УДК 519.688

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ ИНВЕСТИЦИЙ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ХОЛДИНГОВОГО ТИПА

Анопченко А.И., Беневоленский Д.С., Суглобов С.Н., Чернова Т.А.

Министерство образования и науки РФ, Москва, e-mail: sbb13@mail.ru

Целью работы является повышение обоснованности принятия решений при управлении инвестициями. Приводится математическая модель формирования портфеля реальных инвестиций предприятия. В настоящей работе используется островная модификация генетического алгоритма, которая, в отличие от классического алгоритма, предполагает работу с несколькими изолированными популяциями – островами, между которыми может происходить миграция особей с некоторой вероятностью. Для решения задачи формирования инвестиционного портфеля использовались данные о конкретных инвестиционных проектах, взятые из практики работы холдинга, объединяющего в себе ряд департаментов. Предложенная островная модификация алгоритма может быть применена к оптимизации инвестиций. Получен результат формирования оптимального по доходности и риску инвестиционного портфеля для многоотраслевого холдинга. Создана система анализа и планирования инвестиций в поддержку лиц, принимающих решение, не требующая от исполнителя дополнительных знаний за пределами повседневного опыта.

Ключевые слова: генетический алгоритм, островная модель, инвестиционный портфель

THE HOLDING COMPANY INVESTMENT PORTFOLIO MANAGEMENT ALGORITHM

Anopchenko A.I., Benevolenskiy D.S., Suglobov S.N., Chernova T.A.

The Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Moscow, e-mail: sbb13@mail.ru

The purpose of this paper is to find and justify the most lucrative investment options in portfolio management. The mathematical model of real investments portfolio formation of the enterprise is described in the article. Unlike the classical algorithm, Island Model Genetic Algorithm, which is used in this work, assumes work with several isolated populations – islands – between which a migration of individuals is possible. To solve the problem of forming an investment portfolio, data on specific investment projects, taken from the practice of holding, which combines a number of departments, was used. The offered island modification of the algorithm can be applied to investments optimization. Result is obtained by creating the investment portfolio, optimal in terms of risk and return, for a diversified holding company. A system of analysis and investment planning was created to support decision-makers, which does not require from the user any additional knowledge outside of everyday experience.

Keywords: genetic algorithm, island model, investment portfolio

Современный холдинг с различными направлениями деятельности в условиях конкуренции характеризуется действием множества факторов, влияющих на финансовый результат, и возможностью выбора из множества допустимых вариантов инвестиционных стратегий. Поэтому часто трудно оценить обоснованность и последствия того или иного инвестиционного решения, опираясь лишь на личный опыт и интуицию. В этой связи существенное значение имеют формализованные подходы к управлению инвестиционными программами. Современные исследователи теории и практики анализа реальных инвестиций идут по пути совершенствования формальных моделей и инструментальных средств, разрабатывая все более и более приближенные к реальности подходы.

Однако попытка приблизить модели к реальности приводит к их усложнению с точки зрения формальной математики – появляются нелинейные зависимости, вычислительно сложные выражения, возникают оптимизационные задачи, не решаемые средствами классической теории оптимизации. На разрешение этой проблемы и ориентирована данная работа. Отличительной чертой предлагаемого подхода – применения методов эволюционной оптимизации, является его значительный потенциал для дальнейшего развития, даже при дальнейшем усложнении формального аппарата анализа реальных инвестиций (имеется в виду появление нелинейных, динамических, многокритериальных, стохастических постановок). Более того, эволюционные алгоритмы как бы самонастраиваются на решаемую задачу, что позволяет практически автоматизировать решение сложных оптимизационных задач.

Остановимся на постановке задачи формирования оптимального портфеля инвестиций многоотраслевого холдинга. Важным, но не рассматривающимся в настоящей работе этапом является формирование инвестиционных проектов и расчет ожидаемой прибыли по каждому из них. После того, как для каждого инвестиционного проекта рассчитаны ожидаемые прибыли и оценены риски, среди них выбирают эффективные проекты и приступают к формированию оптимального инвестиционного портфеля. Рассмотрим задачу формирования оп-

тимального инвестиционного портфеля предприятия холдингового типа, в составе которого выделены так называемые Центры Финансовой Ответственности (ЦФО), которым дано право самостоятельного планирования инвестиций из собственных средств (при поддержке материнского предприятия) [2]. При этом при формировании оптимального портфеля инвестиционных проектов должны учитываться ограничения по выделяемым средствам, норме прибыли и общей рискованности портфеля.

Для формализации критерия получения максимальной доходности от инвестиционных проектов, при соблюдении всех ограничений, введем следующие обозначения [2]: m – количество ЦФО на предприятии; N_i – количество инвестиционных проектов на i-м ЦФО, $i=\overline{1,m}$; Π_{ij} – плановый годовой объем прибыли, получаемый i-м ЦФО от внедрения j-го нововведения, $j=\overline{1,N}$; R_{ij} – экспертная оценка рискованности соответствующего инновационного проекта; c_{ij} – плановые годовые затраты финансовых средств i-го ЦФО на j-е нововведение, способствующее увеличению мощности ЦФО, c_i – плановые годовые объемы финансовых средств, выделяемые ЦФО на осуществление нововведений; $c=\sum_{i=1}^{m} c_i$ – сумма средств, выделяемых всеми ЦФО на реализацию их инвестиционных программ; M – плановый годовой объем финансовых средств, выделяемый центральной компанией на реализацию нововведений ЦФО; r – допустимая средняя прибыль на 1 руб. затрат (норма прибыли на капитал), ρ – ограничение на суммарную рискованность инвестиционного портфеля; x_{ij} – искомый параметр, показывающий, планируется ли к внедрению на i-м ЦФО j-е нововведение (если $x_{ij}=1$, то планируется, если $x_{ij}=0$, то не планируется).

Тогда для повышения обоснованности принятия решений при формировании оптимального портфеля инвестиционных проектов необходимо решить задачу условной оптимизации [7]:

$$f(x)=\sum_{i=11}^{m}\sum_{j=}^{N_i}\Pi_{ij}x_{ij}\to\max,\quad xi_j\in\{1,0\};$$

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N_i}x_{ij}}\cdot\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N_i}R_{ij}x_{ij}\le\rho;$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N_i}c_{ij}x_{ij}\le c+M;$$

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N_i}c_{ij}x_{ij}}\cdot\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{N_i}\Pi_{ij}x_{ij}\le r.$$

Эта задача с бинарными переменными в приведенной постановке является достаточно сложной для решения известными методами, особенно при больших размерностях. При реальной постановке оценки ожидаемых прибылей и рисков являются функциями от объёмов выделенных средств. Более того, в задачах реальных инвестиций предприятия необходимо учитывать ограничения не только на финансовые, но и на другие ресурсы (энергия, тепло, кадры и т.п.) [2]. В результате получаем алгоритмическое решение задачи (а не аналитическое), поскольку классическими методами целочисленной оптимизации эту задачу решить невозможно.

Рассмотрим применение эволюционных алгоритмов для класса решаемых задач. В последние десятилетия получили развитие и продемонстрировали свою универсальность и применимость в сложных практических задачах так называемые эволюционные алгоритмы [3], которые представляют собой стохастическую оптимизационную процедуру, основанную на имитации процессов естественной эволюции. Возможные решения в этих алгоритмах называются индивидами, алгоритмы работают одновременно с их группами (популяциями), применяя к индивидам и популяциям стохастические операторы преобразования (так называемые генетические операторы – селекцию, скрещивание, мутацию, клонирование и т.п.).

В общем виде работа стандартного генетического алгоритма представлена следующими шагами: инициализируется случайным образом популяция решений; с помощью оператора селекции выбирают наиболее пригодную часть популяции (родителей) для порождения потомков; применяют оператор скрещивания (генерируются новые решения – потомки); новые решения (потомки) подвергаются мутации; формируется из популяции родителей и потомков новая рабочая популяция; процесс повторяется, пока не выполнится условие остановки. По ходу работы генетический алгоритм генерирует все более и более пригодных индивидов, т.е. решения задачи, все более близкие к оптимальным. Показано [3], что генетический алгоритм обладает сходимостью по вероятности к оптимальному решению.

В настоящей работе используется островная модификация генетического алгоритма, в отличие от классического алгоритма, она работает с несколькими изолированными популяциями – островами, но между которыми может происходить миграция особей с вероятностью pm [6]. Островная модификация предотвращает

преждевременную сходимость к локальным максимумам и облегчает применение распределенных вычислений, так как каждый остров может обрабатываться отдельным компьютером. Работу островного генетического алгоритма представим в общем виде такой последовательностью [5]: инициализируется случайным образом M популяций решений; производится оценка решений, в пределах каждого из M островов в соответствии со значениями приспособленности формируется популяция потомков; новые решения (потомки) подвергаются мутации; из популяции родителей и потомков формируется новая рабочая популяция; с вероятностью pm выбираются 2 острова случайным образом, и переносится лучшее решение с одного острова на другой; процесс повторяется, пока не выполнится условие остановки.

В ходе работы островного генетического алгоритма идет несколько параллельных процессов поиска решения, которые могут идти в разных направлениях, а случайный обмен решениями каждые N итераций позволяет выходить из локальных максимумов; на шагах 2 и 5 (селекция родителей и формирование новой популяции) обоих алгоритмов выбор индивида из популяции происходит в зависимости от его степени пригодности. В общем случае, чем более пригоден индивид, тем у него больше шансов быть отобранным. Степень пригодности вычисляется через функцию пригодности. Если при безусловной оптимизации вычисление пригодности через значение целевой функции достаточно очевидно, то при наличии ограничений требуются специальные подходы [4].

Пусть решается задача условной оптимизации:

$$f(x) \to extr,$$

ограничения $$\begin{cases} g_i(x) \le 0,\ j = \overline{1,r} \\ h_j(x) = 0,\ j = \overline{r+1,m} \end{cases}$$

В общем случае пригодность индивида x_i, вычисляется по формуле [4]:

$$fitness(x_i) = f(x_i) + \delta \cdot \lambda(t) \cdot \sum_{j=1}^{m} f_j^{\beta}(x_i),$$

где t – номер текущего поколения, $\beta = 1$, если решается задача минимизации, и $\beta = -1$, если решается задача максимизации; $f_j^{\beta}(x_i)$ – штраф за нарушение j-го ограничения i-м индивидом, $\lambda(t)$; β – параметры. В частности, при использовании метода динамических штрафов [4]:

$$fitness(x_i) = f(x_i) + \delta \cdot \lambda(t) \cdot (c \cdot t)^{\alpha} \cdot \sum_{j=1}^{m} f_j^{\beta}(x_i);$$

$$f_j(x) = \begin{cases} \max\{0, g_i(x)\}, & j = \overline{1,r} \\ |h_j(x)|, & j = \overline{r+1,m} \end{cases},$$

Параметры α, β часто на практике принимаются равными 2. Параметр C для каждой задачи подбирается индивидуально (если же это не удается, то зачастую полагается $C = 0{,}5$). Данный метод был выбран после проверки и сравнения с другими методами как наиболее эффективный в рассматриваемых задачах.

Приведём результаты формирования оптимального инвестиционного портфеля предприятия. Рассматриваемые алгоритмы решения сложных задач оптимизации являются стохастическими, поэтому в условиях, когда невозможно теоретически оценить их эффективность, проводится их тщательное экспериментальное исследование на представительном наборе тестовых задач, исследуется эффективность алгоритма и выбираются наиболее эффективные установки. Затем решаются описанные выше задачи инвестиционного планирования – формирования оптимального с точки зрения доходности и риска, инвестиционного портфеля предприятия холдингового типа.

Для решения задачи формирования инвестиционного портфеля использовались данные о конкретных инвестиционных проектах, взятые из практики работы холдинга, объединяющего в себе ряд департаментов – ЦФО. Составлен список инвестиционных проектов, планируемых для внедрения, в разрезе ЦФО, а также соответствующие им числовые данные: планируемые прибыльность, затраты и рискованность внедрения (таблица).

Для того чтобы оценить эффективность алгоритмов и определить наилучшие настройки генетических операторов, были выбраны следующие параметры: количество поколений – 30, размер популяции на каждом острове – 128 индивидов, количество островов – 10. Количество разрешённых вычислений целевой функции составило 38400, что приблизительно равно 0,11 % мощности допустимого множества (мощность допустимого множества 225 точек). В настройках заданы ограничивающие параметры, такие как размер доступных средств, ограничения рентабельности и риска и т.д. После обработки исходных данных на выходе программы сформирован пакет инвестиций (рисунок), причем было рассчитано решение, обеспечивающее максимальное использование доступных средств и не выходящее за ограничения.

Исходные данные для задачи формирования инвестиционного портфеля

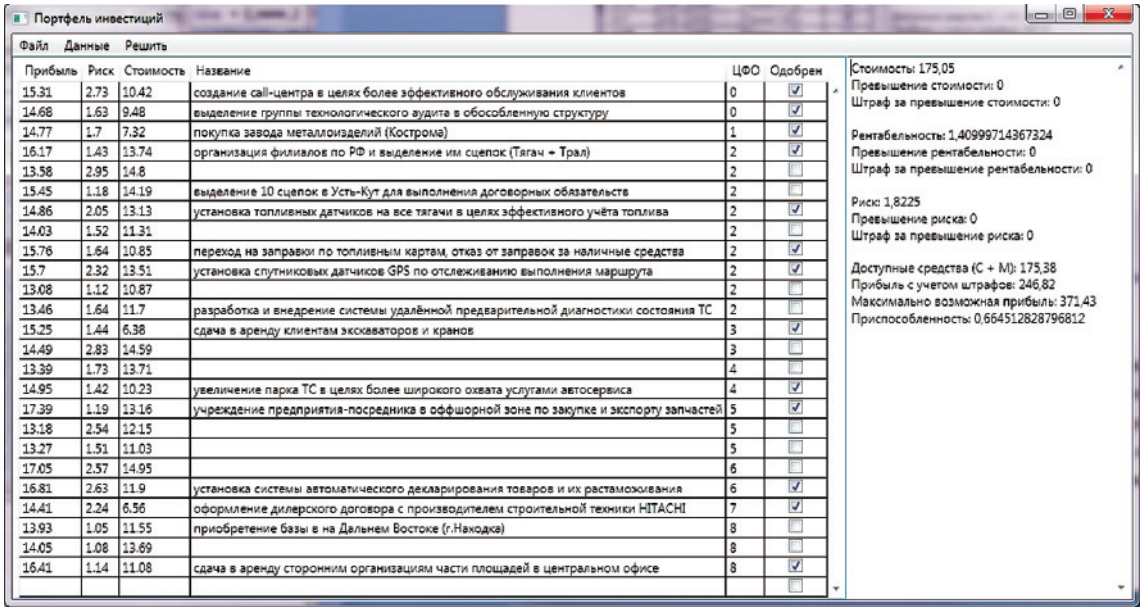
Номер ЦФО	Проект	Название	Прибыль	Риск	Стоимость	Доступно
ЦФО 0		Центральная структура холдинга, управляющий центр				
	Проект 1	Создание call-центра в целях более эффективного обслуживания клиентов	15,31	2,73	10,42	
	Проект 2	Выделение группы технологического аудита в обособленную структуру	14,68	1,63	9,48	
	Всего		29,99	4,36	19,9	9,95
ЦФО 1		Производство департамент				
	Проект 1	Покупка завода металлоизделий (Кострома)	14,77	1,7	7,32	
	Всего		14,77	1,7	7,32	3,66
ЦФО 2		Перевозки департамент				
	Проект 1	Организация филиалов по РФ и выделение им сцепок (Тягач + Трал)	16,17	1,43	13,74	
	Проект 2	…	13,58	2,95	14,8	
	Проект 3	Выделение 10 сцепок в Усть-Кут для выполнения договорных обязательств	15,45	1,18	14,19	
	Проект 4	Установка топливных датчиков на все тягачи в целях эффективного учёта топлива	14,86	2,05	13,13	
	Проект 5	…	14,03	1,52	11,31	
	Проект 6	Переход на заправки по топливным картам, отказ от заправок за наличные средства	15,76	1,64	10,85	
	Проект 7	Установка спутниковых датчиков GPS по отслеживанию выполнения маршрута	15,7	2,32	13,51	
	Проект 8	…	13,08	1,12	10,87	
	Проект 9	Разработка и внедрение системы удалённой предварительной диагностики состояния ТС	13,46	1,64	11,7	
	Всего		132,09	15,85	114,1	57,05
ЦФО 3		Аренда департамент				
	Проект 1	Сдача в аренду клиентам экскаваторов и строительных кранов	15,25	1,44	6,38	
	Проект 2	…	14,49	2,83	14,59	
	Всего		29,74	4,27	20,97	10,485
ЦФО 4		Сервис департамент				
	Проект 1		13,39	1,73	13,71	
	Проект 2	Увеличение парка ТС в целях более широкого охвата услугами автосервиса	14,95	1,42	10,23	
	Всего		28,34	3,15	23,94	11,97
ЦФО 5		Запчасти департамент				
	Проект 1	Учреждение предприятия-посредника в оффшорной зоне по закупке и экспорту запчастей	17,39	1,19	13,16	
	Проект 2	…	13,18	2,54	12,15	
	Проект 3	…	13,27	1,51	11,03	
	Всего		43,84	5,24	36,34	18,17
ЦФО 6		Логистика департамент				
	Проект 1		17,05	2,57	14,95	
	Проект 2	Установка системы декларирования товаров по электронным каналам связи	16,81	2,63	11,9	
	Всего		33,86	5,2	26,85	13,425
ЦФО 7		Продажи департамент				
	Проект 1	Оформление дилерского договора с производителем строительной техники HITACHI	14,41	2,24	6,56	
	Всего		14,41	2,24	6,56	3,28
ЦФО 8		Недвижимость департамент				
	Проект 1	Приобретение базы на Дальнем Востоке (г. Находка)	13,93	1,05	11,55	
	Проект 2	…	14,05	1,08	13,69	
	Проект 3	Сдача в аренду сторонним организациям части площадей в центральном офисе	16,41	1,14	11,08	
	Всего		44,39	3,27	36,32	18,16
	ИТОГО		371,43	45,28	292,3	

Таким образом:

Использованная островная модификация алгоритма может быть применена к рассматриваемому классу задач по оптимизации инвестиций.

Получен результат формирования оптимального по доходности и риску инвестиционного портфеля для многоотраслевого холдинга.

Создана система анализа и планирования инвестиций в поддержку лиц, принимающих решение, не требующая от исполнителя дополнительных знаний за пределами повседневного опыта.



Интерфейс компьютерной программы с результатами расчета

Список литературы

1. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. – University of Michigan Press: Ann Arbor, MI, 1975.

2. Семенкин Е.С. Модели и алгоритмы распределения общих ресурсов при управлении инновациями реструктурированного машиностроительного предприятия / Е.С. Семенкин, В.М. Клещков // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2006. – № 3.

3. Goldberg D. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. – Reading, MA, Addison-Wesly, 1989.

4. Michalewicz Z. Genetic algorithms, numerical optimization and constraints // Proc. of the 6th Int. Conf. on Genetic Algorithms and their Applications. – Pittsburg. PA, 1995.

5. Whitley D., Rana S., Heckendorn R.B. Island Model Genetic Algorithms and Linearly Separable Problems // Proceedings of the AISB Workshop on Evolutionary Computation (1997).

6. Martin W.N., Lienig J., Cohoon J.P. Island (migration) models: evolutionary algorithms based on punctuated equilibria. In Bäck, T. et al., editors, Evolutionary Computation 2, chapter 15. – Institute of Physics Publishing, Bristol, UK, 2000.

7. Семенкин Е.С., Медведев А.В., Ворожейкин А.Ю. Модели и алгоритмы для поддержки принятия решений инвестиционного аналитика // Вестник Томского государственного университета. .– 2006. – Вып. 293– С. 63–70.

References

1. Holland J.H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press*: Ann Arbor, MI. 1975.

2. *Modeli i algoritmy raspredelenija obwih resursov pri upravlenii innovacijami restrukturirovannogo mashinostroitel' nogo predprijatija* / E.S. Semenkin, V.M. Klewkov // Problemy mashinostroenija i avtomatizacii. 2006. no 3.

3. *Goldberg D. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Reading*, MA, Addison-Wesly, 1989.

4. Michalewicz Z. *Genetic algorithms, numerical optimization and constraints* // Proc. of the 6th Int. Conf. on Genetic Algorithms and their Applications. Pittsburg. PA, 1995.

5. Whitley D., Rana S., Heckendorn R.B. *Island Model Genetic Algorithms and Linearly Separable Problems. Proceedings of the AISB Workshop on Evolutionary Computation* (1997).

6. Martin W.N., Lienig, J., Cohoon J.P. *Island (migration) models: evolutionary algorithms based on punctuated equilibria*. In Bäck, T. et al., editors, Evolutionary Computation 2, chapter 15. Institute of Physics Publishing, Bristol, UK. 2000.

7. Semenkin E.S., Medvedev A.V., Vorozhejkin A.Ju. *Modeli i algoritmy dlja podderzhki prinjatija reshenij investicionnogo analitika, Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. Vyp. 293. 2006. pp. 63–70.

Рецензенты:

Галушкин А.И., д.т.н., профессор, начальник лаборатории «Интеллектуальные информационные системы» ФГОУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти», г. Москва;

Марсов В.И., д.т.н., профессор Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), кафедра «Автоматизация производственных процессов», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 01.02.2012.