

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЭМС ГИРОСКОПОВ В АВТОПИЛОТЕ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Дмитрий Добров, Михаил Владов
Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL,
office@comelpro.com

Abstract. *The article is dedicated to using micromechanics sensors iMEMS at autopilot to control unmanned aerial vehicle flight.*

Ключевые слова: датчик угловых скоростей, гироскопы iMEMS, автопилот, кватернион, беспилотный летательный аппарат.

I. Введение

В конце 80-х годов в Молдавии проводились работы по использованию беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в аграрном секторе как средство доставки элементов (трихограммы и др.) биологической защиты растений. Эти работы показали возможность использования БПЛА для этих целей, но потребовали полноценного приборного оснащения всего комплекса автоматического управления БПЛА [1]. Современные комплексы БПЛА достаточно дорогостоящие и по уровню цен электронное (приборное) оснащение БПЛА может составлять до 90% от общей стоимости БПЛА. Развитие электроники в последние десятилетия привело к значительному уменьшению массогабаритных характеристик электронного оборудования и соответственно сокращению стоимости электронного оснащения БПЛА. В первую очередь это связано с использованием микромеханических iMEMS гироскопов для определения угловых скоростей и углового положения БПЛА в связной системе координат. Скорость ухода таких микромеханических гироскопов составляет порядка $10^\circ/\text{час}$ и более, поэтому гироскопы iMEMS необходимо использовать в тех устройствах, где интервалы автономной работы гироскопа достаточно малы и производить коррекцию достаточно часто или непрерывно, например по GPS-приемнику и т.д.

II. Основные принципы и полученные результаты

На фирме «Comelpro» SRL разработан и изготовлен автопилот на базе 3-х осевого инерционного датчика с магнитометром ADIS16405 фирмы ANALOG DEVICES, характеристики этого датчика ADIS16405 представлены в литературе [2].

Структурная блок схема автопилота представлена на рис.1. На рис. 2 показано фото внешнего вида платы автопилота. Обработка всей информации от датчиков ADIS16405, GPS-приемника, GSM/GPRS, датчиков температуры, давления и др. осуществляется 32-х разрядным процессором AT32UC3L. По существу основные задачи, решаемые процессором это выполнение алгоритмов ориентации и навигационных алгоритмов на основе информации от датчиков угловых скоростей и датчиков линейных ускорений ADIS16405, собственно это алгоритмы работы бесплатформенной инерционно - навигационной системы БИНС.

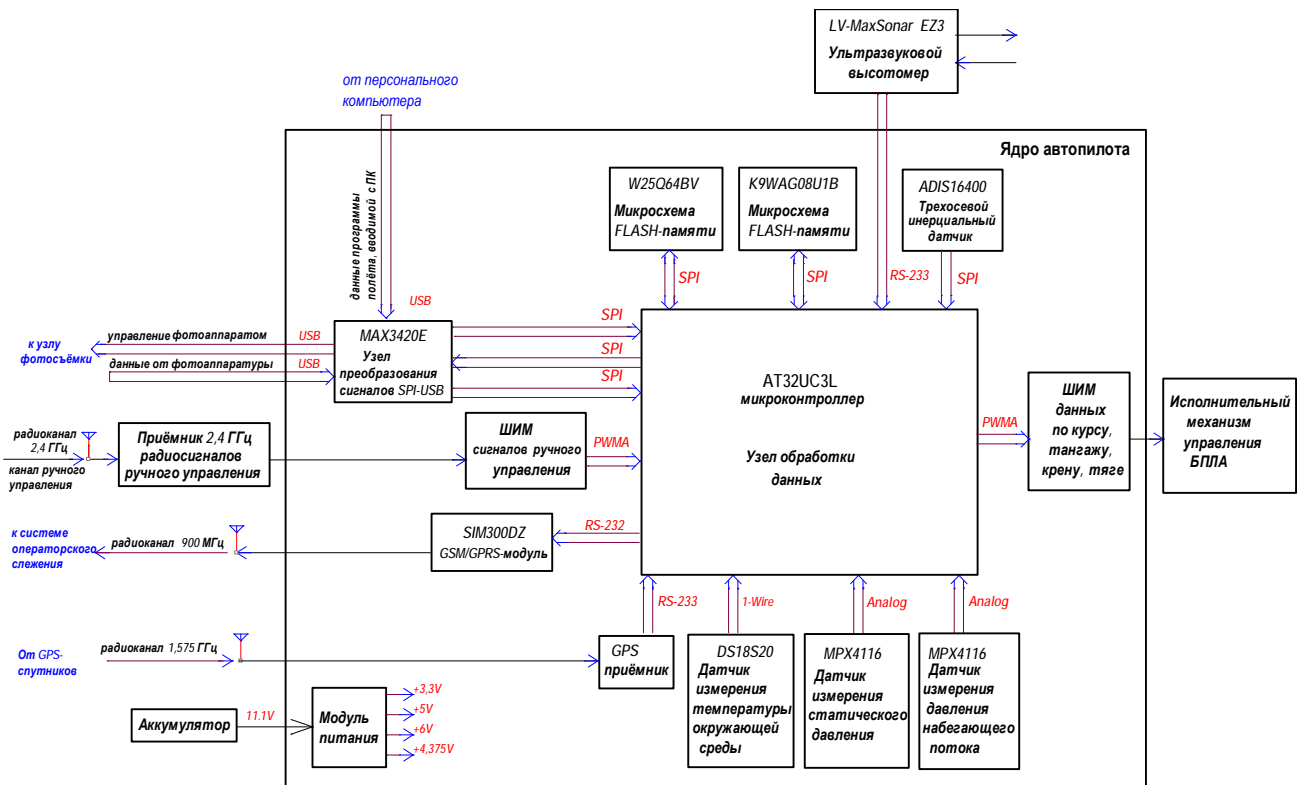


Рис.1 Структурная блок схема автопилота



Рис. 2. Фото платы автопилота

Алгоритм ориентации основан на определении собственного кватерниона ориентации между нормальной и связанной системой координат. Входными данными для алгоритма ориентации являются показания датчиков угловых скоростей ADIS16405. Для численного интегрирования уравнений Пуансона в кватернионах используется алгоритм Эйлера [3], согласно формул (1-4):

$$I_0(k+1) = I_0(k) - \frac{T}{2} [w_x(k+1)I_1(k) + w_y(k+1)I_2(k) + w_z(k+1)I_3(k) + e(k)I_0(k)]; \quad (1)$$

$$I_1(k+1) = I_1(k) + \frac{T}{2} [w_x(k+1)I_0(k) + w_z(k+1)I_2(k) - w_y(k+1)I_3(k) + e(k)I_1(k)]; \quad (2)$$

$$I_2(k+1) = I_2(k) + \frac{T}{2} [w_y(k+1)I_0(k) - w_z(k+1)I_1(k) + w_x(k+1)I_3(k) + e(k)I_2(k)]; \quad (3)$$

$$I_3(k+1) = I_3(k) + \frac{T}{2} [w_z(k+1)I_0(k) + w_y(k+1)I_1(k) - w_x(k+1)I_2(k) + e(k)I_3(k)] \quad (4)$$

где T – период дискретизации. Эти соотношения приведены для случая непродолжительного полета БПЛА, когда вращением нормальной системой координат можно пренебречь. Для запуска этого алгоритма необходимо ввести начальные значения параметров Родрига-Гамильтона, определяемые в соответствии с соотношениями (5-8):

$$I_0(0) = \cos \frac{\Psi(0)}{2} \cos \frac{J(0)}{2} \cos \frac{g(0)}{2} - \sin \frac{\Psi(0)}{2} \sin \frac{J(0)}{2} \sin \frac{g(0)}{2}; \quad (5)$$

$$I_1(0) = \cos \frac{\Psi(0)}{2} \cos \frac{J(0)}{2} \sin \frac{g(0)}{2} + \sin \frac{\Psi(0)}{2} \sin \frac{J(0)}{2} \cos \frac{g(0)}{2}; \quad (6)$$

$$I_2(0) = \sin \frac{\Psi(0)}{2} \cos \frac{J(0)}{2} \cos \frac{g(0)}{2} + \cos \frac{\Psi(0)}{2} \sin \frac{J(0)}{2} \sin \frac{g(0)}{2}; \quad (7)$$

$$I_3(0) = \cos \frac{\Psi(0)}{2} \sin \frac{J(0)}{2} \cos \frac{g(0)}{2} - \sin \frac{\Psi(0)}{2} \cos \frac{J(0)}{2} \sin \frac{g(0)}{2}. \quad (8)$$

Начальные значения углов рыскания, тангажа и крена вводятся в соотношения после процедуры начального ориентирования (начальной выставки).

По элементам кватерниона осуществляется переход от параметров Родрига-Гамильтона к углам рыскания Ψ , тангажа J и крена g на основе соотношений (9-11):

$$\Psi = \arctg \left(-\frac{2I_1I_3 - 2I_0I_2}{2I_0^2 + 2I_1^2 - 1} \right); \quad (9)$$

$$J = \arcsin(2I_1I_2 + 2I_0I_3); \quad (10)$$

$$g = \arctg \left(-\frac{2I_2I_3 - 2I_0I_1}{2I_0^2 + 2I_2^2 - 1} \right). \quad (11)$$

На основе полученной и обработанной пилотажно-навигационной информации производятся управление и стабилизация БПЛА программно реализованными контурами управления на базе ПИД регуляторов.

Навигационный алгоритм БИНС определяет координаты местоположения БПЛА λ , φ , H и проекции линейной скорости БПЛА на оси нормальной системы координат V_{Xg} , V_{Yg} , V_{Zg} определяется согласно формул (12-17) :

$$V_{Xg}(k+1) = V_{Xg}(k) + Ta_{xg}(k+1); \quad (12)$$

$$V_{Yg}(k+1) = V_{Yg}(k) + T[a_{yg}(k+1) - g_{yg}(k+1)]; \quad (13)$$

$$V_{z_g}(k+1) = V_{z_g}(k) + Ta_{z_g}(k+1); \quad (14)$$

$$j(k+1) = j(k) + TV_{x_g}(k+1)/R_1; \quad (15)$$

$$I(k+1) = I(k) + TV_{z_g}(k+1)/R_1 \cos j(k+1); \quad (16)$$

$$H(k+1) = H(k) + Ta_{y_g}(k+1) \quad (17)$$

Эти выражения определяют географическое положение центра масс БПЛА.

Микромеханические акселерометры и гироскопы iMEMS обладают большим дрейфом, точность определения параметров навигации невелика, этот недостаток устраняется комплексной обработкой информации с БИНС (ADIS 16405) со спутниковыми навигационными системами (GPS). Этот метод предполагает сглаживание отклонений от инерциальных iMEMS датчиков с одновременной коррекцией тангажа и крена по GPS и по существу представляет собой многомерный следящий фильтр калмановского типа с использованием модели движения БПЛА [4]. Этот метод потребовал достаточные больших вычислительных затрат для процессора AT32UC3, так же к недостаткам этого метода можно отнести и факт, что при отсутствии доступности сигнала GPS измерения навигационных параметров происходит с большими погрешностями. Точностные характеристики вышеуказанного автопилота представлены в таблице 1.

Таблица 1: Точностные характеристики автопилота

	БИНС/СНС режим	Автономный инерциальный режим
Координаты (комплексированное решение)	8 м	600 м (5 мин. после пропадания GPS)
Высота	3 м	8 м
Путевая скорость	0,3 м/с	6 м/с (5 мин. после пропадания GPS)
Углы ориентации (крен, тангаж)		
Прямолинейный полет ¹⁾	0,3°...0,4°	0,4°...0,5° (продолжительное время)
Маневрирование ²⁾	0,4°...0,6°	0,7°...0,8° (продолжительное время)
Курс (путевой угол) ³⁾	0,5°	5,0° (10 мин. после пропадания GPS)

В этой таблице в первом столбце под примечаниями подразумевают следующее:

- 1) прямолинейный полет определяется как отсутствие намеренных маневров по курсу, крену и тангажу.
- 2) углы крена и тангажа не превышают 45°.
- 3) автономное (без СНС) определение курса возможно при проведении компенсации магнитной девиации.

Кроме вышеуказанного метода комплексной обработкой информации были апробированы так же способ коррекции по трехосевому магнетометру (ADIS16405) с

коррекцией по GPS-приемнику, требующий меньших вычислительных затрат, но имеющий более низкую точность, ухудшающейся при отсутствии сигнала с GPS-приемника.

Так же был апробирован способ коррекции по инфракрасным датчикам горизонта (пирогоризонт). Этот способ не имеет вышеуказанных недостатков, но ограничен по применению от времени года, дня и ночи и др.

Последние два способа при проверке на беспилотном летательном аппарате показали более низкие точностные характеристики (второй способ) и более низкую надёжность (третий способ) и из дальнейших исследований были исключены.

III. Заключение

Проведенные исследования показали возможность использования автопилота на базе инерционного датчика ADIS16405 для БПЛА при условии комплексной обработки информации с ADIS 16405 со спутниковыми навигационными системами GPS.

Способ коррекции по инфракрасным датчикам горизонта (пирогоризонт) проще в реализации, но ограничен по применению от времени года, дня и ночи.

IV. Библиография

1. Михаил Владов, Петр Гецов, Дмитрий Добров, Валерий Канцер. Комплексная система мониторинга различных объектов на базе беспилотных летательных аппаратов.- Тезисы докладов: SENS 200,9Fifth Scientific Conference with International Participation, SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY, 2–4 November 2009, Sofia, Bulgaria.

2. Analog Devices' Data Scheets: ADIS 16400/16405 Rev. B, 7/09.

3. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – Москва, Наука, 1992. -280 с.

4. Распопов В.Я., Микросистемная авионика,-Тула, «Гриф и К», 2000,-248 с.