

УДК 658.51

Определение Парето-оптимального множества реализации работы на примере применения генетического алгоритма

Догадина Е. П., Кропотов Ю. А.

Постановка задачи: одной из целей предприятия является повышение эффективности функционирования производственных систем за счет увеличения загрузки оборудования и персонала и снижения производственных издержек. В связи с появлением новых информационных технологий и сложной структурой организации производства возникает необходимость разработки алгоритмов, позволяющих проводить оптимизации производственных и технологических процессов. В работе рассмотрено определение Парето-оптимального множества среднего времени изготовления изделия с учетом нескольких критериев оптимальности. Разработан и предложен алгоритм векторного управления параметрами производственных процессов. Внесены изменения в ход реализации алгоритма управления в зависимости от поведения целевой функции. **Используемые методы:** в исследованиях применялись методы многокритериальной оптимизации, стохастические методы глобального поиска, методы аппарата теории массового обслуживания. **Результат:** в работе представлен поиск оптимальных решений функционирования производственного процесса с учетом применения модифицированного генетического алгоритма при различном числе популяций и поколений. С помощью разработанного алгоритма экономится время на оптимизацию графика производства с учетом требуемых производственных ограничений, а также осуществляется возможность оперативно реагировать на смену приоритетов и непредвиденные обстоятельства в ходе выполнения производственного процесса.

Ключевые слова: критерий, оптимизация, аддитивная свертка, стохастический метод, Парето-оптимальное множество.

Введение

В работе разработан и реализован алгоритм управления на базе стохастических методов глобального поиска, который предлагается применять при поиске глобальных решений производственных задач с высокой размерностью системы или при неизвестном поведении целевой функции.

В качестве метода глобального поиска для составления алгоритма векторного управления производственными процессами для мелкосерийного типа производства выбран метод на базе генетического алгоритма. Генетические алгоритмы представляют собой адаптивные методы поиска, которые в последнее время часто используются для решения задач функциональной оптимизации.

Модифицированный метод генетического алгоритма

Методика кодирования оптимизируемых параметров состоит в их преобразовании в двоичные целочисленные строки достаточной длины - достаточной для того, чтобы обеспечить желаемую точность. В работе введен термин хромосома, в качестве которой представляется каждое значение вектора оптимизируемых параметров $X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \in \Omega_{\text{дон}}$. Хромосомы эволюционируют на протяжении множества итераций, носящих название поколений (или генераций). В ходе каждой итерации хромосома оценивается с использованием некоторой меры, которую называют функцией соответствия.

Функция соответствия играет роль среды и оценивает хромосомы по степени их приспособленности к выполнению критерия оптимизации.

Хромосомы с большей функцией соответствия имеют больше шансов быть выбранными (выжить).

Наибольшее распространение на практике получил подход, называемый колесо рулетки [1, 2]. Согласно этому подходу отбор осуществляется на основе некоторой функции распределения, которая строится пропорционально вычисленным функциям соответствия сгенерированных вариантов-хромосом. Колесо рулетки может быть сконструировано следующим образом:

1) вычисляем значение функции соответствия $F_k(X_k)$ для каждой хромосомы $X_k, k = 1..N_{pop}$, N_{pop} – размер популяции;

2) вычисляем общую функцию соответствия популяции:

$$f = \sum_{k=1}^{N_{pop}} (F_k(X_k) - \min_{j=1..N_{pop}} (F_j(X_j))) ;$$

3) вычисляем вероятность отбора p_k для каждой хромосомы X_k

$$p_k = \frac{F_k(X_k) - \min_{j=1..N_{pop}} (F_j(X_j))}{f}, k = 1..N_{pop} ;$$

4) вычисляем совокупную вероятность q_k для каждой хромосомы X_k

$$q_k = \sum_{j=1}^k p_j, k = 1..N_{pop} .$$

Процесс отбора начинается с процедуры выбора значения вектора оптимизируемого параметра N_{pop} раз. При этом каждый раз выбирается одна хромосома по следующему алгоритму: генерируем случайное число r_k , и если это число меньше совокупной вероятности q_k хромосомы X_k , то выбираем k -ую хромосому для новой популяции.

В работе используется односточный кроссинговер [1, 2]. К полученному в результате отбора и скрещивания новому поколению применяется оператор мутации, необходимый для «выбивания» популяции из локального экстремума и способствующий защите от преждевременной сходимости. Определенный бит выбранной особи популяции с некоторой малой вероятностью (обычно меньше $P_{mut} \leq 1\%$) инвертируется.

Сформулируем алгоритм управления процессами производства на базе генетического алгоритма [3–5], состоящий из следующих шагов:

1. Генерация начальной популяции.

Заполнение популяции особями, в которых элементы массива (биты) заполнены случайным образом в пределах границ, определенных пользователем.

2. Определение параметров генетического алгоритма.

Параметрами алгоритма являются размер популяции особей N_{pop} , число поколений N_{pok} , вероятность кроссинговера $P_{skresch}$ и вероятность мутации

P_{myt} , определяющие для каждой популяции число пар скрещивающихся хромосом и число мутирующих хромосом.

3. Генерация исходной популяции.

Исходная популяция может быть сформирована случайным образом.

4. Выбор родительской пары.

Выбор родительской пары осуществляется с помощью метода рулетки, то есть метода пропорционального отбора. Хромосомы отображаются в виде отрезка линий или секторов рулетки таким образом, что их размер пропорционален значению целевой функции. Далее случайным образом генерируем числа в интервале от 0 до 1, и в качестве родителей выбираются те особи, в чей отрезок попадают случайные числа. При этом номера хромосом родителей должны отличаться.

5. Скрещивание хромосом особей.

Кроссинговер происходит следующим образом: берем случайную точку $r \in \{0,1\}$ и выбираем хромосомы для скрещивания. После этого используется кроссинговер с одной точкой обмена, изложенный выше.

6. Мутация хромосом особей.

Определяется число мутаций и выбор хромосомы для мутации. Осуществляется одноточечная мутация.

7. Проверка условия завершения процесса эволюции.

Если условие завершения алгоритма не выполнено, то переход на шаг 4, иначе переход на шаг 8. В качестве условия завершения процесса может быть достижение заданного числа поколений или получение определенного числа одинаковых особей.

8. Формирование Парето-оптимального решения.

Для решения конкретной задачи управления в соответствии с ее особенностями по приведенной выше схеме разрабатывается генетический алгоритм с задаваемыми ЛПР параметрами алгоритма.

В данной работе предлагается модификация генетического алгоритма, имеющая следующие особенности [3, 5, 6].

1) В качестве хромосом представляются значения вектора оптимизируемых параметров $X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \in \Omega_{don}$. Причем каждая особь популяции должна принадлежать области допустимых значений Ω_{don} . Под особью $X_i, i = 1..N_{pop}$ понимается соответствующее значение вектора $X = (X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n}) \in \Omega_{don}$, в котором число изменений особей и ген зависит от числа поколений N_{pok} .

2) Функция соответствия хромосомы определяется для каждой особи в отдельности и представляет собой значение целевой функции, вычисленного с помощью векторной свертки, в зависимости от критериев.

3) Выбранные гены (компоненты особи $(X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n})$) для скрещивания не должны совпадать, а также значение этих ген должно быть в пределах области допустимых значений, иначе выбор других ген.

- 4) Для осуществления мутации необходимо выбрать ген, который подвергается мутации, и обозначить его порядковый номер в популяции; бит в гене, который надо мутировать.
- 5) В качестве условия завершения процесса используем достижение заданного числа поколений.

Программное представление полученных результатов

Представим решение производственного процесса с последовательной ячеистой структурой, характерной для мелкосерийного типа производства, с применением разработанного метода многокритериального управления на базе генетического алгоритма.

В первом варианте рассмотрим размер популяции N_{pop} больший, чем число поколений N_{pok} ; а во втором варианте число поколений N_{pok} больше, чем размер популяции особей N_{pop} . Примем значения вероятности кроссинговера $P_{skresch} = 0,1$ и вероятности мутации $P_{myt} = 0,01$.

Результаты решения задачи для данного варианта и множество Парето изображено на рис. 1. В качестве оптимизируемого параметра выбрано среднее время изготовления изделия $\bar{t}_{изгот} = \frac{1}{\mu}$. Рассмотрим реализацию метода для варианта 1: $N_{pop} = 50$; $N_{pok} = 20$.

Весовой коэффициент важности ξ	Среднее относительное время занятости персонала K_1	Средняя относительная стоимость изготовления изделия K_2	Интенсивность изготовления изделия μ , мин ⁻¹	Среднее время изготовления изделия $\bar{t}_{изгот}$, мин
0,0	0,012137	0,01012	0,98817	1,012
0,1	0,012163	0,01014	0,98602	1,0142
0,2	0,012845	0,01071	0,93358	1,0711
0,3	0,015053	0,01255	0,79635	1,2557
0,4	0,015935	0,01329	0,75214	1,3295
0,5	0,18074	0,15668	0,06382	15,668
0,6	0,42846	0,426735	0,0234	42,735
0,7	0,56278	0,68147	0,01467	68,147
0,8	0,62184	0,8702	0,01149	87,025
0,9	0,65062	1	0,01	100
1,0	0,65062	1	0,01	100

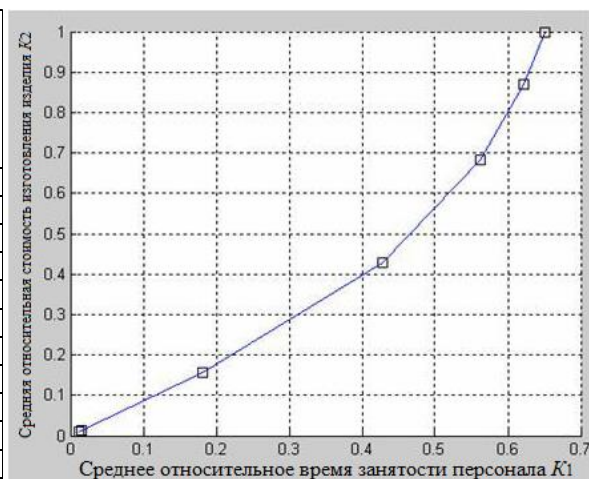


Рис. 1. Результаты управления и Парето-оптимальное множество реализации работы на базе генетического алгоритма при $N_{pop} = 50$; $N_{pok} = 20$

В качестве критериев оптимальности представлены следующие характеристики [5, 6]:

Среднее относительное время занятости персонала на протяжении процесса изготовления изделия

$$K_1 = \frac{1}{M \cdot T} \int_0^T \bar{z}(t) dt \rightarrow \max,$$

где $\bar{z}(t)$ – среднее число параллельно занятого персонала, определяемое как

$$\bar{z}(t) = \sum_{i=2}^{M+1} (i-1)p_i(t) + M \sum_{j=1}^Q P_{M+j+1}(t),$$

где p_i – вероятность пребывания системы в состоянии, в котором i деталей требуют обслуживания и i персонала заняты их обслуживанием $i = \overline{2, M}$; P_{j+M} – вероятность пребывания системы в состоянии, в котором j объектов требуют обслуживания и находятся в очереди, $j = \overline{1, Q}$; M – количество персонала, выполняющего этапы параллельно; Q – длина очереди.

Средняя относительная стоимость изготовления одного изделия

$$K_2 = \frac{c_{3n} \bar{t}_{изгот}}{c_{макс}} \rightarrow \min,$$

где c_{3n} – заработная плата персонала по обслуживанию за одно изготовленное изделие; $c_{макс}$ – максимально возможные трудозатраты предприятия на изготовление одного изделия; $\bar{t}_{изгот}$ – среднее время изготовления изделия персоналом.

В результате реализации программного модуля поиска оптимальных решений функционирования производственного процесса определено, что оптимальное среднее время изготовления изделия составляет 87,025 мин. По полученным данным время занятости обслуживающего персонала в процессе изготовления одного изделия равно 4,974 часа в день, а расходы на изготовление этого изделия составляют 72,226 руб [3, 5].

Рассмотрим реализацию метода для варианта 2: $N_{pop} = 20$; $N_{pok} = 50$.

Результаты решения задачи для данного варианта и множество Парето изображено на рис. 2.

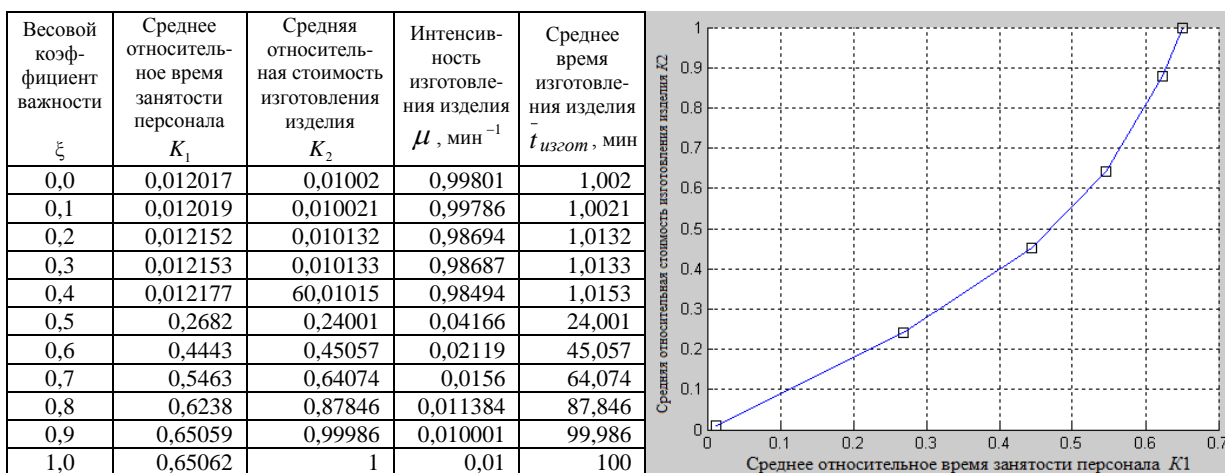


Рис. 2. Результаты управления и Парето-оптимальное множество реализации работы на базе генетического алгоритма при $N_{pop} = 20$; $N_{pok} = 50$

При реализации второго варианта работы с применением метода оптимизации на базе генетического алгоритма при $N_{pop} = 20$; $N_{pok} = 50$ определено, что оптимальное среднее время изготовления изделия составляет

87,846 мин; время занятости обслуживающего персонала в процессе изготовления одного изделия равно 4,9904 часа в день; расходы на изготовление этого изделия составляют 72,912 руб.

На базе полученных результатов при различном значении числа поколений и популяций определено, что оба варианта решения являются максимально приближенными к реальному значению оптимального среднего времени функционирования производственного процесса.

Выводы

Таким образом, применение разработанного алгоритма оптимизации позволяет осуществить многокритериальное управление процессами производства с высокой точностью и минимальными временными затратами.

Данная работа интересна и необходима в связи с тем, что с помощью предложенной разработки можно осуществлять многокритериальную оптимизацию процессов с последовательной ячеистой структурой, характерной для предприятий с мелкосерийным типом производства.

Литература

1. Рутковская Д. И. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с.
2. Коренюшкин А. А. Генетические алгоритмы // Программист. 2003. №2. С. 74-80.
3. Догадина Е. П., Кропотов Ю. А., Суворова Г. П. Математическая модель определения вероятностей состояний системы обслуживания // Радиотехника. 2009. № 11. С. 103-105.
4. Догадина Е. П. Функциональная модель управления производственными процессами с последовательной ячеистой структурой // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011. № 1. С. 119-120.
5. Догадина Е. П., Коноплев А. Н. Многокритериальное управление процессами мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011. № 1. С. 121-123.
6. Догадина Е. П. Программный комплекс автоматизации управления производственными процессами на базе стохастических методов локального поиска // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 154-159.

References

1. Rytkovskaya D I. Neyronnye network, genetic algorithms and ill-defined systems. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom Publ., 2004. 452 p. (in Russia).
2. Dogadina E. P., Kropotov U. A., Suvorova G. P. Mathematical model of the determination of probability of the conditions of the system of the service. *Radiotekhnika*, 2009, no 11, pp. 103-105. (in Russia).

3. Dogadina E. P. Functional model of management production process with consequent cellular structure. *Methods and devices of information transmission and processing*, 2011, no 1, pp. 119-120. (in Russia)

4. Dogadina E. P., Konoplev A. N. Mnogokriterialnoe management process production equipments. *Methods and devices of information transmission and processing*, 2011, no 1, pp. 121-123. (in Russia)

5. Dogadina E. P. Programme complex to automations of management production process on base of the stochastic methods for local searching. *Radio industry*, 2012, no 2, pp. 154-159. (in Russia)

Статья поступила 14 ноября 2015 г.

Информация об авторах

Догадина Елена Петровна – кандидат технических наук. Доцент кафедры электроники и вычислительной техники. Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых. Область научных интересов: системы автоматизации, проектирования и управления; оптимизация. Тел.: +7(49234)77272. E-mail: delena86@yandex.ru

Кропотов Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор. Заведующий кафедрой электроники и вычислительной техники. Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых. Область научных интересов: телекоммуникационные информационно-управляющие системы. Тел.: +7(49234)77272. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Determination Steamed Ensemble to Realization of the Work on Example of the Using the Genetic Algorithm

E. P. Dogadina, Y. A. Kropotov

Purpose. One of the integer of the enterprise is increasing to efficiency of the operating the production systems to account of the increase the loading the equipment and personnel and reductions of the production costs. In connection with appearance new information technology and complex structure to organizations production appears need of the development algorithm, allowing conduct the optimization production and technological processes. Determination Steamed-optimum ensemble of the mean time of the fabrication of the product is considered In work with provision for several criterions. It Is Designed and offered algorithm of vector management parameter production processes. Contributory changes to move of the realization of the algorithm of management depending on behaviours of the target function. **Methods.** In research used methods to optimization, stochastic methods of global searching for, methods of the device

queueing theory. **Results.** In work is presented searching for of the optimum decisions of the operating the production process with provision for using modified genetic algorithm under different count; calculate; list population and generations. By means of designed algorithm is spared time for optimization graphics production with provision for required production restrictions, as well as is realized possibility operative to respond to change priority and incidental circumstance in the course of performing the production process.

Key words: criterion, optimization, folding, stochastic method, Steamed-optimum ensemble.

Information about Authors

Elena Petrovna Dogadina – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor at the Department of Electronics and Computer Science. Murom Institute (Branch) of the Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs. Field of research: systems to automations, designing and management; optimization. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: delena86@yandex.ru

Yurij Anatolievich Kropotov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department of Electronics and Computer Science. Murom Institute (Branch) of the Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs. Field of research: telecommunication information and control systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.