

УДК 629.113-585

В. А. КУСЯК

О ВЛИЯНИИ ВЕЛИЧИНЫ НАЧАЛЬНОГО РАБОЧЕГО ШАГА ПОИСКА НА РЕЗУЛЬТАТЫ СИНТЕЗА АЛГОРИТМА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ

Белорусский национальный технический университет

(Поступило в редакцию 20.04.2004)

Переходной процесс, вызванный переключением передач, оказывает влияние на нагруженность узлов силового агрегата, динамику и плавность движения автотранспортного средства. Многокритериальная задача синтеза алгоритма переключения передач (АПП) в трансмиссии автобуса при заданной структуре АПП сводится к нахождению оптимальных временных параметров, соответствующих темпу управления сцеплением (x_1 и x_2), двигателем (x_3 , x_4) и моторным тормозом (x_5 , x_6) по экспоненциальной зависимости [1] и решается методами параметрической оптимизации.

Обзор и анализ имеющейся в литературе информации по описанию различных алгоритмов оптимизации позволил установить, что минимум машинного времени, затрачиваемого на расчет критериев эффективности при решении задач оптимального проектирования, обеспечивается при использовании квазиградиентного метода стохастической аппроксимации [2, с. 175].

Указанный метод выгодно отличается от существующих (процедура Кифера—Вольфовица, процедура Кестена, метод Кестена с модификацией Фобиана, метод стохастической оптимизации со случайным поиском и др.) своей универсальностью (применим для широкого класса функций), наличием закона управления пробными шагами, а также возможностью уменьшения рабочего шага только после изменения направления поиска, что увеличивает скорость сходимости по мере приближения к экстремуму.

Данный алгоритм задается рекуррентной формулой

$$a_i[k+1] = a_i[k] - \gamma[m] \mu_i \text{sign} \{ \tilde{\nabla}_i \varphi(a[k]) \}, \quad (1)$$
$$i = \overline{1, n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots; \quad m = 2, 3, 4, \dots,$$

где a_i — i -й оптимизируемый параметр; k — номер итерации в процессе поиска; n — размерность вектора оптимизируемых параметров; i — номер компонента вектора оптимизируемых параметров; $\gamma[m]$ — m -е значение коэффициента рабочего шага поиска:

$$\gamma[m] = \gamma_0 / m^\alpha, \quad 0,75 \leq \alpha \leq 1, \quad (2)$$

γ_0 , m , α — соответственно начальное значение, номер коэффициента и константа по дроблению рабочего шага поиска; μ_i — масштабный коэффициент:

$$\mu_i = (a_{i\max} - a_{i\min}) / b_i, \quad (3)$$

где b_i — постоянный коэффициент для i -го оптимизируемого параметра; $a_{i\max}$, $a_{i\min}$ — ограничения сверху и снизу на i -й оптимизируемый параметр;

$$\text{sign} \{ \tilde{\nabla}_i \varphi(a[k]) \} = \begin{cases} +1 & \text{при } \tilde{\nabla}_i \varphi > 0, \\ 0 & \text{при } \tilde{\nabla}_i \varphi = 0, \\ -1 & \text{при } \tilde{\nabla}_i \varphi < 0, \end{cases} \quad (4)$$

$\tilde{\nabla}_i \varphi(a[k])$ или $\tilde{\nabla}_i \varphi$ — оценка градиента критерия эффективности.

В решаемой задаче градиент критерия эффективности невозможно получить в явной форме от оптимизируемых параметров, поскольку определение его точного значения связано с большими вычислительными трудностями. Поэтому целесообразно обратиться к точечной оценке градиента, поисковый алгоритм которого имеет вид

$$\bar{\nabla}_i \varphi = (\varphi_{i+} - \varphi_{i-}) / 2g_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \varphi_{i+} &= \varphi(a_1, \dots, a_{i-1}, a_i + g_i, a_{i+1}, \dots, a_n), \\ \varphi_{i-} &= \varphi(a_1, \dots, a_{i-1}, a_i - g_i, a_{i+1}, \dots, a_n) \end{aligned} \quad (6)$$

(g_i — пробный шаг поиска).

Поиск вдали от оптимума должен вестись большими шагами, а вблизи — малыми. Для ускорения сходимости длина шага уменьшается только при изменении направления поиска.

Особое внимание при решении многокритериальной задачи синтеза АПП уделялось выбору начального шага поиска, от величины которого зависят многие параметры: надежность поиска, точность нахождения экстремальных точек, затраты времени, необходимого на поиск решения поставленной задачи.

Точность нахождения экстремальных точек напрямую связана с формой поверхности отклика. Целевые функции, разработанные применительно к техническим объектам при оптимальном проектировании, характеризуются довольно сложным рельефом поверхностей. Последнее объясняется, в первую очередь, многомерностью функции цели и конфликтностью частных критериев, наличием различного рода ограничений, накладываемых на объект оптимизации, введением функций штрафа и рядом других факторов.

Различно вида овраги и гребни на поверхности отклика затрудняют процесс нахождения глобального экстремума. Нерационально выбранный исходный шаг поиска усугубляет положение, особенно в случаях, когда ось оврага расположена не вдоль направления приращений управляемых параметров [3, с. 536].

Учитывая вышеизложенное, для подтверждения оптимальности найденного решения [1, табл. 1, с. 42] при начальном рабочем шаге поиска $\gamma_0 = 0,5$ проводились дополнительные исследования, базирующиеся на варьировании величины γ_0 . При этом установка нижней и верхней границ, а также величины приращения при вариации данного параметра производилась исходя из параметрических ограничений, области начального приближения, предшествующего опыта проектирования и интуиции.

В качестве частных критериев эффективности, оценивающих рациональность выбора параметров исполнительных механизмов управления сцеплением и двигателем, использовались следующие показатели: время разрыва потока мощности при переключении $t_{р.м.}$, удельные максимальные мощность $N_{уд}^{max}$ и работа буксования $L_{уд}^{бук}$ включаемого фрикциона, коэффициент динамических нагрузок $K_{дин}$ и максимальный размах колебаний производной продольного ускорения автомобиля по времени \dot{V}_a (джерк). Свертка частных оценочных критериев в интегральный критерий $\Phi(X)$ эффективности проводилась, согласно стратегии взвешенной аддитивной компенсации противоречий, с использованием нормирующих и масштабирующих преобразований [1]. Результаты опытов приведены в таблице. Анализ полученных результатов подтверждает предположение о влиянии величины начального рабочего шага на значение интегрального критерия эффективности.

Зависимость интегрального критерия эффективности от величины начального шага поиска

γ_0	$\Phi(X)$	Оптимальный параметр АПП						Частный критерий эффективности					$\Phi(X')$
		x_1, c^{-1}	x_2, c^{-1}	x_3, c^{-1}	x_4, c^{-1}	x_5, c^{-1}	x_6, c^{-1}	$N_{уд}^{max}, Вт/см^2$	$L_{уд}^{бук}, Дж/см^2$	$K_{дин}$	$\dot{V}_a, м/с^3$	$t_{р.м.}, с$	
0,2	0,6974	5,58	9,60	5,71	9,78	20,21	20,09	1,542	0,097	1,068	9,111	0,600	0,6207
0,4	0,6974	5,46	9,50	5,74	10,17	20,74	20,00	1,491	0,098	1,068	8,931	0,608	0,6096
0,5	0,6974	5,50	7,51	3,21	10,09	20,00	20,17	0,000	0,000	1,048	5,040	0,549	0,3395
0,6	0,6974	4,17	8,00	3,00	9,45	23,91	20,26	0,008	0,000	1,042	4,892	0,567	0,3355
0,7	0,6974	5,98	7,50	3,20	10,06	20,00	21,08	0,000	0,000	1,048	5,040	0,550	0,3397
0,8	0,6974	6,22	7,50	3,29	10,07	20,80	19,99	0,000	0,000	1,051	5,125	0,545	0,3412
0,9	0,6974	6,25	7,50	3,30	10,23	20,90	19,30	0,000	0,000	1,052	5,143	0,544	0,3415
1,0	0,6974	4,51	7,50	3,48	10,17	24,02	17,81	0,000	0,000	1,059	5,309	0,534	0,3447
0,55	0,6974	5,43	7,54	3,19	10,00	21,18	20,00	0,000	0,000	1,048	5,037	0,553	0,3400
0,65	0,6974	4,81	8,55	4,71	9,96	20,91	20,88	0,699	0,038	1,083	16,07	0,618	0,4984

При всех прочих равных условиях, при начальном шаге поиска, равном соответственно $\gamma_0 = 0,5, 0,6, 0,7$, интегральный критерий эффективности $\Phi(X^*)$ уменьшается по сравнению с начальным значением $\Phi(X)$ в среднем на 50%. Для других вариантов обобщенный отклик также имеет минимально возможное значение при заданной величине начального рабочего шага γ_0 , но полученное решение не может считаться приемлемым ввиду своей явной локальной сущности.

Интересен тот факт, что выбор промежуточных значений начального рабочего шага ($\gamma_0 = 0,55; 0,65$), при которых целевая функция должна бы иметь свой минимум, не приводит к ожидаемому результату (таблица), подтверждая тем самым гипотезу о сложности рельефа поверхности обобщенного отклика.

Проведенные исследования доказали рациональность выбора начального рабочего шага $\gamma_0 = 0,5$ при решении поставленной многокритериальной задачи оптимизации [1]. Параметры, полученные в результате синтеза АПП, соответствуют минимуму интегрального критерия эффективности $\Phi(X^*) = 0,3395$ (по сравнению с начальным значением $\Phi(X) = 0,6974$) и улучшают практически все значения частных откликов оптимизируемого процесса.

Таким образом, при решении многокритериальных задач методами стохастической оптимизации, основанными на детерминированном (градиентном) или случайном поиске, необходимо оценивать степень изменения интегрального критерия эффективности $\Phi(X^*)$ по сравнению с его исходным значением $\Phi(X)$ при заданном начальном приближении. Результат в виде полученных оптимальных параметров может считаться эффективным, если частные критерии эффективности имеют минимально или максимально возможные значения, или находятся в допускаемых пределах по критериальным ограничениям, но удовлетворяют при этом работоспособности технического объекта в отношении заданного свойства.

В противном случае необходимо варьировать значением начального рабочего шага γ_0 , изучить рельеф поверхности обобщенного отклика в области предполагаемого экстремума и проанализировать рациональность выбранного начального рабочего шага поиска.

Литература

1. Руктешель О. С., Кусяк В. А. // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз. тэхн. навук. 2004. № 2. С. 38—43.
2. Руктешель О. С. Анализ и синтез систем автоматического управления переключением передач автотранспортных средств: Дис. ... д-ра. техн. наук: 05.05.03. Мн., 1986.
3. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем. Мн., 1997.

V. A. KUSYAK

ON THE INFLUENCE OF INITIAL SEARCH STEP VALUE ON THE RESULTS OF THE ALGORITHM SYNTHESIS OF GEAR SHIFT

Summary

The article deals with the matters of searching of working step influence on the output characteristics of the optimization process. Rationalization of adoption initial step is proved, surface of integral criteria efficiency in the extremum area is investigated. Recommendations for the choice of optimal search step at multicriteria task solution of gearshift algorithm synthesis are given in activity.