

SPATIOTEMPORAL PROCESS SIMULATION MODELS⁴

Neyko Neykov – PhD Student

Department of Computer Science,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: nneykov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Svetlana Stefanova, PhD

Department of Computer Science,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: sstefanova@ecs.uni-ruse.bg

Abstract: *Agent-based models (ABM) can be used successfully for simulating complex processes and systems. They provide opportunities to describe their dynamic change and evolution over time. The agents' behavior description in a process or system situated in a particular context can be used to observe the collaboration of the set of participants, from which relevant conclusions can be drawn without the presence of a specific physical environment for research. This approach could be used to analyze the effects of control systems applications before they are implemented and in the design phase, thereby reducing the risks, and assessing the benefits of such implementation before they are used in real conditions. These simulations can both provide information about interactions using certain agent behaviors and at the same time lead to erroneous conclusions if these behaviors or the environment in which they cooperate deviate too much from the real one.*

Keywords: *Agent-based Modelling, Evaluation, Process Emulation*

ВЪВЕДЕНИЕ

Провеждането на научни изследвания или анализа на различни явления и процеси, съществуващи в реалния свят, много често прибегват до изготвяне на модели, с чиято помощ чрез проектиране на реалността в описателна форма могат да се извършат наблюдения и да се направят изводи, нерядко създаващи или проверяващи определени теории. Съществуват много и различни определения на понятието модел. Моделът може да се разглежда като информативно представяне на обект, явление или система от реалността с използване на различни средства за описание. За модел се счита и всяко теоретично описание на процес или система, предмет на изучаване или някакъв интерес, като това описание често е чрез използване на математически апарат или понякога на програмен код (Crooks et al., 2018). Или по-просто казано, моделите са опростено представяне на реалността до такава степен, че тя да бъде разбираема и аналитично управлявана (Wilson, 1974).

В зависимост от признаците, които се използват, класификацията на моделите може да бъде изключително разнообразна. Съществуват две основни групи модели според това какви са средствата за изграждането им – физически, които използват разнообразни материални средства за представяне, прибегвайки основно до мащабиране; и абстрактни или концептуални модели, използвани най-вече за научни цели, като при тях за моделиране се използват математически апарат, графични средства или други абстрактни форми. Тук се интересуваме основно от концептуалните модели, или описания на действителни системи с помощта на абстрактни средства. Когато по-нататък говорим за модели ще имаме предвид точно такива абстрактни модели.

Моделите могат да бъдат разграничени и по друг признак, като статични и променящи се във времето или динамични. Пример за статичен модел е диаграмата на връзките между обектите (Entity Relationship Diagram ERD), или UML диаграма на класовете. Някои статични модели могат да изобразяват времеви зависимости, но в тях времето е само проекция в

⁴ Докладът е представен на научната сесия на 27.10.2023 в секция „Комуникационна и компютърна техника“ с оригинално заглавие на български език: ПРОСТРАНСТВЕНО-ВРЕМЕВИ СИМУЛАЦИОННИ МОДЕЛИ

пространството на модела. Пример за такъв статичен модел, изобразяващ поведение във времето, е времевата диаграма от UML спецификацията (Time sequence diagram), в която се описват взаимодействия на софтуерни компоненти, протичащи във времето. При динамичните модели се осъществява промяна в състоянието на самия модел във времето. При тях времето не е просто проекция в пространството на модела, а реален участник в неговото развитие. Предмет на този тип моделиране са както физически (например модел на завиране на вода), биологически (модел за разпространение и препредаване на вирус в избрана популация) и икономически (модел на паричните потоци) явления, така и нефизически (описание на мрежовата комуникация) (Vangheluwe et al., 2002). В последните години динамични модели се използват особено активно за моделиране на социални процеси (например сегрегацията на групи от хора по определен признак). Бързото навлизане на редица социални мрежи създава предпоставки за възникване и изследване на нови явления в обществото. Използването на динамични агентно-базирани модели подпомага до голяма степен този анализ.

В специализираната литература се разграничават три различни подхода за изграждане на модели за симулиране на реалността (Иванов, 2017): системна динамика, дискретно-събитен и агентно-базиран. Докато първите два използват методи за моделиране „отгоре надолу“, агентно-базирания подход залага на метода „отдолу-нагоре“. Обикновено при използване на подхода „отгоре надолу“ моделът се изгражда на база наблюдения върху цялата система, обратно при използване на подхода „отдолу-нагоре“ наблюденията се извършват върху отделни елементи или обекти на моделираната система. Бурното развитие на информационните технологии в последните години подпомага до голяма степен точно този подход. Благодарение на мощните хардуерни платформи и наличието на среди за разработка на такива системи, лесно може да бъде описвано поведението на самостоятелни елементи и наблюдавано изменението на системата като цяло.

АГЕНТНО-БАЗИРАНИ МОДЕЛИ И СИМУЛАЦИИ

Агентно-базираните модели представляват симулация на различни процеси и системи, чрез описание на елементите, които формират тези процеси на ниско ниво. Основаните на АБМ симулации са динамични процеси на взаимодействие на независими обекти (агенти), притежаващи собствено поведение, като тези процеси се развиват във времето (Masal & North, 2009). Няколко са важните компоненти в такъв модел: (1) агенти, чието поведение е съвсем самостоятелно, и те действат по определени правила (2) обкръжение, контекст или среда, в която тези агенти действат и третият (3), немаловажен, е времето, в което се извършва промяна в състоянията на отделните агенти, а от там, благодарение на техните взаимодействия помежду им и с обкръжаващата среда, промяна и на системата като цяло. АБМ, за разлика от статичните модели, използват времето за да изобразят промените в състоянието на отделните елементи и на модела като цяло.

АБМ могат да бъдат използвани за изследване на ситуации, които няма как да бъдат тествани в реални свят и при висок риск. Например, с помощта на такъв модел, може да се изучава поведението на хората при възникване на пожар. Примерен анализ и описание на процесите, които възникват при евакуация в следствие на пожар, е посочен в (Castle, 2004). С такива модели се анализират потенциални проблеми, възникването на критични ситуации и някои затруднения, също така се експериментират различни сценарии за евакуация. Списъкът от области, в които се прилагат тези АБМ, е изключително обширен – науките свързани с изследване на системите и сложността, компютърните, управленските и няколко други клона на социалните науки. АБМ се използва и в много конвенционални модели и симулации.

Основните действащи единици в АБМ са агентите. Те са самостоятелни обекти, взаимодействащи помежду си и с околната среда, и техните основните характеристики са:

1. *Автономност*. Всеки един агент съществува самостоятелно и отделно от останалите, както и от средата, в която се намира.

2. *Самостоятелност*. Всеки един от агентите притежава собствено множество атрибути, състояния, поведение и правила за вземане на решения.
3. *Интерактивност*. Агентите взаимодействат, както помежду си, така и със средата, в която са разположени.
4. *Целенасоченост*. Агентите имат определени цели, които се стремят да постигнат.

Правилата за поведение на агентите могат да варират от съвсем прости, свързани с елементарни логически операции за вземане на решения, до изключително сложни, включително използващи статистически данни, самообучение и методологии от машинното обучение и изкуствения интелект. Интересна особеност е, че при тези модели могат да се наблюдават ендегенни явления, или такива изменения в поведението на цялата съвкупност, които не се дължат на никакво външно влияние или подадени отвън стойности за определени параметри, а се пораждат вътрешно от взаимодействието между агентите и средата.

Описанието на агентно-базираните модели обикновено започва с експерименталната рамка, която трябва да е предварително зададена. Важен момент в етапа на моделирането е, че в повечето случаи се интересуваме от точното местоположение на агентите в пространството на модела. Съществуват обаче и такива модели, при което това местоположение не е от значение или т.нар. модел от типа „супа“ (Macal & North, 2009). Също така агентно-базираните модели освен пространствени, включват и времеви характеристики, като при тях моделът се изменя с течение на времето и състоянието му може да бъде различно в различните етапи от развитието му. Създаването на моделите винаги предполага определено ниво на абстракция, което се отразява на това доколко подробен е моделът (Vangheluwe et al., 2002).

Приложението на тези модели е в изключително широк кръг от научни области. Съществуват изградени модели в областта на социалните науки, компютърните науки, мрежите и телекомуникациите, компютърната сигурност, географските процеси, химията, биологията, игрите и много други.

ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИТЕ ПРИ ВНЕДРЯВАНЕ НА СИСТЕМА

Основната цел при използване на симулацията в нашия случай е не просто да построим модел, който адекватно да отразява поведението на участниците в изследваните процеси. Идеята е да оценим ефектите от внедряване на система, която да подобри взаимодействията и управлението на тези процеси преди въобще тя да бъде реално използвана. От една страна, създаването на подходящ и точен модел би могло да даде насоки при проектирането на такава система, а от друга, да позволи нейното тестване във виртуална среда, съответно да бъдат отстранени проблеми преди тя да бъде използвана в реални условия. Такъв подход може да се окаже особено полезен, когато внедряването на системата е свързано с рискове. Когато цената за покриване на тези рискове е прекалено висока, то използването на симулации за тестване има за цел да намали тази цена. Използването на АБМ също дава допълнителни възможности при проектирането на системата и предварително установяване и уточняване на нейните характеристики и ограничения, при които тя да функционира.

Един от проблемите при проектирането на система за управление е, че не винаги се разполага с достатъчно данни от реални измервания. АБМ и симулациите могат да бъдат разглеждани като „виртуални експерименти“ (Vangheluwe et al., 2002) и донякъде да компенсират липсата на реални данни. При тестването на готови прототипи също има полза от прилагането на АБМ. Интегрирането на тестваната система с готов модел, който преди това е използван при проектирането, показва как тя действа, като при това открива грешки във функционирането.

Интеграцията на АБМ за симулация с реалната система и наблюдението на тяхната съвместна работа има и още един важен ефект – оценката на ефективността от прилагането на системата в реални условия. Ако поставим определен брой параметри за наблюдение при провеждането на виртуален експеримент с модел, който сме използвали за проектирането и тестването на система, ни позволява в последствие да сравним стойностите и настъпилите във времето промени на тези параметри по време на работата на модела съвместно със

системата. Резултатите от това сравнение ни дават приблизителна оценка на ефектите, които ще има внедряването на системата в реални условия. Оценката никога не е напълно точна поради разликите, които моделът има с действителността, но въпреки това има възможности да наблюдаваме тенденции на развитие и да дадем оценка с известна точност.

Тъй като оценката на ефекта от внедряването на системата в реални условия зависи до голяма степен от точността на модела, който използваме, въпросът за неговата адекватност, или това каква е степента, с която той се приближава до действителността, е много важна. Използването на модел, който е прекалено отдалечен от реалния обект или процес, със сигурност ще доведе до погрешни заключения, или в случаите на използването му за проектиране на система за управление – до система, която в най-добрия случай няма да има твърде полезни функции или ще работи с отклонения или грешки, а в най-лошия, може да доведе до допълнителни проблеми.

ОЦЕНКА НА ТОЧНОСТТА ПРИ СИМУЛАЦИЯ

Колкото и точно да бъде описано поведението на агентите и условията на средата винаги съществува вероятността моделът да се разминава с действителността. Факт е, че доста често, поради различното ниво на абстракция, моделите не могат да имитират изцяло реалните процеси и затова се налага да бъде оценявана тяхната правдоподобност и нивото им на грешка. Оценката на тази правдоподобност се извършва чрез измерване на параметри в реалните процеси и сравняването им със стойностите, постигнати при работата на модела.

За оценка на агентно базираните модели не съществува конкретна формална методология. Болшинството автори по темата обаче са обединени около процес, който съдържа три основни елемента: верификация, калибриране и валидация (Crooks et al., 2018)

Верификация

Верификацията е процес, който удостоверява, че изграденият модел е в съответствие с някакъв предварителен проект, или с други думи – дали моделът е имплементиран коректно. Обикновено тя се извършва преди моделът да бъде използван реално. Верификацията използва няколко подхода за промени с цел максимално доближаване до реалността (Crooks et al., 2018):

1. Преглед на кода. В този етап се извършва проверка на кода за това дали той правилно отразява целите на модела. Наличието на грешки в кода води до изкривяване на крайните резултати или грешки в работата на модела;
2. Опростяване на обкръжението, в което функционират агентите. Когато се използва опростена среда, придвижването на агентите в нея може да бъде лесно предвидено и оттам получените отклонения лесно могат да бъдат изследвани и коригирани при необходимост. Първоначалното опростяване на правилата, по които се развиват и водят агентите в поведението си, има същия ефект.
3. Подравняване по очакван резултат. Обикновено специалистите в определена област имат ясна представа какво се случва с реалните процеси и обекти, предмет на моделирането. Заедно с това имат и някакви очаквания, свързани в повечето случаи с предходен опит. При този подход за корекция на модела не е необходимо наличието на реални експерименти и данни от тях, а само очакваното от специалиста поведение на модела.
4. Реализация на един модел с използване на различни платформи и програмни езици. При този подход използването на един и същ модел се осъществява при различни условия. Използването на различни среди за симулация, които в повечето случаи са съпроводени и от съответен език за реализация, дава по-широка основа за сравнение и евентуално откриване на проблеми.

Калибриране на модела

За да се извърши калибриране на модела е необходимо да са събрани известно количество опитни данни. При този процес параметрите на симулационния модел се коригират така, че грешката или отклонението, което се получава, да е минимална. Особеностите тук са, че трябва да са налични данни от наблюдение или очакване за достигането на определени резултати от страна на реалната система или процес, определено от специалист в съответната област, а също така и предварително дефинирано допустимо отклонение на симулацията от тази действителност.

Калибрирането може да бъде както количествено така и качествено. Качественото калибриране е процес, при който моделът се настройва докато той стане коректен, като при това понякога тази настройка може да бъде направена по интуиция и според субективното знание на изграждащия модела. При количественото калибриране фокусът е върху параметрите, които най-добре влияят върху наблюдаваните ефекти, предмет на симулацията.

Валидация

Валидацията представлява тестване на модела с нови и разнообразни данни, в повечето случаи събрани от реални експерименти, и сравнение на поведението с очакванията. В известен смисъл проблемите, които се наблюдават при моделите при този вид корекция, са подобни на тези, наблюдавани и при машинното обучение – прекомерно или недостатъчно съответствие, или възможност да бъдем подведени от събраните данни. По тази причина за точността на модела и близостта му с реалността е много важно какви опитни данни от реални експерименти ще бъдат събрани, т.е. дали отразяват реалното им вероятностно разпределение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на агентно-базирани модели за симулация се оказва изключително удобно при процеси и системи, където събраните реални данни са недостатъчни или провеждането на реални експерименти е изключително скъпо, а понякога дори невъзможно. Подходът за моделиране „отдолу нагоре“ позволява чрез дефиниране на прости правила за поведението на отделните агенти да се създават и наблюдават сложни процеси в цялата съвкупност.

АБМ притежават характеристики, които ги правят подходящи за използване при проектиране и оценка на системи за управление. Подходящи модели на средата и обектите, предмет на въздействието при такива системи, създават предпоставки за дефиниране на определени изисквания и поставяне на конкретни ограничения върху функционирането на системите. Прилагането на прототип на системата върху съответния модел и симулацията на реална работа може да послужи, както за тестването ѝ, така и за оценка на ефективността ѝ при прилагане в реални условия.

Във връзка с този сценарий на използване много важно значение има точността с която АБМ симулира действителността. За тази цел съществуват редица методи за намаляване на грешките, които допускат моделите.

Като следващ етап в изследването възнамеряваме да разгледаме възможностите на многоагентните системи за симулация при моделирането на процесите при паркиране и да отговорим на въпроса доколко възможно е използването на този вид модели в тази област. Създаването на подходящ модел, в който да се заложи поведението на водачите при търсене на свободни места, може да насочи вниманието към важни взаимодействия, чиято регулация да доведе до подобряване на процеса.

REFERENCES

- Castle, C. J. E. (2004). Agent-Based Modelling of Pedestrian Evacuation: A Study of King's Cross Underground Station. *Prim. Care*, 4–6. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=3d87745b911eb45c20b791204a50809da739b488>
- Crooks, A., Malleon, N., Manley, E., & Heppenstall, A. (2018). *Agent-based modelling and geographical information systems: a practical primer*. Sage.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2009). Agent-based modeling and simulation. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, 86–98.
- Vangheluwe, H., De Lara, J., & Mosterman, P. J. (2002). An introduction to multi-paradigm modelling and simulation. *Proceedings of the AIS'2002 Conference (AI, Simulation and Planning in High Autonomy Systems)*, Lisboa, Portugal, 21(1).
- Wilson, A. G. (1974). *Urban and regional models in geography and planning*. John Wiley & Sons.
- Ivanov, M. P. (2017). *Contemporary application of multi-agent simulation models in research and practice*. (**Оригинално заглавие:** Иванов, М. П. (2017). *Съвременно приложение на многоагентните симулационни модели в изследванията и в практиката.*)