УДК 656.022
UDC 656.022

Пустюльга С.І., Самчук В.П., Придюк В.М., Самостян В.Р.
Луцький національний технічний університет

ДИСКРЕТНЕ (ПІКСЕЛЬНЕ) ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА ДЛЯ ТОПОЛОГІЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЇЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

Робота присвячена розробці способів дискретного (піксельного) представлення транспортної мережі міста для топологічної ідентифікації та фрактальної оцінки її структурних складових.

Розвиток транспортної мережі міст іде, як правило, шляхом ускладнення топологічної структури маршрутів пересування та взаємовідносин між геометричними характеристиками їх окремих елементів. Такі тенденції свідчать про необхідність розробки ефективних математичних методів моделювання нових та оптимізації вже існуючих мереж, в основі якої лежатимуть алгоритми аналізу та кількісної оцінки якості функціонування транспортної системи міста.

Властивості міської транспортної мережі істотним чином залежать від складності її геометрії та топологічної структури. Аналіз літературних джерел показав, що транспортну мережу міста, з топологічних позицій, можна розглядати як сукупність великого числа розподілених точок або областей (зупинкових вузлів чи обмежених територій), які взаємодіють між собою через транспортні канали, тобто маршрути. При цьому, топологія складної транспортної мережі є випадковим фракталом, оскільки її мала частина подібна цілої. Розмірність цієї множини точок, областей і ліній має дробову розмірність. Розрахувавши розмірність мережі, можна кількісно виразити її системні властивості і знайти загальні закономірності удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків.

При визначенні фрактальної розмірності зображення клітковим методом геометрична структура мережі, на кожному кроці ітерації, покривається клітинами певних розмірів. Відтак, пропонується, відразу, представляти зображення у дискретному вигляді на решітці з клітинами мінімального розміру (може бути розмір пікселя), ідентифікувати фрагменти заданої структури, а у подальшому розраховувати потрібні геометричні параметри та проводити їх аналіз. При цьому, необхідно класифікувати окремі об’єкти та фрагменти, а також виявити геометричні критерії, за якими визначатиметься ступінь фрактальності як фрагментів, так і структури в цілому.

Для ідентифікації зображень запропоновано топологічну класифікацію дискретних моделей геометричних об’єктів та комбінованих множин на площині. Визначено основні характеристики зв’язності окремих клітин дискретних бінарних моделей множин довільної розмірності. Запропонована структура практичної ідентифікації комбінацій геометричних об’єктів, які зустрічаються на зображеннях міських маршрутних схем.

Подальші дослідження із даної тематики проводяться у напрямі виокремлення та обчислення геометричних характеристик об’єктів для запропонованих дискретних кліткових моделей.

Ключові слова: транспортна мережа міста, дискретне представлення, топологічна ідентифікація, фрактальний аналіз, комбіновані множини, кліткова модель.

ВСТУП

Сучасні транспортні мережі міст є великими системами із складною розгалуженою топологічною структурою і значною кількістю підсистем (наприклад, маршрутів), елементів (наприклад, зупинок) і зв’язків [8]. Топологія міських транспортних мереж обумовлює їх ключові системні властивості: доступність, надійність, пропускну здатність, економічність і т. і. [4].

Подальший розвиток транспортної мережі міст іде, як правило, шляхом ще більшого ускладнення топологічної структури маршрутів пересування та взаємовідносин між геометричними характеристиками їх окремих елементів [7]. Такі тенденції свідчать про необхідність розробки ефективних математичних методів моделювання нових та оптимізації вже існуючих мереж, в основі якої лежатимуть алгоритми аналізу та кількісної оцінки якості функціонування транспортної системи міста.

Властивості міської транспортної мережі істотним чином залежать від складності її геометрії та топологічної структури. При цьому, однією із фундаментальних характеристик геометричної складності мережі є її топологічна розмірність. Розрахувавши розмірність топології мережі, можна кількісно виразити її системні властивості і знайти загальні закономірності удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків.

Розмірність топології складних транспортних систем і мереж не можна обчислити, використовуючи звичайну (Евклідову) розмірність, що має тільки цілочислові значення. На практиці такі складні мережі представляють собою «павутину» із «класичних» та фрактальних (квазіфрактальних) геометричних об’єктів, що характеризуються певними зовнішніми обмеженнями геометричних властивостей фрагментів та можливостями їх росту. Ця обставина дозволяє використати метод визначення розмірності топології таких транспортних мереж, що базується на властивостях, притаманних фракталам.

З топологічних позицій, транспортну мережу міста можна розглядати як сукупність великого числа розподілених точок або областей (зупинкових вузлів чи обмежених територій), які взаємодіють між собою через транспортні канали, тобто маршрути [6], [14]. При цьому топологія складної транспортної мережі є випадковим фракталом, оскільки її мала частина подібна цілої. Розмірність цієї множини точок, областей і ліній має дробову, або фрактальну розмірність.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При проведенні фрактального аналізу зображення будь-яких «природних» чи штучно створених об’єктів із нечіткою, нерегулярною, зламаною геометричною формою, у тому числі схем транспортної мережі міст, слід враховувати той факт, що різні фрагменти цього зображення можуть мати різні величини розмірності [5]. На величину дробової розмірності суттєво впливає наявність різних множин фрагментів із фрактальною та нефрактальною структурою.

Методів для підрахунку фрактальної розмірності геометричних форм на зображеннях існує безліч [3], [9]. Але на практиці, як правило, не важливою є точність визначення фрактальної розмірності заданого зображення мережі або її окремих фрагментів. Важливими є стандарт процедури обчислення та тренд, закономірність зміни величини розмірності в залежності від покращення або погіршення певних визначальних характеристик структури.

Відомо достатньо багато наукових джерел у вітчизняних та зарубіжних виданнях, присвячених фрактальному аналізу і синтезу зображень різного роду природних і штучних об’єктів [3]. Ці роботи стосуються різних методів підрахунку фрактальної розмірності, дослідженням впливу величини розмірності на параметри і визначальні характеристики заданих об’єктів, у ряді публікацій обговорюються проблеми оптимізації модельованих систем на основі фрактального аналізу [10], [11], [12], [13].

Серед вищезгаданих наукових праць варто відмітити роботи [3], [13], у яких фрактальна розмірність заданих топологічних структур оцінюється за допомогою простого, однак ефективного для практичних задач, box-counting методу. У ньому розрахунок розмірності базується на основі, так званого, кліткового підходу до визначення розмірності Хаусдорфа для об’єктів довільної геометричної форми або їх комплексів. Суть методу полягає у наступному. Зображення об’єкту покривається сіткою із розміром клітини δ (рис. 1). Підраховується число клітин N(δ), що повністю покривають досліджуваний об’єкт клітинами заданого розміру. А розмірність Хаусдорфа знаходиться за допомогою співвідношення:

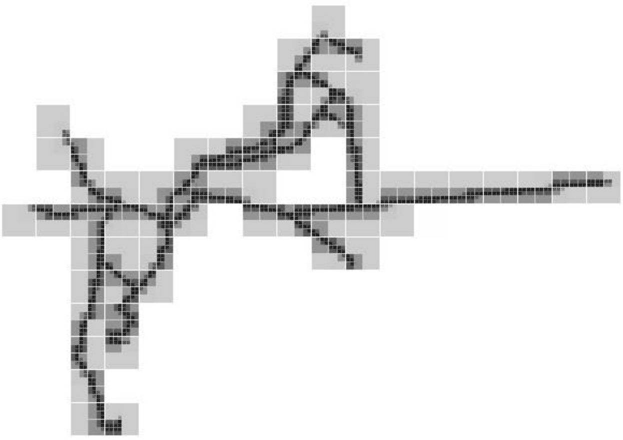


Рисунок 1

$$D = -\lim_{\delta \to \infty} \frac{\ln N(\delta)}{\ln(\delta)}. \qquad (1)$$

Основною відмінністю фрактальних об’єктів від традиційних, «класичних» геометричних образів, є відсутність цілочислової розмірності, тому одним із основних способів ідентифікації фрактальних структур є порівняння їх розмірності із топологічною розмірністю, яку часто називають індуктивною.

Оскільки достатньо важливим завданням як геометрії, так і практики розв’язання різних технічних задач (у тому числі, удосконалення складних транспортних мереж) є ефективна ідентифікація геометричних образів або їх сукупностей для розпізнавання та коректного фрактального аналізу зображень фрагментів, необхідно виробити стандартизований підхід до їх представлення.

При визначенні фрактальної розмірності образу кліткового методом геометрична структура, на кожному кроці ітерації, покривається клітинами певних розмірів (рис. 1). Відтак, пропонується, відразу представляти зображення у дискретному вигляді на решітці з клітинами певного мінімального розміру (може бути розмір пікселя), ідентифікувати фрагменти заданої структури, а у подальшому розраховувати потрібні геометричні параметри та проводити їх аналіз. Для цього, перш за все, необхідно класифікувати окремі об'єкти та фрагменти, а також виявити геометричні критерії, за якими визначатиметься ступінь фрактальності як фрагментів, так і структури в цілому.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є – розробка способів дискретного (піксельного) представлення транспортної мережі міста для топологічної ідентифікації та фрактального аналізу її структурних складових.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні задачі:

1.Проаналізувати можливість представлення транспортної мережі міста як дискретну сукупність геометричних об'єктів та фрактальних множин.

2.Розробити методику дискретного (піксельного) представлення міської транспортної мережі для оцінки складності її структури.

3.Розробити способи кількісного вираження системних топологічних властивостей мережі або окремих її фрагментів для удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків у місті.

4.Розробити топологічну класифікацію дискретних моделей геометричних об'єктів та комбінованих фрактальних множин на площині для ідентифікації зображень міських маршрутних схем.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз дискретних растрових моделей зображень міських транспортних мереж (рис. 2) із лініями та областями фрактального і нефрактального типу полягає у вивченні потрібних геометричних характеристик або зображення в цілому, або його окремих фрагментів.

Всі «класичні» (нефрактальні) геометричні образи мають таку властивість, що будь-який n-вимірний об'єкт має $(n-1)$-вимірну границю. Наприклад: 3-вимірний об'єкт має 2-вимірні границі (куб - квадрати), 2-вимірний – 1- вимірні границі (квадрат - відрізки прямої), 1-вимірний – 0-вимірні границі (відрізок - точки). У роботах [10], [12] були розглянуті множини об'єктів (точок) із розмірністю 0. Про такі об'єкти можна сказати, що границя у них відсутня, або такі об'єкти обмежені пустою множиною із розмірністю (-1).

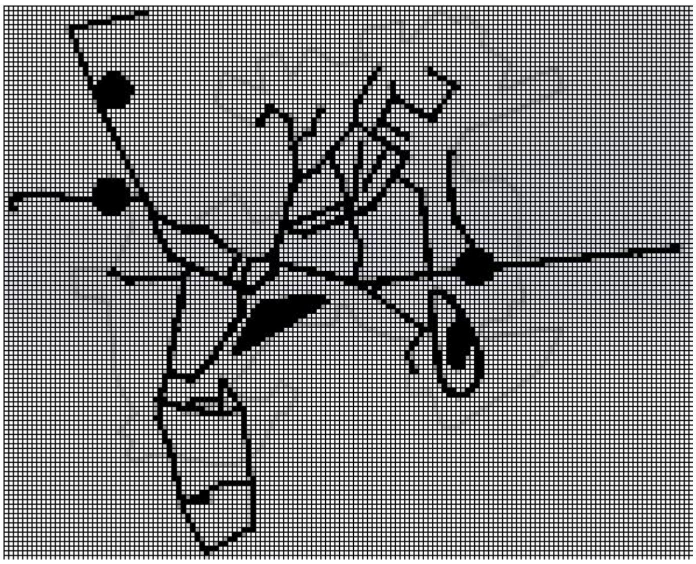


Рисунок 2

Користуючись поняттям границя, можна за індукцією побудувати всю множину топологічних розмірностей геометричних об'єктів у просторах довільного числа вимірів.

Якщо розглядати дискретні моделі об'єктів фрактального типу, наприклад, лінії, області та їх комбіновані множини на зображеннях (що часто зустрічається при розв'язанні практичних задач), то можна висловити гіпотезу, що такі фрактальні образи є хаотичними, геометрично нерегулярними і при скейлингу будь-якого масштабу не вироджуються у прямі лінії чи гладкі криві. При цьому, для них не існує такого поняття як диференційованість функції або поняття єдиної дотичної у довільних точках замкнутої чи незамкнутої фрактальної лінії. Вимірюючи довжину дискретної моделі фрактальної лінії різномасштабними лінійками, ми весь час будемо отримувати зростаючу довжину об'єкту. Так як і для дискретних моделей «класичних» геометричних образів, для об'єктів фрактального або квазіфрактального типу важливим фактором ідентифікації є поняття границі. Відповідно до цього ми пропонуємо наступну класифікацію всієї множини дискретних геометричних об'єктів стосовно аналізу транспортних мереж, маршрутів та систем міста (рис. 3).

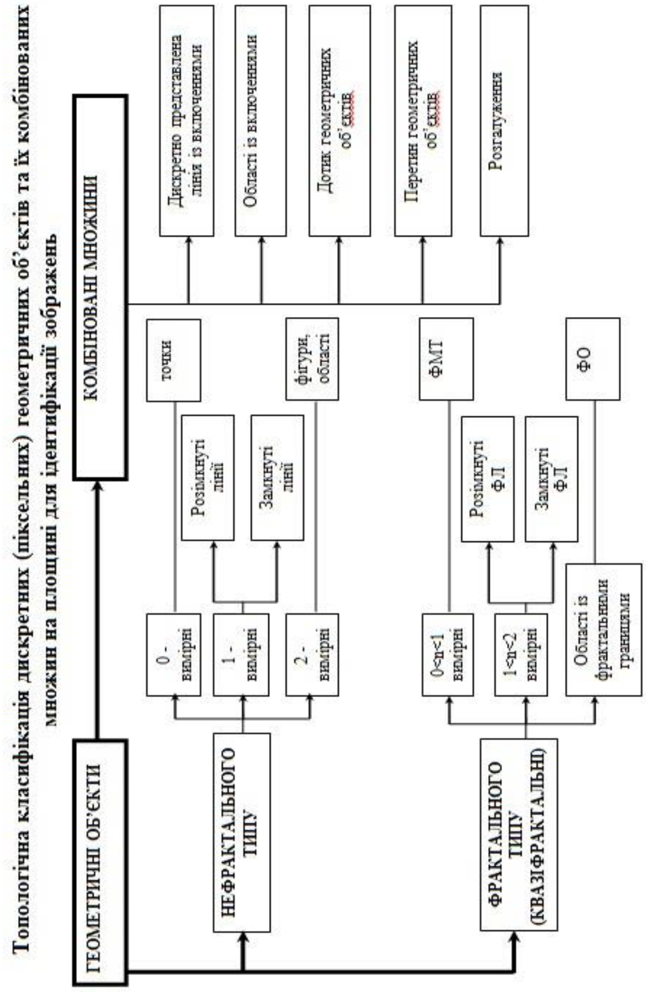


Рисунок 3

Як відмічалося нами вище, для того, щоб у практичних задачах можна було оцінити всі визначальні геометричні характеристики об'єктів на зображенні, необхідно привести його до певного стандарту. Таким стандартом вважатимемо бінарне представлення заданого зображення.

Бінарне зображення - це двокольорова картинка, на якій представлені один, декілька, або певна множина геометричних об'єктів одного кольору на фоні, що має інший колір. Такі зображення представляються у комп'ютері у вигляді матриці точок, кожна із яких може мати лише одне із двох значень кольору, що умовно визначаються через 0 або 1. Точки можна також називати пікселями (pixel - pictures element) (рис. 1).

Для розв'язання наших задач, будемо вважатимемо бінарне зображення завжди «чорно-білим»: точки об'єктів є чорними (значення кольору дорівнює 1), а точки фону - білими (значення кольору рівне 0). Таке представлення відповідає звичному способу малювання чорним чорнилом на білому папері.

Бінарні зображення вимагають мінімальних розмірів пам'яті для зберігання ПК (досить одного біта на один піксель) і дозволяють мінімізувати витрату інших обчислювальних ресурсів для вирішення завдань обробки та аналізу.

У сучасних системах комп'ютерної ідентифікації бінарні зображення відіграють достатньо важливу роль. Вони дозволяють виділити потрібні об'єкти на зображенні і є основою для аналізу і розпізнавання геометричної форми виділених об'єктів [1].

Процес перетворення кольорових або півтонових зображень у бінарні - називається бінаризацією [2] (рис. 4). Результатом перетворень, зокрема, являється визначення таких властивостей точок зображення, які дають однозначну інформацію, чи належать точки тому або іншому об'єкту, чи їх слід відносити до фону.

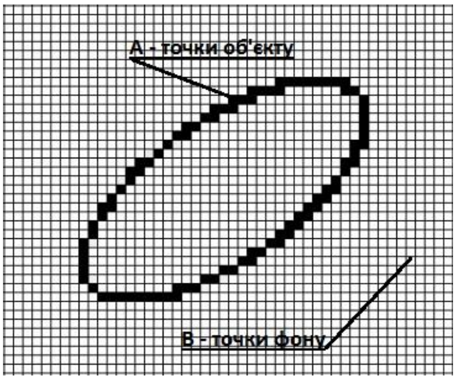


Рисунок 4

На основі перевірки виконання цих властивостей для усіх точок зображення і створюється дискретне двокольорове растрове зображення, у якому чорні точки відповідають об'єкту, а білі - фону.

Звісно, що дискретне зображення, представлене у вигляді матриці точок, є надзвичайно зручним для вводу та обробки його на комп'ютері. Однак, описати будь-яку «класичну» фігуру, наприклад, круг, овал або багатокутник, в термінах матриці точок представляється набагато важчим завданням, а ніж описання тих же фігур класичними математичними методами.

При достатньо малому кроці дискретизації людське око не сприймає точки як окремі елементи зображення, а об'єднує їх у неперервні фігури. Проте комп'ютер сприймає зображення саме як матрицю точок, незалежно від роздільної здатності відеокамер і відповідних сканерів.

Ще складнішими будуть виглядати алгоритми бінаризації об'єктів фрактального або квазіфрактального типу із-за достатньо нерегулярної, різаної структури їх геометричної форми і особливостей знаходження порогу сегментації піксельного двокольорового представлення. Тому побудова якісних моделей дискретного представлення як «класичних», так і фрактальних об'єктів вкрай важлива для розв'язання цілої низки практичних задач.

Моделлю дискретного зображення у вигляді матриці двокольорових точок можуть служити квадратні решітки (рис. 4), які утворюються із точок перетину двох взаємно перпендикулярних сімейств паралельних прямих із відстанню між ними, рівною масштабній одиниці (***unit***). А у якості одиниці може вибиратися величина, рівна, наприклад, розміру пікселя на бінарному зображенні. Растровою решіткою, при цьому, будемо називати квадратну сітку із цілочисловими координатами.

Якщо у неперервному представленні немає особливих проблем із зв'язністю множин точок, що представляють певні геометричні образи, то у дискретних моделях тих же образів на растрових решітках питання зв'язності потребує додаткових визначень.

З цією метою, для точок геометричних образів різної розмірності на растрових решітках, вводиться поняття структури сусідства. Структура сусідства є бінарним відношенням між точками окремих об'єктів на решітці, тобто чорними та білими клітинами.

Нехай задано ***A*** і ***B*** - дві множини: дискретні елементи об'єкту і фону. Кожен елемент (піксель) ***i,j*** зображення має вісім сусідів, які визначаються відповідно до схеми (рис. 5).

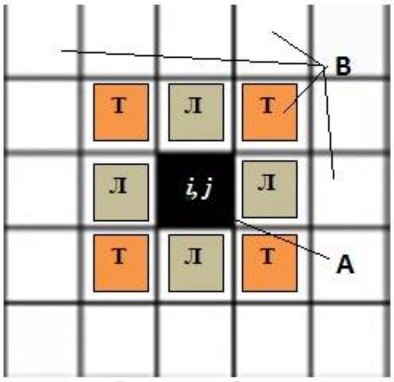


Рисунок 5

Безліч усіх сусідів (***Т*** і ***Л***) елементу ***i,j*** будемо називати 8-сусідами. Сусіди зі спільними лініями (***Л***) – називаються прямими сусідами, або 4-сусідами. Сусіди зі спільними точками (***Т***) - це непрямі сусіди. У загальному випадку під поняттям сусідства будемо розуміти об'єднання всіх восьми сусідів.

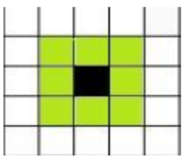
Одним із найважливіших параметрів на бінарному зображенні є відстань між пікселями. Відстань між двома пікселями - це довжина найкоротшого відрізка, що їх сполучає. У растрових решітках дві точки називаються безпосередніми сусідами (чи просто сусідами), якщо відстань між ними дорівнює 1(***unit***). Дві точки називаються непрямими сусідами, якщо відстань між ними рівна $\sqrt{2}$ (***unit***). Найбільш популярними структурами сусідства точок на растрових решітках - є 4-суміжність і 8-суміжність. 4-суміжністю будемо називати структуру сусідства, при якій сусідніми точками вважаються тільки безпосередні сусіди (***Л***). 8-суміжністю (чи слабкою суміжністю) буде називатися структура сусідства, при якій сусідніми точками вважаються як безпосередні, так і непрямі сусіди (***Л*** і ***Т***).

Із структурою сусідства тісно повязане поняття зв'язності. Множина точок у растрових решітках буде називатися зв'язною, якщо кожна із точок множини має хоча б один із варіантів сусідства. Дві множини точок називаються розділеними, якщо їх об'єднання не є зв'язним.

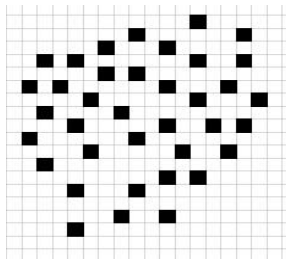
На основі зв'язності окремих елементів моделі об'єкту, наведемо визначення дискретної фігури на бінарному зображенні. Дискретною фігурою називається «максимально зв'язна» множина чорних точок на растровій решітці. Термін «максимально зв'язна» буде означати, що дискретна фігура не міститься ні в якій іншій зв'язній множині чорних точок, що не співпадає із цією фігурою. Таких «максимально зв'язних» множин на бінарному зображенні може бути декілька. Цим і будемо ідентифікувати наявність різної кількості геометричних фігур на заданому зображенні.

Слід зазначити, що склад і кількість дискретних фігур для одного і того ж бінарного зображення може різнитися залежно від того, яка структура сусідства задана на растровій решітці. При цьому, як зазначалося вище, важливим фактором визначеності моделі є поняття границі і для нефрактальних об'єктів, і для об'єктів фрактального типу.

Для представлення границь клітинної (піксельної) моделі дискретно представленої фігури необхідно визначити поняття граничної точки та граничної лінії на растрових решітках. Ці поняття сформулюємо також через структуру сусідства пікселів.



а



б

Рисунок 6

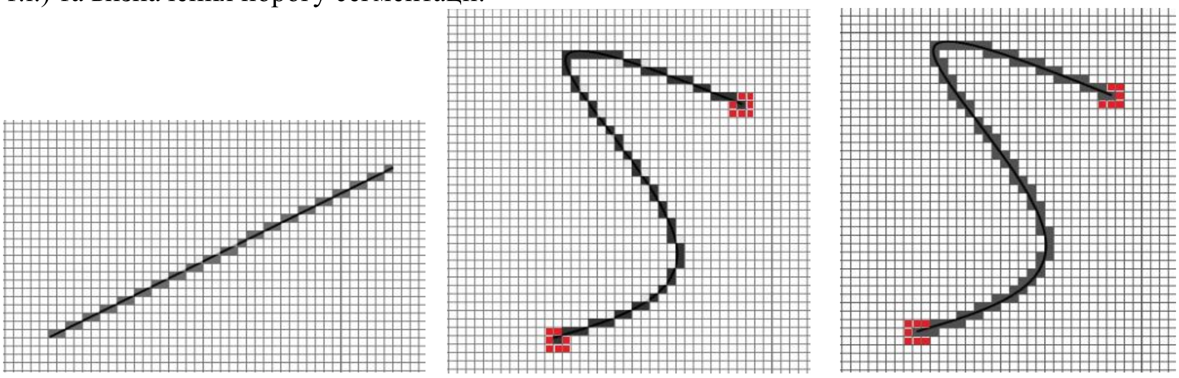
Точка (піксель), елемент дискретної фігури називається граничною, якщо вона має сусідню (білу) точку, що не належить фігурі.

Назвемо 0-вимірним дискретним об'єктом точку, що на бінарному зображенні відображається одним чорним пікселем і має на решітці 8 білих сусідів (рис. 6а). Відповідно, фрактальна множина точок - це незліченна множина окремих чорних пікселів, кожен із яких обов'язково має 8 білих сусідів растрової решітки (рис. 6б).

Під дискретно представленою лінією на растровій решітці будемо розуміти зв'язну множину точок шириною у одну клітину (піксель). При цьому ширина визначається стосовно структури сусідства. Це означає, що для кожної дискретно представленої точки (пікселя) лінії серед усіх 8 сусідніх точок мають бути, як мінімум, ще одна, а як максимум чотири чорні точки (за 8-зв'язністю) цієї лінії. У випадку наявності одного (безпосереднього (***Л***) чи непрямого (***Т***)) сусідства, або ж двох (із яких обов'язковими є обидва типи) чорних сусідів - точка моделі лінії є кінцевою (граничною) (рис. 7б,в). У випадку, коли клітина (піксель) має від 2 до 4 чорних сусідів - вона є внутрішньою точкою дискретно представленої незамкнутої лінії (рис. 7в). Такий тип зв'язності, де враховуються і безпосередні, і непрямі сусіди можна назвати ***змішаним*** або ***комбінованим*** типом зв'язності.

У замкнутої лінії на растрових решітках не існує кінцевих точок, тому у її дискретній клітковій (піксельній) моделі кожна точка повинна мати від 2 до 4 чорних сусідів (рис. 4). Приклади зображення ліній на растрових решітках представлені на рис. 7 а,б,в.

Запропоновані визначення у багатьох випадках дозволяють легко виділити на зображенні граничні точки (чорні пікселі) і об'єднати їх у лінію. Це надає можливість алгоритмічного визначення границь одновимірного образу на зображенні. Запропонована модель із комбінованою зв'язністю і шириною 1 клітина (рис. 7в) для 1-вимірного криволінійного об'єкту дозволяє (на відміну від інших моделей представлення - (рис. 7а та 7 б)) значно точніше ідентифікувати геометричні характеристики заданих образів для їх морфологічного аналізу (округлість, кривину і т.і.) та визначення порогу сегментації.



а б в

Рисунок 7

Якщо ж на дискретній клітковій моделі фрагменту зображення або її матричному представленні існує хоча б одна чорна клітина із чорними сусідами у кількості від 5 до 7 за 8-зв'язністю (рис. 8), то, в залежності від геометричних характеристик фрагменту, можна ідентифікувати об'єкт або сукупність об'єктів як 1-вимірний образ із потовщенням, або перетин, дотик декількох одновимірних образів загального положення (рис. 8).

Дискретні елементи (рис. 8) 1- є безпосередніми сусідами, елементи 2 - непрямі сусіди. Тобто, можна дискретну модель даного зображення ідентифікувати як перетин двох 1-вимірних образів.

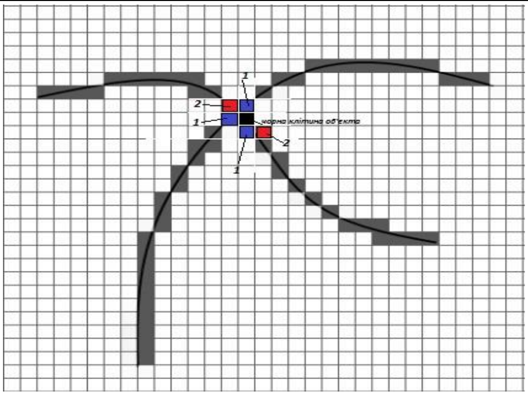


Рисунок 8

Ці об’єкти або їх сукупності можуть бути як нефрактального, так і фрактального типу, а також замкнутими або розімкнутими.

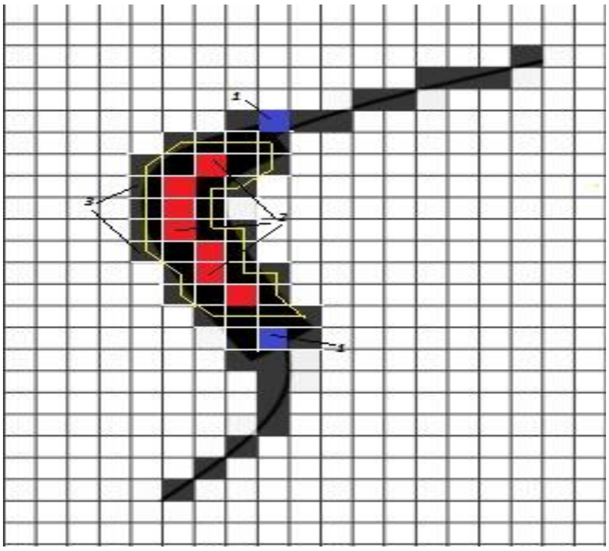


Рисунок 9

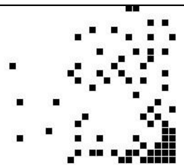
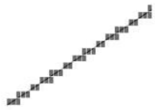
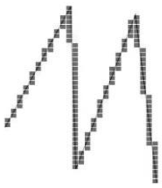
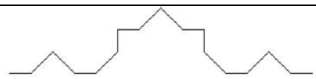
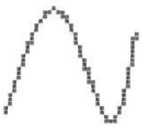
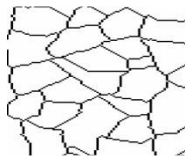
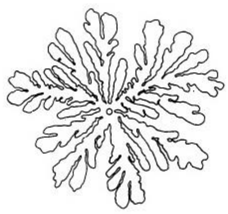
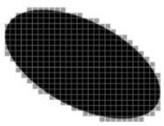
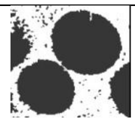
Якщо ж дискретна модель фрагменту має хоча б одну чорну клітину із 8 чорними сусідами (за 8-звязністю), то ідентифікується 2-вимірний геометричний образ фрактального чи нефрактального типу (рис. 9). Границями такого об’єкту будуть одновимірні множини клітин із мінімум 3 чорними сусідами за 8-зв’язністю (рис. 9).

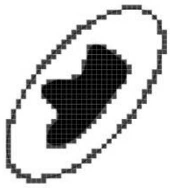
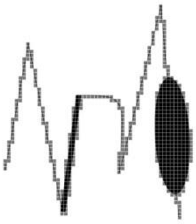
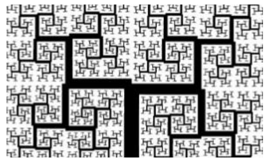
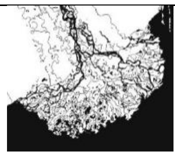
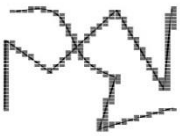
ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

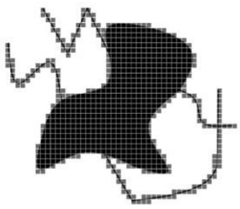
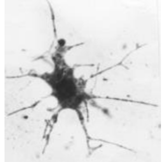
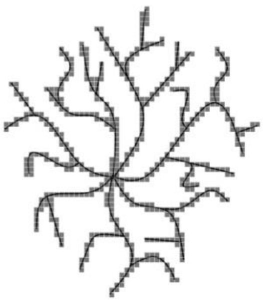
Дискретне кліткове представлення основних геометричних елементів, що зустрічаються на зображення транспортної мережі міста, дозволили узагальнити можливі комбінації фрагментів у вигляді таблиці 1. Вона дозволяє швидко ідентифікувати фрагменти схем за основними характеристиками, які наведені нами у топологічній класифікації (рис. 3) і стати основою для аналізу відповідної транспортної мережі.

Таблиця 1

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ’ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
1		0-вимірні об’єкти	Нефрактальний тип	

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ'ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
2		0<n<1 вимірні множини	Квазіфрактальна множина точок	 Фрагмент порошкового фарбування металу
3		1-вимірний об'єкт	Відрізок прямої. Нефрактальний тип	
4		1<n<2 вимірні множини	Фрагмент ламаної лінії. Квазіфрактальний тип	 Фрагмент тріадної кривої Коха
5		1-вимірний об'єкт	Фрагмент кривої, розімкнута лінія. Нефрактальний тип	
6		1-вимірний об'єкт	Замкнута крива. Нефрактальний тип	 Зображення нервових волокон мізків голови
7		1<n<2 вимірні множини	Фрактальна замкнута лінія. Квазіфрактальний тип	 Зображення в'язких пальців гліцерину
8		2-вимірний об'єкт	Замкнута область. Нефрактальний тип	 Зображення клітин крові

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ’ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
9		1<n<2 вимірний об’єкт	Фрактальна замкнута область. Квазіфрактальний тип	 Зображення кліткових структур
10		1<n<2 вимірний об’єкт	Комбіновані множини із включеннями. Квазіфрактальний тип	
11		1<n<2 вимірний об’єкт	Комбіновані множини із включеннями. Квазіфрактальний тип	 Зображення еволюції кліткового автомату
12		1<n<2 вимірний об’єкт	Товста ламана лінія із включеннями. Квазіфрактальний тип	 Модель бронхіального дерева тварин
13		1<n<2 вимірний об’єкт	Комбіновані множини (дотик, перетин). Квазіфрактальний тип	 Зображення впадання ріки у море
14		1-вимірні об’єкти	Дві криві (перетин). Нефрактальний тип	
15		1<n<2 вимірний об’єкт	Перетин фрактальних фрагментів. Квазіфрактальний тип	 Фрагмент дельти річки

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ'ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
16		1<n<2 вимірний об'єкт	Перетин фрактальних ліній та областей. Квазіфрактальний тип	 Зображення мультиполярної клітини морського їжака
17		1<n<2 вимірний об'єкт	Фрактальне розгалуження. Квазіфрактальний тип	 Фрагмент розряду звичайної блискавки
18		1<n<2 вимірний об'єкт	Фрактальне розгалуження. Квазіфрактальний тип	 Кластер двовимірної дифузії

Так, наприклад, фрагменти дискретної моделі схеми автобусних маршрутів міста (рис. 2) включають одно- та двох-вимірні образи нефрактального та фрактального типу, сітка транспортної мережі досить щільно покриває запропоновану область, а окремі її вітки хаотично перетинаються як між собою, так із 2-вимірними областями. Це говорить про те, що зображення у цілому носить фрактальний характер. Відтак, підрахунок розмірності і фрагментів, і всієї структури спонукає до розрідження одних і ущільнення інших зон дискретної моделі для покращення показників доступності, наприклад, міського пасажирського транспорту.

ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано розглядати транспортну мережу міста як сукупність певного числа розподілених точок або областей (зупинкових вузлів чи обмежених територій), які взаємодіють між собою через транспортні канали, тобто маршрути. Доведено, що топологія складної транспортної мережі є випадковим фракталом, оскільки її мала частина подібна цілої. Розмірність цієї множини точок, областей і ліній має дробову, або фрактальну розмірність.

Наведено методику дискретного (піксельного) представлення міської транспортної мережі для оцінки складності її структури. Доведено, що однією із фундаментальних характеристик геометричної складності мережі є її топологічна розмірність. Показано, що через параметри розмірності топології мережі або окремих фрагментів, можна кількісно виразити її системні властивості і знайти загальні закономірності удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків.

Для ідентифікації зображень запропоновано топологічну класифікацію дискретних моделей геометричних об'єктів та комбінованих множин на площині. Визначено основні характеристики зв'язності окремих клітин дискретних бінарних моделей множин довільної розмірності. Запропонована структура практичної ідентифікації комбінацій геометричних об'єктів, які зустрічаються на зображеннях міських маршрутних схем.

Подальші дослідження із даної тематики проводяться у напрямі виокремлення та обчислення геометричних характеристик об'єктів для запропонованих дискретних кліткових моделей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.

2.Абламейко С.В., Недзьведь А.М. Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 156с.

3.Балханов В.К. Введение в теорию фрактального исчисления. – Улан-Удэ.: Изд-во Бурятского гос-университета, 2001. – С. 58.

4.Бойко Г.В. Методика оптимизации структуры транспорта для обслуживания городских пассажирских перевозок: дис. канд.техн.наук: 05.22.10 /Г.В. Бойко. –Волгоград, 2006. - 18с.

5.Barbera L.P., Rosso R. On the fractal dimension of stream networks //. Water Resour. Res. – 1989. – **25**, (4). – P. 735.

6.Вельможин А. В. Основы теории транспортных процессов и систем: учебное пособие / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин// - Москва: Академия, 2015. - 221с.

7.Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учебное пособие / А. В. Гасников [и др.]; ред. А. В. Гасников.// - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: МЦНМО, 2013. - 426 с.

8.Дубовик В.О. Методы оценки транспортной доступности территории // Региональные исследования. Смоленск, 2013, №4 (42). С. 11-18

9.Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002. - 656 с.

10.Pustiulha, S., Samostian, V., Tolstushko, N., Korobka, S., Babych, M.: Fractal diagnostics of the degree of fuel atomization by diesel engine injectors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6, 8(90), p. 40-47 (2017).

11.Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Головачук І.П., Придюк В.М., Оксенюк В.А. Методика ідентифікації зображень п'ятен розпилу палива форсунками // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцьк, 2018. – Вип. 2 (11). с. 110-116.

12.Pustiulha, S., Holovachuk, I., Samchuk, V., Samostian, V., Prydiuk, V.: Improvement of the technology of tribostate application of powder paints using fractal analysis of spray quality. 2 International conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange 11-14 june, 2019, Lutsk, DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_28, – 10с.

13.Пустюльга С.І., Самчук В.П.,Самостян В.Р., Головачук І.П. Кількісний аналіз нуль-вимірних (точкових) множин методами фрактальної геометрії. Прикладна геометрія та інженерна графіка": Зб. наук. пр. - К., 2020. - Вип. 97. – С. 64-72.

14.Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник. - М.: ИД Академия, 2008. - 400 с.

REFERENCES

1.Ablamejko S.V., Lagunovskij D.M. Obrabotka izobrazhenij: tekhnologiya, metody, primenenie. – Mn.: In-t tekhn. kibernetiki NAN Belarusi, 1999. – 300 s.

2.Ablamejko S.V., Nedz`ved` A.M. Obrabotka opticheskikh izobrazhenij kletochnykh struktur v mediczine. – Mn.: OIPI NAN Belarusi, 2005. – 156s.

3.Balkhanov V.K. Vvedenie v teoriyu fraktalnogo ischisleniya. – Ulan-Ude.: Izd-vo Buryatskogo gos-universiteta, 2001. – S. 58.

4.Bojko G.V. Metodika optimizaczii struktury transporta dlya obsluzhivaniya gorodskikh passazhirskikh perevozok: dis. kand.tekhn.nauk: 05.22.10 /G.V. Bojko. –Volgograd, 2006. - 18s.

5.Barbera L.P., Rosso R. On the fractal dimension of stream networks //. Water Resour. Res. – 1989. – 25, (4). – P. 735.

6.Velmozhin A. V. Osnovy teorii transportnykh proczessov i sistem: uchebnoe posobie / A. V. Velmozhin, V. A. Gudkov, L. B. Mirotin// - Moskva: Akademiya, 2015. - 221s.

7.Gasnikov A.V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov: uchebnoe posobie / A. V. Gasnikov [i dr.]; red. A. V. Gasnikov.// - 2-e izd., ispr. i dop. - Moskva: MCzNMO, 2013. - 426 s.

8.Dubovik V.O. Metody oczenki transportnoj dostupnosti territorii // Regionalnye issledovaniya. Smolensk, 2013, #4 (42). S. 11-18

9.Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody. – Moskva: Institut komp`yuternykh issledovanij, 2002. - 656 c.

10. Pustiulha, S., Samostian, V., Tolstushko, N., Korobka, S., Babych, M.: Fractal diagnostics of the degree of fuel atomization by diesel engine injectors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6, 8(90), p. 40-47 (2017).

11. Pustyulga S.I., Samostyan V.R., Golovachuk I.P., Pridyuk V.M., Oksenyuk V.A. Metodika identifikacziyi zobrazhen pyaten rozpilu paliva forsunkami // Suchasni tekhnologiyi v mashinobuduvanni ta transporti. – Luczk, 2018. – Vip. 2 (11). s. 110-116.

12. Pustiulha, S., Holovachuk, I., Samchuk, V., Samostian, V., Prydiuk, V.: Improvement of the technology of tribostate application of powder paints using fractal analysis of spray quality. 2 International conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange 11-14 june, 2019, Lutsk, DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_28, – 10s.

13. Pustyulga S.I., Samchuk V.P., Samostyan V.R., Golovachuk I.P. Kilkisnij analiz nul-vimirnikh (tochkovikh) mnozhin metodami fraktal`noyi geometriyi. Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: Zb. nauk. pr. - K., 2020. - Vip. 97. – S. 64-72.

14. Spirin I.V. Organizacziya i upravlenie passazhirskimi avtomobilnymi perevozkami: uchebnik. - M.: ID Akademiya, 2008. - 400 s.

S. Pustiulha, V. Samchuk, V. Prydiuk, V. Samostian. **Discrete (pixel) presentation of a transport network of city for topological authentication and fractal analysis her geometrical constituents**

Work is sanctified to development of methods of discrete (pixel) presentation of a transport network of city for topological authentication and fractal estimation her structural constituents.

Development of a transport network of cities goes, as a rule, by complication of topological structure of routes of movement and mutual relations between geometrical descriptions them separate elements. Such tendencies testify to the necessity of development of effective mathematical methods of design of new and optimization of already existent networks, that algorithms of analysis and quantitative estimation of quality of functioning of a transport system of city will be the basis of.

Properties of a municipal transport network depend substantial character on complication of her geometry and topological structure. The analysis of literary sources showed that a transport network of city, from topological positions, it can examine as an aggregate of large number of the up-diffused points or areas (зупинкових knots or limited territories) that co-operate inter se through transport channels, id est routes. Thus, a topology of a difficult transport network is a casual fractal, as her small part is similar whole. The dimension of this great number of points, areas and lines has a fractional dimension. Expecting the dimension of network, it is possible in number to express her system properties and to find general conformities to law of improvement of existing and construction of new transport streams.

At determination of fractal dimension of image a cellular method a geometrical network structure, at every step iterations, is covered by cages determined size. Consequently, it is suggested, at once, to present an image in a discrete kind on a grate with the cages of low-limit (there can be a size of pixel), to identify the fragments of the set structure, and in further to expect necessary geometrical parameters and conduct their analysis. Thus, it is necessary to classify separate objects and fragments, and also find out geometrical criteria, after that the degree of fractal of both fragments and structure will be determined on the whole.

For authentication of images topological classification of discrete models of geometrics and combined great numbers is offered on a plane. Basic descriptions of connectedness of separate cages of discrete binary models of great numbers of arbitrary dimension are certain. Offered structure of practical authentication of combinations of geometrics, that meet on the images of municipal rout charts.

Further researches from this subjects are conducted in the direction of selection and calculation of geometrical descriptions of objects for the offered discrete cellular models.

Keywords: a transport network of city, discrete presentation, topological authentication, fractal analysis, combined great numbers, cellular model.

ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Луцького національного технічного університету, e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. http://orcid.org/0000-0001-7623-7803.

САМЧУК Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: volsamchuk@ukr.net http://orcid.org/0000-0001-9045-9525

ПРИДЮК Валентин Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: pred.mbf@gmail.com. http://orcid.org/0000-0001-7791-1230

САМОСТЯН Віктор Русланович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет e-mail: cvmbf@ukr.net. http://orcid.org/0000-0001-6823-8558

Serhii PUSTIULHA, Doctor of Technical Sciences, Professor of Engineering and Computer Graphics department, Lutsk National Technical University e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. http://orcid.org/0000-0001-7623-7803.

Volodymyr SAMCHUK Ph.D in Engeneering, associate professor ,Lutsk National Technical University, e-mail: volsamchuk@ukr.net. http://orcid.org/0000-0001-9045-9525

Valentyn PRYDIUK, Ph.D in Engeneering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: pred.mbf@gmail.com. http://orcid.org/0000-0001-7791-1230

Viktor SAMOSTIAN, PhD in Engeneering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: cvmbf@ukr.net. http://orcid.org/0000-0001-6823-8558

DOI 10.36910/automash.v1i16.516