

УДК 330.46, 519.834

АГРЕГИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ**В.Г. Саркисов**Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Предложен обобщенный подход к формированию системы управления инвестициями путем объединения нескольких существующих систем. Выделены основные способы объединения: формирование портфеля систем и объединение на основе логических операций. Представлены основные организационные формы индивидуальных и коллективных инвестиций, проведена их классификация по характерным способам агрегирования подсистем. Предложен метод выбора способа агрегирования на основе анализа коалиционной игры, порождаемой объединением на основе логических операций. Агрегирование и последующая оптимизация порождают проблему переобучения (overfitting) системы. Рассмотрены основные меры по ограничению переобучения.

Ключевые слова: инвестиционный портфель, агрегирование подсистем, коллективные инвестиции, граф системы, переобучение.

Введение

Развитие инфраструктуры финансовых рынков и вовлечение в инвестиционный процесс большого количества физических и юридических лиц привело к повышению конкуренции и необходимости применения все более сложных систем принятия инвестиционных решений. Обычно такая система формируется путем агрегирования нескольких более простых ранее известных систем.

Все действия системы принятия инвестиционных решений в конечном итоге приводят к изменению состава и структуры инвестиционного портфеля. Поэтому, абстрагируясь от содержательной стороны инвестиций, будем считать, что k -тая система формирует непосредственно вектор $x_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kN})$ долей инвестиционных активов в портфеле ($x_{kn} \in R$ – доля n -го актива в портфеле k -той системы в момент t , N – количество доступных активов). Агрегированная система также формирует портфель, описываемый вектором аналогичного вида: $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$.

При агрегировании K систем метод агрегирования можно охарактеризовать отображением $F: R^{NK} \rightarrow R^N$, ставящим в соответствие совокупности K векторов $x_1, \dots, x_K$ портфелей агрегируемых систем вектор портфеля агрегированной системы y .

В настоящее время можно выделить два основных способа агрегирования систем принятия инвестиционных решений: формирование портфеля подсистем и логические операции над портфелями подсистем. Рассмотрим эти способы более подробно.

Портфель подсистем

Формирование портфеля подсистем предполагает, что каждой из подсистем в управление передается некоторая доля капитала (обозначим долю капитала, управляемую k -той системой, через γ_k , $\sum_{k=1}^K \gamma_k = 1$). При этом портфель агрегированной системы представляет собой линейную комбинацию портфелей подсистем:

$$y = \sum_{k=1}^K \gamma_k x_k. \quad (1)$$

Формирование портфеля подсистем получило широкое распространение в силу простоты математического описания и практической реализации. При математическом описании портфель каждой подсистемы рассматривается в качестве единого актива, что позволяет использовать математический аппарат для портфелей инвестиционных активов, базирующийся на работах Г. Марковица [1] и У. Шарпа [2].

Можно выделить следующие варианты практической реализации.

1. Производится расчет векторов x_k портфелей подсистем, затем рассчитывается по (1) и реализуется на практике портфель агрегированной системы y . Этот вариант используется специалистами, осуществляющими самостоятельное управление портфелем. Данный вариант называют диверсификацией по системам управления портфелем.

2. Средства распределяются между подсистемами, производится формирование портфелей каждой из подсистем. При этом некоторые подсистемы формируются и реализуются сторонними специалистами, а инвестор лишь выбирает доли, передаваемые в управление подсистемам. Инфраструктура современного финансового рынка предоставляет множество механизмов для реализации этого варианта. Наиболее популярными [3] являются коллективные инвестиции в паевые инвестиционные фонды (ПИФ), общие фонды банковского управления (ОФБУ) и модули управления процентным распределением (РАММ или ПАММ-счета) [4], а также в стратегии индивидуального доверительного управления, позволяющие управляющему более тонко учесть предпочтения инвестора. Каждый из механизмов предполагает предоставление инвестору ретроспективной информации о результатах управления, на основе которой можно проанализировать основные свойства подсистем и зависимости между подсистемами. По результатам этого анализа производится распределение долей портфеля агрегированной системы между подсистемами.

Агрегирование систем на основе логических операций

Этот метод в общем случае предполагает использование аппарата нечеткой логики. В настоящей статье в качестве примера рассматривается частный случай, позволяющий обойтись средствами булевой алгебры.

Рассмотрим агрегирование двух подсистем, портфель каждой из которых может находиться в одном из двух состояний: (0, 1) или (1, 0), то есть подсистема вкладывает все средства в один из двух активов. Такие бинарные подсистемы называются механическими торговыми системами (МТС). Чаще всего в качестве второго актива рассматривается безрисковый актив, например денежные средства. Будем полагать, что агрегированная система также является МТС. Тогда правило агрегирования портфелей x_1 и x_2 в портфель y можно задать с помощью таблицы (см. таблицу).

Пример таблицы агрегирования и таблицы соответствующей логической функции

x_1	x_2	y		x_{11}	x_{21}	y_1
(0, 1)	(0, 1)	(0, 1)		0	0	0
(0, 1)	(1, 0)	(0, 1)	$\Rightarrow$	0	1	0
(1, 0)	(0, 1)	(0, 1)		1	0	0
(1, 0)	(1, 0)	(1, 0)		1	1	1

Если рассматривать только первые координаты векторов x_1 , x_2 и y , то таблице агрегирования можно поставить в соответствие одну из логических функций. С практической точки зрения это означает, что средства вкладываются в первый актив лишь в том случае, когда он входит в портфели обеих подсистем.

Простым примером реализации подобного принципа служит агрегированная система, подсистемы которой ориентированы на выявление краткосрочных и долгосрочных трендов цены некоторого инвестиционного актива [5, с. 73]. Покупка актива производится только тогда, когда одновременно существуют тенденции краткосрочного и долгосрочного роста цены. Если хотя бы одна из этих тенденций прекращается, производится продажа актива.

Другим вариантом является агрегирование подсистемы, которая выявляет тренд с системой, выбирающий более предпочтительный из пары активов [6].

Применение аппарата нечеткой логики позволяет производить агрегирование для подсистем более сложных, чем МТС.

Выбор способа агрегирования и граф агрегированной системы

При агрегировании любого набора подсистем стоит вопрос выбора способа агрегирования: портфель подсистем или логические операции. Рассмотрим возможность построения процедуры выбора на основе анализа коалиционной игры, порождаемой агрегированием с помощью логических операций.

В качестве примера рассмотрим агрегирование трех подсистем. Будем полагать, что каждая из систем или подсистем оценивается скалярной величиной, описывающей ее эффективность (например, средняя доходность при ретроспективном тестировании). Для анализа предлагаемой коалиционной игры необходимы оценки максимальной эффективности v_{123} тотальной коалиции (объединения всех трех подсистем с помощью логических операций) и всех возможных подкоалиций – сольных v_1 , v_2 , v_3 и парных v_{12} , v_{13} , v_{23} . Оценим вклады u_1 , u_2 и u_3 подсистем в эффективность тотальной коалиции. Эти вклады должны отвечать следующим естественным ограничениям, определяющим S -ядро [7] коалиционной игры, то есть множество сочетаний вкладов подсистем, в котором вклад каждой подкоалиции в эффективность всей системы не меньше, чем эффективность этой подкоалиции вне системы:

$$u_1 + u_2 + u_3 = v_{123}; \quad (2)$$

$$u_1 \geq v_1; \quad u_2 \geq v_2; \quad u_3 \geq v_3; \quad (3)$$

$$u_1 + u_2 \geq v_{12}; \quad u_1 + u_3 \geq v_{13}; \quad u_2 + u_3 \geq v_{23}. \quad (4)$$

Сопоставляя (2) и (4), получим более простые ограничения:

$$u_1 \leq v_{123} - v_{23}; u_2 \leq v_{123} - v_{13}; u_3 \leq v_{123} - v_{12}. \quad (5)$$

Перепишем (3) и (5) более компактно:

$$v_1 \leq u_1 \leq v_{123} - v_{23}; v_2 \leq u_2 \leq v_{123} - v_{13}; v_3 \leq u_3 \leq v_{123} - v_{12}. \quad (6)$$

Если система (6) совместна, то тотальная коалиция на основе логических операций является лучшим вариантом объединения подсистем, чем любой портфель подкоалиций.

В некоторых случаях система ограничений (6) оказывается несовместной, а определяемое ею S -ядро – пустым. Это означает, что существует хотя бы одно разбиение тотальной коалиции, которое при формировании портфеля подкоалиций обеспечивает более высокую эффективность, чем тотальная коалиция на основе логических операций. В этом случае подсистемы целесообразно объединять, формируя портфель подсистем.

В общем случае при построении агрегированной системы из множества подсистем оба рассмотренных метода могут использоваться многократно. Структуру полученной системы можно представить в виде связного ориентированного графа без циклов – дерева. Каждый из истоков графа соответствует одной из агрегируемых систем. Сток соответствует агрегированной системе. Остальные вершины соответствуют применению того или иного способа агрегирования.

Проблема переобучения

При агрегировании большого количества подсистем управления инвестициями, как и при других способах построения сложного алгоритма с множеством настраиваемых параметров (например, на базе нейронных сетей), часто возникает проблема переобучения, или переподгонки (*overfitting*). Переобученная система показывает очень хорошие результаты на данных, используемых для ее настройки (обучающая выборка), а при тестировании и реальной эксплуатации теряет эффективность. Переобучение можно условно интерпретировать как косвенную аппроксимацию незначимых особенностей временных рядов обучающей выборки.

Эффект переобучения в той или иной мере присутствует в любой системе управления инвестициями, поэтому важным является принятие мер по его ограничению. В [8, с. 168] выделяются следующие предпосылки переобучения:

- слишком большое количество параметров, правил и условий в системе;
- слишком маленькая обучающая выборка;
- неправильные цели оптимизации;
- ошибки в интерпретации результатов оптимизации.

Иными словами, для ограничения переобучения необходимо:

1. Обеспечить достаточно высокое отношение объема обучающей выборки к количеству ограничений степеней свободы, накладываемых подсистемами. Объем выборки можно оценить количеством сделок, то есть изменений долей портфеля. Ограничения от подсистемы оцениваются количеством используемых ею элементов выборки и параметров, связанных с принятием решения.

2. Обеспечить не только объем, но и достаточную вариативность обучающей выборки. Обучающая выборка должна обеспечивать многократное использование при формировании инвестиционного портфеля всех правил всех подсистем. Если какое-либо правило подсистемы или подсистема целиком участвует в совершении сделки на обучающей выборке существенно реже остальных или во-

обще не участвует, то такое правило (или подсистему целиком) целесообразно исключить из агрегированной системы.

3. Построить сбалансированный критерий оптимальности, который учитывает не только доходность и риск, но и равномерность распределения этих показателей по подсистемам, равномерность получения прибыли во времени.

4. После завершения оптимизации провести анализ результатов на тестовой выборке. Для устранения влияния разбиения данных на обучающую и тестовую выборку целесообразно провести кросс-тестирование [9] с анализом стабильности эффективности агрегированной системы [10].

Заключение

Предложенный подход позволяет осуществить обобщение и формализацию широко распространенных способов объединения нескольких существующих систем управления инвестициями в общую систему с более высоким качеством управления. В качестве дальнейшего обобщения предполагается использование для расчета портфеля агрегированной системы более широкого спектра методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Markowitz H.M.* Portfolio Selection // Journal of Finance. – 1952. – 7. № 1. – pp. 71-91
2. *Шарп У.Ф., Александер Г.Дж., Бэйли Дж.В.* Инвестиции. – М.: Инфра-М, 2001. – 1028 с.
3. *Гетманская А.Д.* Анализ деятельности институтов коллективного инвестирования на российском фондовом рынке // Финансовые исследования. – 2013. – № 3 (40). – С. 85-100.
4. *Борщ Л.М., Салиева А.С.* Инвестирование в ПАММ-счета как одно из новых направлений на российском рынке // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. – 2016. – № 2 (35). – С. 110-117.
5. *Найман Э.-Л.* Малая энциклопедия трейдера. – М.: Альфа Капитал, 1999. – 236 с.
6. *Саркисов В.Г., Саркисов Г.А.* Синтез системы управления инвестиционным портфелем на основе моделирования виртуальных финансовых инструментов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 3(31). – С. 33-39.
7. *Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Шевкопляс Е.В.* Теория игр. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
8. *Пардо Р.* Разработка, тестирование, оптимизация торговых систем для биржевого трейдера. – М.: Минакс, 2002. – 224 с.
9. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / *В.Н. Вапник, Т.Г. Глазкова, В.А. Кощев, А.И. Михальский, А.Я. Червоненкис.* – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 816 с.
10. *Саркисов В.Г., Саркисов Г.А.* Метод оценки и выбора алгоритма принятия инвестиционных решений на основе его параметрической оптимизации // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2009. – № 2(24). – С. 39-46.

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2017 г.

AGGREGATION OF INVESTMENT MANAGEMENT SYSTEMS

V.G. Sarkisov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

A generalized approach to the formation of an investment management system based on combining of several existing systems is proposed. The main ways of combining are: portfolio of systems and logical operations. The main organizational forms of individual and collective investments are presented. Their classification according to the characteristics of ways of subsystems' aggregation is carried out. A method for selecting the way of aggregation is proposed. It's based on the analysis of the coalition game generated by the logical operations' aggregation. Aggregation and subsequent optimization are followed by overfitting. Some methods of overfitting restriction are considered.

Keywords: investment portfolio, aggregation of subsystems, collective investment, system graph, overfitting.