



Равенство (11) выявляет искомую связь между параметрами « $\bar{p}$ » и « $p$ ». Осталось произвести замену в формуле (9):

$$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{K_0^{et}}{M_x \cdot \frac{p^r}{M_i^r} \cdot \prod_{i=1}^m (T_i^{et} \frac{p}{M_i} + 1)} = \frac{K_0^{et} \cdot M_i^r}{M_x \cdot p^r \cdot \prod_{i=1}^m (\frac{T_i^{et}}{M_i} p + 1)} \quad (12)$$

Результат (12) приводится к виду передаточной функции (1), если выполняются равенства:

$$K_0 = K_0^{et} \cdot \frac{M_i^r}{M_x} \quad (13)$$

$$T_i = \frac{T_i^{et}}{M_i} \quad (14)$$

Формулы (13) и (14) позволяют вычислять параметры искомой передаточной функции рабочего объекта управления по известным параметрам передаточной функции эталонного объекта.

Решение задачи с помощью ММ получено. Передаточная функция рабочего ОУ в реальных координатах определена полностью. Рабочий объект имеет такой же порядок и степень астатизма, как и эталонный. Параметры  $K_0$  и  $T_i$  рассчитываются по формулам (13) и (14). При этом точность результата уже известна. Она соответствует степени совпадения кривых разгона, достигнутой при выполнении процедуры масштабирования. Потребность в оценке точности результата «задним числом» устранена полностью. Цель достигнута.

Упомянутая выше программа «ММ-аппроксимация» предельно упрощает применение метода масштабирования на практике. Программа воспринимает данные о кривой разгона рабочего объекта, предоставляет для работы встроенную библиотеку эталонных объектов (допускающую пополнение), обеспечивает максимальное удобство и оперативность выполнения процедуры масштабирования. Мгновенно вычисляет и выдает в готовом виде полные сведения о параметрах искомой передаточной функции. Программа доступна для приобретения.

М.С. Бобков, Ю.Д. Ревина

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ ПРИ УСЛОВИИ НЕОРДИНАРНОСТИ ПОТОКА ВХОДЯЩИХ ЗАЯВОК

(Самарский государственный технический университет)

Большинство реальных систем массового обслуживания являются системами, к которым нельзя применить стандартные аналитические методы математического моделирования. Во-первых, подобные аналитические методы могут быть использованы при моделировании исключительно систем с простей-



шими потоками событий. Формирование и разрешение систем дифференциальных уравнений для СМО большой размерности возможно реализовать исключительно с использованием компьютерных методов.

При рассмотрении СМО, которые содержат приборы разной пропускной способности и/или отдельные очереди обслуживания разных приборов, т.е. являются системой с различимыми каналами, следует понимать, что данный вид систем не может быть смоделирован оргграфом процесса гибели-размножения, следовательно, необходимо ввести понятие диспетчеризации, т.е. алгоритма распределения поступающих заявок по каналам обработки. Следовательно, для каждой заявки, попадающей в систему для обслуживания, появляется необходимость определения траектории процесса ее обработки в системе. [1]

Для имитационного моделирования работы систем массового обслуживания указанного типа используем методы теории конечных автоматов (КА).

Пусть конечный автомат  $K$  имеет входной алфавит  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , множество состояний  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_m\}$ ,  $p = \overline{1, m}$ , и функцию перехода

$$S_{t+1} = \psi(at, S_t),$$

где  $at$ ,  $bt$ ,  $S_t$  – соответственно входной символ (буква), выходной символ и состояние КА в момент времени  $t$ . [2]

Так как любые СМО – это системы, обладающие конечным числом состояний, переходящих из одного в другое при поступлении или окончании обработки имеющейся заявки, данное представление СМО с различимыми каналами позволяет моделировать их работу с помощью конечных детерминированных или недетерминированных автоматов.

Недетерминированный конечный автомат дополняется описанием закона распределения вероятности перехода автомата в состояние  $S_j$ , если автомат был в состоянии  $S_q$  и на его вход в этот момент поступил сигнал  $a_i$ .

Моделирование исследуемой системы массового обслуживания характеризующим ее конечным автоматом [3] позволяет проводить имитации работы системы при изменяемых характеристиках потока поступающих заявок, а что самое главное - в случае непуассоновского поведения потока.

Для дополнения метода описания систем массового обслуживания с использованием конечных автоматов [4,5], необходимо рассмотреть случай с условием неординарности поступающих и обслуженных заявок. Подобного типа неклассические СМО встречаются при моделировании систем с заявками, приходящими одновременно или с неразличимым временем прихода.

Необходимо удостовериться в применимости предложенной методики [5] моделирования СМО конечными автоматами в случае одновременного прихода заявок. Пусть в системе имеется два различимых канала, имеющие различную пропускную способность, а также отдельные очереди на две ожидающие обработки заявки.

Тогда алфавит  $A$  для описания состояний автомата  $K$  имеет следующие буквы:



a1 – простой СМО; a2 – I канал обслуживает заявку, II канал и обе очереди свободны;  
a3, ..., a8 – остальные варианты прихода сигналов, получающего обслуживание;  
a9 – отказ СМО.

Пусть заявки входящего потока появляются как поодиночке, так и попарно, а обслуживающие каналы вне зависимости друг от друга могут завершить обработку заявки одновременно. Тогда алфавит В сигналов, поступающих на вход автомата К, будет состоять из следующих букв:

b1 – нет заявок; b2, ..., b7 – варианты (не)одновременного завершения работы каналов.

В случае, когда две заявки, претендующие на обработку в одном канале, не могут поступить одновременно, можно представить таблицу переходов Т автомата К матрицей с 9 строками для описания алфавита состояний А и 7 столбцами для описания алфавита входных сигналов В. Дополним таблицу Т до матрицы Т1 размерностью 16×8, представим с помощью булевых функций  $s_1(n+1)$ ,  $s_2(n+1)$ ,  $s_3(n+1)$ ,  $s_4(n+1)$  перехода автомата К в следующее состояние.

Малая трудоемкость составления функций перехода компенсирует рост числа состояний СМО при увеличении количества каналов и длин очередей. Поэтому возможно применение метода моделирования СМО с использованием конечных автоматов на задачи более высокой размерности.

### Литература

1. Афанасьев М.Ю., Суворов Б.П. Исследование операций в экономике: модели, задачи, решения: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 444с.
2. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания: Учебник. – М.: Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.
3. Котенко А.П., Букаренко М.Б. Система массового обслуживания с различными каналами как конечный автомат // Вестник СамГТУ. Сер. Физ.-мат. науки, 2012, №3(28). – С.114-124.
4. Котенко А.П., Букаренко М.Б. Моделирование конечными автоматами систем массового обслуживания с различными каналами / Известия СНЦ РАН, т.16, №4(2). – Самара, Изд-во СНЦ РАН, 2014. – С. 318-321.
5. Котенко А.П., Бобков М.С., Ревина Ю.Д. Моделирование системы массового обслуживания конечным автоматом при неординарности потоков заявок / «Перспективные информационные технологии». Труды Междунар. научно-техн. конф., т.2. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2015. – С.274-276.



С.В. Боряк, А.Е. Шаралапов

### АНАЛИЗ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ТЕСТОВЫХ ФИЛЬТРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МИКРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ MPU6050

(Пензенский государственный университет)

В настоящее время широкое распространение получили балансирующие роботы, беспилотные летательные аппараты (коптеры), в которых используются микро электромеханические системы (МЭМС).

Данные системы используют там, где необходимо измерять положение объекта в пространстве, контролируемые параметрами которых являются углы наклона, а также линейные ускорения.[1]

Используемые в системе MPU 6050 аналоговые сигналы с акселерометра и гироскопа обрабатываются с частотой 1 кГц при этом они проходят предварительную фильтрацию, также в данных системах применяется пользовательская фильтрация. Проведем анализ нескольких вариантов фильтрации с выбором оптимума.

Для получения и обработки данных используется микроконтроллер Arduino Mega который считывает и обрабатывает данные ( 150 раз в секунду) и отправляет результаты на персональный компьютер, где по этим данным строятся графики (рис.1 и 2), анализ которых позволяет делать вывод о выборе варианта фильтра. В качестве тестовых фильтров были выбраны комплементарный фильтр, фильтр Калмана и сглаживающий фильтр по трем точкам. [2]

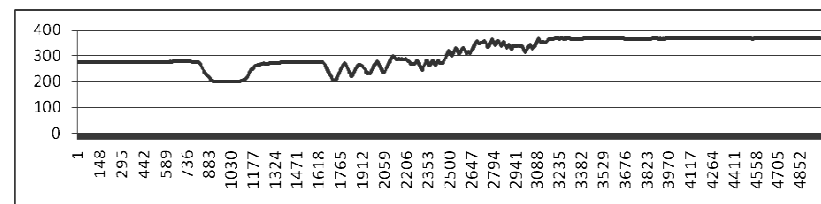


Рисунок 1 – Значение выходных данных с гироскопа

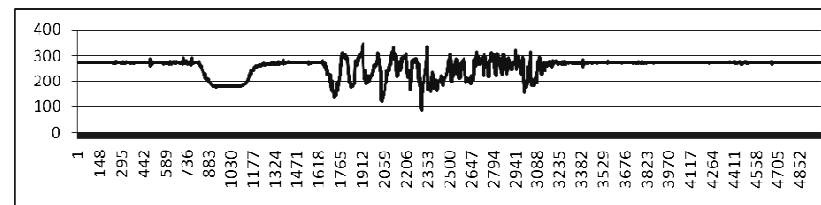


Рисунок 2 – Значение выходных данных с акселерометра