

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика, математика және компьютерлік
ғылымдар сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика
и компьютерные науки
Издается с 1997 года

ISSN 2959-068X

№ 2 (2022)
Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Физика, математика и компьютерные науки
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ91VPY00046988

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76208

[https://doi.org/ 10.48081/JVDF6096](https://doi.org/10.48081/JVDF6096)

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукунов С. К., *ф.-м.г.д., профессор*

Заместитель главного редактора Испулов Н. А., *ф.-м.г.к., профессор*

Ответственный секретарь Жумабеков А. Ж., *магистр*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,

Qadir Abdul,

Домбаев К. М.,

Демкин В. П.,

Жумадиллаева А. К.,

Ибраев Н. Х.,

Косов В. Н.,

Сеитова С. М.,

Шоканов А. К.,

Омарова А. Р.,

PhD докторы, профессор (Турция);

PhD докторы, профессор (Пакистан);

ф.-м.г.д., профессор;

ф.-м.г.д., профессор (Российская Федерация);

т.г.к., кауымд. профессор;

ф.-м.г.д., профессор;

ф.-м.г.д., профессор;

пед.г.д., профессор;

ф.-м.г.к., профессор

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на

«Вестник Торайгыров университета» обязательна

***С. Е. Тасанбаев¹, К. Е. Арыстанбаев², В. В. Гавриков³**

¹Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

^{2,3}Южно-Казахстанская медицинская академия,
Республика Казахстан, г. Шымкент

РАЗРАБОТКА СУБОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Вычисление следа информационной матрицы Фишера в настоящей работе производится в терминах функций чувствительности выходных переменных. Существенно, что вычисление соответствующих функций чувствительности производится в контуре обратной связи, что приводит к применению метода динамического программирования, отличающегося от стандартной схемы. Различие заключается в необходимости решения системы линейных алгебраических уравнений при синтезе управляющей последовательности. Применение такой схемы синтеза управлений в работе обосновано, а также получены необходимые и достаточные условия существования и единственности решения указанной системы. Распределение энергии идентифицирующих сигналов между более и менее важными параметрами модели варьируется путем изменения весовых коэффициентов. Предложено на управляющую последовательность, синтезируемую на основе принципа детерминированной эквивалентности наложить дополнительное ограничение на след информационной матрицы Фишера. Задача разработки субоптимального метода синтеза алгоритмов управления решена методом динамического программирования, получены условия существования и единственности управляющей последовательности. Качество и свойства разработанного алгоритма исследовано с помощью метода статистического моделирования. Представлены графики зависимостей амплитуд управляющих воздействий от номера шага для представленных алгоритмов. Результаты имитационного моделирования показали эффективность и гибкость алгоритма.

Ключевые слова: Идентификация, алгоритм, управление, матрица, Фишер.

Введение

Для большого количества практически важных задач управления в технических отраслях, экономике, естественных и других науках характерна неполнота имеющейся априорной информации в знании свойств объекта управления и действующих на него возмущениях. Кроме того, имеющаяся информация в силу разных обстоятельств со временем может устаревать. Это обстоятельство приводит к тому, что построенные в таких условиях математические модели объекта управления и возмущений, несовершенны, поэтому не позволяют с необходимой точностью оценить влияние управляющих воздействий на процесс и привести его к требуемому режиму.

Для достижения заданного качества управления в таких условиях необходимо в процессе управления создавать условия для получения новой информации об объекте управления и среде, в которой он функционирует. Эту двойственную природу управляющих воздействий впервые отметил Фельдбаум А. А. [1], который указал, оптимальное управление помимо приведения объекта к заданному режиму должно способствовать созданию условий для извлечения новой информации. Теория дуального управления, дает оптимальное решение этой проблемы, но реализация его во многих практически важных случаях принципиально весьма сложна.

В этой связи весьма актуальной задачей является разработка подходов, позволяющих получить субоптимальное решение, обладающее требуемыми свойствами, но более приемлемое для практической реализации. В рамках такого направления весьма важной является проблема оценки количества информации, производимой в системе управления с обратной связью. А также использование полученных соотношений для разработки алгоритмов обеспечивающих уменьшение имеющейся неопределенности, в той мере, в какой это требует оптимизация критерия качества управления, но более приемлемых с практической точки зрения.

Материалы и методы

Рассмотрим задачу управления системой [1], состоящую в синтезе в момент времени k управляющей последовательности, минимизирующей следующий критерий качества:

$$J = M\{\sum_{j=k}^{k+N-1}[x^T(j+1)Q(j+1)x(j+1) + u^T(j)R(j)u(j)]\}, \quad (1)$$

где $Q(j+1)$ и $R(j)$ – симметрические, положительно определённые матрицы соответствующих размерностей;

N – положительное целое число, длина интервала управления.

Управляющая последовательность, минимизирующая критерий (1), будет определяться на основании принципа детерминированной

эквивалентности, предполагающего решение задачи синтеза при замене всех неизвестных случайных переменных на их текущие условные оценки. Такое управление, как известно [2], не обладает дуальным эффектом [3] и не может способствовать изучению объекта. Поэтому модифицируем управление путем введения аддитивной составляющей, обеспечивающей эффект зондирования, и позволяющей решить проблемы идентифицируемости в замкнутом контуре управления, а также сделает возможным целенаправленное влияние на поступление новой информации об объекте [4-8].

Определим управляющую последовательность в виде:

$$u(j) = u^{ДЭ}(j) + (-1)^j \cdot \delta_i, \quad j = k, \dots, N-1, \quad (2)$$

$$\delta_i = \delta, i = k, \dots, N-2; \quad \delta_{N-1} = 0.$$

где $u^{ДЭ}(j)$ – управляющая последовательность, определяемая с привлечением принципа детерминированной эквивалентности для критерия (1) и системы, в которой используются текущие оценки параметров модели и случайные переменные заменены на их математические ожидания, а для решения задачи синтеза управлений применяется метод динамического программирования.

δ – амплитуда тестового приращения.

Такая разновидность тестовых сигналов для идентификации привлекательна тем, что их корреляционные свойства близки свойствам белого шума, что гарантирует ряд преимуществ. Определим управляющую последовательность в виде:

$$u(j) = u^{ДЭ}(j) + \delta_i \cdot \xi(j), \quad j = k, \dots, N-1,$$

$$\delta_i = \delta, i = k, \dots, N-2; \quad \delta_{N-1} = 0.$$

где $\xi(j)$ - псевдослучайная последовательность с заданными параметрами.

В двух последних выражениях для управляющих последовательностей задано $\delta_{N-1} = 0$, потому что идентифицирующее приращение в момент времени $N-1$ должно быть равным нулю, т.к. информация для момента времени N не требуется. Или, другими словами, риск изучения должен быть отсутствовать.

В соответствии с методом Монте-Карло неизвестные параметры $\theta = [\theta_1, \theta_2]^T$ и помеха $w(k)$ будут генерироваться с помощью источника нормально распределенных случайных чисел с параметрами распределения

$N(\bar{\theta}, \Sigma^{\theta\theta})$ и $N(0, G_w)$, т.е. со средними $\bar{\theta}$ и 0 и ковариациями $\Sigma^{\theta\theta}$ и G_w , соответственно. Начальные условия для вектора параметров x_0 сгенерированы в соответствии с нормальным законом распределения с параметрами $\bar{x} = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \end{bmatrix}$,

$$G_x = \begin{bmatrix} 0.0001 & 0 \\ 0 & 0.0001 \end{bmatrix}$$

Результаты и обсуждение

Результаты имитационного моделирования. При решении поставленной задачи было сделано по 20 реализаций для каждого из трех алгоритмов [9-11], результаты которых сведены в таблицу 1. В процессе моделирования исследовалось влияние алгоритмов на такие показатели как след информационной матрицы Фишера, взвешенные суммарные затраты на управление, значения критерия качества. Для каждого из показателей были вычислены средние арифметические значения и их дисперсии.

Для алгоритмов с идентифицирующим приращением амплитуда последних варьировалась, что обеспечило соответствующие значения следа информационной матрицы Фишера. Далее при постановке задачи разработанного алгоритма в ограничении [1] значения параметра r были заданы исходя из значений следа информационной матрицы Фишера, достигнутых в двух других алгоритмах. После чего было определено в результате применения численной процедуры соответствующее значение множителя Лагранжа λ , для которого были выполнены 20 реализаций по методу Монте-Карло так, как это было описано выше. Результаты экспериментов были обработаны так же как для двух других алгоритмов. Такой подход делает возможным сравнение всех алгоритмов в одинаковых условиях в смысле обеспечиваемого значения следа информационной матрицы Фишера, и, следовательно, достижимой точности оценивания идентифицируемых параметров модели объекта. Таким образом, анализ таблицы 1 позволит определить за счет каких ресурсов управляющих последовательностей были обеспечены одинаковые условия для идентификации.

Таблица 1

Алгоритм 1	δ	1	2	3	4	5
	След ИМФ	477	602	629	712	733
	Суммарная энергия управления	14,1	14,4	14,6	15,0	16,4
	Значение критерия качества	99	102	103	104±	105
Алгоритм 2	δ	1	2	3	4	5
	След ИМФ	529	543±90	573±132	828±157	960±158
	Суммарная энергия управления	14,6	15,2	16,6	18,6	19,8
	Значение критерия качества	109	112±40	114	117	124
Алгоритм 3	λ	0,132	0,225	0,375	0,414	0,559
	След ИМФ	567	619	697±100	813	971
	Суммарная энергия управления	16,3	17,8	18,3	19,3	21,4
	Значение критерия качества	101	102	104	106	124

Для первых двух алгоритмов параметр δ был использован для того, чтобы варьировать амплитуду идентифицирующего приращения. Из таблицы видно, что при больших значениях параметра δ суммарная энергия управления выше, и, как следствие, был обеспечен более высокий темп поступления информации (следа информационной матрицы Фишера). В целом показатели второго алгоритма несколько выше, чем у первого. Кроме того, статистические свойства псевдослучайного идентифицирующего приращения (близость к характеристикам белого шума) более благоприятны для идентификации. Значительно больший разброс характеристик второго алгоритма, проявившийся в виде значений среднеквадратического отклонения, объясняется тем, что на процесс его имитационного моделирования оказывают воздействие два источника случайных сигналов. Это аддитивный шум в модели объекта управления, а также имитатор белого шума - псевдослучайный сигнал, используемый в качестве идентифицирующего приращения.

Обсуждение. Из рассмотрения таблицы 1 видим, что при одинаковых характеристиках идентифицирующего приращения в первых двух алгоритмах обеспечиваемые значения следа информационной матрицы Фишера близки. При имитации работы третьего алгоритма задаваемое значение параметра γ было установлено равным достигнутым значениям следа информационной матрицы Фишера для двух первых алгоритмов, после чего имитационное моделирование запускалось. По третьей строке таблицы видим, что при

сравнимых значений следа информационной матрицы Фишера для всех алгоритмов, суммарная энергия управления у третьего алгоритма ниже, чем у первых двух. Это характерно для третьего алгоритма благодаря тому, что синтез управляющей последовательности производится в структуре цепи обратной связи, регулировать оптимальным образом распределение энергии управляющей последовательности между достижением цели управления и воздействием на функции чувствительности с целью приведения их к заданному значению.

Необходимо отметить, что первые два алгоритма достаточно широко применяются благодаря своим возможностям. Во – первых, при их использовании обеспечиваются условия идентифицируемости, во – вторых, их корреляционные свойства близки к характеристикам белого шума. Однако в этих алгоритмах вопрос подбора параметров идентифицирующего приращения, определяющего его свойства, неоднозначен и представляет самостоятельную задачу. В то же время в третьем алгоритме параметр ограничения на след информационной матрицы Фишера может задаваться исходя из требуемого значения суммы дисперсий оценок коэффициентов модели объекта.

При имитационном моделировании третьего алгоритма задание параметра γ производилось исходя из значений желаемого следа информационной матрицы Фишера, полученного для первых двух алгоритмов. Далее численно решалась задача условной оптимизации средствами пакета Матлаб. Полученные значения параметра λ использовались для имитации работы третьего алгоритма. Результаты 20 реализаций были обработаны и внесены в таблицу. Из ее рассмотрения видно, что показатели третьего алгоритма выше, чем у двух других. Кроме того, третий алгоритм имеет важное преимущество – с путем задания весов в матрице W есть возможность для более значимых параметров модели перераспределить энергию управлений с тем, чтобы соответствующие элементы информационной матрицы Фишера получили бы большие значения.

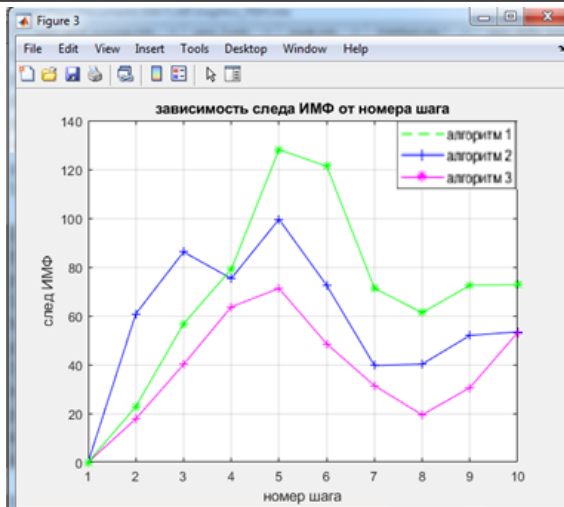


Рисунок 1 – Зависимость следа ИМФ от номера шага

На рисунке 1 представлены графики зависимостей амплитуд управляющих воздействий от номера шага для представленных выше трех алгоритмов.

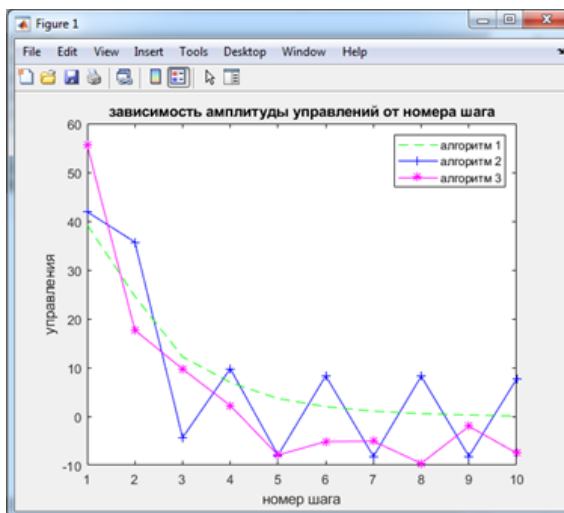


Рисунок 2 – Зависимостей амплитуд управляющих воздействий от номера шага

Как это следует из рисунка 2, алгоритмы 1 и 2 имеют серьезный недостаток – так как это заложено в алгоритмах, величина идентифицирующих приращений в них постоянна и не зависит от номера шага интервала управления. Это не вполне логично, так как к концу интервала управления уже накапливается определенное количество информации, которая может быть использована на уточнение текущих оценок параметров модели. Уточнение оценок параметров делают возможным более точное приведение объекта управления к требуемому режиму, повышение или сохранение темпа получения новой информации не вполне оправдано. Поэтому было бы целесообразно к концу интервала изменить соотношение между целями управления и изучения в сторону уменьшения затрачиваемых ресурсов на цели идентификации.

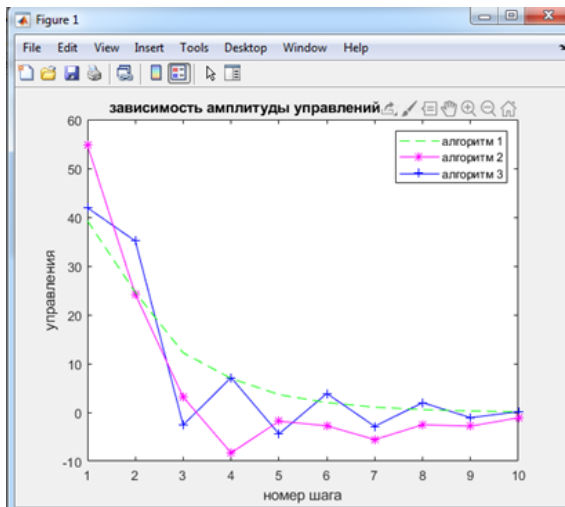


Рисунок 3 – Зависимость амплитуды управления

Из ее рассмотрения видим (рисунок 3), что суммарная мощность алгоритма 1 и алгоритма 2, как и ожидалось, уменьшились, но суммарная мощность третьего алгоритма по-прежнему ниже, чем у двух других, но разница несколько уменьшилась. Значения критериев качества алгоритма 1 и алгоритма 2 также уменьшились, но значительно выше, чем у алгоритма 3. Это объясняется тем, что алгоритм 3 распределяет энергию управляющих воздействий между рисками действия и изучения субоптимальным образом, но делает это лучше, чем два других. Кроме того, среднеквадратическое отклонение показателей для алгоритма 2 существенно больше, чем у двух

других. Это обстоятельство является следствием того, что в алгоритме 2 присутствует имитатор белого шума – псевдослучайная переменная, которая отсутствует в двух других алгоритмах.

Выводы

Решена задача управления линейной системой с квадратическим критерием качества, модель которой содержит неизвестные параметры. Для целенаправленного обеспечения поступления новой информации об объекте предложено на управляющую последовательность, синтезируемую на основе принципа детерминированной эквивалентности наложить дополнительное ограничение на след информационной матрицы Фишера. Поставленная задача решена методом динамического программирования, получены условия существования и единственности управляющей последовательности. Качество и свойства разработанного алгоритма исследовано с помощью метода статистического моделирования. Результаты имитационного моделирования в сопоставлении с другими известными подходами показали эффективность и гибкость алгоритма.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Тасанбаев, С. Е., Есилова, А. М., Арыстанбаев, К. Е.** Проблемы синтеза управляющей последовательности в условиях неопределенности// Материали за XV международна научна практична конференция «Бъдещето въпроси от света на науката»: София – 2019. – С. 44–51.

2 **Бар-Шалом, Я., Ци, Э.** Концепции и методы стохастического управления. В кн. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах / Под ред. К. Т. Леондеса. – М. : Мир, 1980. – С. 74–122.

3 **Чубич, В. М.** Активная параметрическая идентификация стохастических динамических систем на основе планирования экспериментов : Дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новосибирск, 2013.

4 **Гроп, Д.** Методы идентификации систем. – М. : Мир, 1979. – 302 с.

5 **Льюнг, Л.** Идентификация систем. Теория для пользователя. – М. : Наука, 1991. – 432 с.

6 **Цыпкин, Я. З.** Информационная теория идентификации. – М. : Наука, Физматлит, 1995. – 336 с.

7 **Mehra, R. K.** Optimal Input Signals for Parameter Estimation in Dynamic Systems-Survey and New Results. IEEE Transactions on Automatic Control. – Vol. 19,6. – 1974. – P. 753–768.

8 **Горский, В. Г., Адлер, Ю. П., Талалай, А. М.** Планирование промышленных экспериментов (модели динамики). – М. : Металлургия, 1978. – 112 с.

9 **Filatov, N. M., Unbehauen, H.** Survey of adaptive Dual Control Methods. IEE Proc. Control Theory Appl. – Vol. 147. – № 1. – 2000. – P. 118–128.

10 **Lopes-Toledo, A. A.** Optimal Policies for Identification of Stochastic Linear Systems. IEEE Trans. AC-20 (6), pp.754-766.

11 **Padilla, C. S., Cruz, J. B.** Sensitivity Adaptive Feedback with Estimation Redistribution. IEEE Transactions on Automatic Control. – Vol-AC-23, 3. – P. 445–451.

REFERENCES

1 **Tasanbaev, S. E., Esilova, A. M., Ary'stanbaev, K. E.** Problemy` sinteza upravlyayushhej posledovatel`nosti v usloviyax neopredelennosti [Problems of control sequence synthesis under uncertainty conditions] [Text] // Materialy za XV mezhdunarodna nauchna praktichna konferenciya «B`deshheto v`prosi ot sveta na naukata»: Sofiya, 2019. – P. 44–51.

2 **Bar-Shalom, Ya., Ci, E`.** Konceptii i metody` stoxasticheskogo upravleniya. V kn. Fil`traciya i stoxasticheskoe upravlenie v dinamicheski sistemax [Concepts and methods of stochastic control. In the book. Filtering and stochastic control in dynamic systems.] [Text] Ed. by K. T. Leondes. – Moscow : Mir, 1980. – P. 74–122.

3 **Chubich V. M.** Aktivnaya parametricheskaya identifikaciya stoxasticheskix dinamicheskix sistem na osnove planirovaniya e`ksperimentov. [Active parametric identification of stochastic dynamical systems based on experimental planning] [Text] Diss. na soiskanie uchenoj stepeni doktora texnicheskix nauk. – Novosibirsk, 2013.

4 **Grop D.** Metody` identifikacii sistem [Methods of identification of systems] [Text]. – Moscow : Mir, 1979. – 302 p.

5 **L`yung L.** Identifikaciya sistem. Teoriya dlya pol`zovatelya. [Identification of systems. Theory for the user] [Text]. – Moscow : Nauka, 1991. – 432 p.

6 **Cypkin Ya. Z.** Informacionnaya teoriya identifikacii. [Information theory of identification] [Text]. – Moscow: Nauka, Fizmatlit, 1995. – 336 p.

7 **Mehra, R. K.** Optimal Input Signals for Parameter Estimation in Dynamic Systems-Survey and New Results. IEEE Transactions on Automatic Control. – Vol. 19,6. – 1974. – P. 753–768.

8 **Gorskij V. G., Adler Yu. P., Talalaj A. M.** Planirovanie promy`shlenny`x e`ksperimentov (modeli dinamiki). [Planning of industrial experiments (dynamics models)] [Text]. – Moscow : Metallurgiya, 1978. – 112 p.

9 **Filatov, N. M., Unbehauen, H.** Survey of adaptive Dual Control Methods. IEE Proc. Control Theory Appl. – Vol. 147. – № 1. – 2000. – P.118–128.

10 **Lopes-Toledo, A. A.** Optimal Policies for Identification of Stochastic Linear Systems. IEEE Trans. AC-20 (6). – P. 754–766.

11 **Padilla, C. S., Cruz, J. B.** Sensitivity Adaptive Feedback with Estimation Redistribution. IEEE Transactions on Automatic Control. – Vol-AC-23, 3. – P. 445–451.

Материал поступил в редакцию 07.06.22.

*С. Е. Тасанбаев¹, К. Е. Арыстанбаев², В. В. Гавриков³

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

^{2,3}Оңтүстік-Қазақстан медицина академиясы,

Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

Материал баспаға 07.06.22 түсті.

БАСҚАРУ АЛГОРИТМДЕРІН СИНТЕЗДЕУДІҢ СУБОПТИМАЛДЫ ӘДІСІН ЖАСАУ

Осы жұмыста Фишердің ақпараттық матрицасының ізін есептеу Шығыс айнымалыларының сезімталдық функциялары тұрғысынан жүзеге асырылады. Сезімталдықтың тиісті функцияларын есептеу кері байланыс тізбегінде жүзеге асырылады, бұл стандартты схемадан өзгеше динамикалық бағдарламалау әдісін қолдануға әкеледі. Айырмашылық басқару тізбегін синтездеу кезінде сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесін шешу қажеттілігінде жатыр. Мұндай басқару синтезінің схемасын жұмыста қолдану негізделген, сонымен қатар осы жүйенің шешімінің болуы мен бірегейлігі үшін қажетті және жеткілікті жағдайлар алынды. Модельдің көп немесе аз маңызды параметрлері арасында сәйкестендіру сигналдарының энергиясын бөлу салмақ коэффициенттерін өзгерту арқылы өзгереді. Фишердің ақпараттық матрицасының ізіне қосымша шектеу қою үшін детерминистік эквиваленттік принцип негізінде синтезделген басқару тізбегі ұсынылады. Басқару алгоритмдерін синтездеудің субоптималды әдісін жасау мәселесі динамикалық бағдарламалау әдісімен шешіледі, басқару тізбегінің болуы мен бірегейлігі үшін жағдайлар алынады. Өзірленген алгоритмнің сапасы мен қасиеттері статистикалық модельдеу әдісімен зерттелді. Ұсынылған алгоритмдер үшін қадам санына бақылау әсерінің амплитудасының тәуелділік графиктері ұсынылған модельдеу нәтижелері алгоритмнің тиімділігі мен икемділігін көрсетті.

Кілтті сөздер: сәйкестендіру, алгоритм, басқару, матрица, Фишер.

*S. E. Tasanbaev¹, K. E. Arystanbaev², V. V. Gavrikov²

¹L. N. Gumilev Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

^{2,3}South Kazakhstan Medical Academy,

Republic of Kazakhstan, Shymkent.

Material received on 07.06.22.

DEVELOPMENT OF A SUBOPTIMAL METHOD FOR THE SYNTHESIS OF CONTROL ALGORITHMS

The trace of the Fisher information matrix is calculated in this paper in terms of sensitivity functions of output variables. It is essential that the calculation of the corresponding sensitivity functions is performed in a feedback loop, which leads to the use of a dynamic programming method that differs from the standard scheme. The difference lies in the need to solve a system of linear algebraic equations in the synthesis of the control sequence. The use of such a control synthesis scheme in the work is justified, and the necessary and sufficient conditions for the existence and uniqueness of the solution of this system are obtained. The energy distribution of identifying signals between more and less important parameters of the model varies by changing the weighting coefficients. It is proposed to impose an additional restriction on the trace of the Fisher information matrix on the control sequence synthesized on the basis of the deterministic equivalence principle. The problem of developing a suboptimal method for the synthesis of control algorithms is solved by the method of dynamic programming, the conditions for the existence and uniqueness of the control sequence are obtained. The quality and properties of the developed algorithm are investigated using the statistical modeling method. Graphs of the dependences of the amplitudes of control actions on the step number for the presented algorithms are presented. Simulation results have shown the efficiency and flexibility of the algorithm.

Keywords: Identification, algorithm, control, matrix, Fisher.

Теруге 07.06.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

8,05 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,57. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3960

Сдано в набор 07.06.2022 г. Подписано в печать 30.06.2022 г.

Электронное издание

8,05 Mb RAM

Усл.печ.л. 8,57. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3960

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz

<https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>