Стабилизация неустойчивого курса криптовалюты на основе модального управления импульсным процессом когнитивной карты

Романенко В.Д., Милявский Ю.Л., Канцедал Г.О.
КПИ им. Игоря Сикорского
г. Киев, Украина
yuriy.milyavsky@gmail.com

Аннотация—В докладе рассмотрены вопросы стабилизации координат вершин когнитивной карты (КК), которая описывает при-менение криптовалюты в регионе при полностью измеряе-мых вершинах в детерминированной среде. Исследовано применение метода модального управления неустойчивым импульсным процессом курса криптовалюты. Рассмотрен синтез модальных регуляторов состояния с разным количе-ством управляющих воздействий для управления КК, им-пульсный (динамический) процесс которой представлен на базе модели в пространстве состояний.

Ключевые слова–когнитивная карта, модальное управление, стабилизация импульсных процессов, расположение полюсов замкнутой системы.

Введение

Когнитивное моделирование является одним из наиболее актуальных направлений научных исследований сложных систем. в основе находится концепция когнитивной карты (КК), которая представляет собой взвешенный ориентированный граф, вершины (узлы) которого отображают координаты (факторы) сложной системы, а ребра с весовыми коэффициентами описывают причинно-следственные взаимосвязи между этими координатами. При воздействии на вершины в КК происходит импульсный переходной процесс, динамика которого описывается разностным уравнением [1]

$$\Delta Y_i(k+1) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \Delta Y_j(k), \tag{1}$$

где $\Delta Y_i(k) = Y_i(k) - Y_i(k-1), i = 1, 2, ..., n.$

Уравнение (1), описывающее свободное движение координат КК без приложения внешних управляющих воздействий, можно записать в векторной форме:

$$\Delta \bar{Y}(k+1) = A \Delta \bar{Y}(k). \tag{2}$$

Для того, чтобы реализовать управление импульсным процессом КК на основе современной теории управления, не обходимо иметь возможность физически варьировать некоторыми координатами вершин КК при формировании управляющих воздействий. Тогда вынужденное движение импульсного процесса КК при внешнем управлении можно представить

$$\Delta \bar{Y}(k+1) = A \Delta \bar{Y}(k) + B \Delta \bar{U}(k), \tag{3}$$

где $\Delta \bar{U}$ – вектор приращений управляющих воздействий, а матрица управления B содержит единицы и нули.

Построение КК для применения криптовалюты

КК содержит двенадцать вершин: 1 – спрос на криптовалюту, 2 – курс криптовалюты (стоимость биткоина), 3 – объем торгов криптовалюты, 4 – объем капитализации, 5 – количество пользователей криптовалюты, 6 – объем инвестиций (интерес к биткоину со стороны институционных инвесторов), 7 – объем спекуляции криптовалютой, 8 – опосредованная прибыль, 9 – уровень доверия к пользованию криптовалютой, 10 – предложение криптовалюты, 11 – дисперсия курса, 12 – уровень рисков при использовании криптовалюты. Данная система является неустойчивой относительно курса криптовалюты (вершина 2).

Управляющие воздействия формируются путем варьирования следующих вершин: $\Delta U_1(k)$ – вершина 3, $\Delta U_2(k)$ – вершина 4, $\Delta U_3(k)$ – вершина 6, $\Delta U_4(k)$ – вершина 7, $\Delta U_5(k)$ – вершина 10.

Синтез модального регулятора состояния

Для стабилизации неустойчивого импульсного процесса КК используется модальный регулятор состояния, проектирование которого выполнено в [2] на основе закона управления

$$\Delta \bar{U}(k) = -K \Delta \bar{Y}(k). \tag{4}$$

Матрица обратной связи K находится следующим образом.

a) Задается желаемый спектр $\lambda_1,...,\lambda_{12}$ замкнутой системы $\Delta\bar{Y}(k+1) = (A-BK)\Delta\bar{Y}(k)$, где все λ_j различны, по модулю меньше единицы и среди λ_j нет собственных чисел матрицы A.

b) Вводятся в рассмотрение $\bar{R}_j$, $j = 1,...,12$ – собственные векторы матрицы состояния замкнутой системы $(A-BK)$, для которых выполняется соотношение $(A-BK)\bar{R}_j = \lambda_j\bar{R}_j$. Это равенство записывается в виде

$$(A-\lambda_j I)\bar{R}_j = BK\bar{R}_j = B\bar{P}_j, \tag{5}$$

где векторы-столбцы $\bar{P}_j = K\bar{R}_j$ имеют размерность m вектора управлений $\Delta\bar{U}$.

c) Задается произвольная матрица P размерности $m\times 12$ так, чтобы она имела полный ранг и не имела нулевых столбцов, $P = (\bar{P}_1\ \bar{P}_2\ ...\ \bar{P}_n)$.

d) Из выражения (5) вычисляются векторы $\bar{R}_j = (A-\lambda_j I)^{-1}B\bar{P}_j, j = 1,...,12$, после чего формируется матрица $R = (\bar{R}_1\ \bar{R}_2\ ...\ \bar{R}_n)$ размерности 12×12, которая будет невырожденной.

e) Матрица обратной связи модального регулятора находится как

$$K = PR^{-1}, \tag{6}$$

поскольку $\bar{P}_j = K\bar{R}_j$. Матрица K по построению обеспечивает желаемый набор мод λ_j замкнутой системы. Выбор матрицы P влияет на характер управляющих воздействий $\Delta\bar{U}(k)$, но спектр замкнутой системы остается инвариантным относительно P.

Экспериментальное исследование

В качестве возмущающего воздействия при цифровом моделировании импульсного переходного процесса КК использовалось уменьшение уровня доверия на применение криптовалюты (вершина 9). Выполнен синтез модального регулятора состояния (4), (6) соответственно (a) при подаче двух управляющих воздействий $\Delta U_1(k)$,$\Delta U_2(k)$; (b) при подаче трех управляющих воздействий $\Delta U_1(k)$,$\Delta U_2(k)$,$\Delta U_3(k)$; (c) при синтезе пяти управляющих воздействий $\Delta U_1(k)$,$\Delta U_2(k)$,$\Delta U_3(k)$,$\Delta U_4(k)$,$\Delta U_5(k)$ (полного вектора управлений).

В итоге получены следующие переходные процессы для приращений координат вершин КК (рис. 1 – 3).

Выводы

В докладе разработана КК применения криптовалюты на финансовом рынке. показано, что применение метода модального управления позволяет стабилизировать неустойчивые импульсные процессы в КК и при этом обеспечить желаемые характеристики в переходном режиме. Выполнено сравнение качества переходных процессов при модальном управлении с разным количеством управляющих воздействий.

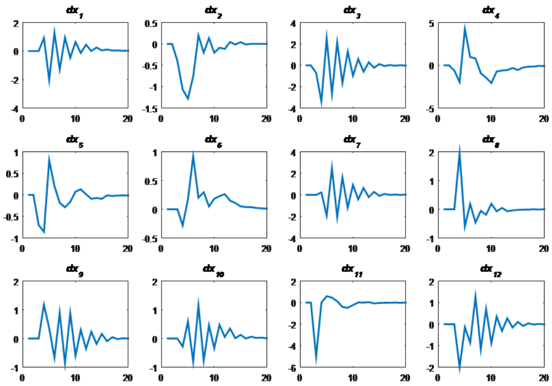

Рис. 1. Переходной процесс при 2 управлениях

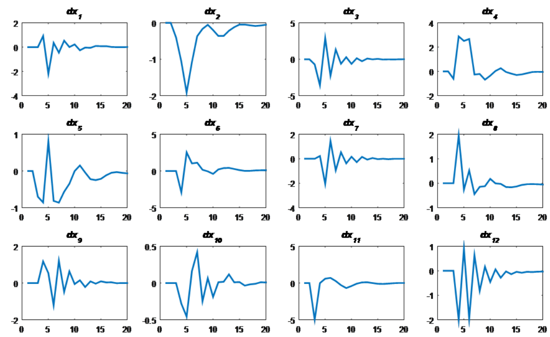

Рис. 2. Переходной процесс при 3 управлениях

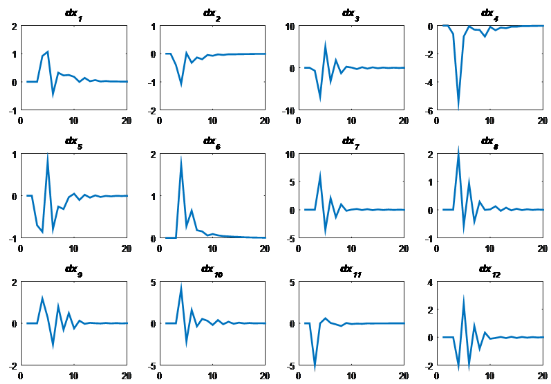

Рис. 3. Переходной процесс при 5 управлениях

Список литературы

[1] Roberts F. Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems. – Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1976. – 559 p.

[2] Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3 томах. – Т.2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.