

**ПРИМЕНЕНИЕ PID-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА
НАИБОЛЬШЕГО ПОКРЫВАЮЩЕГО ЦИКЛА НА
НЕПОЛНЫХ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ГРАФАХ С
ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ**

Никитин Евгений Павлович

Студент

Физико-технический факультет КубГУ, Краснодар, Россия

E-mail: nikitin.evgeniy.pavlovich@gmail.com

Научный руководитель — Куликова Наталья Николаевна

Метаэвристические алгоритмы известны в литературе благодаря универсальности и крайне высокой скорости поиска решений, по сравнению с классическими методами. Но их основной проблемой по-прежнему остаётся сложность в управлении, ограниченное масштабирование, и застревание в локальных оптимумах. В рамках этой работы будет продемонстрировано, как внедрение регулятора, схожего по концепции с классическим PID регулятором, позволит значительно повысить точность решения задачи поиска наибольшего покрытия на неполных ориентированных графах при небольшом увеличении затрат на время вычисления.

Классическое определение алгоритма муравьиной колонии:

$$T_{n \times n} = (\tau_{i,j}); \quad R_{n \times n} = (r_{i,j}); \quad P_{n \times n} = (p_{i,j}); \quad \eta = \frac{1}{\tau_{i,j}}; \quad (1)$$

$$p_{i,j} = \frac{(\tau_{i,j}^{\alpha}) \cdot n_{i,j}^{\alpha\beta}}{\sum \left(\frac{1}{\tau_{i,j}^{\alpha}} \right) \cdot n_{i,j}^{\alpha\beta}} \quad (2)$$

Маршрут имеет длину $L(\lambda)$ и содержит себе $|\lambda|$ уникальных вершин. Взнос феромона и его испарение на итерации t для муравья k рассчитывается как:

$$\Delta\tau_t^k = \frac{n}{3} + \frac{r_{\min} \cdot n}{L(\lambda_t)} - \frac{n}{3} \cdot \left(1 - \frac{|\lambda_t|}{n} \right) \quad (5)$$

$$\Delta\tau_{t+1} = (1 - \rho) \cdot \Delta\tau_t \quad (6)$$

В рамках этой работы концепция PID регулятора была экстраполирована на дискретную стохастическую систему следующим об-

разом. Уравнение управляющего сигнала и отклик коэффициента ρ :

$$u_t = K_p e_t + K_i \sum_k^T e_k + K_d (e_t - e_{t-1}) \quad (7)$$

$$\Delta \rho_t = \rho_{step} \cdot (\rho_{base} + f[u_t]) \quad (8)$$

Здесь e_t — текущая ошибка итерации, а $\rho_{step} = const.$ Функция $f(u_t)$, значение ошибки e_t и ρ_{base} зависят от текущей конвергенции, показателя стагнации феромона и от изменения ценности лучшего из всех найденных маршрутов.

Цель управления заключается в использовании знака и величины ошибки для генерации адаптивного управляющего сигнала. Регулятор преобразует её в изменение коэффициента испарения ρ для поддержания оптимального баланса между поиском глобального решения в начале графа и рядом с локальным решением.

В работе была проведена серия эксперименты в программной симуляции на языке Python для сравнения эффективности классического алгоритма и флгоритма, модифицированного регулятором. Эксперименты проводились на графах с количеством вершин $n = 15, 20, \dots, 45$ и плотностью $D = 0.25, 0.3, \dots, 0.55$.

Литература

1. Deepak K.P., et.al. Ant Colony Optimization: Principles, Variants, and Application Domains – A Survey // Himanshu Mittal (eds), Smart Computing and Emerging Technologies, SCRS, 2025, P. 43–58.
2. Buhat C.A., Villamin J., Cuaresma G. Application of ant colony optimization metaheuristic on set covering problems // Mathematics in Applied Sciences and Engineering, 2022, , V.3, P. 12–23.
3. Shyong J.S, Peng-Yeng Y., Bertrand M.T.L. An Ant Colony Optimization Algorithm for the Minimum Weight Vertex Cover Problem // Annals of Operations Research, 2004, , V.131, P. 283–302.