ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЛОЖЕНИЯ MATLAB CODER ДЛЯ ГЕНРАЦИИ КОДА В ФОРМАТЕ С ФИКСИРОВАННОЙ ТОЧКОЙ

Макаров А.А.[1], Рыжкова Е.А.[2]
[1]профессор, [2]профессор кафедры автоматики и промышленной электроники. Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина

АННОТАЦИЯ

Калмановская фильтрация совместно с линейно-квадратичным регулятором позволяет решить задачу линейно-квадратичного гауссовского управления. Благодаря своей эффективности фильтр Калмана можно встретить в GPS-приемниках, обработчиках показаний датчиков, при реализации систем управления. Для разработки алгоритма фильтра Калмана может быть использован пакет MATLAB. Однако, реализуемый таким способом алгоритм, ориентирован на работу с данными в формате с плавающей точкой (IEEE 754). Микроконтроллеры и цифровые сигнальные процессоры, используемые в большинстве встраиваемых систем, этот формат не поддерживают. Поэтому разработка алгоритмов, ориентированных на процессоры с фиксированной точкой с использованием MATLAB'а представляет собой задачу, имеющую практическое значение.

Ключевые слова: фильтр Калмана, формат данных с плавающей и фиксированной точкой, генерация программного кода **Keywords:** Kalman filter, floating and fixed point data format, program code generation

Фильтр Калмана — эффективный рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений, широко используется в инженерных и эконометрических приложениях: от радаров и систем технического зрения до оценок параметров макроэкономических моделей. Калмановская фильтрация является важной частью теории управления, играет большую роль в создании систем управления. Совместно с линейно-квадратичным регулятором фильтр Калмана позволяет решить задачу линейно-квадратичного гауссовского управления. Фильтр Калмана и линейно-квадратичный регулятор представляют собой возможное решение большинства фундаментальных задач в теории управления. Фильтр Калмана — это, распространённый алгоритм фильтрации, используемый во многих областях науки и техники [4]. Благодаря своей простоте и эффективности его можно встретить в GPS-приемниках, обработчиках показаний датчиков, при реализации систем управления и т.д. Любой измерительный прибор обладает некоторой погрешностью, на него может оказывать влияние большое количество внешних и внутренних воздействий, что приводит к тому, что информация с него оказывается зашумленной. Чем сильнее зашумлены данные, тем сложнее обрабатывать такую информацию. Фильтр - это алгоритм обработки данных, который убирает шумы и лишнюю информацию. В фильтре Калмана есть возможность задать априорную информацию о характере системе, связи переменных и на основании этого строить более точную оценку, но даже в простейшем случае (без ввода априорной информации) он дает отличные результаты.

Для разработки алгоритма фильтра Калмана может быть использован пакет MATLAB. Однако, реализуемый таким способом алгоритм, ориентирован на работу с данными в формате с плавающей точкой (IEEE 754). Микроконтроллеры и цифровые сигнальные процессоры, используемые в большинстве встраиваемых систем этот формат не поддерживают на уровне процессорного ядра и поддержка таких данных возлагается на компилятор языка высокого уровня, чаще всего Си, что не всегда приемлемо с точки зрения быстродействия. Кроме того процессоры с фиксированной точкой являются более дешёвыми, менее энергопотребляющими и имеющими более высокие частоты тактирования (при прочих равных условиях). При «ручном» переводе кода в формат с фиксированной точкой требуется написание большого числа комментариев, чтобы сделать код понимаемым, а также необходимо использовать сдвиговые операции для выполнения операции умножения, в случае использования подхода, основанного не генерации кода при помощи Fixed-Point Designer и MATLAB Coder необходимость в этом отпадает [2]. Процесс разработки выглядит следующим образом: Разработка собственно алгоритма в MATLAB'е, затем преобразование в фиксированную точку при помощи приложения FIXED POINT DESIGNER, затем генерация кода C/C++ при помощи MATLAB Coder и Embedded Coder [1,3] для поддерживаемого микроконтроллера или цифрового сигнального процессора.

В исходном файле содержится следующий алгоритм фильтра Калмана:

```
% Copyright 2009 - 2010 The MathWorks, Inc.
function y = kalman01(z) %#eml
% Initialize state transition matrix
dt=1;
A=[ 1 0 dt 0 0 0;...
 0 1 0 dt 0 0;...
 0 0 1 0 dt 0;...
 0 0 0 1 0 dt;...
 0 0 0 0 1 0 ;...
 0 0 0 0 0 1 ];
% Measurement matrix
H = [ 1 0 0 0 0 0; 0 1 0 0 0 0 ];
Q = eye(6);
```

```
R = 1000 * eye(2);
% Initial conditions
persistent x_est p_est
if isempty(x_est)
 x_est = zeros(6, 1);
 p_est = zeros(6, 6);
end
% Predicted state and covariance
x_prd = A * x_est;
p_prd = A * p_est * A' + Q;
% Estimation
S = H * p_prd' * H' + R;
B = H * p_prd';
klm_gain = (S \ B)';
% Estimated state and covariance
x_est = x_prd + klm_gain * (z - H * x_prd);
p_est = p_prd - klm_gain * H * p_prd;
% Compute the estimated measurements
y = H * x_est;
end
```

Для исходного файла должно быть проведено автоопределение типов данных при помощи MATLAB Coder. Это выполняется при помощи отдельного тестового файла:

```
% Copyright 2009 - 2010 The MathWorks, Inc.
function ObjTrack01(position)
%#eml
% Figure setup
numPts = 300;
figure;hold;grid;
% Kalman filter loop
for idx = 1: numPts
 % Get the input data
 z = position(:,idx);
 % Use Kalman filter to estimate the location
 y = kalman01(z);
 % Plot the results
 plot_trajectory(z,y);
end
hold;
end
```

Далее следует следует произвести преобразование кода в формат с фиксированной точкой и валидацию типов данных. В рассматриваемом случае на этом этапе возникает ошибка: Fixed point converter does not have yet handle ‘ mldivide function(operator `/`)` nodes.

Необходимо заменить оператор klm_gain = (S \ B)'; на следующий код:

```
%klm_gain = (S \ B)';
invS = mat_inv_2x2(S);
klm_gain = (invS*B)';
function invM = mat_inv_2x2(M)
 detM = M(1,1)*M(2,2) - M(1,1)*M(2,1);
 adjoint = [ M(2,2) -M(1,2); -M(2,1) M(1,1)];
 if (abs(detM)) < 1.e-10
 invM = zeros(2, 2);
 else
 invM = adjoint/detM;
 end
end
```

С учётом внесённых изменений может быть получен код с фиксированной точкой для одного из поддерживаемых в MATLAB’е микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров. Затем можно провести валидацию полученного кода.

Литература

1. Мартин Г., Зарринкуб Х. От MATLAB к EMBEDDED C. Электронные компоненты. №7, 2012. - с.49-50.

2. Bhurat H. Introducing Fixed-Point Designer for MATLAB and Simulink [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.mathworks.com/videos/introducing-fixed-point-designer-for-matlab-and-simulink-81554.html. Требуется регистрация.

3. Zarrinkoub H. Generate C Code from MATLAB Functions Using the Embedded MATLAB Subset [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.mathworks.com/videos/generate-c-code-from-matlab-functions-using-the-embedded-matlab-subset-81679.html. Требуется регистрация.

4. Grewal M. S., Andrews A. P. Kalman filtering. Theory and Practice Using MATLAB. 4th Edition. New Jersey: - John Wiley & Sons, 2015. - 639 p.

УСТАНОВКА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРОВ*

*** Данная работа проводилась в рамках государственного контракта № 14.Z56.17.21.49-МК от 22 февраля 2017 г.**

ЧАСТЬ 2
(ЧАСТЬ 1 в выпуске № 7 (52) / 2018
1 часть)

***Назаров Алексей Петрович*[1, a], *Скорняков Иннокентий Алексеевич*[1, b], *Шишковский Игорь Владимирович*[2, c]**

[1]ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Россия 127055, Москва, Вадковский пер. 1
[2]ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия 443011, Самара, Ново-Садовая, 221

АННОТАЦИЯ: В данной работе представлена конструкция аддитивной установки для селективного лазерного спекания высокотемпературных полимерных материалов, отличающаяся оригинальной системой контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка полиэфирэфиркетона. Приведены ее кинематическая и лазерно-оптическая схемы. Описаны основные контуры охлаждения. Технические и конструкторские решения, предложенные нами, позволяют проводить селективное лазерное спекание целого