

БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Распопов В.Я.

*Тульский государственный университет
Тула, Российская Федерация*

Разработка бесплатформенной системы ориентации (БСО), которая может использоваться как в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), так и в качестве резервной БСО (РБСО) в пилотируемой авиации, является задачей востребованной. Применение инерциальных датчиков (гироскопов и акселерометров), изготовленных с применением технологий микросистемной техники (МСТ), позволяет обеспечить выполнение требований к БСО по массе, габаритам и времени готовности. В литературе [1] инерциальные датчики, полностью изготовленные по технологиям МСТ (MEMS), называют микромеханическими гироскопами (ММГ) и акселерометрами (ММА). Выходные сигналы инерциальных датчиков, как любых датчиков физических величин, помимо информативной (полезной) составляющей содержат погрешности, вызванные инструментальными и эксплуатационными причинами. Исследование инструментальных причин, влияющих на характеристики инерциальных датчиков, является важным этапом их разработки. Обычный подход при этом заключается в том, что математические модели (ММ) ЧЭ представляются в виде системы с сосредоточенными параметрами.

По результатам исследования ММ и их экспериментальной проверки устанавливаются наиболее значимые конструктивные, кинематические и динамические параметры, влияющие на метрологические характеристики датчиков, а также уточняются параметры ММ и устанавливаются характеристики, которые расчётным путём установить затруднительно. Объединение достоинств микросистемных ЧЭ инерциальных датчиков, прежде всего, таких как высокая чувствительность к измеряемой физической величине, настройка параметров с помощью функциональной электроники, малые масса, габариты и стоимость с достоинствами некоторых элементов схмотехники, выполненных по макротехнологиям, привело к созданию, так называемых, интегральных датчиков. Интегральные гироскопы и акселерометры по массе и габаритам превосходят ММГ и ММА, но сохраняют все преимущества, обусловленные микросистемным ЧЭ, и располагают более широкими возможностями настройки динамических характеристик по сравнению с ММГ и ММА. Кроме того, для большинства применений инерциальных датчиков небольшое увеличение массы и габаритов не является критичным.

В информационно-измерительных системах авионики ЛА комплексированы датчики различных физических величин, в том числе и в системах ориентации БПЛА [2]. Общепринятым математическим аппаратом комплексирования является Калмановская фильтрация. Дискретный фильтр Калмана (ФК) обеспечивает оценку погрешностей выработки в бесплатформенной системе, в общем случае, трех координат положения БПЛА, трех составляющих скорости и углов ориентации, а также смещений в сигналах гироскопов и акселерометров.

Принцип функционирования БСО заключается в выявлении корреляции между показаниями гироскопов и акселерометров с целью компенсации накапливаемой погрешности с одной стороны и возникающих в процессе движения линейных перегрузок с другой.

Неинвариантная схема комплексирования в БСО гироскопов и акселерометров на основе ФК имеет резерв повышения точности за счет введения блока предварительной обработки информации с гироскопов, устраняющего влияние линейных ускорений на накапливаемую погрешность, и блока отключения акселерометров по заданному критерию [3].

В задачу БСО, корректируемой по вертикали, – бесплатформенной гировертикали входит определение углов тангажа θ и крена γ летательного аппарата в процессе полета.

Данная задача решается путем совместной обработки информации с датчиков линейного ускорения (акселерометров) и датчиков угловой скорости (ДУС), оси которых ориентированы вдоль осей связанной системы координат в соответствии с ГОСТ 20058-80 «Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины и определения».

Совместное использование датчиков двух типов при построении БИГВ обусловлено тем, что акселерометры чувствительны к линейным ускорениям, возникающим при движении ЛА, что в свою очередь приводит к возникновению погрешностей определения угловой ориентации. С другой стороны, хотя ДУС слабо чувствительны к линейным ускорениям (для микромеханических ДУС чувствительность к линейному ускорению составляет 0,01 – 0,1 %/g), они несут информацию только об угловой скорости ЛА, а не о самой угловой ориентации. Это, при отдельном их использовании, приводит к появлению накопи-

ваемой со временем погрешности при решении задачи ориентации.

Таким образом, акселерометры обеспечивают устранение накапливаемой погрешности определения углов тангажа и крена, а ДУС обеспечивают снижение влияния динамики движения ЛА на точность работы БИГВ. Это достигается применением в БИГВ специально организованного, как правило алгоритмически, связующего звена, в качестве которого применяется ФК.

В системе фильтр Калмана решает следующую задачу: подавляет в векторе кажущегося ускорения \vec{n} составляющую \vec{a} , описывающую ускоренное движение летательного аппарата, сохраняя при этом вектор ускорения силы тяжести Земли \vec{g} . Таким образом, на выходе фильтра Калмана формируются проекции вектора \vec{g} , по которым, используя известные зависимости, вычисляются углы тангажа и крена летательного аппарата.

Эффект оценивания проекции вектора \vec{g} достигается следующим образом:

1) по показаниям датчиков угловой скорости проекции вектора \vec{g} на оси связанной системы координат могут быть вычислены по известному рекуррентному соотношению:

$$\vec{g}_i = \tau \cdot \vec{g}_{i-1} \times \vec{\Omega}_{i-1} + \vec{g}_{i-1},$$

где $\vec{\Omega} = \{\Omega_x; \Omega_y; \Omega_z\}$ - угловая скорость вращения летательного аппарата, τ - шаг дискретизации системы.

Приведенную рекуррентную зависимость в фильтре Калмана реализует матрица прогноза Φ_i :

$$\Phi_i = \begin{bmatrix} 1 & \tau\Omega_{i-1,z} & -\tau\Omega_{i-1,y} \\ -\tau\Omega_{i-1,z} & 1 & \tau\Omega_{i-1,x} \\ \tau\Omega_{i-1,y} & -\tau\Omega_{i-1,x} & 1 \end{bmatrix}$$

УДК 615.8-7

АППАРАТ МАГНИТОТЕРАПИИ С КОНТРОЛЕМ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Рудик В.Ю., Терещенко Н.Ф., Тымчик Г.С.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

На данном этапе развития медицинской техники актуального значения приобретает разработка аппаратов магнитотерапии, которые реализуют принцип адаптивного управления сигналом обратной связи с учетом реакции организма человека на воздействие магнитным полем на протяжении сеанса магнитотерапии [1,2]. Возникают вопросы по практической реализации данного принципа: выбор диагностического параметра или набора параметров пациента для анализа состояния пациента непосредственно во время сеанса магнитотерапии, обеспечение опе-

2) для того чтобы погрешность вычисления проекций вектора \vec{g} по сигналам датчиков угловой скорости с течением времени не накапливалась, эти проекции корректируются с малым коэффициентом K по измеренному акселерометрами вектору кажущегося ускорения \vec{n} .

Таким образом, вектор состояния фильтра Калмана представляет собой проекции вектора \vec{g} на оси связанной системы координат. При этом в процессе расчета фильтра считают, что в показаниях акселерометров отсутствуют составляющие, обусловленные ускоренным движением объекта, а систематическая погрешность датчиков блока акселерометров пренебрежимо мала.

Начальное значение вектора состояния при запуске РБСО принимается равным осредненным за некоторый период показаниям блока акселерометров.

Таким образом, для реализации ФК необходимо определить только коэффициент передачи K .

1. Распов, В.Я. Микромеханические приборы.- М.: Машиностроение, 2007. – 399 с.
2. Алалуев Р.В. Ладонкин А.В. Малютин Д.М. [и др.] Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов.- М.: Машиностроение, 2011.- 180 с.
3. Шукалов А.В. Повышение точности резервной бесплатформенной системы ориентации на отечественных чувствительных элементах, изготовленных с применением MEMS-технологий. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.- 2014.- №4 (306). – С. 149–153.

ративного контроля состояния систем организма пациента и их диагностика во время процедуры, оперативное изменение биотропных характеристик поля по мере воздействия на пациента в соответствии с его состоянием для достижения большего лечебного эффекта, Возможность оперативной диагностики и осуществления режима варьирования воздействия может дать специальная помехозащищенная измерительная и диагностическая аппаратура, включаемая в контур биотехнической обратной связи [1].