

Д. О. Дяченко, А. С. Гук, О. П. Міхаль

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

МОДЕЛЮВАННЯ РЕСУРСОВІДНОВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Анотація. Актуальність. В роботі проаналізована проблематика, яка пов'язана з моделюванням поведінки і взаємодії об'єктів живої природи в біологічних системах. Відзначено актуальність розробок в даному напрямі моделювання, який є стиковим між біологією та загальною теорією систем. Конкретизовано коло питань, що підлягають моделюванню в рамках цієї роботи. Клітка живого організму має ресурс по числу поділок. Даний ресурс витрачається в процесі життєдіяльності організму. Цікавим є вивчення засобами комп'ютерного моделювання обмежень життєдіяльності багатоклітинного організму, пов'язаних з витрачанням даного ресурсу. Комп'ютерне моделювання дозволяє істотно економити ресурси, що витрачаються в процесі пізнання і освоєння природи, зокрема в ході розробки прикладних технічних та інформаційних систем. Клітинні автомати дозволяють абстрагуватися від багатьох несуттєвих рис об'єктів, зосереджуючи переважно увагу на циклічності процесів, просторовій розподіленості об'єктів, дискретності взаємної незалежності подій. В ресурсних клітинних автоматах додатково береться до уваги тимчасова обмеженість процесів: скорочення можливостей для подальшого їх продовження. Сукупність зазначених якостей створює формальну причинно-наслідкову середу, зручну для розгляду досліджуваних об'єктів. Ресурс - є значення певного параметра (або декількох параметрів), критичних для продовження функціонування певного елемента клітинного автомата. Ресурс може бути заданий спочатку і може спадати в процесі функціонування клітинного автомата. Сформульовано вимоги до розроблюваної моделі, які обумовлені характером, обсягом і заходом ілюстративності інформації, яка передбачається до отримання. Мова виконання моделі - Python. Алгоритм моделі представлений у вигляді покрокового опису, з необхідним коментуванням, використовуваним далі при розробці програмної реалізації моделі. Представлена і прокоментована структурна схема моделі. Показано відповідність блоків структурної схеми покрокового опису алгоритму моделі. **Мета роботи** – розробка і реалізація клітинно-автоматної комп'ютерної моделі для дослідження поведінки структури в умовах знакозмінної зміни параметрів, що визначають ресурсність.

Ключові слова: клітинний автомат, ресурс, розподілена інформаційна система, ресурсовідновлення, протокол.

Вступ

З кожним роком обчислювальна можливість людини збульшуються. Існує багато способів її використання. Один з них - моделювання все більш складних процесів [1]. Наразі в цьому напрямку розвиваються різні підходи, і одним з них є теорія клітинних автоматів. Клітинний автомат (КА) - це дискретна динамічна система, поведінка якої повністю визначається в термінах локальної взаємозалежності станів такої системи. Простір представлений рівномірною сіткою, кожна комірка якої містить кілька бітів даних.

Правила еволюції представлені набором правил, де на кожному кроці кожна клітинка обчислює новий стан зі станів сусідніх клітинок. При правильному наборі правил такого простого механізму роботи достатньо для підтримки всіх ієрархічних структур і явищ. Клітинні автомати є корисною моделлю для багатьох досліджень у природничих науках. Подібно до машин Тюрінга для послідовних обчислень, вони формують загальну парадигму для паралельних обчислень.

Середовище, представлене клітинними автоматами, має великий потенціал у моделюванні кластерів взаємопов'язаних однорідних об'єктів. Це моделювання фізичних процесів у фізиці елементарних частинок та ядерній фізиці, моделювання потоків рідини, моделювання взаємодіючих клітинних систем у біології та медицині, використання моделей на основі клітинних автоматів у нанотехнологіях. Крім того, клітинні автомати за визначенням є паралельними структурами і тому використовуються для вирішення проблеми моделювання дискретних паралельних процесів. Прикладом застосування принципу

клітинних автоматів є гра Джона Конвея «Життя» [2]. Ще відома як «гра без гравців» [3].

Особини в цій популяції представлені клітинами в стані 1, тоді як клітини в стані 0 представляють порожній простір. Мірою часу є зміна поколінь колонії, яка відбувається за відомими правилами. Популяція "живих" клітин може рости безперервно, постійно змінюючи своє положення, форму і кількість клітин. Однак у багатьох випадках колонія з часом стає статичною або циклічно повторює один і той самий кінцевий стан. Все це можна використовувати для моделювання відновлення ресурсів у розподілених інформаційних системах.

Мета цієї роботи – розробка і реалізація клітинно-автоматної комп'ютерної моделі для дослідження поведінки структури в умовах знакозмінної зміни параметрів, що визначають ресурсність.

Основна частина

Клітка живого організму має ресурс по числу поділок. Даний ресурс витрачається в процесі життєдіяльності організму. Цікавим є для вивчення засобами комп'ютерного моделювання обмежень життєдіяльності багатоклітинного організму, пов'язаних з витрачанням даного ресурсу. Очікуване застосування результатів моделювання пов'язане з підтриманням оптимальних режимів функціонування систем, до складу яких входять об'єкти живої природи. Важливим прикладним аспектом може виявитися розробка на основі отриманих модельних результатів – від конкретних методик і практичних рекомендацій стосовно екології до оптимізації людської господарської діяльності, а так само до медицини.

Розглянемо ескізні базові принципи організації клітинної структури об'єктів живої природи. В основі життя, в основі всіх живих організмів лежать клітини. Даний факт є зараз емпірично встановленим в біології, в силу чого є вихідним пунктом у побудові біології як науки. Клітини є «цеглинками», з яких складені більш складні структури, що в сукупності і утворює життя в біологічному сенсі. Важливою характеристикою клітини є наявність в ній спадкової інформації у вигляді нуклеїнової кислоти - ДНК. Також визначення відображає найважливішу рису будови клітини: наявність зовнішньої мембрани (плазмолеми), що розмежує клітку і навколишнє її середовище. Розглянутий процес цікавий як об'єкт моделювання. Цікавим є вивчення засобами комп'ютерного моделювання обмежень життєдіяльності багатоклітинного організму, пов'язаних з витрачанням його ресурсу.

Комп'ютерне (дискретно-математичне) моделювання дозволяє істотно економити ресурси (матеріальні та інтелектуальні), що витрачаються в процесі пізнання і освоєння природи, зокрема в ході розробки прикладних технічних систем. Клітинні автомати дозволяють абстрагуватися від багатьох несуттєвих рис даного об'єкту, зосереджуючи переважну увагу на циклічності процесів, просторовій розподіленості об'єктів, дискретності взаємної незалежності подій. В ресурсних клітинних автоматах додатково береться до уваги тимчасова обмеженість процесів: скорочення можливостей для подальшого їх продовження. Сукупність зазначених якостей створює формальне причинно-наслідкове середовище, зручне для розгляду досліджуваних об'єктів. Основний напрямок дослідження клітинних автоматів - алгоритмічна розв'язність тих чи інших завдань. Також розглядаються питання побудови початкових станів, при яких клітинний автомат буде вирішувати задану задачу.

Цікавий спеціальний клас клітинних автоматів, у яких на кожному кроці еволюції клітинного автомата значення осередку дорівнює якомусь цілому числу (зазвичай обирається з кінцевої безлічі), а новий стан клітини визначається сумою значень клітин-сусідів і, можливо, попереднім станом клітини. Стан клітини на новому етапі залежить від її попереднього стану. В цілому - клітинний автомат є інструмент моделювання. Тому йому, як і кожному інструменту, слід відповідати предмету, об'єкту і ситуації застосування. Тому правомірні, допустимі і доцільні модифікації клітинних автоматів. Головне - щоб вони найкращим чином відповідали області застосування - об'єкту моделювання.

Стосовно до моделювання біологічних об'єктів нами використовуються ресурсно-обумовлені (далі просто ресурсні) клітинні автомати, що дозволяють відслідковувати зміну (витрачання) певних значень параметрів окремих елементів.

Ресурсна клітинно-автоматна модель

Перед початком розробки моделі обговоримо вимоги до неї. Ці вимоги повинні бути пов'язані з практикою експлуатації моделі. Тобто вони обумовлені характером, обсягом і заходом ілюстративності

інформації, яка передбачається до отримання засобами моделі, що розробляється. Графічний інтерфейс не потрібен. Надмірність графічного інтерфейсу визначається тим, що інформація виводиться виключно в цифровій формі, в текстовому форматі, безпосередньо в Протокол експерименту. Статистична обробка результатів декількох запусків моделі також не потрібна. У даній роботі ми обмежуємося лише ілюстративною стороною. Достатньою є побудова гістограм розподілу числа клітин КА за значенням їх ресурсу, по декілька запусків моделі. Сама побудова графіків гістограм в рамках моделюючої програми так само не потрібна. Моделююча програма повинна видати числові дані, а графіки будуватимуться в табличному процесорі (Excel, Libre Office або Open Office) при розборі і аналізі результатів, тобто не в єдиному потоці з роботою моделі. Даний підхід з рознесенням етапів моделювання та обробки і візуалізації результатів обрано як максимально зручний з точки зору трудовитрат на розробку і налагодження програми, а так само з урахуванням зручності процесу проведення досліджень. Подібний підхід так само зручний тим, що не пред'являється ніяких істотних вимог до мови програмування та обмежень на стиль програмування. В ескізному (первинному) варіанті програма може бути написана в простому процедурному стилі. Якщо підхід виявиться в цілому вдалим, а програма виявиться як необхідна - для швидкості її роботи і зниження ресурсоемності доцільний функціональний стиль програмування. У цій реалізації вимога функціонального стилю не висувається. Оскільки, як зазначено, можлива подальша переробка програми з виконанням її в функціональному стилі - доцільно спочатку реалізувати її на мові Python. Ця вимога обумовлена тим, що мова Python підтримує функціональний стиль (в ньому є набір відповідних операторів), і, таким чином, програма з'явиться напрацьована для подальшого модифікування.

Також необхідно зазначити модельні обмеження. Вони в основному обумовлені мірою абстрактності, яка спочатку закладається в модель. Позитивна сторона наявних обмежень - відсікання факторів і характеристик, що не торкаються на даному (поточному) етапі моделювання. Розглядається (моделюється) тільки двовимірний клітинний автомат. Якщо буде потрібно багатовимірне розширення, то воно може бути завжди доопрацьовано при наявності двовимірного аналога. Але трудомісткість розробки, а також самого процесу роботи з багатовимірною моделлю - зростає в квадратичній або навіть кубічній залежності. Тому, доцільністю диктується двовимірне обмеження. Розглядаються тільки квадратні поля КА. У відношенні реалізації дане обмеження саме несуттєве. Але характерно, що їм задається конкретність. Якщо прийняти поле прямокутної форми, то принаймні це ще один додатковий параметр, за яким потрібно проводити дослідження. Розглядаються варіанти сусідства 4, 6 і 8. Вони є досить простими. В принципі, можуть бути вказані інші значення функції сусідства, але це знову призводить до збільшення параметрів моделі.

Модель передбачається для дослідження на комп'ютерах загального призначення. Спеціальні багато-

процесорні розпаралеленовані системи використовувати не передбачається. Відповідно, в текст програми відповідні (зокрема багатопотокові) можливості не закладаються. Наступне питання пов'язане з використанням будь-яких спеціалізованих математичних пакетів. Модель виконується в самодостатньому варіанті, на стандартній мові Python без будь-яких спеціальних мовних розширень. Уявімо алгоритм моделі у вигляді покрокового опису (рис. 1).

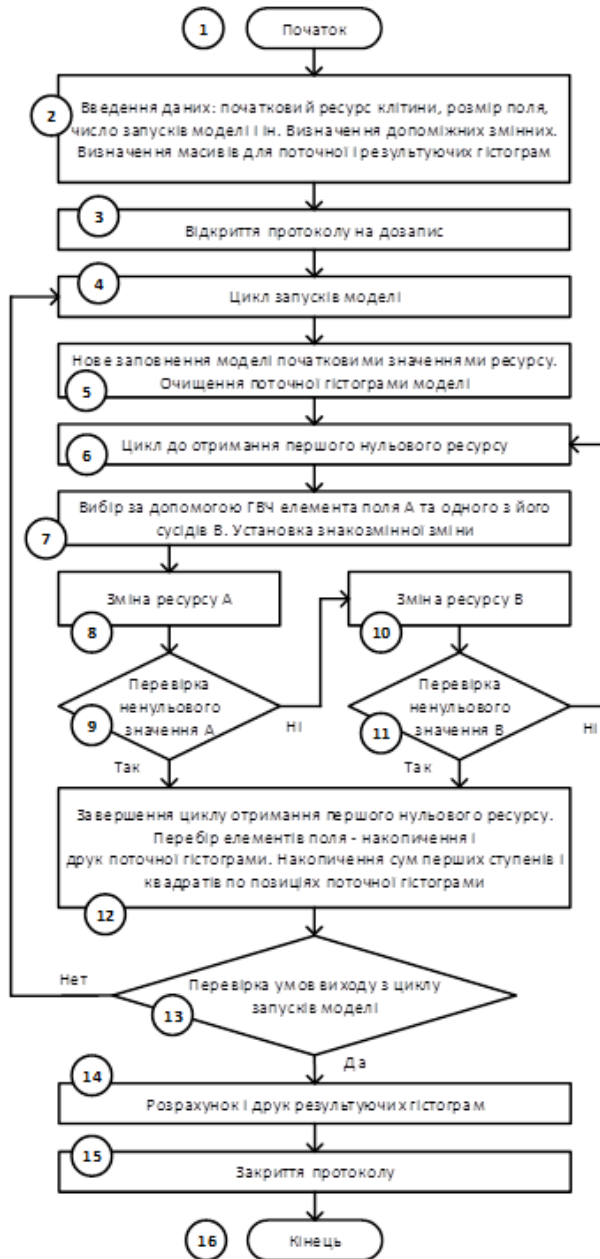


Рис. 1. Структурна схема ресурсної клітинно-автоматної моделі

Крок 1. Пуск. Запуск програми. Параметри запуску (вихідні дані) зберігаються в окремому файлі - стартовому протоколі, який повинен бути доступний при запуску програми. Це робиться для того, щоб програму, що реалізує модель, можна було запускати автономно, не коригуючи при цьому текст програми (з подальшою перекомпіляцією в виконуваний код) всякий раз при введенні нових початкових даних.

Уточнення початкового тексту програми може знадобитися тільки для модифікування (наприклад, розширення набору параметрів) моделі. Подібне модифікування - є переналагодження моделі для нового дослідження, по суті створення нової моделі. Принаймні, мова може йти про новий (інший) план експерименту, що включає, можливо, нові параметри і (або) нову послідовність операцій.

Крок 2. Введення N кількості застосувань моделі та інших значень параметрів. Ініціалізація експериментального протоколу.

Число N реалізацій моделі є число послідовних перезапусків моделі (всередині одного запуску програми) для набору статистично достовірної вибірки результатів. Важливими параметрами, що вводяться під час запуску програми, є так само конфігурація (прямокутна) і розмір поля клітинного автомата. Конфігурація задається вказівкою розмірів (довжини і ширини) поля. Вся ця інформація вводиться в програму з вхідного (стартового) Протоколу. Протокол експерименту (вихідний Протокол) створюється на дозапис, тобто з параметром append. Ініціалізація Протоколу полягає в наступному: ім'я вихідного Протоколу зчитується з вхідного (стартового) Протоколу. Якщо програма не знаходить файлу з таким ім'ям - вона створює порожній файл. Потім програма відкриває цей файл (колишній перш, знайдений в директорії, або новостворений) на дозапис, без видалення колишнього контенту. Файл залишається відкритим весь час роботи програми і закривається тільки при завершенні (Крок 14 - Стоп). Таким чином, в єдиний Протокол експериментів збирається вся вихідна інформація: не тільки послідовні запуски моделі всередині одного старту програми, а й всі послідовні запуски програми. Крім того, при ініціалізації Протоколу, в Протокол заносяться всі дані зі стартового протоколу. Таким чином, кожного разу при запуску програми протоколюється повний початковий стан серії з N реалізацій моделі.

Крок 3. Запуск чергової реалізації моделі. Установка початкових значень ресурсів клітин КА. Обнулення гістограми

Як зазначалося, модель всередині програми запускається N-кратно. Тобто після першого проходження моделі, сюди в цю точку Крок 3 буде ще (N-1) повернень. Всякий раз заново встановлюються значення ресурсів клітин клітинного автомата. Ресурс клітини є число її подальших поділів в процесі функціонування організму. У початковому стані (при «народженні» модельного організму) всі клітини КА мають однаковий максимальний ресурс, значення якого задається в стартовому протоколі. При першому проході моделі - масив гістограми ще порожній. Після завершення кожної реалізації в масиві міститься розподіл числа клітин по їх залишковим ресурсам. Як зазначалося, отримання цього розподілу - мета моделювання. Після скидання гістограми в Протокол експерименту, ця інформація всередині програми більше не потрібна. Тому при кожному новому запуску реалізації моделі, масив гістограми обнуляється.

Крок 4. Початком наступного кроку в клітинному автоматі є збільшення лічильника робочого циклу з КА на одиницю. При цьому здійснюється

(моделюється, відтворюється) черговий поділ клітин. Для цього обирається деяка клітка А з поля клітинного автомата (Крок 5) і один з її сусідів В (Крок 6).

Крок 5. Вибір клітини А здійснюється псевдовипадковим чином, тобто позиція клітини в полі КА вказується з використанням генератора випадкових чисел (ГВЧ). Моделювання (в даній версії моделі) здійснюється до першого обнулення ресурсу клітини. Тому процедура вибору клітини А - «спрацьовує» з першого разу і не припускає повторного звернення до ГСЧ. Таким чином, модель «не гальмуватиме» у міру вироблення ресурсу КА.

Крок 6. Вибір В як сусіда А відбувається так само за допомогою ГВЧ. Кількість сусідів є параметром моделі, який вводиться з протоколу ініціалізації. У даній роботі нами розглядаються прості випадки – двовимірні КА з функцією сусідства 4, 6 і 8. Значення 6 відповідає гексагональній (шестикутній) симетрії, значення 4 і 8 - тетрагональній (квадратній), без урахування і з урахуванням діагональних (кутових) квадратів відповідно.

Крок 7. Зменшення на одиницю ресурсів А і В. В даній моделі мається на увазі наступна ситуація: клітка А гине, а одна з клітин її оточення (сусідства), а саме клітина В, ділиться і заповнює вакансію. В результаті цього поділу обидві клітини (клітина В і її клон, що заповнює місце клітини А) втрачають по одній одиниці значення свого ресурсу. Тобто, вони стають «старіше» на одну одиницю (на один «тік внутрішнього годинника») «індивідуального біологічного часу життя», хід якого - в зворотному відліку - ми по суті і відтворюємо в цій моделі.

Крок 8. Моніторинг поля КА. Заповнюється масив гістограми. Проходиться область СА і виділяються клітинки СА. Підраховується кількість комірок у кожному "віці". Знову заповнюється масив гістограми. По суті, масив гістограми щоразу обнуляється і перезаповнюється на даному Кроці алгоритму моделі.

Крок 9. Вивід гістограми в Протокол. Після завершення польового обстеження КА масив гістограми містить поточне розташування комірок КА за віковими групами. Масив скидається до протоколу. Цінність цієї інформації - поточний стан моделі. Інформація може бути корисна якщо ми хочемо простежити «динаміку старіння» КА.

Крок 12. Перевірка досягнення порогового значення витрачання ресурсів КА. В даному варіанті моделі граничним значенням (сигналом для завершення чергової реалізації моделі) є поява першої клітини з нульовим ресурсом. У конкретних додатках, при моделюванні поведінки конкретних біологічних організмів, можливо, критерій завершення буде інший. У інтерпретаційному плані, перша клітина з нульовим ресурсом може бути тільки сигналом до початку редукції певного організму. Якщо моделюється інша ситуація, - критерій завершення роботи моделі може бути інший.

Крок 13. Проводиться запис до протоколу про завершення поточної реалізації моделі. Додатково, в програму може бути вставлена окрема статистична обробка. В даному варіанті такої обробки немає. Завершенням роботи моделі є фіксація фінального стану гістограми.

Крок 14. Перевірка відпрацювання необхідного числа N реалізацій моделі. Як зазначалося вище, під час кожного запуску програми послідовно обробляється N повних шляхів моделі. На даному етапі перевіряється факт відпрацювання всіх (необхідного числа) реалізацій.

Крок 15. Закриття Протоколу. На даному Кроці може реєструватися тривалість роботи програми. Фіксація тривалості може бути цікавою, якщо вивчаються можливість практичної роботи з моделлю, зокрема залежність від розмірів поля КА і з урахуванням конкретної продуктивності обчислювальних коштів.

Крок 16. Стоп. Зупинка програми. Результат роботи програми - Протокол - зберігається в окремому файлі.

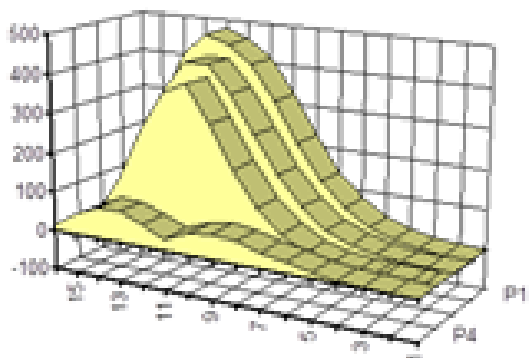
Моделювання та аналіз результатів

З використанням розробленого програмного продукту згідно розробленого плану машинних експериментів, була проведена серія запусків моделі розподіленої системи - нерегулярного клітинного автомата. Мета машинних експериментів (крім демонстрації працездатності розробленого програмного продукту) - отримання оціночних значень тривалості функціонування і динаміки старіння «віртуального організму», відтвореного моделлю.

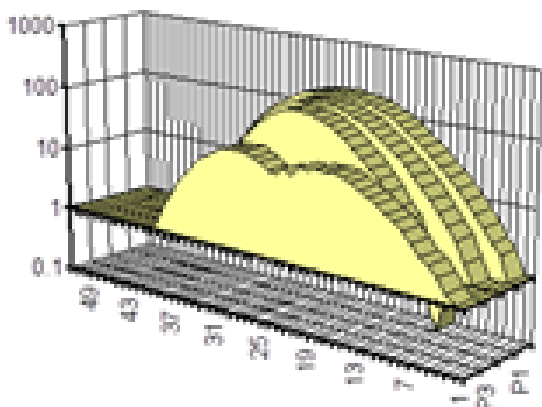
На початку протоколу вказаний тип (топология) модельованого клітинного автомата (одношаровий двовимірний ресурсний), граничне число реалізацій в кожному запуску моделі (1000), а так само два параметри моделі (ресурс клітини та розмір поля), повний перебір комбінацій яких складає предмет машинного експерименту. Було задано 9 значень ресурсу клітини (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 і 50), а також 4 значення для розміру клітинного поля (50, 100, 150 і 200). Таким чином, в ході машинного експерименту розглядаються поля розміром (50 x 50), (100 x 100), (150 x 150) і (200 x 200). В результаті, сумарне число запусків моделі - 36.

Граничне число реалізацій - 1000 - вибрано як компромісне. Критерій компромісу: при такому числі забезпечується отримання змістовних результатів за прийнятний час на наявних типових обчислювальних засобах (персональних комп'ютерах). Дані після нормування округлені до цілих значень. У такому вигляді вони більш наочно розміщуються в таблиці. Для полегшення візуального аналізу за таблицями побудовані графіки. Кожен графік показує 15 розподілів числа клітин поля за значенням ресурсу. Деякі з них представлені в роботі (рис. 2).

Слід звернути увагу на обмеження контексту експерименту і вплив їх на отримані результати. Так, зазначена вище обмеженість тимчасових рамок і її вплив на стійкість результатів - чітко видно на зіставленні графіків в лінійному і логарифмічному масштабах. Особливо цікавий «хвіст» графіка, відповідний «періоду старості віртуального організму», наближенню ситуації появи першого нульового ресурсу. Мабуть, цікавим напрямком вивчення може з'явитися підбір параметрів моделі, при якому росте гладкість зазначеного «хвоста».



а – ресурс клітини 15



б – ресурс клітини 45

Рис. 3. Результати моделювання (розмір поля 50)

«Гладкий» та «тривалий» хвіст графіка - вказівка на більш високу рівномірність використання ресурсу осередків клітинного автомата.

Інтерпретація параметрів предметної області може забезпечити при цьому цілком конкретні позитивні рекомендації.

Висновки

Розроблені і реалізовані клітинно-автоматні комп'ютерні моделі для дослідження поведінки структури в умовах знакозмінної зміни параметрів, що визначають ресурсність.

Розроблено програмне забезпечення для реалізації моделі; продемонстрована працездатність програми; побудовані і виконані пробні плани машинних експериментів.

Дані короткі обґрунтування до вибору базових програмних засобів для реалізації моделі.

Відзначено, що основне призначення моделі - отримання даних.

У зв'язку з цим визнано доцільне рознесення інформаційних і ілюстративно-оформлювальних аспектів моделювання за рахунок використання різних спеціалізованих програмних продуктів.

Конкретизовано поділ функцій моделі по програмним продуктам.

Описано основні етапи налагодження моделі з використанням протоколів.

Також в статті прокоментована графічна візуалізація отриманих результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Михаль, О.Ф. Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники // Бионика интеллекта. - 2014. - №1 (82). - С. 55-62
2. Gardner, Martin (October 1970). "The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game 'life'" (PDF). *Mathematical Games*. Scientific American. Vol. 223, no. 4. pp. 120-123.
3. Berlekamp, E. R. *Winning Ways for your Mathematical Plays* / E. R. Berlekamp, John Horton Conway, R. K. Guy. - 2nd. - A K Peters Ltd, 2001-2004.

Received (Надійшла) 02.12.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.01.2024

Modeling of resource coordination of distributed information systems

D. Diachenko, A. Huk, O. Mikhal

Abstract. Topicality. The paper analyzes the problems associated with modeling the behavior and interaction of objects of living nature in biological systems. The relevance of developments in this direction of modeling, which is at the interface between biology and the general theory of systems, is noted. The range of issues to be modeled within the framework of this work has been specified. The cell of a living organism has a resource in the number of divisions. This resource is consumed in the process of vital activity of the organism. It is interesting to study by means of computer modeling the limitations of the vital activity of a multicellular organism related to the consumption of this resource. Computer modeling allows you to significantly save resources that are spent in the process of learning and mastering nature, in particular, in the course of developing applied technical and information systems. Cellular automata make it possible to abstract from many non-essential features of objects, focusing mainly on the cyclicity of processes, the spatial distribution of objects, the discreteness of mutual independence of events. In resource-based cellular automata, the temporal limitation of processes is additionally taken into account: the reduction of possibilities for their further continuation. The set of these qualities creates a formal cause-and-effect environment, convenient for examining the objects under study. A resource is the value of a certain parameter (or several parameters), critical for the continued functioning of a certain element of a cellular automaton. The resource can be set initially and can decrease during the functioning of the cellular automaton. The requirements for the developed model are formulated, which are determined by the nature, volume and degree of illustrativeness of the information that is expected to be obtained. The execution language of the model is Python. The algorithm of the model is presented in the form of a step-by-step description, with the necessary commenting, which is used later in the development of the software implementation of the model. The structural diagram of the model is presented and commented. The correspondence of the blocks of the structural diagram of the step-by-step description of the algorithm of the model is shown. The purpose of the work is the development and implementation of a cellular-automatic computer model for studying the behavior of the structure under conditions of sign-variable change of the parameters that determine the resource capacity.

Keywords: cellular automaton, resource, distributed information system, resource recovery, protocol.