

И.Д. РУБЦОВА¹, Л.В. ВЛАДИМИРОВА¹, А.Ю. ЖДАНОВА¹, Н.С. ЕДАМЕНКО¹,
¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ ПУЧКА В УСКОРИТЕЛЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА С МУТАЦИЕЙ

Задача оптимизации динамики пучка в линейном ускорителе сводится к отысканию глобального минимума функционала качества в многомерном пространстве параметров. Для решения задачи применяется генетический стохастический алгоритм, основанный на моделировании многомерного нормального распределения с адаптацией ковариационной матрицы, при этом вычисления матрицы не требуется. Введена модификация алгоритма, связанная с делением каждого поколения на группы, для которых используются различные средние квадратические отклонения. Это позволяет избежать быстрого стягивания выборки в точку локального экстремума. Проведенная оптимизация существенно улучшила характеристики пучка электронов.

I.D. RUBTSOVA¹, L.V. VLADIMIROVA¹, A.Y. ZHDANOVA¹, N.S. EDAMENKO¹
¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

BEAM DYNAMICS OPTIMIZATION IN THE ACCELERATOR USING THE GENETIC ALGORITHM WITH MUTATION

The problem of beam dynamics optimization in a linear accelerator is reduced to finding the global minimum of the quality functional in a multidimensional parameter space. To solve the problem, a genetic stochastic algorithm is used, based on modeling a multivariate normal distribution with adaptation of the covariance matrix, while the calculation of the matrix is not required. A modification of the algorithm has been introduced consisting in dividing each generation into several groups of trial points distributed with different standard deviations. This makes it possible to avoid the rapid contraction of the sample to a local extremum point. The optimization performed significantly improved the characteristics of electron beam.

Задача оптимизации динамики пучка сводится к отысканию глобального минимума функционала качества $K(u)$, где u – вектор управляющих параметров. Для решения этой сложной многоэкстремальной задачи применяется генетический стохастический алгоритм. Алгоритм основан на моделировании многомерного нормального распределения и обеспечивает адаптацию ковариационной матрицы [1].

Общая идея предлагаемого алгоритма отыскания глобального минимума состоит в моделировании последовательности поколений пробных точек, сгущающихся в окрестности точки минимума. Нулевое поколение моделируется при использовании равномерного распределения, последующие поколения – нормального. Положения пробных точек на каждом этапе поиска рассчитываются через положения «перспективных» точек предыдущего поколения, поэтому вычисления самой ковариационной матрицы не требуется. Введена следующая модификация: каждое поколение делится на группы, для которых используются различные значения полуосей эллипсоида рассеивания. Это позволяет избежать быстрого стягивания выборки в точку и получения локального экстремума вместо глобального.

Проведенная оптимизация позволила существенно улучшить характеристики пучка. Так, относительный разброс по энергиям на выходе ускорителя снизился с 0.76 до 0.26, разброс фаз – с 2.33 до 1.21 радиан. Значение критерия качества уменьшилось с 12.986 до 1.035. На рис. 1 представлены графики изменения приведенной энергии частиц γ в зависимости от приведенной координаты ξ до оптимизации (слева) и после оптимизации (справа). Жирной пунктирной линией показан график $\gamma(\xi)$ для равновесной частицы.

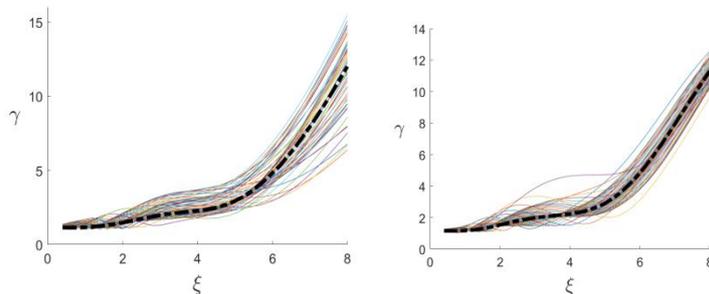


Рис. 1. График изменения приведенных энергий модельных частиц вдоль структуры до (слева) и после (справа) оптимизации

Список литературы

1. Ermakov S.M., Semenchikov D.N. Genetic global optimization algorithms// Communications in Statistics, Part B: Simulation and Computation, 2019, <https://doi.org/10.1080/03610918.2019.1672739>.