

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-349-47>
УДК 519.876

ПИРІГ ЯРОСЛАВ

Національний університет «Львівська політехніка»
<https://orcid.org/0009-0001-2104-8439>
e-mail: yaroslav.r.pyrih@lpnu.ua

ПИРІГ ЮЛІЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
<https://orcid.org/0000-0002-8973-4005>
e-mail: yuliia.v.klymash@lpnu.ua

АНАЛІЗ АСПЕКТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ У СУЧАСНИХ МЕРЕЖАХ

У зв'язку зі зростанням об'ємів даних та складності мережевих задач виникає потреба у методах, які здатні знаходити оптимальні рішення при динамічно змінних умовах. В останнє десятиліття спостерігається стрімкий розвиток методів, які використовують принципи еволюції, що зумовлює актуальність тематичного огляду робіт, зосереджених на застосуванні генетичного алгоритму (ГА) у мережах зв'язку для систематизації та узагальнення інформації, а також ідентифікації напрямків розвитку та новітніх досягнень у даній галузі. У роботі здійснено вивчення тематичних зв'язків та розвитку наукової області ГА на основі аналізу ключових слів та їх взаємозв'язків у дослідницьких роботах. На основі здійсненого аналізу відзначено, що вибір операторів і параметрів в ГА має фундаментальний вплив на їхнє функціонування та ефективність вирішення завдань. Для систематизації знань про особливості функціонування ГА розроблено відповідну класифікацію.

Ключові слова: генетичний алгоритм, класифікація, еволюція, генетичні оператори.

PYRIH YAROSLAV, PYRIH YULIYA

Lviv Polytechnic National University

ANALYSIS OF GENETIC ALGORITHM APPLICATION ASPECTS IN MODERN NETWORKS

Due to the increasing volume of data and the growing complexity of network tasks, there is a need for methods capable of finding optimal solutions under dynamically changing conditions. Over the past decade, there has been a rapid development of methods based on evolutionary principles, which highlights the relevance of a thematic review of studies focused on the application of the Genetic Algorithm (GA) in communication networks. This review aims to systematize and generalize information, as well as identify development trends and recent advancements in this field. The study examines thematic connections and the evolution of GA research by analyzing keywords and their interrelations in scientific publications. Three primary GA operators are reviewed, along with the probability values of crossover and mutation, which directly impact the final solution in various studies related to modern network operations. Based on the conducted analysis, it is noted that the choice of operators and parameters in GA has a fundamental impact on their functionality and the efficiency of problem-solving. It is crucial to consider that optimal parameters may vary significantly depending on the task and data type. Effective configuration requires thorough experimentation and adaptation of parameters to specific conditions, making the direct application of parameters from other studies not always advisable. A classification of GA has been developed based on the following criteria: parameter adjustment principles for crossover and mutation, type of fitness function, algorithm type, and the nature of network tasks. The proposed classification helps to elucidate the fundamental principles of the algorithm's operation, enhancing its practical application efficiency and contributing to the systematization of relevant knowledge.

Keywords: genetic algorithm, classification, evolution, genetic operators.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У сучасному високотехнологічному світі, де мережеві процеси пронизують усі сфери нашого життя, від бізнесу та науки до побутових аспектів, виникає необхідність не тільки в ефективному управлінні цими процесами, але й у пошуку інноваційних методів для їхнього вдосконалення та оптимізації.

Еволюція є ключовою властивістю природи, яка дозволяє живим організмам адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, що знаходить своє застосування в різних сферах. Іншими словами, це природний процес, який визначає еволюційний розвиток видів у природі через покоління. Генетичний алгоритм використовує природний відбір, мутації та схрещування для передачі спадковості та адаптації до змін у середовищі [1]. Його активне використання для розв'язання різних задач обумовлено його здатністю змінюватися та пристосовуватися до змін в середовищі або певних умов, забезпечуючи гнучкість отриманих рішень.

Таким чином, аналіз напрямків та особливостей функціонування генетичних алгоритмів для вирішення мережевих задач є актуальним.

Аналіз досліджень та публікацій

Для детального ознайомлення із поточним станом наукових досліджень у галузі ГА, уникнення повторень досліджень, які уже існують, систематизації існуючих знань, ідентифікації прогалин та невизначеностей, здійснено бібліографічний огляд робіт із бібліотеки IEEE Xplore у періоді з 2018 до 2024 року. Пошук здійснювався по ключовому слову «genetic algorithm», джерела, які містили два і менше параметрів, вказаних у таблиці 1, та не відносились до мереж зв'язку, не розглядались.

У таблиці 1 наведено три основні оператори ГА: відбір, схрещування, мутація, та значення

імовірності схрещування та мутації, які безпосередньо впливають на отримання фінального рішення, для ряду розглянутих робіт, що пов'язані із функціонуванням сучасних мереж.

Таблиця 1

Дані для опису роботи ГА, наведені в розглянутих джерелах

Робота	Розмір популяції	К-сть поколінь	Вид відбору	Вид схрещування	Вид мутації	Імовірність мутації	Імовірність схрещув.
[2]	не вказано	1000	ранговий	рівномірне	не вказано	0.1	0.9
[3]	100	1200	елітизм	двохточкове	обмін	0.1	0.7
[4]	не вказано	21	рулетковий	двохточкове	обмін	0.3-0.8	0.3-0.8
[5]	4000-6000	50	турнірний	одноточкове	модифікована	0.05	не вказано
[6]	50	100	ранговий	одноточкове	одноточкова, двоточкова	0.9, 0.05, 0.2	не вказано
[7]	30	30	не вказано	не вказано	не вказано	0.006	0.8
[8]	60	200	рулетковий	модифіковане одноточкове	не вказано	0.05	0.75
[9]	не вказано	не вказано	рулетковий	перехресне	одноточкова	не вказано	не вказано
[10]	10	50	турнірний	одноточкове	обмін	0.1	0.95
[11]	не вказано	не вказано	елітизм	не вказано	не вказано	0.1	0.5

Примітка. «Не вказано» використовується для випадків, коли у роботі чітко не вказана назва використовуваного оператора чи відповідне значення параметра, також у розглянутих роботах не враховувались посилання на інші джерела, які могли містити таку інформацію.

Таким чином, проаналізувавши роботи, наведені у таблиці 1, можна зробити наступні висновки:

1. ГА є ефективними для вирішення різноманітних завдань в мережних структурах, таких як локалізація вузлів (пристроїв), розподіл ресурсів, оптимізація траєкторій руху тощо. Вони дозволяють досягти високої точності, ефективності та швидкості збіжності, що робить їх важливим інструментом для покращення мережних процесів в умовах зростаючого обсягу трафіку та кількості мережних вузлів.

2. Вибір операторів і параметрів в ГА має фундаментальний вплив на їхнє функціонування та здатність до розв'язання конкретних завдань. Ефективне використання ГА потребує їх налаштування відповідно до особливостей задачі та обчислювального середовища, зокрема:

- оператор відбору впливає на різноманітність та збіжність популяції;
- оператор схрещування дозволяє зберігати корисні ознаки батьківських рішень, сприяючи передачі корисної інформації між поколіннями;
- оператор мутації вносить випадкові зміни в генетичний матеріал, що сприяє дослідженню нових рішень, дозволяє виходити з локальних максимумів та визначати більш глобальні оптимальні рішення.

3. Автори більшості розглянутих робіт не порівнювали ефективність використання різних операторів ГА для вирішення своїх задач, вибір цих операторів ґрунтувався на посиланні на інші роботи. Значення імовірності мутації та схрещування у більшості робіт було вибрано авторами неекспериментальним шляхом.

Важливо враховувати, що оптимальні параметри можуть суттєво відрізнятися для різних задач та типів даних. Ефективне налаштування вимагає ретельного експериментування та адаптації параметрів під конкретні умови, тому використання параметрів із інших робіт не завжди є доцільним. Усі ці аспекти демонструють те, що вибір оптимальних операторів і параметрів є важливим етапом ефективної роботи ГА для вирішення різноманітних завдань у мережах.

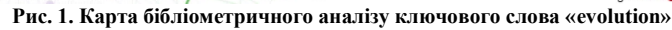
Формулювання цілей статті

Метою роботи є: комплексний огляд літературних джерел щодо застосування генетичного алгоритму у мережах зв'язку для систематизації та узагальнення інформації.

Виклад основного матеріалу

Для вивчення тематичних зв'язків та розвитку наукової області, яка базується на використанні принципів еволюції, на основі аналізу ключових слів та їх взаємозв'язків у дослідницьких роботах вибрано VOS Viewer, який є інструментом для аналізу і візуалізації наукометричних даних шляхом побудови відповідного графу.

На рис. 1 представлено отриману карту для ключового слова «evolution», побудовану на основі бази даних Scopus. При цьому використовувалось 5000 документів за період з 2020 по 2024 роки, з додатковими обмеженнями щодо галузі досліджень (інженерія та комп'ютерні науки). Варто зауважити, що на рис. 1 продемонстровано тільки головні вузли кластерів, які представляють ключові слова для досліджень, пов'язаних із еволюцією.



Генетичні алгоритми забезпечують ефективний та гнучкий підхід до розв'язання різноманітних завдань, сприяючи швидшому та більш ефективному пошуку оптимальних рішень. Потенціал ГА в оптимізації мережевих маршрутів, управлінні ресурсами та підтримці якості обслуговування зробив їх ключовим компонентом для створення ефективних та надійних мережевих структур. Для кращого представлення основних тематичних напрямків у області наукових досліджень, присвячених ГА, їх наведено на рис. 2.



За типом алгоритму:

- класичний: базова модель еволюційного алгоритму, що імітує природний процес еволюції і складається зі стандартного набору генетичних операторів;
- розширений: базується на класичному ГА, але додає нові елементи та механізми для підвищення його ефективності, такі як використання нових операторів, методів паралелізації, теорії хаосу тощо;
- гібридний: поєднує ГА з іншими методами оптимізації/машинного навчання, зокрема, заснованими на процесах біологічної еволюції (ройові (на основі рою бджіл, частинок, косяка риб), колонії мурах тощо), законах фізики - симуляція відпалу тощо).

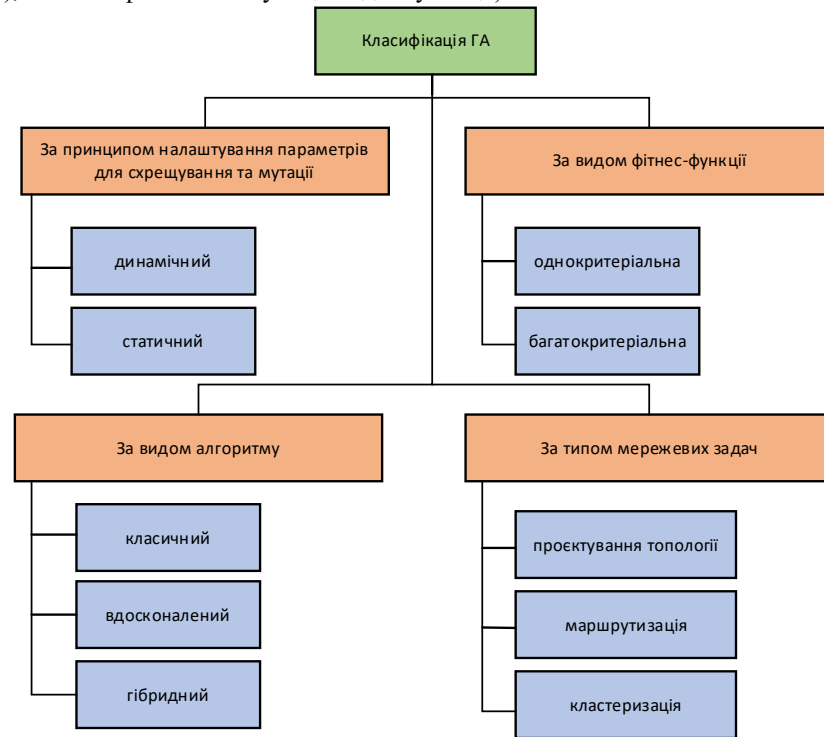


Рис. 3. Пропонована класифікація ГА

На основі аналізу робіт [1-11] виділено три найбільш поширені типи мережесих задач: проектування топології мережі, маршрутизація та кластеризація.

Таким чином, пропонована класифікація ГА допомагає розкрити основні принципи їх функціонування, що дозволяє підвищити ефективність використання для вирішення практичних завдань, сприяє систематизації відповідних знань в мережах зв'язку.

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У роботі здійснено бібліографічний огляд робіт із бібліотеки IEEEExplore, присвячених застосування генетичного алгоритму для функціонування мереж зв'язку, на основі якого відзначено, що вибір операторів і параметрів має фундаментальний вплив на його роботу та здатність до розв'язання конкретних завдань.

Запропоновано класифікацію ГА за такими критеріями: принцип налаштування параметрів для схрещування та мутації, вид фітнес-функції, вид алгоритму та тип мережесих задач, що дозволяє краще розуміти особливості застосування для ефективного вирішення мережесих задач.

Перспективи подальших досліджень полягають у інтеграції ГА з іншими методами оптимізації (машинне навчання, ройовий інтелект) та технологіями (Big Data, IoT) для підвищення ефективності функціонування сучасних мереж зв'язку.

Література

1. Пиріг Я., Климаш М., Пиріг Ю., Лаврів О. Генетичний алгоритм як засіб розв'язання оптимізаційних задач / Я. Пиріг, М. Климаш, Ю. Пиріг, О. Лаврів // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. – 2023. – № 3 (2). – С. 95–107.
2. Damia A. Adaptive Genetic Algorithm Based on Mutation and Crossover and Selection Probabilities / A. Damia, M. Esnaashari, M. Parvizimosaed // 2021 7th Int. Conf. on Web Research (ICWR): – Iran, 2021. – P. 86–90.
3. Wang C. Energy-Efficient and Load-Balanced Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Using a Chaotic Genetic Algorithm / C. Wang, X. Liu, H. Hu // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 158082–158096.

4. Doostie S. A Novel Genetic Algorithm-Based Methodology for Large-Scale Fixed Charge Plus Routing Network Design Problem With Efficient Operators / S. Doostie, T. Nakashima-Paniagua, J. Doucette // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 114836–114853. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3104794.
5. Salman Y. Investigation of Using Parallel Genetic Algorithm for Solving the Shortest Path Routing Problem / Y. Salman, R. Razali, A. R. Razali, O. H. See // Journal of Computer Science. – 2011. – P. 206–215.
6. Wang F. Intelligent optimization approach for the k shortest paths problem based on genetic algorithm / F. Wang, Y. Man, L. Man // 2014 10th Int. Conf. on Natural Computation (ICNC). – Xiamen, China, 2014. – P. 219–224.
7. Elhoseny M. Balancing Energy Consumption in Heterogeneous Wireless Sensor Networks Using Genetic Algorithm / M. Elhoseny, X. Yuan, Z. Yu, C. Mao, H. K. El-Minir, A. M. Riad // IEEE Communications Letters. – 2015. – Vol. 19, no. 12. – P. 2194–2197.
8. Huang F. Harmonious Genetic Clustering / F. Huang, X. Li, S. Zhang, J. Zhang // IEEE Transactions on Cybernetics. – 2018. – Vol. 48, no. 1. – P. 199–214. DOI: 10.1109/TCYB.2016.2628722.
9. Xue Z. Sensor Nodes in the Internet of Things Based on Genetic Algorithm / Z. Xue // IEEE Sensors Journal. – 2021. – Vol. 21, no. 22. – P. 25142–25150. DOI: 10.1109/JSEN.2021.3068726.
10. Asim M. A Novel Genetic Trajectory Planning Algorithm With Variable Population Size for Multi-UAV-Assisted Mobile Edge Computing System / M. Asim, W. K. Mashwani, S. B. Belhaouari, S. Hassan // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 125569–125579.
11. Shah N. Adaptive Routing Protocol in Mobile Ad-Hoc Networks Using Genetic Algorithm / N. Shah, H. El-Ocla, P. Shah // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 132949–132964. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3230991.

References

1. Pyrih Ya., Klymash M., Pyrih Yu., Lavriv O. Henetychnyi alhorytm yak zasib rozviazannia optymizatsiynykh zadach / Ya. Pyrih, M. Klymash, Yu. Pyrih, O. Lavriv // Infokomunikatsiini tekhnolohii ta elektronna inzheneriia. – 2023. – № 3 (2). – S. 95–107.
2. Damia A. Adaptive Genetic Algorithm Based on Mutation and Crossover and Selection Probabilities / A. Damia, M. Esnaashari, M. Parvizimosaed // 2021 7th Int. Conf. on Web Research (ICWR). – Iran, 2021. – P. 86–90.
3. Wang C. Energy-Efficient and Load-Balanced Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Using a Chaotic Genetic Algorithm / C. Wang, X. Liu, H. Hu // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 158082–158096.
4. Doostie S. A Novel Genetic Algorithm-Based Methodology for Large-Scale Fixed Charge Plus Routing Network Design Problem With Efficient Operators / S. Doostie, T. Nakashima-Paniagua, J. Doucette // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 114836–114853. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3104794.
5. Salman Y. Investigation of Using Parallel Genetic Algorithm for Solving the Shortest Path Routing Problem / Y. Salman, R. Razali, A. R. Razali, O. H. See // Journal of Computer Science. – 2011. – P. 206–215.
6. Wang F. Intelligent optimization approach for the k shortest paths problem based on genetic algorithm / F. Wang, Y. Man, L. Man // 2014 10th Int. Conf. on Natural Computation (ICNC). – Xiamen, China, 2014. – P. 219–224.
7. Elhoseny M. Balancing Energy Consumption in Heterogeneous Wireless Sensor Networks Using Genetic Algorithm / M. Elhoseny, X. Yuan, Z. Yu, C. Mao, H. K. El-Minir, A. M. Riad // IEEE Communications Letters. – 2015. – Vol. 19, no. 12. – P. 2194–2197.
8. Huang F. Harmonious Genetic Clustering / F. Huang, X. Li, S. Zhang, J. Zhang // IEEE Transactions on Cybernetics. – 2018. – Vol. 48, no. 1. – P. 199–214. DOI: 10.1109/TCYB.2016.2628722.
9. Xue Z. Sensor Nodes in the Internet of Things Based on Genetic Algorithm / Z. Xue // IEEE Sensors Journal. – 2021. – Vol. 21, no. 22. – P. 25142–25150. DOI: 10.1109/JSEN.2021.3068726.
10. Asim M. A Novel Genetic Trajectory Planning Algorithm With Variable Population Size for Multi-UAV-Assisted Mobile Edge Computing System / M. Asim, W. K. Mashwani, S. B. Belhaouari, S. Hassan // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 125569–125579.
11. Shah N. Adaptive Routing Protocol in Mobile Ad-Hoc Networks Using Genetic Algorithm / N. Shah, H. El-Ocla, P. Shah // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 132949–132964. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3230991.