

УДК 519.876.2

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А.Г. Гурко, доцент, к.т.н., А.М. Дробинин, студент, ХНАДУ

Аннотация. Рассмотрен вопрос усовершенствования процедуры множественной идентификации возможного состояния объекта управления, функционирующего в условиях неопределенности. Предполагается, что информация о неопределенных факторах ограничена лишь интервалами их возможных значений, а на объект действует наиболее неблагоприятное возмущение. Предложен новый алгоритм формирования матрицы вершин множества, размытого действием неопределенного возмущения.

Ключевые слова: игровой подход, неопределенность, множественная идентификация, оптимальное управление.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

О.Г. Гурко, доцент, к.т.н., О.М. Дробинін, студент, ХНАДУ

Анотація. Розглянуто питання удосконалення процедури множинної ідентифікації можливого стану об'єкта управління, що функціонує в умовах невизначеності. Передбачається, що інформація про невизначені чинники обмежена лише інтервалами їх можливих значень, а на об'єкт діє найбільш несприятливе збурення. Запропоновано новий алгоритм формування матриці вершин множини, розмитої дією невизначеного збурення.

Ключові слова: ігровий підхід, невизначеність, множинна ідентифікація, оптимальне управління.

INCREASE OF TECHNICAL OBJECTS CONTROL QUALITY IN CONDITIONS OF APRIORI UNCERTAINTY

A. Gurko, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
A. Drobinin, student, KhNAHU

Abstract. The problem of convex identification procedure improvement of the possible state of control object functioning in uncertainty conditions is considered. It is assumed that the information concerning uncertainty factors is limited only by intervals of their possible values and the object proper is exposed to the most unfavourable influence of uncertain factors. The new algorithm of matrix forming of the set vertex after fuzzification is offered.

Key words: game approach, uncertainty, convex identification, optimal control.

Введение

При управлении различными технологическими процессами и объектами часто сталкиваются с априорной неопределенностью относительно действия внешних возмущений. Одним из подходов к управлению в условиях

неопределенности является игровой подход, при котором регулятор и внешняя среда рассматриваются как игроки-противники [1–3]. Причем внешняя среда располагает информацией о стратегии регулятора и выбирает такую стратегию, чтобы максимально ухудшить качество работы системы управления.

Регулятор же должен применить такое управление, чтобы минимизировать наиболее неблагоприятное воздействие внешней среды. При этом он ориентируется лишь на информацию об интервалах возможных значений действующих возмущений.

Анализ публикаций

Для вычисления управления необходимо знать состояния объекта в фиксированные моменты времени. Поскольку относительно возмущений известны лишь интервалы их возможных значений, то точно определить (идентифицировать) состояние объекта невозможно. Можно лишь указать «принадлежности состояния системы некоторому эволюционирующему во времени множеству в пространстве состояния системы» [3]. Первоначально указанные множества рассматривались как выпуклые многогранники, как, например, в работах [3–5]. Однако идентификация множества возможных состояний путем пересечения выпуклых многогранников порождает ряд проблем вычислительного плана, связанных с необходимостью обработки массивов переменной размерности [5]. В связи с этим в целом ряде работ, таких как [6–8], выпуклые многогранники предлагается аппроксимировать эллипсоидами. Но использование последних снижает точность работы системы.

Таким образом, разработка методов идентификации области возможного состояния объекта путем пересечения выпуклых множеств является актуальной задачей.

В работе [9] предложена одна из процедур определения области Ω_X возможного состояния и поиска управления, которая включает следующие этапы (рис. 1): отображение исходного множества состояний в свободном движении, размывание полученного множества оценкой действующего возмущения, аппроксимация границы предельного множества, нахождение управления, перемещение множества под действием управления, пересечение с полосой наблюдения. Однако в процессе дальнейших исследований было обнаружено, что процедура размывания, предложенная в [9], работала не вполне корректно: в ряде случаев неправильно определялись вершины нового размытого множества Ω_{Xp} . В результате множество Ω_{Xp} оказыва-

лось не выпуклым, что приводило к ошибке в поиске управления.

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является усовершенствование рассмотренной в [9] процедуры идентификации состояния объекта управления. Для достижения данной цели необходимо решить задачу разработки простого и эффективного алгоритма размывания выпуклого многогранника, представляющего собой область возможного состояния системы, оценкой действующего возмущения.

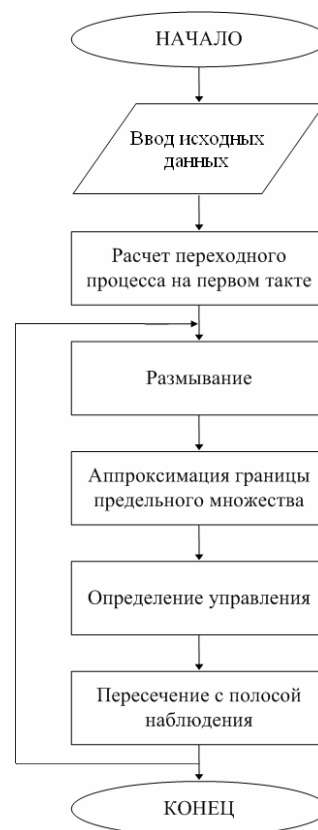


Рис. 1. Алгоритм определения управления

Порядок идентификации состояния объекта

Будем рассматривать дискретную систему управления, динамика которой описывается системой разностных уравнений

$$X(n+1) = AX(n) + B(U(n) + \lambda(n)), \quad (1)$$

где A, B – матрицы соответствующих размерностей; $U(n)$ – управление; $\lambda(n)$ – аддитивное скалярное возмущение, относительно которого известен лишь интервал его возможных значений

$$|\lambda| \leq \delta. \quad (2)$$

Управление $U(n)$ рассчитывается на основе информации о текущем состоянии системы, которое получают в результате измерений. Причем процесс измерения сопровождается шумом $\psi(n)$, удовлетворяющим известному ограничению

$$|\psi(n)| \leq \varepsilon. \quad (3)$$

Операции отображения, пересечения, размывания осуществляются при помощи матриц G , V и C [6].

Матрица граней задаёт m -мерную грань. Каждая l -я строка матрицы G содержит коэффициенты уравнения граней: на r -ом месте строки расположен коэффициент γ_{lr} при координате X_r , а на $(m + 1)$ -ом месте – свободный член в уравнении грани

$$G = \|\gamma_{lr}\|, l \in [1, M], r \in [1, m + 1], \quad (3)$$

где M – общее число граней.

В матрице вершин V размещается информация о координатах вершин множества Ω_X возможных состояний объекта

$$V = \|v_{ij}\|, i \in [1, m], j \in [1, k], \quad (5)$$

где k – общее число вершин. В j -ом столбце матрицы V расположены координаты j -ой вершины.

Матрица связей C показывает, какие вершины образуют грани

$$C = \|c_{lj}\|, l \in [1, M], j \in [1, k]. \quad (6)$$

Элементы $c_{lj} = 1$, если j -ая вершина принадлежит l -ой грани; в противном случае $c_{lj} = 0$.

Рассмотрим процедуру формирования матриц C , G и V состояния системы на примере объекта 2-го порядка.

Формирование матрицы C

Алгоритм формирования матрицы связей C представлен на рис. 2. Чтобы построить матрицу связей через каждые 2 вершины многогранника Ω_X проводится прямая, которая делит пространство на 2 полупространства

(рис. 3). Однако не на всех прямых располагаются грани. Если все оставшиеся вершины будут располагаться по одну сторону от прямой – в «+» или в «-» зоне (рис. 3), то только в этом случае новая грань будет принадлежать этой прямой. При этом «1» помечаются вершины, которые образуют грани в матрице C .

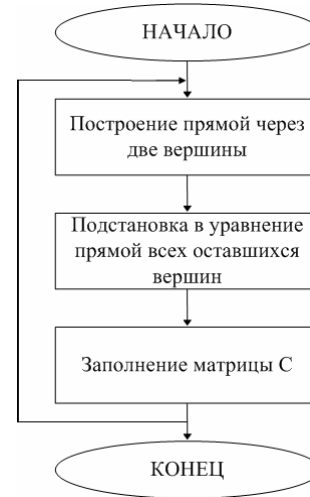


Рис. 2. Алгоритм формирования матрицы C

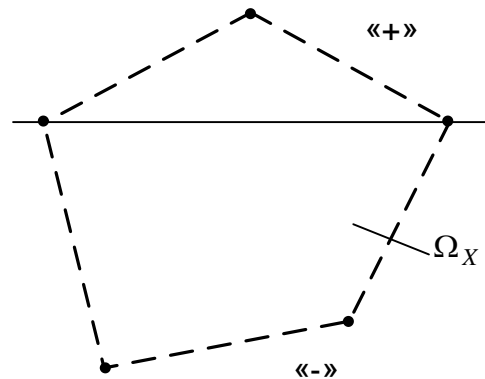


Рис. 3. К формированию матрицы связей C

Формирование матрицы G

Уравнение прямой, проведенной через две точки с координатами (x_1, y_1) и (x_2, y_2) , может быть записано в виде:

$$x \cdot (y_2 - y_1) - y \cdot (x_2 - x_1) + x_2 y_1 - x_1 y_2 = 0. \quad (7)$$

Если в матрице C встречается «1», то в уравнение (7) подставляются координаты соответствующих вершин, образующих грани. Затем в полученное уравнение прямой подставляются координаты остальных вершин, и определяется знак полученного результата.

В матрице V находятся координаты точек, которые точно являются вершинами нового многогранника Ω_{XP} . Но может возникнуть ситуация, когда для точек, не лежащих на грани, результат подстановки в уравнение окажется больше 0. Это означает, что точки, образующие грань, расположены в обратном порядке. Для того чтобы получить необходимый результат, уравнение соответствующей грани необходимо умножить на -1 .

Матрица G имеет 3 столбца и число строк, равное числу граней в многограннике. Для каждой грани в первый столбец заносится значение $(y_2 - y_1)$, во второй $-(x_2 - x_1)$, в третий $-(x_2y_1 - x_1y_2)$.

Размывание

Смысл размывания множества $\Omega_X(n+1)$, полученного в результате свободного движения системы, заключается в следующем. Действующее на объект по каналу управления ограниченное по модулю возмущение $\lambda(n)$ может сместить область возможных состояний $\Omega_X(n+1)$ по вектору B на любое расстояние в пределах (2). В соответствии с игровым подходом считаем, что на объект будет действовать наиболее неблагоприятное возмущение. Таким образом исходное множество $\Omega_X(n+1)$ как бы размывается по вектору B на величину $\pm\delta$. При этом образуется новое множество возможных состояний $\Omega_{XP}(n+1)$.

Размывание осуществляется следующим образом (рис. 4). Проводится предварительное размывание, состоящее в том, что каждая вершина исходного многогранника Ω_X размывается неопределенностью δ в обе стороны по вектору $B = \{b_1, b_2\}$. По оси x_1 размывание проводится составляющей b_1 , а по оси x_2 – составляющей b_2 . Значения b_1 и b_2 определяют наклон вектора B :

$$V_p = V + B \cdot (\pm\delta). \tag{8}$$

Таким образом, каждая вершина исходного многогранника Ω дает две новые точки, ориентированные по вектору B . Их координаты располагаются в промежуточной матрице V_p , которая будет иметь две строки и $2M$ столбцов, где M – число вершин в исходном многограннике Ω_X . Новая матрица вершин V получается путем удаления из промежуточной матрицы V_p тех точек, которые не являются вершинами.

Ранее [6] алгоритм формирования матрицы вершин V размытого множества $\Omega_{XP}(n+1)$ заключался в следующем. По матрице C находились соседние вершины (они, соответственно, принадлежали граням). Далее проверялось, лежит ли k -я точка из промежуточной матрицы V_p на прямой, которой принадлежит рассматриваемая грань, в одном полупространстве с вершинами старого многогранника или вне его. В случае если рассматриваемая новая точка лежит в другом полупространстве, чем все вершины старого многогранника, то эта точка – вершина.



Рис. 4. Алгоритм процедуры размывания

Однако возможна ситуация, когда точка лежит на прямой, которой принадлежит грань, и в то же время является новой вершиной. Такой случай изображен на рис. 5. Для того чтобы не потерять координаты новой вершины необходимо выполнить проверку: находится ли точка в полупространстве, выделяемом каждой гранью.

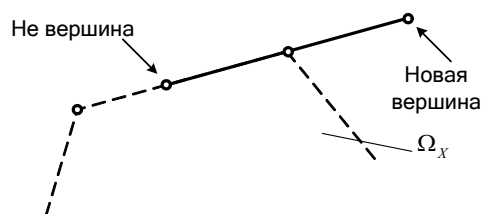


Рис. 5. Случай нахождения точки на прямой, которой принадлежит грань

Однако этот, как казалось, логичный алгоритм не всегда работал корректно. Дело в том, что в некоторых ситуациях точки, не являющиеся вершинами, не забывались, многогранник переставал быть выпуклым и

алгоритм переставал работать. Такую ситуацию иллюстрирует рис. 6. В связи с этим был предложен другой алгоритм удаления лишних точек после предварительного размывания неопределенностью.

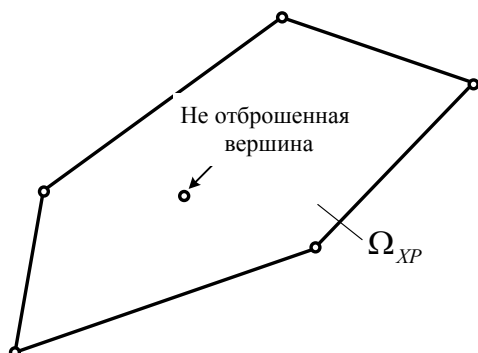


Рис. 6. Неправильное определение вершин нового многогранника Ω_{XP}

Новый алгоритм формирования вершин размытого множества

Алгоритм, описывающий формирование новой матрицы V , представлен на рис. 7.

Для каждой вершины множества Ω_X при помощи матрицы связей C ищутся вершины, с которыми она образует грани. Координаты

новой точки подставляются в уравнение одной из исходных граней. Если результатом является 0, то точка находится на грани и вершиной она не является. Если результат отличен от 0, то в уравнение грани подставляются координаты соседней с ней вершины. Получение результатов разного знака свидетельствует о том, что рассматриваемая точка – вершина множества и её координаты помещаются в матрицу V . В случае получения результатов одного знака, координаты точки подставляются в уравнение другой грани и процедура повторяется. Если знак результата опять совпадает, то точка находится внутри конуса, образованного старыми гранями (пример представлен на рис. 8). Эта точка вершиной не является и, поэтому, забывается.

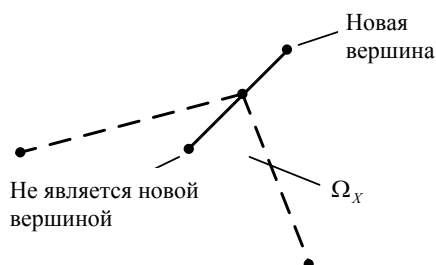


Рис. 8. Попадание точки внутрь конуса, образованного старыми гранями

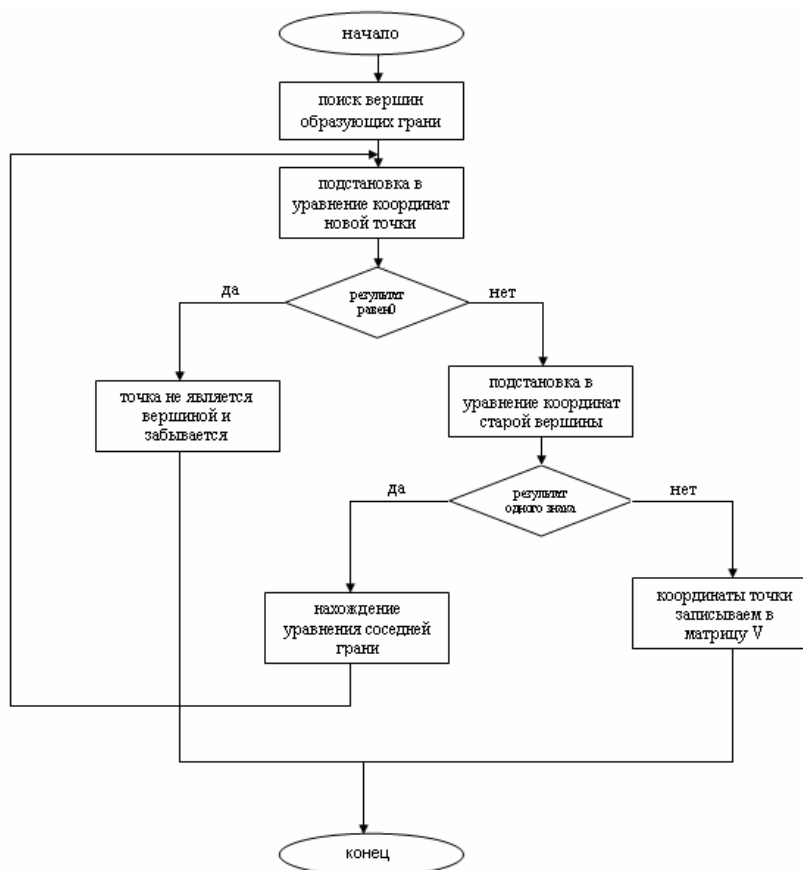


Рис. 7. Алгоритм удаления точек, не являющихся вершинами после размывания

Результаты моделирования

Эффективность предложенного алгоритма подтверждена моделированием на языке MATLAB. На рис. 9 представлены результаты моделирования, иллюстрирующие работу игрового регулятора для объекта с параметрами в (1)

$$A = \begin{bmatrix} 0,9882 & 0,2125 \\ -0,0893 & 0,712 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0,0281 \\ 0,2125 \end{bmatrix} \quad (9)$$

и периодом квантования $T = 0,25$ с.

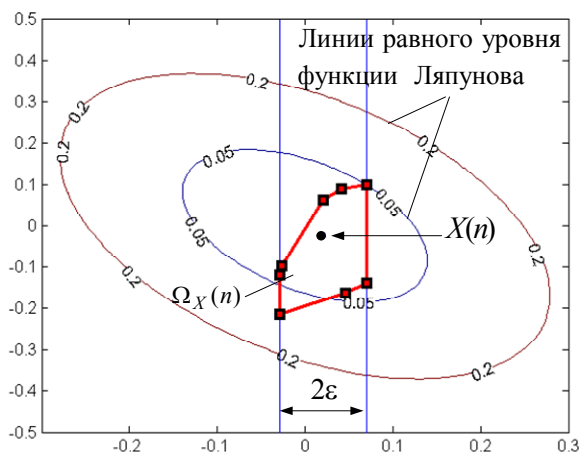


Рис. 9. Реальное состояние объекта $X(n)$ и множество возможных состояний $\Omega_X(n)$

На рис. 9: $X(n)$ – истинное состояние на n -ном шаге квантования, а $\Omega_X(n)$ – соответствующее множество возможных состояний. Размеры множества $\Omega_X(n)$ определяются оценкой действующих возмущений и помех измерений. Анализ результатов моделирования также позволяет сделать здравый вывод о том, что при максимальной ошибке ϵ измерения выходной координаты, превышающей 0,5, построение системы управления практически бесполезно.

Выводы

В результате проведенной работы усовершенствована процедура идентификации возможного состояния объекта управления, функционирующего в условиях неопределенности. Предложен новый алгоритм формирования матрицы вершин множества, размытого действием неопределенного возмущения. Это позволило обеспечить корректную работу указанной процедуры идентифи-

кации управления и поиска оптимального управления в условиях неопределенности.

Литература

1. Красовский Н.Н. Теория управления движением / Н.Н. Красовский. – М. : Наука, 1968. – 476 с.
2. Куржанский А.Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности / А.Б. Куржанский. – М. : Наука, 1977. – 392 с.
3. Кунцевич В.М. Синтез оптимальных и адаптивных систем управления. Игровой подход / В.М. Кунцевич, М.М. Лычак. – К. : Наукова думка, 1985. – 248 с.
4. Лычак М.М. Идентификация и оценивание состояния объектов управления на основе множественного подхода / М.М. Лычак // Проблемы управления и информатики. – 1999. – № 5. – С. 34–41.
5. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации / В.М. Кунцевич. – К. : Наукова думка, 2006. – 261 с.
6. Бакан Г.М. Размытый эллипсоидальный алгоритм фильтрации состояний статического объекта / Г.М. Бакан, Н.Н. Кусуль // Проблемы управления и информатики. – 1996. – №5 – С. 77–92.
7. Волосов В.В. Эллипсоидальный наблюдатель состояния непрерывных динамических систем с неконтролируемым возмущением / В.В. Волосов // Проблемы управления и информатики. – 1999. – №2. – С. 128–135.
8. Волосов В.В. К построению параметрических семейств эллипсоидальных оценок и их оптимизации в задачах нестохастической идентификации параметров и состояния многомерных дискретных объектов управления / В.В. Волосов // Проблемы управления и информатики. – 1996. – №4. – С. 37–53.
9. Еременко И.Ф. Реализация игрового подхода к управлению линейными объектами второго порядка / И.Ф. Еременко, А.Г. Гурко // Проблемы управления и информатики. – 2009. – № 5. – С. 13–24.

Рецензент: В.М. Колодяжный, доцент, д.ф-м.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 25 октября 2010 г.