



Н.В. Решетникова, И.Г. Криволапчук

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЛАТФОРМОЙ
АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

(Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения)

Одним из путей повышения уровня подготовки лётных экипажей является интенсивное использование тренажерных комплексов на всех этапах подготовки - от первоначального обучения и переучивания на тип до регулярных тренировок действующих пилотов. Основное место в подготовке линейных пилотов занимают так называемые комплексные тренажерные системы. Отличительной особенностью подобных тренажеров, кроме высокоточной математической модели и полной реплики кабины, является наличие системы подвижности для имитации вибро- и акселерационных воздействий, способствующих созданию более полной сенсорной картины полёта. Весь комплекс средств позволяет существенно сократить, а в некоторых случаях и полностью исключить необходимость налета на реальных ВС, что, в свою очередь, не только заметно удешевляет программу подготовки, но и позволяет существенно расширить её.

В современных авиационных тренажерах для обеспечения подвижности наибольшее распространение получили два варианта подвижных платформ. Наиболее совершенные комплексные системы (Level-D) оснащаются платформой Гью-Стюарта, обеспечивающей движение кабины по шести координатам (6DOF). В более простых системах (Level-A, FTD) применяются платформы с тремя степенями свободы (3DOF).

В основе системы управления подвижной платформой лежат особенности восприятия человеком движения и особенности движения летательного аппарата (ЛА) в пространстве. Известно [1], что человек воспринимает свое пространственное положение и движение посредством вестибулярного аппарата, имеющего два вида рецепторов – “датчиков движения”. Первый вид – полуциркулярные каналы – реагирует на вращательное движение, второй – отолиты, на инерционные силы. Устройство рецепторов таково, что они реагируют только на изменение соответствующих воздействия, имея при этом некоторую зону нечувствительности.

Схема алгоритма управления платформой – формирующего фильтра (ФФ, “washout algorithm” в англоязычной терминологии) [2], построенного с учетом описанных выше особенностей, приведена на рис. 1. На этой схеме М – блоки масштабирования и преобразования координат, ФВЧ и ФНЧ – соответственно фильтры высоких и низких частот, О – ограничитель, ∫ – блоки интегрирования. Входными сигналами фильтра являются векторы сил a и угловых скоростей ω , выходными – сигналы линейных L и угловых θ перемещений. Фильтр содержит два прямых канала, содержащих фильтры высоких частот, для имитации изме-



няющихся акселерационных воздействий и вращений ЛА, и один перекрестный низкочастотный канал для имитации статических нагрузок наклоном платформы.

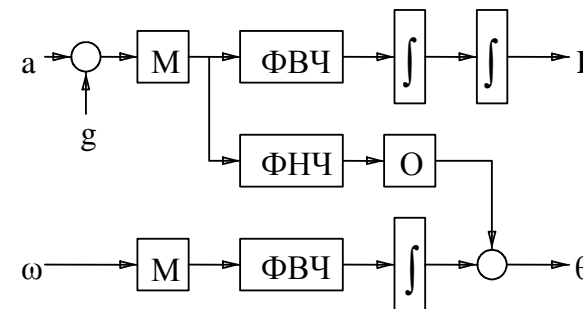


Рис. 1. Классический формирующий фильтр

Ограничитель в низкочастотном канале необходим для исключения влияния статического сигнала на рецепторы, отвечающие за восприятие вращения. В качестве ВЧ- и НЧ-фильтров обычно используются звенья 2-го порядка. Настройка параметров фильтров производится в соответствии с характеристиками имитируемого ЛА и характерными режимами его полетов.

Серьезное влияние на качество работы тренажера оказывают конструктивные особенности конкретной платформы, и в первую очередь – ограничения по перемещению. В большей степени это относится к 3DOF платформам, имеющим, как правило, существенно меньшую длину actuators. Статические настройки фильтра также не позволяют обрабатывать весь возможный диапазон входных сигналов с одинаковым качеством. Для решения имеющихся проблем могут быть использованы методы оптимизации структуры и параметров формирующего фильтра [3,4] или включение в его состав адаптивных элементов, позволяющих в процессе работы подстраивать параметры под текущие условия.

Известно, что восприятие одного и того же приращения воздействия зависит от среднего значения этого воздействия, при высоком среднем уровне наблюдается эффект маскировки. Наличие такого эффекта позволяет использовать компрессию входного сигнала в верхней части рабочего диапазона, тем самым снижая вероятность выхода на механические ограничения. В качестве масштабирующих функций для компрессии, подходящих во многих случаях, могут использоваться параметрические кривые или полиномы 2-4-го порядков. Так в [4] предлагается использовать кубический полином вида

$$y = c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3.$$

Коэффициенты полинома определяют начальное значение коэффициента передачи (c_1), и форму кривой (c_2, c_3). Для вычисления коэффициентов необходимо определить максимальное значение входного сигнала x_{max} и значение производной в этой точке, задающее конечное значение коэффициента передачи. К не-



достаткам подобного компрессора можно отнести отсутствие зоны с постоянным коэффициентом передачи и зависимость этого коэффициента только от одного входного сигнала. Лучшие результаты, по мнению авторов, можно получить при использовании в качестве регулятора коэффициента передачи машины логических выводов (МЛВ) на основе нечетких (fuzzy) или приближенных (rough) [5] множеств. Возможно использование МЛВ с динамическими переменными.

Рис. 2 иллюстрирует применение кубического полинома (кривая 1 на рис. 2) и МЛВ (кривая 2 на рис. 2) в качестве масштабирующей функции. Коэффициент передачи в примере плавно изменяется на рабочем интервале от 1 до 0.2. В варианте с МЛВ в зоне малых сигналов предусмотрен интервал с постоянным значением коэффициента передачи. Для сравнения на том же рисунке приведена линейная масштабирующая функция с ограничением.

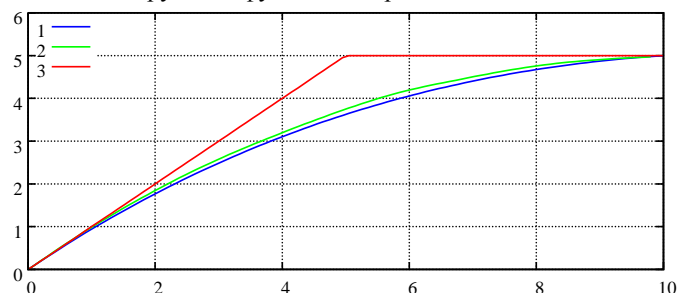


Рис. 2. Пример функций для нелинейного масштабирования

В качестве основы для построения системы коррекции параметров формирующего фильтра в процессе работы предлагается использовать структурную схему, приведенную на рис. 3. На этом рисунке ВА – модель вестибулярного аппарата, ФФ – формирующий фильтр, П – звено, описывающее динамику подвижной платформы, МЛВ – машина логических выводов, отвечающая за подстройку параметров фильтров. Корректирующий сигнал формируется на основе разности δ сигналов от двух идентичных моделей вестибулярного аппарата, получающих входную информацию по разным каналам.

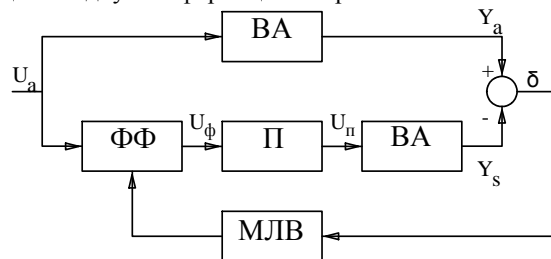


Рис. 3. Формирование сигнала подстройки фильтров



Сигнал Y_a формируется в сквозном канале, в котором вектор воздействий U_a передается от модели летательного аппарата непосредственно на модель вестибулярного аппарата.

Вторая модель вестибулярного аппарата формирует сигнал Y_s на основе вектора воздействий U_p , получаемого от подвижной платформы. В свою очередь, платформа управляется сигналом U_f от формирующего фильтра, выработанным на основе вектора воздействий ЛА. Машина логических выводов на основе набора правил формирует сигнал, изменяющий значение частоты среза высокочастотных фильтров. Корректирующий сигнал представляет собой не абсолютное значение частоты среза, а направление и скорость её изменения.

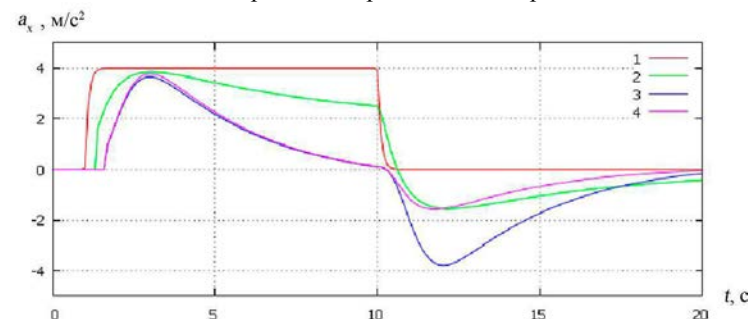


Рис. 4. Результаты моделирования

Сравнение результатов моделирования формирующего фильтра со статической настройкой и фильтра с подстройкой параметров на основе fuzzy-МЛВ представлено на рис. 4, где 1 – входное воздействие, 2 – сигнал на выходе сквозного вестибулярного канала, 3 – сигнал на выходе классического фильтра, 4 – результат работы адаптивного фильтра. Приведены результаты моделирование для канала продольной силы. В качестве входного сигнала использован сглаженный прямоугольный импульс, имитирующий тягу двигателей при прерванном взлете. Из графиков видно, что сигнал адаптивного фильтра имеет фронт и пиковые значения более близкие к сигналу сквозного канала по сравнению со статическим при тех же начальных настройках. Так как именно эти показатели в большой степени определяют восприятие, можно сделать вывод, что субъективные ощущения при использовании адаптивного фильтра в контуре управления подвижной платформой будут в большей мере соответствовать ощущениям при реальном полете.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что использование активной подстройки параметров формирующего фильтра позволяет заметно улучшить точность воспроизведения акселерационных воздействий. Применение даже простейших пассивных средств адаптации, таких как нелинейное масштабирование входных сигналов, позволяет расширить динамический диапазон платформы, предотвращая при этом её выход на механические ограничения. Применение МЛВ может оказаться полезным не только для управления



параметрами формирующего фильтра, но и в подсистеме, управляющей движением актуаторов платформы. Также интересным представляется построение формирующего фильтра полностью на основе технологий нечеткого или приближенного управления.

Литература

1. R.A. Peters, Dynamics of the vestibular system and their relation to motion perception, spatial disorientation and illusions. Technical report NASA-CR-1309, NASA Ames Research Center, 1969.
2. S.F. Schmidt, B. Conrad, Motion Drive Signals for Piloted Flight Simulators. Technical report NASA-CR-1601, May 1970.
3. L.D. Reid, M.A. Nahon Flight simulation motion-base drive algorithms. Part 1, 2. UTIAS Report №307, May 1986.
4. R.J. Telban, F.M. Cardullo, Motion cueing algorithm development: human-centered linear and nonlinear approaches. Technical report NASA-CR-2005-213747, Langley Research Center, May 2005.
5. Z. Pawłak, Rough sets. International Journal of Computer and Information Sciences, No.11, pp.341-356, 1982.

Д.В. Самойлова

МОДЕЛЬ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕТЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТОВ НА ФИЗИЧЕСКУЮ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННУЮ КОМПОНЕНТЫ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва)

Современные телекоммуникации предъявляют требования к качеству соединений. Для оценки качества соединений разработаны стандарты IETF, объединённые под общим названием IPPM. IP Performance Metrics (IPPM) – это метрики, которые описывают качество, производительность, и надёжность приложений, доставляющих данные через Интернет. Основными IPPM метриками являются: односторонняя задержка (OWD), двусторонняя задержка (RTT), джиттер (вариация задержки), потеря пакетов, доступная полоса [1]. По стандарту ITU-T Y.1541 средняя задержка передачи пакетов не более 100 (мс) и джиттер не более 50 (мс) для приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризуются высоким уровнем интерактивности, а для интерактивных приложений с использованием спутниковой линии связи не более 400 (мс) и не более 50 (мс) соответственно [2].

Задержка пакетов является важным параметром производительности и быстродействия компьютерной сети. Исследование задержки пакетов важно для задач математического моделирования передачи трафика по сети, систем реального времени, а также для исследования характеристик производительности сетей. Задержка используется в оценивании качества сети для VoIP-голос,



VoIP-видео, интернет – телевидения и других приложений реального времени [3].

Для всех вышеперечисленных приложений требуется знать тип распределения задержки пакетов. В данной области было проведено много исследований. В 1999 году Elteto и Molnar провели исследования двухсторонней задержки в сети оператора Эриксон. Тип распределения соответствовал усечённому нормальному распределению с некоторыми нарушениями [4]. Исследования проводились и с помощью специального измерительного механизма NetTestBox, разработанного в СГАУ [5]. В ходе данных исследований был сделан вывод, что для описания процессов задержки пакетов в глобальных сетях, следует выбирать экспоненциальное распределение [6].

Целью данной работы, является модернизация генерирующей функции для односторонней задержки, с достаточной точностью аппроксимирующей экспериментальные данные, полученные в ходе исследования. Для этого необходимо уточнить тип распределения задержки.

Одним из основных понятий является определение односторонней задержки пакетов (one-way delay). Односторонняя задержка пакетов – это время необходимое для передачи пакета по сети от источника до получателя [7]. При этом отсчеты времени должны быть синхронизированы для достижения хотя бы минимальной точности.

Исследования показали, что компоненты задержки D имеет разную природу. В ней можно выделить две основных составляющих, физическую и телекоммуникационную компоненты. Постоянная составляющая даёт оценку сверху для физической компоненты задержки D_{phys} ($D_{phys} \leq D_{min}$). Переменная часть может быть использована для описания телекоммуникационной компоненты [2].

$$D = D_{phys} + D_{tel}$$

Телекоммуникационная компонента описывается теорией массового обслуживания, в ней можно выделить два основных члена:

$$D_{tel} = \frac{W}{B} + d_{var}$$

где W – размер пакета, B – доступная полоса пропускания, d_{var} – переменная часть задержки при фиксированном размере пакета.

Для уточнения типа распределения переменной компоненты задержки d_{var} необходимо провести большое количество измерений с высокой точностью. Главной проблемой является высокая точность измерения задержки, которая может быть достигнута только при синхронизации времени на обоих концах маршрута.

NetTestBox - аппаратно-программный комплекс, который измеряет одностороннюю задержку, джиттер, потери пакетов и доступную полосу пропускания между удалёнными узлами. Данная измерительная технология использует синхронизацию времени с помощью GPS/ГЛОНАСС приемников [5]. Пока задействовано четыре измерительных узла. В качестве основного маршрута был взят маршрут Самара – университет Миссури, Колумбия, США.