

Использование алгоритма имитации отжига для оптимизации параметров идентификатора динамики платформы на основе дифференциальных нейронных сетей

А. М. Мухамедов¹

На точность идентификации дифференциальными нейронными сетями значительное влияние оказывают параметры функций активации. Предложен способ оптимизировать эти параметры с помощью алгоритма имитации отжига, результаты оптимизации продемонстрированы на примере задачи идентификации динамики платформы.

Ключевые слова: дифференциальные нейронные сети, глобальная оптимизация, алгоритм имитации отжига.

Одним из подходов к анализу нелинейных систем с неопределенностями являются дифференциальные нейронные сети. Они позволяют аппроксимировать динамику нелинейной части системы с помощью произведений матриц из функций активации и весовых коэффициентов. Пример подобной системы представлен в [2]. В отличие от статических нейронных сетей, весовые коэффициенты изменяются в процессе работы дифференциальных сетей, причем правила, задающие их динамику, определяют сходимость всей системы. При этом, точность работы и скорость сходимости определяются и выбором конкретных функций активации и их параметров. Таким образом, возникает задача поиска значений параметров, обеспечивающих лучшую сходимость для рассматриваемых систем и архитектуры сети.

Алгоритмы имитации отжига позволяют решать подобные задачи многомерной оптимизации, производя стохастический поиск по пространству допустимых значений. При этом переход в новую точку с некоторой вероятностью возможен и при ухудшении значения целевой функции. Это позволяет алгоритму выходить из локальных экстремумов.

¹ *Мухамедов Артур Мансурович* — аспирант каф. фундаментальной и прикладной математики ф-та космических исследований МГУ им М.В. Ломоносова; младший научный сотрудник НЦМУ "Сверхзвук" МГУ им М.В. Ломоносова, e-mail: a.mukhamedov@vrmsu.ru

Mukhamedov Arthur Mansurovich — graduate student, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Space Research, Chair of Fundamental and Applied Mathematics; junior researcher, Lomonosov Moscow State University, Center "Supersonic".

мов. Вероятность перехода в точку с худшими показателями регулируется параметром температуры, уменьшающимся в процессе работы алгоритма. При высоких значениях температуры поведение алгоритма похоже на случайный поиск, а при низких — на градиентный спуск. Такое поведение может быть полезно при оптимизации параметров функции активации.

В качестве примера рассмотрена задача идентификации динамики подвижной платформы с тремя степенями свободы (высота, углы крена и тангажа). Высота была зафиксирована таким образом, чтобы максимизировать область достижимости по двум другим осям. Во время работы платформы углы крена и тангажа, составляющие вектор управления платформы, менялись по узлам сетки с постоянным шагом. Выходные значения рассматриваемой системы задавались позицией и ориентацией платформы, которые были получены с помощью гибридной позиционно-инерциальной системы отслеживания. Идентификация производилась сетью следующего вида:

$$x_{i+1} = Ax_i + 0.5(W_{1_{i+1}} + W_{1_i}) * \sigma(x_i) + 0.5(W_{2_{i+1}} + W_{2_i}) * \varphi(x_i)U_i$$

$$\sigma_m(x) = \frac{1}{1 + \exp(xC_m^\sigma + b_m^\sigma)} + d_m^\sigma - e_m^\sigma$$

$$\varphi_{m,n}(x) = \frac{1}{1 + \exp(xC_{m,n}^\varphi + b_{m,n}^\varphi)} + d_{m,n}^\varphi - e_{m,n}^\varphi,$$

где $d_m^\sigma, e_m^\sigma, d_{m,n}^\varphi, e_{m,n}^\varphi > 0$, $C^\sigma \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$, $b^\sigma, d^\sigma, e^\sigma \in \mathbb{R}^6$, $C^\varphi \in \mathbb{R}^{6 \times 6 \times 6}$, $b^\varphi, d^\varphi, e^\varphi \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ — параметры функций активации, которые нужно оптимизировать.

Традиционный алгоритм имитации отжига предназначен для оптимизации по дискретному пространству значений. Поэтому в данной работе используется описанная в [1] модификация для работы в непрерывных пространствах. Выбор следующей точки происходит смещением по одной координате i на значение, не превышающее элемент i шагового вектора. После смещения и проверки полученных точек по всем координатам N_s раз происходит изменение шагового вектора так, чтобы выбранные новые точки принимались в половине случаев. После изменения шагового вектора N_T раз, происходит снижение температуры с постоянным множителем. Критерием останова служит неулучшение значения целевой функции после N_{eps} уменьшений температуры. Заданы следующие значения параметров: $N_T = 2$, $N_s = 3$, $N_{eps} = 2$. Значения всех прочих параметров были взяты из [1]. При оптимизации использовались три целевые функции:

$$E_A = \sum_i \sqrt{\sum_{m,n} \Delta_{imn}^2},$$

$$E_D = \sum_i \Delta_i^T \Delta_i,$$

$$E_I = \sum_i (tr(dW_{1_i}^T dW_{1_i}) + tr(dW_{2_i}^T dW_{2_i}) + \Delta_i^T \Delta_i),$$

где $\Delta_i = \hat{x}_i - x_i$ — ошибка идентификации, $dW_{l_i} = W_{l_i} - \overline{W}_l$, $l \in \{1, 2\}$, \overline{W}_l — среднее значение W_{l_i} , x_i — вектор состояния системы в момент i , W_{l_i} — матрица весовых коэффициентов дифференциальной нейронной сети в момент i . Первые две функции зависят только от ошибки идентификации Δ_i , третья (E_I) также зависит от отклонения матрицы весов от среднего значения, то есть помимо снижения общей ошибки, при оптимизации с такой целевой функцией должны снижаться колебания матрицы весов.

Алгоритм был запущен независимо для каждой целевой функции с одинаковыми начальными условиями. Все три запуска завершили свою работу по выполнению терминального условия. Результаты работы представлены в таблице 1.

Целевая функция	Значение E_A	Значение E_D	Значение E_I
Начальное условие	20.3345	0.3393	0.8144
E_A	16.4802	0.3054	0.7057
E_D	17.1420	0.2802	0.6615
E_I	16.9865	0.2817	0.6633

Таблица 1. Результаты работы алгоритма имитации отжига с различными целевыми функциями

Можно заметить, что результаты оптимизации по функциям E_D и E_I приводит к похожим результатам по двум метрикам, но по E_A более высокий результат показывает оптимизация по E_I . Оптимизация по E_A привела к лучшему результату по своей функции, по двум другим полученный результат хуже результатов оптимизации по соответствующим функциям. Таким образом, учет в целевой функции не только ошибки идентификации, но и других компонентов, например динамики весовых коэффициентов, позволяет достичь более высокой точности по одним метрикам, неухудшая другие. Влияние этих компонентов является целью дальнейших исследований.

Список литературы

- [1] Corana A., Marchesi M., Martini C., Ridella S., “Minimizing multimodal functions of continuous variables with the “simulated annealing” algorithm”, *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, **13:3** (1987), 262–280.

- [2] Poznyak A., Chairez I., Poznyak T., “A survey on artificial neural networks application for identification and control in environmental engineering: Biological and chemical systems with uncertain models”, *Annual Reviews in Control*, **48** (2019), 250–272.

Application of simulated annealing algorithm to optimize parameters of differential neural network-based identifier of platform dynamics
Mukhamedov A.M.

Parameters of activation functions contribute a lot to the performance of differential neural network-based identifiers. An approach to optimize these parameters is proposed and demonstrated for the problem of identification of platform dynamics.

Keywords: differential neural networks, global optimization, simulated annealing algorithm.

References

- [1] Corana A., Marchesi M., Martini C., Ridella S., “Minimizing multimodal functions of continuous variables with the “simulated annealing” algorithm”, *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, **13**:3 (1987), 262–280.
- [2] Poznyak A., Chairez I., Poznyak T., “A survey on artificial neural networks application for identification and control in environmental engineering: Biological and chemical systems with uncertain models”, *Annual Reviews in Control*, **48** (2019), 250–272.