



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.8

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОЗАДАЧНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

¹Смирнова М.А., Смирнов М.Н.

ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Санкт-Петербург, Россия (199034, город Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7/9), e-mail: ¹smirnova-ma@bk.ru

Компьютерные системы автоматического управления играют огромную роль в автоматизации различных процессов. Они применяются на фабриках и заводах, в складских комплексах, в системах управления светофорами, а также в управлении движением различных объектов – от роботов до самолетов. Широко применяются такие системы и для управления движением морских кораблей. Для успешной интеграции автоматической системы управления в бортовой комплекс любого динамического объекта необходим этап компьютерного моделирования. Этот этап начинается с разработки компьютерной модели динамического объекта и автоматической системы управления. После этого проводится компьютерное моделирование движения объекта управления в различных условиях (как в регулярных, так и в экстренных ситуациях). При необходимости производится подстройка автоматической системы управления для достижения более хороших результатов. Данная статья посвящена компьютерной реализации многозадачного автоматического управления морским судном с целью проведения компьютерного моделирования.

Ключевые слова: Управление; морской корабль; автоматический.

A PRACTICAL EXAMPLE OF A COMPUTER IMPLEMENTATION OF MULTITASKING AUTOMATIC CONTROL

¹Smirnova M.A., Smirnov M.N.

"ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY", St. Petersburg, Russia (199034, St. Petersburg, Universitetskaya nab., 7/9), e-mail: ¹smirnova-ma@bk.ru

Computer-based automatic control systems play a huge role in automating various processes. They are used in factories, in warehouse complexes, in traffic light control systems, as well as in motion control of various objects – from robots to airplanes. Such systems are also widely used to control the movement of naval ships. For the successful integration of an automatic control system into the on-board complex of any dynamic object, a computer simulation stage is required. This stage begins with the development of a computer model of a dynamic object and an automatic control system. After that, computer simulation of the movement of the control object is carried out in various conditions (both in regular and emergency situations). If necessary, the automatic control system is adjusted to achieve better results. This article is devoted to the computer implementation of multitasking automatic control of a marine vessel for the purpose of computer modeling.

Keywords: Control; marine ship; automatic.

Компьютерные системы автоматического управления играют огромную роль в автоматизации различных процессов. Они применяются на фабриках и заводах, в складских комплексах, в системах управления светофорами, а также в управлении движением различных объектов – от роботов до самолетов [1 – 12]. Широко применяются такие системы и для управления движением морских кораблей. Для успешной интеграции автоматической

системы управления в бортовой комплекс любого динамического объекта необходим этап компьютерного моделирования. Этот этап начинается с разработки компьютерной модели динамического объекта и автоматической системы управления. После этого проводится компьютерное моделирование движения объекта управления в различных условиях (как в регулярных, так и в экстренных ситуациях). При необходимости производится подстройка автоматической системы управления для достижения более хороших результатов. Данная статья посвящена компьютерной реализации многозадачного автоматического управления морским судном с целью проведения компьютерного моделирования.

Рассмотрим математическую модель, описывающую динамику корабля в процессе его движения:

$$\begin{aligned}\dot{\beta} &= a_{11}\beta + a_{12}\omega + b_1\delta + f_1, \\ \dot{\omega} &= a_{21}\beta + a_{22}\omega + b_2\delta + f_2, \\ \dot{\varphi} &= \omega, \\ \dot{\delta} &= u.\end{aligned}$$

В представленных уравнениях ω – угловая скорость относительно вертикальной оси, φ – угол рыскания, δ – угол отклонения вертикальных рулей, β – угол дрейфа, f_1, f_2 – боковая сила и момент этой силы соответственно, u – искомый закон автоматического управления.

Дополним нашу математическую модель уравнениями асимптотического наблюдателя

$$\begin{aligned}\dot{z}_1 &= a_{11}z_1 + a_{12}z_2 + b_1\delta + g_1(\varphi - z_3), \\ \dot{z}_2 &= a_{21}z_1 + a_{22}z_2 + b_2\delta + g_2(\varphi - z_3), \\ \dot{z}_3 &= z_2 + g_3(\varphi - z_3),\end{aligned}$$

где вектор z – оценка вектора состояния морского судна,

g_1, g_2, g_3 – компоненты вектора асимптотического наблюдателя, выбранные таким образом, чтобы степень устойчивости замкнутой системы была не больше, чем 0.2.

Пусть задача маневрирования состоит в отработке заданного программного движения $\varphi_{жс}(t)$ по углу рыскания, т.е. обеспечения близости значения $\varphi(t)$ реального курса к значению $\varphi_{жс}(t)$ желаемого курса в каждый момент времени $t > 0$.

В качестве базового закона управления выберем стабилизирующее управление по состоянию $u = k_1\beta + k_2\omega + k_3\varphi + k_4\delta$, построенное с помощью решения задачи LQR-оптимизации

$$J(u) = \int_0^{\infty} (x^T Qx + u^T Ru) dt$$

с матрицами

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.96 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.04 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q = I.$$

Затем с помощью эквивалентного преобразования преобразуем полученное стабилизирующее управление к следующему виду, который гарантирует нулевую статическую ошибку:

$$u = m_1 \dot{z}_1 + m_2 \dot{z}_2 + m_3 \dot{z}_3 + n\varphi,$$

где m_1, m_2, m_3, n – коэффициенты нового закона управления, которые однозначно определяются по значениям коэффициентов исходного управления k_1, k_2, k_3, k_4 .

Таким образом, мы получаем управление с нулевой статической ошибкой. Теперь нам необходимо добиться выполнения еще одного требования – следованию желаемому курсу. Для этого сформулируем правило преобразования управления $u = m\dot{z} + n\varphi$ для обеспечения требуемого движения морского корабля по курсу:

$$u = S^{-1}(p)\varphi_{\text{жс}}(t) + m\dot{z} + n[\varphi - \varphi_{\text{жс}}(t)].$$

Рассмотрим теперь компьютерную реализацию представленного многозадачного управления. На Листинге 1 представлен программный код математической модели системы управления.

Листинг 1.

```
clc
clear all;
close all;
global a11 a12 b1 a21 a22 b2;
global k1 k2 k3 k4 g1 g2 g3;
global ky2 ky1 ky0 w0 Aw Aw2 Aw3;

krg=180/pi;

% Speed of motion
V_init=1.5;

% Actual linear coefficients
a11 = -0.24; a12 = -0.591; b1 = -0.1071;
a21 = 0.00102; a22 = -0.6195; b2 = 0.12578;

% Matrices of linear model
A3=[a11 a12 0; a21 a22 0; 0 1 0];
b3=[b1 b2 0]'; c3=[0 0 1];

A_matr_lqr = [a11 a12 0 b1; a21 a22 0 b2; 0 1 0 0; zeros(1,4)];
```

```
B_matr_lqr=[0; 0; 0; 1];

% LQR-functional
kkd=0.04;
Rd=diag([0 1-kkd kkd 0]); lmd=1;
Qd=lmd;

% LQR-synthesis
[k_lqr,s,ek]=lqr(A_matr_lqr,B_matr_lqr,Rd,Qd);
k1=-k_lqr(1); k2=-k_lqr(2); k3=-k_lqr(3); k4=-k_lqr(4);
dd=(-a11*b2+a21*b1);
m1 = (-k1*b2+k4*a21)/dd;
m2 = (k1*b1-k4*a11)/dd;
m3 = k1*(b2*a12-a22*b1)/dd-k4*(a12*a21-a11*a22)/dd+k2;
n=m3; m=[m1 m2 m3];

% Coefficients of binomial observer
ro=0.2;
s1=a11+a22; s2=a11*a22-a12*a21;
g3=3*ro+s1; g2=3*ro*ro-s2+g3*s1;
g1=(ro*ro*ro-g3*s2+a11*g2)/a21;

% Time for process
Tc=80;

% Input command signal

w01=0.05; Aw=15/57.3; Aw2=Aw*w01*w01; Aw3=Aw2*w01; w2=w01*w01;
```

Схема компьютерной модели представлена на Рисунке 1. Она содержит в себе компьютерную модель самого корабля (блок SHIP), уравнение привода (блок Rudders), построенное управление (блок Controller), начальные условия (блок Initial conditions), командный сигнал (блок Command).

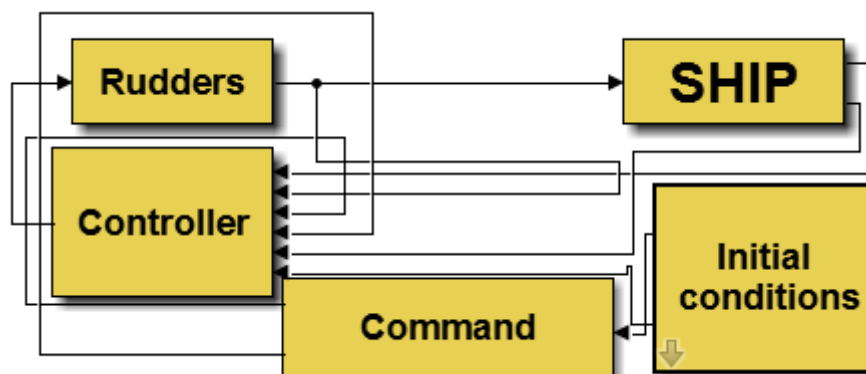


Рисунок 1. - Компьютерная модель

В качестве желаемого движения по курсу выбрана гармоническая функция с амплитудой $A_{\text{ЖС}} = 15^\circ$ и частотой $\omega_{\text{ЖС}} = 0.05$:

$$\varphi_{\text{ЖС}}(t) = A_{\text{ЖС}} \sin \omega_{\text{ЖС}} t.$$

На Рисунке 2 представлены графики реального и желаемого курса морского корабля. Желтым цветом изображен желаемый курс $\varphi_{\text{ЖС}}(t)$, синим цветом – реальный курс $\varphi(t)$. Как видно из графика, на 30-й секунде реальный курс морского корабля достигает желаемого курса, и далее судно следует желаемому курсу (Рисунок 3).

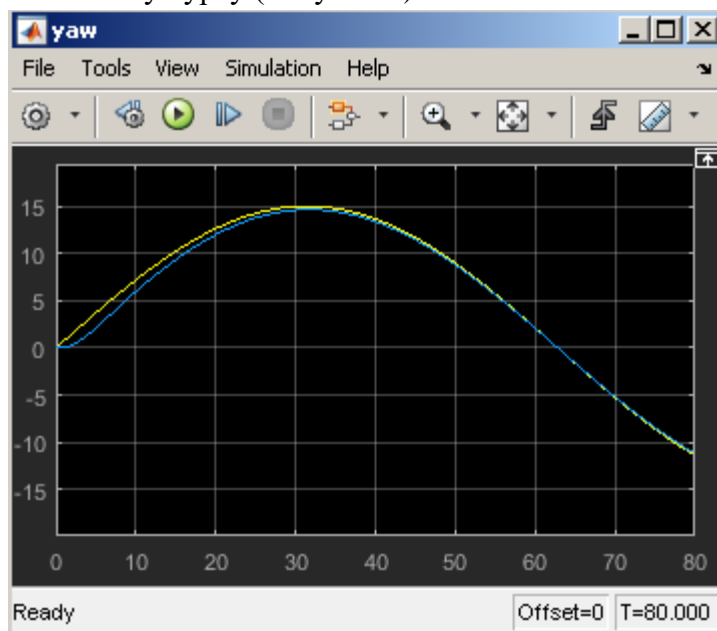


Рисунок 2. - Графики $\varphi_{\text{ЖС}}(t)$ и $\varphi(t)$ (время моделирования 80 с)

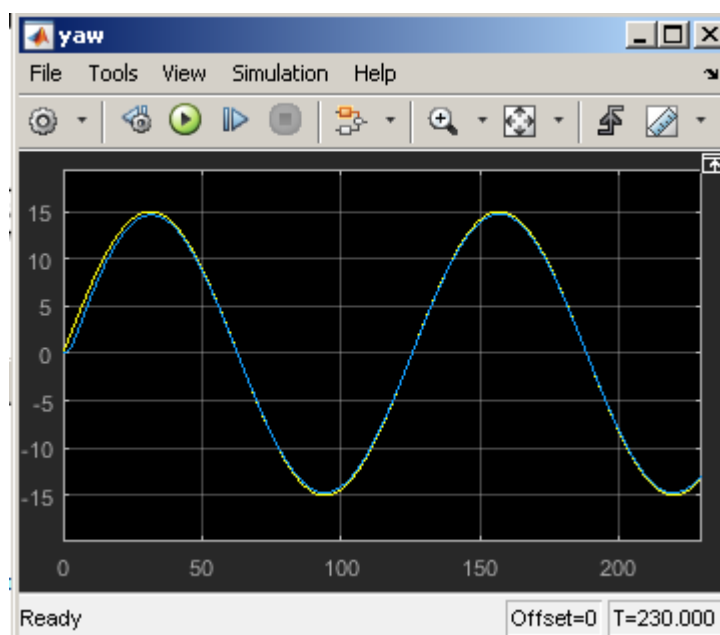


Рисунок 3.- Графики $\varphi_{\text{ЖС}}(t)$ и $\varphi(t)$ (время моделирования 230 с)

Если увеличить частоту гармонического сигнала до $\omega_{\text{жс}} = 0.08$, то, как видно из Рисунка 4, качество переходного процесса остается хорошим, что говорит о качественной работе сформированной системы автоматического управления.

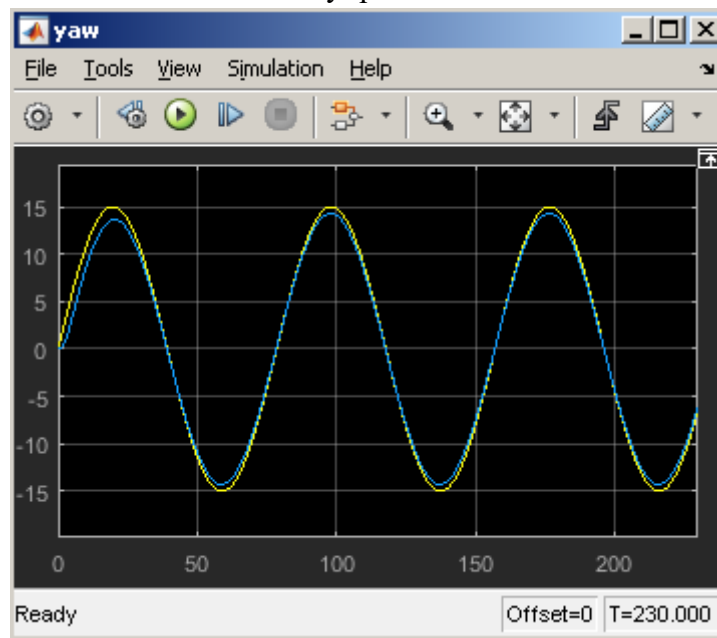


Рисунок 4. - Графики $\varphi_{\text{жс}}(t)$ и $\varphi(t)$ (время моделирования 230 с)

Таким образом, в данной статье представлен практический пример компьютерной реализации многозадачной системы автоматического управления движением морского корабля по курсу. Описана математическая и компьютерная модель рассматриваемого корабля и проведено компьютерное моделирование.

Список литературы

1. Veremei E.I., Korchanov V.M. Multiobjective stabilization of a certain class of dynamic systems // Automation and Remote Control, №49, 1989. pp. 1210 – 1219.
2. Веремей Е.И. Линейные системы с обратной связью. – СПб.: Изд-во «Лань», 2013 – 448 с.
3. Веремей Е. И., Корчанов В. М. Многоцелевая стабилизация динамических систем одного класса // АН СССР. Автоматика и телемеханика. 1988. – № 9. – С. 126–137.
4. Веремей Е.И. Синтез законов многоцелевого управления движением морских объектов // Гироскопия и навигация. 2009. – № 4. –С. 3–14.
5. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnov A.N., Smirnov M.N. Combined control synthesis algorithm. 2017 Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics (Dedicated to the Memory of V.F. Demyanov), CNSA 2017 - Proceedings. –2017 – pp. 194-196.
6. Smirnova M.A., Smirnov M.N., Smirnova T.E., Smirnov N.V. Multi-purpose control laws in motion control systems // Information (Japan). –2017. –20(4). –pp. 2265-2272.2017.
7. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Problem of Synthesis the Control Laws with Uncertainties in External Disturbances. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science, –2017.– pp. 276-279.

8. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Issues of Multipurpose Control Laws Construction. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. –2017. – pp. 194-196.
9. Smirnova M.A., Smirnov M.N. Multipurpose control laws in trajectory tracking problem.// International Journal of Applied Engineering Research. –2017–11(22), – pp.11104-11109.
10. Vitrant E., Canudas–De–Vit C., Georges D., Alamir M. Remote stabilization via time–varying communication network delays // IEEE Conference in Control Applications, Taiwan, –2004.
11. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Control synthesis for marine vessels in case of limited disturbances // Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), – 2018, –16(2), –pp. 648–653.
12. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Questions of stabilization and control of unmanned aerial vehicles // Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, –2018, –71(1), –pp. 87–91.

References

1. Veremei E.I., Korchanov V.M. Multiobjective stabilization of a certain class of dynamic systems // Automation and Remote Control, No.49, 1989. pp. 1210-1219.
2. Veremei E.I. Linear feedback systems. – St. Petersburg: Publishing house "Lan", 2013 – 448 p.
3. Veremey E. I., Korchanov V. M. Multipurpose stabilization of dynamical systems of one class // USSR Academy of Sciences. Automation and telemechanics. 1988. – No. 9. – pp. 126-137.
4. Veremey E.I. Synthesis of laws of multipurpose motion control of marine objects // Gyroscopy and navigation. 2009. – No. 4. –pp. 3-14.
5. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnov A.N., Smirnov M.N. Combined control synthesis algorithm. 2017 Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics (Dedicated to the Memory of V.F. Demyanov), CNSA 2017 - Proceedings. –2017 – pp. 194-196.
6. Smirnova M.A., Smirnov M.N., Smirnova T.E., Smirnov N.V. Multi-purpose control laws in motion control systems // Information (Japan). –2017. –20(4). –pp. 2265-2272.2017.
7. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Problem of Synthesis the Control Laws with Uncertainties in External Disturbances. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science, –2017.– pp. 276-279.
8. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Issues of Multipurpose Control Laws Construction. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. –2017. – pp. 194-196.
9. Smirnova M.A., Smirnov M.N. Multipurpose control laws in trajectory tracking problem.// International Journal of Applied Engineering Research. –2017–11(22), – pp.11104-11109.
10. Vitrant E., Canudas–De–Vit C., Georges D., Alamir M. Remote stabilization via time–varying communication network delays // IEEE Conference in Control Applications, Taiwan, –2004.
11. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Control synthesis for marine vessels in case of limited disturbances // Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), – 2018, –16(2), –pp. 648–653.

Смирнова М.А., Смирнов М.Н. Практический пример компьютерной реализации многозадачного автоматического управления // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности.– 2024. –Т. 9 № 11(49) с. 86–93

12. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Questions of stabilization and control of unmanned aerial vehicles // Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, –2018, –71(1), –pp. 87–91.
