

Правительство Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»

Кафедра системного программирования

Калитеевский Василий Николаевич

Инверсная кинематика в задаче
управления беспилотным летательным
аппаратом

Курсовая работа

Научный руководитель:
к. ф.-м. н. Амелин К. С.

Санкт-Петербург
2015

Оглавление

Введение	3
1. Платформа	5
2. Автопилот	6
Заключение	10
Список литературы	11

Введение

Беспилотные летательные аппараты (Unmanned aircraft systems, БПЛА, UAV) играют все более заметную роль в военных оборонительных целях. БПЛА успешно решают задачи разведки, наблюдения и коммуникации, также находясь в экстремальных условиях и длительных полетах.

Однако в последнее время БПЛА также успешно применяются для решения многих гражданских задач, охватывая широкую сферу возможностей, таких как работа служб по чрезвычайным ситуациям (предупреждения о стихийных бедствиях, контроль пожарной безопасности), пограничный патруль (патрулирование зон), наблюдение за посевами сельского хозяйства, лесоохрана и контроль рыбного промысла, также картографирования (геодезии, геологии и географии), мониторинг зеленых зон (заповедников), мониторинг нефтегазовых объектов, строительных предприятий и работу в области массовой информации (фэрро-фото и видеосъемка) и многие другие.

В мире представлено огромное количество различных БПЛА, отличающихся по своим спецификациям и набору характеристик (назначение, вес, размер, продолжительность полета и высота полета, система запуска и приземления, наличие систем автопилотирования и навигации, формат аэрофото и видеосъемки, и др.)

Для успешного выполнения описанных выше задач нужно правильно выбирать составляющие для внутренней и внешней начинки БПЛА, не оставив без должного внимания программное обеспечение. Таким образом нужно максимизировать собственные возможности БПЛА, что включает в себя как подбор качественных аппаратных решений, рассчитанных на возможные экстремальные условия и повышенные нагрузки, так и программную часть, обеспечивающую стабильное бесперебойное управление БПЛА в условиях зашумленности и задержек со стороны датчиков. Управляющий модуль также должен быть оптимизирован с точки зрения энергопотребления, так как БПЛА имеют ограниченный запас энергии из-за ощутимого веса аккумуляторных батарей, сказыва-

вающемся на летных характеристиках. [5]

Предметом данной курсовой работы является описание и разработка цепочки управления БПЛА от получения данных с датчиков до задания сигнала на управляющие механизмы в условиях зашумленности и задержек. Также требуется подбор аппаратной части и практическая реализация такого управления.

1. Платформа

Реализация автопилота будет совершена на платформе ТРИК, изображенный на Рис. 1.

ТРИК — это миникомпьютер, совместимый с широким спектром периферийных устройств, содержащий все необходимое оборудование для создания на его базе автономных робототехнических систем. Контроллер может управлять двигателями прямого тока и сервоприводами, обрабатывать информацию как с цифровых датчиков, так и с аналоговых, работать с видео модулями и микрофонами, имеет интерфейсы Wi-Fi, Bluetooth 4.0 (включая LE), USB, Micro-SD и ANT. В контроллере установлены встроенные защиты от перегрузки по току и от глубокой разрядки аккумулятора.[6]

ТРИК разработан на базе процессора OMAP-L138 C6-Integra™ DSP + ARM® SoC [2] производства Texas Instruments. Процессор имеет высокоуровневую архитектуру, изображенную на Рис. 2. Этот процессор имеет два вычислительных модуля:

1. управляющее ядро ARM (ARM926EJ-S™ RISC MPU), обеспечивающее работу операционной системы Linux на контроллере;
2. ядро DSP (C674x Fixed/Floating-Point VLIW DSP) специально разработанное для обработки большого объема данных, представляемых в виде векторов.



Рис. 1: Примеры плат ТРИК.

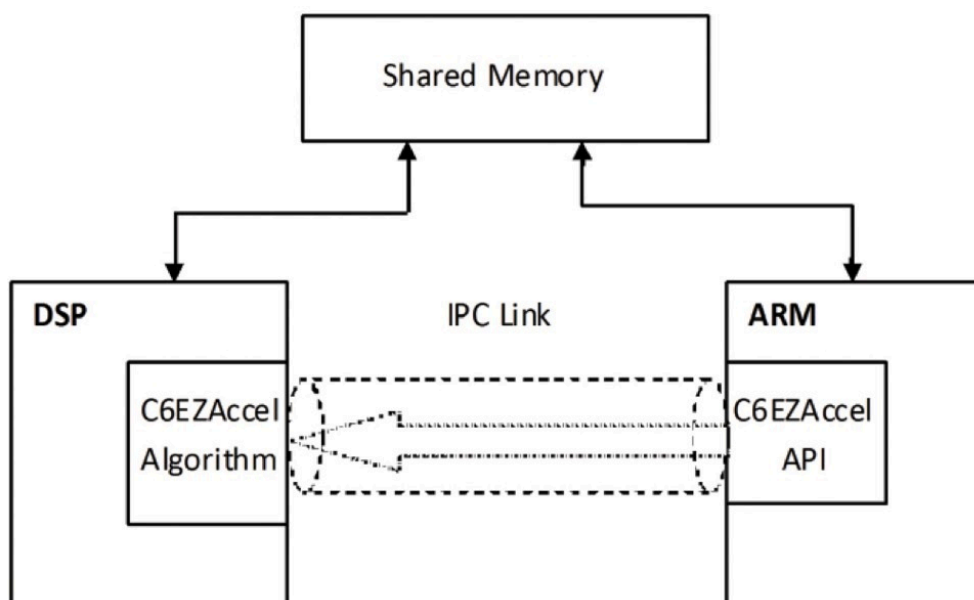


Рис. 2: Высокоуровневая архитектура процессора OMAP L138 (ARM+DSP)

2. Автопилот

В момент полета БПЛА подвергается нетривиальному воздействию различных сил и моментов разных природ, а именно гравитационной (f_g), аэродинамической (f_a, m_a) и движущей (f_p, m_p). Тогда суммарное действие сил и моментов на БПЛА можно описать формулами [1]:

$$\begin{aligned} f &= f_g + f_a + f_p \\ m &= m_a + m_p \end{aligned}$$

Основная проблема в том, что силы которые действуют на БПЛА относительно земли и относительно самого БПЛА находятся в разных инерциальных системах отсчета. Нужно также рассматривать вектора сил в различных проекциях, как показано на Рис. 3

Конечная цель готового автопилота заключается в том, чтобы по полученной координате точки, автопилот смог привести БПЛА в эту точку, управляя элеронами, то есть смог бы правильно направлять вектор скорости БПЛА[3]. Так как координата точки указывается в системе отсчета земли первое что нужно сделать это научиться представлять вектор скорости БПЛА в системе отсчета земли. [4]

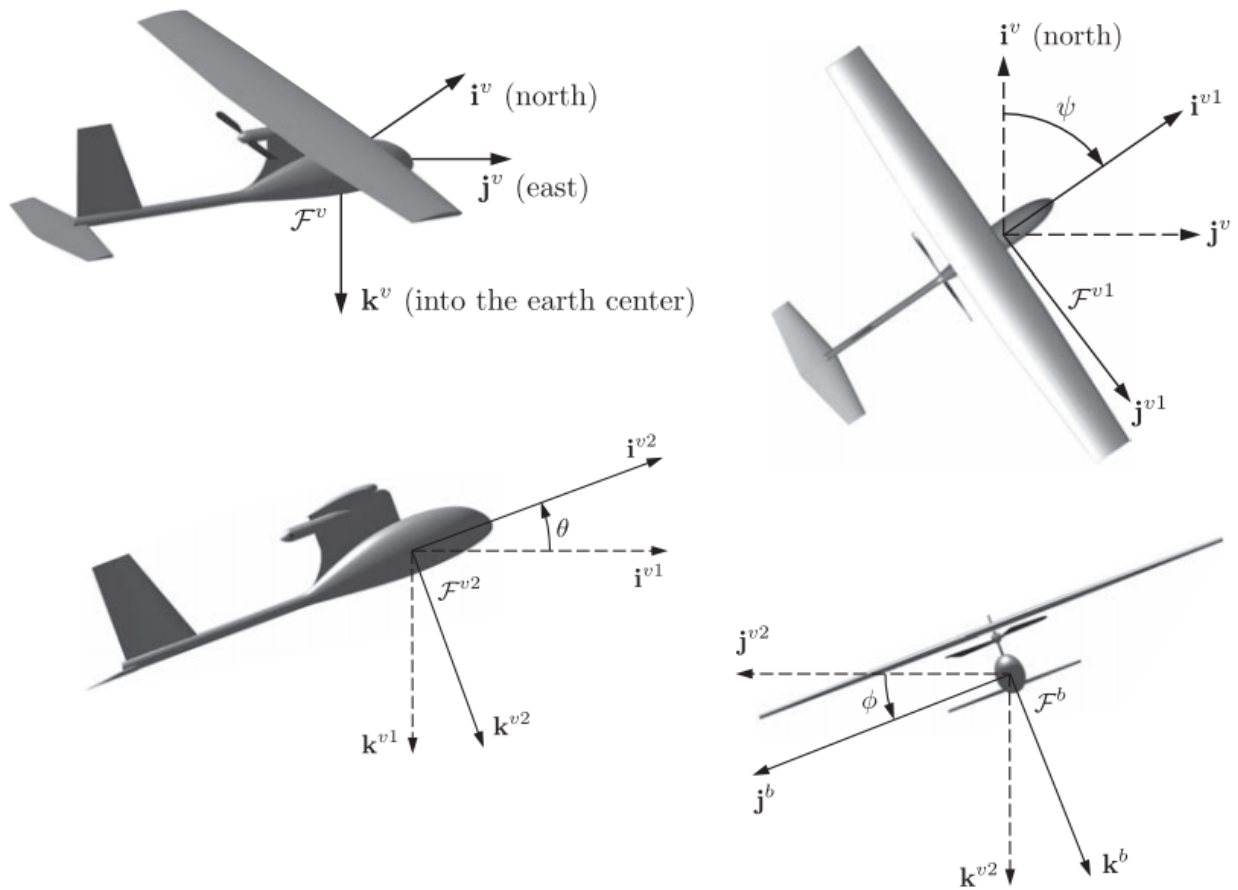


Рис. 3: Вектора сил в различных проекциях.

Допустим БПЛА движется в системе отсчета \mathcal{F}^b относительно земли (системы отсчета \mathcal{F}^i) как показано на рис. 4. В этом случае вектор скорости \mathbf{p} представляется как [1]:

$$\mathbf{p} = p_x \mathbf{i}^b + p_y \mathbf{j}^b + p_z \mathbf{k}^b$$

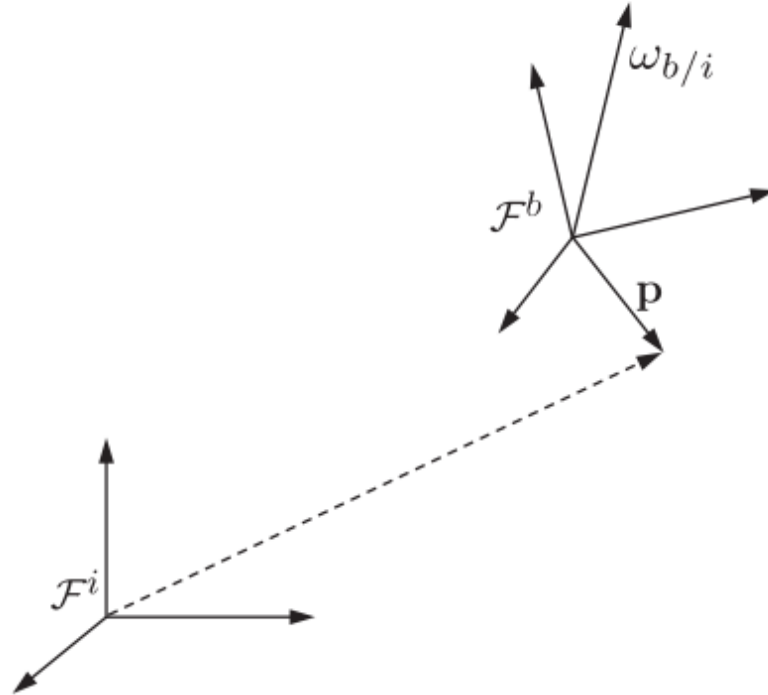


Рис. 4: Вектора сил в различных проекциях.

То есть движение во времени можно задать формулой [1]:

$$\frac{d}{dt_b} \mathbf{p} = \dot{p}_x \mathbf{i}^b + \dot{p}_y \mathbf{j}^b + \dot{p}_z \mathbf{k}^b$$

Тогда смещение вектора \mathbf{p} в системе отсчета \mathcal{F}^b относительно системы отсчета \mathcal{F}^i будет задаваться формулой:

$$\frac{d}{dt_i} \mathbf{p} = \dot{p}_x \mathbf{i}^b + \dot{p}_y \mathbf{j}^b + \dot{p}_z \mathbf{k}^b + p_x \frac{d}{dt_i} \mathbf{i}^b + p_y \frac{d}{dt_i} \mathbf{j}^b + p_z \frac{d}{dt_i} \mathbf{k}^b$$

Если представить вращение (угловую скорость) \mathcal{F}^b относительно \mathcal{F}^i как $\omega_{b/i}$, тогда приращения вектора по каждому из направлений можно представить, как:

$$\dot{i}^b = \omega_{b/i} \times \mathbf{i}^b \quad \dot{j}^b = \omega_{b/i} \times \mathbf{j}^b \quad \dot{k}^b = \omega_{b/i} \times \mathbf{k}^b$$

И если подставить в предыдущее уравнение, то получится:

$$p_x \dot{i}^b + p_y \dot{j}^b + p_z \dot{k}^b = p_x (\omega_{b/i} \mathbf{i}^b) + p_y (\omega_{b/i} \mathbf{j}^b) + p_z (\omega_{b/i} \mathbf{k}^b) = \omega_{b/i} \times \mathbf{p}$$

И наконец, если подвести все вышеизложенное под одну черту, то мы получим мгновенную скорость БПЛА выраженную через систему координат земли:

$$\frac{d}{dt_i} \mathbf{p} = \frac{d}{dt_b} \mathbf{p} + \omega_{b/i} \times \mathbf{p}$$

Заключение

Таким образом, мы получили взаимосвязь между системой координат земли и системой координат нашего БПЛА. В дальнейшем, требуется вывести формулы полета БПЛА с учетом влияния ветра, шумов при передаче сигнала, неточности датчиков и выбора траектории с учетом минимизации траты энергии аккумуляторов. Также, предстоит реализация алгоритмов на языке Javascript на платформе ТРИК.

Список литературы

- [1] Beard R.W., McLain T.W. Small unmanned aircraft: Theory and practice. — 2012.
- [2] Instruments Texas. Раздел сайта компании «Texas Instruments», посвященный процессору OMAP L138. — 2015. — URL: <http://www.ti.com/product/omap-1138> (online; accessed: 18.12.2015).
- [3] Nelson R.C. Flight Stability and Automatic Control. Boston, MA: McGrawHill, 2nd ed. — 1998.
- [4] Roskam J. Flight Dynamics and Automatic Flight Controls, Parts I II. — 1998.
- [5] Амелин К.С. Метод ориентирования сверхлегкого БПЛА при редком обновлении данных о его местоположении.
- [6] ТРИК. Сайт компании «ТРИК». — 2015. — URL: <http://www.trikset.com/> (дата обращения: 18.12.2015).