

# КОМПЮТЪРНА СИМУЛАЦИЯ

## 1. Същност на компютърната симулация

**Компютърна симулация** е метод за провеждане на компютърно базирани експерименти с математически модели, които описват поведението на обекта (-ите) за определен период от време. Чрез нея се симулират реални ситуации. Тя позволява да се изучава поведението на реалния обект под въздействието на външни фактори.

Компютърна симулация позволява изследване на системи и процеси с различна сложност. Не ограничава нивото на детайлизация и дава неограничено количество данни за поведението на изследвания обект.

**Компютърната симулация** е вид симулация, която обикновено се провежда чрез компютърни програми на един или множество компютри, свързани в компютърна мрежа. Чрез нея се симулира абстрактен модел на определен обект (система и/или процес). Абстрактните модели най-често са математически, получени в резултат на математическо моделиране (ММ).

Математическо моделиране е свързано преди всичко с начина на представяне на обектите, докато симулацията се свързва с обработката на информацията за тях. За целта се използват методи и алгоритми за изчисление, както и за решаване на уравненията и системи уравнения, представляващи моделите.

Компютърната симулация осигурява управляема среда за изследване, в която могат да бъдат анализирани различни множества параметри и сценарии. Тя е изключително полезна при изследване на динамични системи, които трудно подлежат на математическо моделиране.

Компютърната симулация осигурява гъвкава методология за анализ и визуализация на поведението на изследваните обекти.

**Предимствата** на компютърната симулация са:

- ✓ Може да се използва във всички области на науката;
- ✓ Позволява да се моделират и изучат явленията, предвидени от всякакви теории;
- ✓ Позволява не само да се наблюдава, но и да се предвиди резултатът от компютърния експеримент при някои специални условия;
- ✓ Може да се използва за изследване на обекти с произволна сложност;
- ✓ Може да се използва за изследване и получаване на нови знания за обектите;
- ✓ Осигурява визуализация на получените резултати;
- ✓ Позволява да се симулират процеси, независимо от тяхната природа на възникване;
- ✓ Позволява да се симулират реални ситуации на контрол на сложни системи, включително аварийни ситуации;
- ✓ Може да се използва и във виртуални лаборатории;
- ✓ Може да се използва за решаване на проблеми, които изискват сложни математически методи и трудоемки изчисления.

Като **недостатък** на компютърната симулация може да се посочи необходимостта от повече ресурси (процесорно време и памет) за реализацията ѝ.

За целите на компютърната симулация е удачно да се използват симулационни модели на обектите на изследване. **Симулационните модели** имитират поведението на обектите във времето. Най-често те се състоят от две взаимносвързани части – модел на обектите (представя статичната структура на обектите) и модел на поведението (за отразяване на динамичните характеристики на обектите).

В зависимост от избрания подход за симулация и от характера на входните данни при моделиране и изследване на компютърни системи и техните компоненти се прилагат следните симулационни модели:

- функционални модели – отразяват функционалните характеристики и структурните особености на компютърни системи и техните компоненти;
- статистически модели – прилагат се за изследване на поведението на компютърни системи и техните компоненти. Позволяват събиране на статистическа информация за събъването на определени събития, както и за основните параметри и характеристики на изследваните обекти.

Функционалните имитационни модели са комплекси от програми за симулация, които отразяват структурните особености и функционалните характеристики на обектите и техните компоненти. Могат да се използват при проектиране, ъпгрейтинг и/или диагностика на компютърни системи и техните компоненти.

При статистическите имитационни модели обикновено обектите се разглеждат като дискретни системи съставени от произволен брой подсистеми (модули, блокове). Позволяват изследването да се реализира чрез набор от събития, които променят състоянието на обектите. За съставянето им се използват специализирани езици, например като GPSS (виж точка 5). Използват се за симулация на процеси и потоци в операционните системи, компютърни системи и компютърните мрежи. Позволяват да се получи информация за: използваемост на ресурсите; разпределение на времето за обработка на различни състояния; време на престой на задание в системата; средно време на обслужване на заявките и др.

Компютърната симулацията се изпълнява върху симулационни модели, които трябва да бъдат създадени предварително. Тези модели трябва да отразяват достатъчно точно изследвания обект, но не е необходимо да включват детайли, които няма да се отразят на получените резултати. Качеството на получените резултати от симулацията зависи от качество на симулационния модел.

## 2. Видове симулации

По типове симулациите се класифицират на:

- симулации с преходни състояния (transient state);
- симулации с устойчиви състояния (steady state).

**Симулацията с преходни** (временни, неустойчиви) **състояния** се извършва за предефинирано време или се използва терминиращо събитие. Нарича се още симулация с терминиране (terminating simulation).

**Симулация с устойчиви състояния** се нарича симулация без терминиране (non-terminating simulation). При нея целта е да се изследва поведението на системата за дълъг период от време. Началните условия трябва да бъдат зададени така, че да не влияят на изходните резултати. Определящо е необходимото време за симулация.

**В зависимост от именението на моделните параметри** симулацията може да бъде дискретна и непрекъсната.

При **дискретната симулация (Discrete Event Simulation)** параметрите на моделите се променят през дискретни интервали от време. По време на интервалите състоянието на обектите се запазва непроменено. За управление на моделното време се използват два подхода. При единият това време се управлява от събъването на събития в модела и затова се нарича **събитийна (асинхронна) симулация**. При нея се определя събитие с минимално време (най-ранно събитие) от множеството генерирани заявки и моделният таймер се променя с това време. Едновременното изпълнение на няколко събития става псевдопаралелно без промяна на моделното време.

При другият подход моделното време се променя с постоянен интервал, през които се извършват регистрациите. Затова е прието тази симулация да се нарича **симулация по таймер (синхронна)**.

При дискретната симулация състоянието на симулационния модел може да се променя само в дискретни моменти от времето, наричани “събития”. Видът на събитието зависи от вида на обекта и целта на изследването – напр., изпращането или получаването на съобщение, промяна на състоянието на даден процес или система и др.

Симулационният модел представлява абстракция на изследваната система. Обхваща избрани компоненти на системата и избрани взаимоотношения между тях, като селекцията се базира на целта на изследването.

При **непрекъснатата симулация (Continuous Simulation)** процесите и моделните параметри се разглеждат като непрекъснати зависимости във времето. Те се описват с диференциални уравнения. За изследване на симулационните модели се използват числени методи. Получените резултати от симулацията дават представа за развитието на моделираните процеси във времето.

Съществува и **комбинирана симулация (Discrete Continuous Simulation)**. Тя обединява разгледаните по-горе дискретна и събитийна симулация. Отчита три типа взаимодействие между променливите и събитията. Те са следните:

- ✓ дискретното събитие води до дискретна промяна на стойността на непрекъснатата променлива;
- ✓ дискретното събитие въздейства на непрекъснатата променлива за промяна на индивидуалното време;
- ✓ непрекъснатата променлива може да достигне определена стойност, която да предизвика събъждане на дискретно събитие.

### **3. Технология на компютърната симулация**

Компютърната симулация на дадена система (даден обект, процес) налага изпълнението на следните стъпки (действия):

#### **➤ Формулиране на проблема и дефиниране на системата/модела**

Прецизно дефиниране на целите на симулацията.

Определяне на параметрите и характеристиките на модела/системата.

#### **➤ Избор на фактори, нива и параметри**

Всяка система (всеки обект) може да бъде определена чрез входни въздействия и изходни реакции. Входните въздействия се наричат фактори и обикновено се представят с независими променливи. Факторите определят поведението на системите. Нивата са числовите стойности на факторите. Изходните реакции се представят с изходни величини. Те се наричат параметри и изразяват изменение/реакция на системите под действието на факторите.

#### **➤ Събиране на данни и моделиране**

Преди изграждането на модела е необходимо да се натрупат данни за изследваната система. Описват се елементите на системата, както и техните качествени и количествени параметри и характеристики. Създаденият модел на системата се документира.

#### **➤ Избор на среда за симулация, имплементиране и верификация на модела**

След създаването на модела на системата, той трябва да се имплементира.

Чрез средства за симулация създаденият модел се верифицира. Верификацията потвърждава, че симулационният модел е имплементиран правилно.

#### **➤ Валидиране на модела и анализ на факторите**

Валидирането потвърждава, че моделът на системата коректно представя изследваната система по отношение на избраните параметри, фактори и нива. Валидирането се извършва като се използват външни данни или различни техники за оценяване (анализ или експерименти). То може да се осъществи като се сравнят изходните данни от модела с изходни данни от реална система.

След валидирането на модела се прави анализ с цел да се определят факторите, които влияят върху състоянието на системата.

#### ➤ **Провеждане на експерименти, анализ и представяне на резултати**

Изпълняват се симулационните експерименти, данните се събират, анализират и представят графично в подходящ вид – таблици, хистограми, диаграми и др.

#### **4. Планиране и провеждане на компютърната симулация**

Компютърната симулация е свързана с реализация на **компютърен експеримент**. Той се провежда с цел получаване на информация за характеристиките на функциониращия процес на изследвания обект. Компютърният експеримент се планира. Основната задача на планирането му е получаването на необходимата информация за изследвания обект (система, процес) с ограничения на ресурсите (разходите за компютърно време, памет и др.). Затова и конкретните задачи, които трябва да бъдат решени при планирането на компютърните експерименти, са за:

- ✓ намаляване на времето за компютърната симулация;
- ✓ повишаване на точността и надеждността на резултатите от симулацията;
- ✓ проверка на адекватността на модела и др.

Ефективността на компютърните експерименти зависи от избора на количеството и реда на компютърните изчисления, методите за натрупване и статистическа обработка на резултатите от симулацията на системата. Затова основната задача за планиране на компютърните експерименти може да формулира по следния начин: необходимо е да се получи информация за обекта на моделиране, определен под формата на алгоритъм (програма) за моделиране, с минимални или ограничени разходи за машинни ресурси за на процеса на моделиране.

Недостатъкът на компютърните експерименти е, че резултатите от някои наблюдения зависят от резултатите на едно или повече предишни, поради което те съдържат по-малко информация, отколкото при независими реални наблюдения.

Предимството на компютърните експерименти пред реалните наблюдения е способността за пълно възпроизвеждане на експерименталните условия на изследвания обект с модела. Могат да се използват последователни и евристични техники за планиране. Изполването на компютърни модели позволява да се прекъсне експериментът за времето, необходимо за анализиране на резултатите и вземане на решения (например за необходимостта от промяна на стойностите на характеристиките на модела).

Компютърният експеримент завършва с извеждане на резултати във форма, удобна за анализ и вземане на решения. Едно от предимствата на компютърните информационни модели е възможността да се създават различни форми на представяне на изходна информация. Може да се групира тази информация по зададени критерии и да се използва в бъдеще за вземане на решения.

**Провеждането на компютърен експеримент включва два етапа:**

- съставяне на план на експеримента;
- провеждане на изследването.

То **може да се представи в следните четири стъпки:**

- ✓ Построяване на план на експеримента;
- ✓ Тестване на модела;

- ✓ Провеждане на изследването;
- ✓ Анализ на резултатите.

Планът на компютърната симулация трябва да включва експеримент или серия от експерименти, които отговарят на целите на симулацията.

За всеки експеримент трябва да бъдат получени и записани данни за изследвания обект чрез симулационния модел.

Тестването на модела е процес на проверка, която се реализира с тестов набор от входни данни, за които крайният резултат е известен по-рано или предварително определен по други начини.

След провеждане на изследването се прави анализ на получените резултати от симулацията. Констатациите често налагат да се извършат допълнителни експерименти или промяна в модела т.е. връщане към една от предишните стъпки. Това се повтаря докато експерименталните резултати не изпълнят поставената цел на симулацията.

## 5. Средства и среди за компютърна симулация

Реализацията на компютърните експерименти и построяването на компютърните модели е свързано с използване на подходящи езикови и програмни средства и среди. Могат да бъдат използвани универсални програмни езици и специализирани езици. Приложението на езиците за програмиране позволява гъвкавост при разработване и модификация на моделите, но изисква повече време за програмирането им. Предимствата им се свързват с тяхната популярност и с минималните ограничения за формата на данните. Използването на специализирани езици и среди се препоръчва поради тяхната ефективност. При тях описанието на структурата на обектите и динамиката на процесите се реализира с операторни блокове на макрониво. Предимствата на специализираните програмни средства са: минимално време за построяване на моделите; възможност за автоматично формиране на определени типове данни; прецизност на понятията; възможност за унификация на елементи в модела; удобство при натрупване и представяне на резултатите.

Специализираните програмни езици са насочени основно към имитационното (симулационно) моделиране. Те могат да се класифицират в следните групи езици:

- ориентирани към действия – моделите се описват чрез комплекс от условия, при които се изпълнява съответното действие;
- ориентирани към събития – моделите се представят чрез събития, които се реализират при дадени условия;
- ориентирани към потоци и процеси – моделите се представят като структура от блокове, съответстваща на функционалния алгоритъм и потоци от съобщения (транзакти).

**Езиките за моделиране на процес (PMLs)** са създадени за представяне на процеси. Могат да се класифицират по различни признаци. Спрямо тяхната организация езиците за моделиране на процеси се разделят на:

- **Entity – Relation** – организирани са като същности, с връзки между тях. Използват се за моделиране на информационни системи.
- **Role – Interaction** – описват ролите и техните взаимоотношения.
- **Object - Oriented** – основна единица при тях е обект. За всеки обект се описват данни и функционалност в един пакет.

Спрямо тяхната формалност езиците за моделиране на процеси се разделят на:

- **Формални** – представят се чрез формален синтаксис и семантика;
- **Полуформални** – обикновено имат графично представяне с формален синтаксис и неформална семантика (могат да бъдат интерпретирани по различен начин);

- **Неформални** – нямат строго дефинирани правила, а смисълът на конструкциите им е от реалния опит и употреба (например говоримите езици).

За моделиране на процеси се използват три типа (основни парадигми) езици:

- **Дескриптивни** (логически) – използват правила или тригери.
- **Мрежово базирани** (езици на базата на мрежи) – представят процесите като мрежи, мрежи на Петри, обобщени мрежи, системи за масово обслужване и др.
- **Императивни** – базирани на езиците за програмиране. Процесът е представен като програма.

Една от използваните езикови среди за компютърно моделиране и симулация е GPSS.

Езикът GPSS е транзакционно ориентиран и съдържа описателни средства от високо ниво за компонентите на СМО и работното натоварване.

**Езиковата среда GPSS (General Purpose Simulation System)** се основава на теорията на масовото обслужване (ТМО) и представяне на обектите като системи за масовото обслужване (СМО). Тя се прилага за моделиране и изследване на измененията на физически и логически обекти. Основните обекти, поддържани от средата, са:

- динамични обекти – симулират динамиката в реална система;
- статични (апаратно – ориентирани) обекти – използват се за описание на статичната структура на системите и представляват опашка (QUEUE), обслужващо устройство (FACILITY), многоканално устройство (STORAGE), логически ключ (LOGIC SWITCH) и др.
- статистически обекти – за натрупване и оценка на статистическа информация за различни обекти, например (TABLE), необходими за построяване на разпределенията на случайните величини;
- управляващи обекти – блокове за логическо управление на транзакциите (TRANSFER, TEST, GATE),

Езикът GPSS е транзакционно ориентиран и съдържа описателни средства от високо ниво за компонентите на СМО и работното натоварване.

При създаване на симулационен модел могат да бъдат използвани различни вероятностни разпределения или детерминирани функционални зависимости.

GPSS/PC има графичен изход, удобен за изобразяване на структурата на моделите, за анимация и динамично поддържане на хистограми по време на симулацията.

Съществуват програмни среди за създаване, редактиране и симулиране на PN модели. Такива среди се наричат наричани **PN-симулатори**. Едни от известните и използвани PN-симулатори са **PNSim** и **CPN Tools**.

**PNSim** е софтуерно приложение, предназначено е за черно - белите мрежи на Петри. Основната цел на това приложение е за запознаване на начинаещите потребители как работят мрежите на Петри, да има даде знания за тяхното използване.

**CPN (Colored Petri Nets) TOOLS** е инструмент за редактиране, симулиране и анализ на цветни мрежи на Петри. С него се извършва проверка на синтаксиса и генериране на код. Позволява симулация на времеви и невремени мрежи на Петри. Когато се стартира CPN Tools се отваря прозорец, съдържащ индекс отляво и работно пространство вдясно.