyzing Cooperative Coevolution with Evolutionary Game Theory," in Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation, 2002, pp. 1600-1605.

[Wiegand, 2002b] Wiegand, R. P., Liles, W. C. and De Jong, K. A., "Modeling Variation in Cooperative Coevolution Using Evolutionary Game Theory," in Foundations of Genetic Algorithms VII, 2002, pp. 203-220.

[Wiegand, 2003] Wiegand R.P., An Analysis of Cooperative Coevolutionary Algorithms. Ph.D. Thesis, George Mason University, 2003.

[Wright, 2011] A.H. Wright, "Genetic algorithms for real parameter optimization, in Foundations of Genetic Algorithms, J.E. Rawlins (Ed.), Morgan Kaufmann, f. 2011, pp.205-218.

[Yiu, 2002] Yiu, S. Y., Gill, A. and Shi, P., "Investigating strategies for managing civil violence using the MANA agent based distillation," Land Warfare Conference, Brisbane, 2002.

[Youksel, 2011] Youksel K., Bozkurt B., Ketabdar H.: A Software platform for Genetic Algorithms based Parameter Estimation on Digital Sound Synthesizers, In proc of SAC'11, 2011, pp. 1088-1089 .

[Zadeh, 1965] Zadeh L.A., Fuzzy sets, Information and Control 8, 1965, pp. 338-353.