

Дударенко О.В., к.т.н., доц.; Сосик А.Ю., к.т.н., доц.; Щербина А.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЭМС ДАТЧИКОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АВТОМОБИЛЕЙ НА УПРАВЛЯЕМОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Рассмотрены принципы работы МЭМС датчиков и условия их эффективного применения при испытании автомобилей на управляемость и устойчивость

Введение. При исследовании управляемости и устойчивости автомобилей широко используют различные акселерометры, датчики угловых скоростей и гироскопы. В последние годы все большую популярность получают различные микроэлектромеханические системы (МЭМС), а именно датчики угловой скорости (гироскопы) и ускорения (акселерометры). Под МЭМС сенсорами понимают интегрированные системы с размерами от нескольких микрометров до нескольких миллиметров, которые объединяют в себе механические и электронные компоненты. Принцип работы таких датчиков основан на преобразовании в электрический сигнал дифференциальной емкости, образуемой подвижными и неподвижными микромеханическими пластинами гребенчатой формы. Изменение емкости под действием линейного ускорения (в акселерометрах) или силы Кориолиса (в гироскопах) позволяет оценить амплитудные значения указанных воздействий [1, 2].

Постановка задачи. Существует большое количество микроэлектромеханических систем (МЭМС) разного принципа действия, но они имеют ряд общих свойств. Прежде всего, почти все современные МЭМС датчики выполняются по интегральной технологии на основе конструкционного материала кремния. Во-вторых, все рассматриваемые МЭМС приборы имеют компенсационную схему измерений. Основными показателями качества всех микромеханических датчиков при этом считается статическая и динамическая точность [2].

Несмотря на малые габариты, массу и энергопотребление, практическое применение МЭМС датчиков при проведении испытаний ограничивается низкой чувствительностью, нестабильностью масштабного коэффициента и высоким уровнем шумов выходного сигнала по сравнению с другими типами гироскопов и акселерометров [2, 3]. Из существующих типов гироскопов, МЭМС гироскопы имеют наибольший дрейф (до 300...1000°/час), что не позволяет использовать их без периодической корректировки угловых координат – процедуры выставки по пространственному положению. Таким образом, наибольшим ограничением в применении МЭМС гироскопов и акселерометров является то, что измеренный сигнал содержит высокий уровень шумов, которые связаны с особенностями функционирования МЭМС а также помехи образующиеся в результате работы и движения автомобиля. Наличие этих шумов приводит к существенному снижению точности измерительной системы.

Следует отдельно отметить некоторые недостатки датчиков угловой скорости. Кроме основного недостатка – шум выдаваемых измерений – существует такая проблема как “уход” датчика – накапливаемая ошибка, к примеру, при интегрировании угловой скорости. Это связано с зависимостью положения “нуля” (значения угловой скорости в состоянии покоя) от температуры и с тем, что у реальных датчиков математическое ожидание шума измерений несколько отличается от нуля. Кроме того, существует слабая зависимость калибровочных

коэффициентов от температуры, что приводит к неточности измерений в условиях меняющейся температуры. Все эти недостатки ведут к тому, что на больших промежутках времени, основываясь только на информации с датчиков угловой скорости, можно получить неудовлетворительную оценку вектора положения. Поэтому показания датчиков угловой скорости часто уточняют, используя, к примеру, данные других датчиков. Другое решение описанных проблем – используя температурный датчик, построить калибровочную базу данных, откуда при различных температурах брать различные калибровочные коэффициенты и значения смещения “нуля” датчика. Но, так как обычно различные этапы испытаний на управляемость и устойчивость автомобиля занимают относительно небольшое время, то датчики угловой скорости используются на небольших промежутках времени, и описанные недостатки не будут проявляться в достаточной мере.

Кроме обеспечения статической точности в работе МЭМС датчиков, и в переходных режимах – динамической точности важным является обеспечение эффективной работы датчиков в реальных условиях случайной среды. В реальности, как полезные измеряемые физические величины, так и помехи имеют случайные свойства, которые принято описывать статистическими характеристиками – такими, как корреляционные и спектральные функции. Реальные условия случайной среды связаны с областями применения датчиков, при этом можно выделить работу датчиков при измерении медленно или быстро изменяющихся физических величин. Характер измерительных помех тоже существенно влияет на точностные характеристики датчиков. Особенно опасными считаются ШСВ (широкополосные случайные вибрации) помехи – наподобие белого шума.

Эффективная работа МЭМС датчиков в условиях случайной среды обеспечивается применением фильтров, ослабляющих помехи и по возможности полно пропускающих полезные сигналы. Таким образом, для борьбы с основным недостатком МЭМС технологий, а именно с шумами используют различные фильтры измеренных величин. Получить оптимальную по критерию минимума дисперсии ошибки линейную несмещенную оценку состояния линейной нестационарной дискретной системы, на которую воздействует белый шум с нулевым средним и известной дисперсией, позволяет фильтр Калмана. Фильтр Калмана – эффективный рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений.

В основу алгоритма работы классического линейного фильтра Калмана положено временное (а не частотное) представление сигнала и использования дискретизированных во времени линейных динамических систем. В этом случае для расчета текущего состояния системы необходимо иметь в наличии текущие измерения и владеть информацией относительно предыдущего состояния фильтра.

Для оценки состояния системы фильтром в текущий момент времени необходимо иметь оценку состояния системы на предыдущем этапе и текущие результаты измерения состояния системы. Состояние фильтра задается двумя переменными:

- апостериорную оценкой состояния системы в момент времени k , которую получают по результатам наблюдений;
- апостериорную ковариационной матрицей ошибок, которые задают оценку точности полученной оценки вектора состояния и содержат оценку дисперсий погрешности вычисленного состояния и ковариации, тем самым демонстрируя уровень взаимосвязи между параметрами состояния системы.

Работа фильтра Калмана состоит из двух основных этапов: экстраполяции и коррекции экстраполированы величины с учетом значений, которые наблюдаются. На этапе

экстраполяции фильтр получает предварительную оценку состояния системы на текущий шаг по итоговой оценке состояния из предыдущего шага. Полученную оценку называют априорной оценкой состояния. Для ее получения не используют наблюдения на соответствующем шаге. На этапе коррекции априорная экстраполяция дополняется текущими измерениями (наблюдениями) для уточнения экстраполированной ранее оценки. Полученная в результате коррекции текущими измерениями величина является апостериорной оценкой вектора состояния системы. Апостериорная оценка вектора состояния является результатом работы фильтра, которую используют как априорную на следующем этапе. Чередую этапы экстраполяции и коррекции, фильтр позволяет оценивать вектор состояния в реальном времени.

Выводы. Таким образом, фильтр Калмана использует динамическую модель системы, известные управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния. Применение дискретного фильтра Калмана позволяет снизить уровень шумов от 2 до 20 раз, на выходе измерительного блока основанного на МЭМС без внесения задержек в полезный сигнал.

Список литературных источников

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие / В. Я. Распопов – М.: Машиностроение, 2007. – 400с.
2. С. Acar and A.M. Shkel. MEMS vibratory gyroscopes: structural approaches to improve robustness. MEMS reference shelf. Springer, 2009.
3. Park M, “Error Analysis and Stochastic Modeling of MEMS based Inertial Sensors for Land Vehicle Navigation Applications” Ms.Thesis, University of Calgary, April 2004.

Сосик Андрей Юрьевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автомобили», Запорожский национальный технический университет.

Дударенко Ольга Васильевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автомобили», Запорожский национальный технический университет.

Щербина Андрей Васильевич – старший преподаватель кафедры «Автомобили», Запорожский национальный технический университет.