

УДК 62-523.8

ПРОТИВОПОЖАРНЫЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МАЛЫМИ АВТОНОМНЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Минин И.В.

*Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Тюмень, e-mail: midnight.biker72@gmail.com*

Настоящая статья посвящена повышению пожарной безопасности предприятий нефтехимической промышленности, в частности противопожарному мониторингу объектов малыми автономными беспилотными летательными аппаратами. Рассмотрены степени автономности беспилотных летательных аппаратов, представлено базовое описание полетной динамики вертолета с четырьмя фиксированными роторами – квадрокоптера, а также технических средств, используемых при практической реализации данного аппарата. Описаны аппаратные и программные компоненты системы, необходимой для осуществления автономной навигации и управления квадрокоптером. Представлена научная проблема – создание алгоритмов, необходимых для управления и навигации квадрокоптера в неизвестном окружении, в частности пригодного для противопожарного мониторинга и применения в чрезвычайных ситуациях, происходящих в нефтехимической отрасли. Рассмотрены выполняемые квадрокоптером задачи, предложено создание алгоритмических и методологических основ программного комплекса противопожарного мониторинга для квадрокоптера.

Ключевые слова: пожарная безопасность, противопожарный мониторинг, нефтехимические предприятия, беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, автономная навигация

FIRE-PREVENTION MONITORING OF PETROCHEMICAL INDUSTRY OBJECTS USING SMALL AUTONOMOUS AERIAL VEHICLES

Minin I.V.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: midnight.biker72@gmail.com

This article is dedicated to improving the fire safety of the petrochemical industry, in particular to fire-prevention monitoring using small autonomous unmanned aerial vehicles. Degrees of autonomy of unmanned aerial vehicles are considered, presented a basic description of the flight dynamics of a helicopter with four fixed rotors – quadcopters, reviewed hardware components used for practical implementation of this device. Described required components for quadcopter autonomous navigation and control. Presented scientific problem of creation algorithms, which are suitable for control and navigation quadcopters in an unknown environment, and for fire-prevention monitoring and use in emergencies occurring in the petrochemical industry. Considered tasks, which are performed by quadcopters, proposed creation of algorithmic and methodological foundations of monitoring software for fire-prevention quadcopters.

Keywords: fire safety, fire-prevention monitoring, petrochemical plants, unmanned aerial vehicle, quadcopter, autonomous navigation

Предприятия нефтеперерабатывающей промышленности, играя важную роль в экономике страны, являются одними из главных источников пожаровзрывоопасности, а также напряженной техногенной и экологической обстановки. Поэтому повышение безопасности объектов нефтеперерабатывающих производств продолжает оставаться одной из важнейших угроз техногенного характера. За последние 60 лет произошел ряд аварий в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, вызвавших озабоченность и тревогу у общественности. Эти аварии сопровождались пожарами, взрывами и выбросами токсичных веществ [1]. В. Маршалл рассматривает различные пожары и взрывы на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности и дает оценку воздействия факторов риска на человека и оценку их количественной меры опасности. Например: воздействие тепло-

вого излучения на людей, количественная оценка токсических свойств веществ, воздействие низких температур, воздействие горячих жидкостей на человека. В некоторых авариях погибли сотни и тысячи человек. Основную опасность представляют аварии с образованием зон взрывоопасных (и/или токсичных) концентраций (17,9%), пожары (58,5%) и взрывы (15,1%), прочие опасные ситуации – 8,5% [4].

В связи со сложностями в быстром обнаружении и тушении промышленных пожаров, а также высоким риском для человеческих жизней предлагается рассмотреть применимость беспилотных летательных аппаратов в противопожарном мониторинге объектов нефтехимической промышленности.

Прежде чем приступить к рассмотрению беспилотных летательных аппаратов, сделаем ряд уточнений, касающихся беспилотных мобильных средств вообще. В этой

бурно развивающейся области техники на сегодняшний день существует много понятий, которые не всегда правильно и однозначно понимаются. Для многих объектов пока нет устоявшихся определений. В разных источниках классификация беспилотных мобильных средств проводится по-разному.

Беспилотное мобильное средство – это искусственный мобильный объект многоразового или условно-многоразового использования, не имеющий на борту экипажа (человека-пилота) и способный самостоятельно целенаправленно перемещаться в пространстве для выполнения различных функций в автономном режиме (с помощью собственной управляющей программы) или посредством дистанционного управления (осуществляемого человеком-оператором или диспетчерским центром).

Беспилотные мобильные средства могут быть дистанционно управляемыми или автономными. Для них существуют общие названия – ROV – Remotely Operated Vehicle и AUV – Autonomous Unmanned Vehicle. Причем первые исторически появились раньше. Полностью автономные беспилотные мобильные средства встречаются пока редко. Как правило, автономность не является стопроцентной: обычно оператор имеет возможность корректировать поведение аппарата или перевести его на ручное дистанционное управление. У военных существует следующее разделение беспилотных систем по степени автономности мобильных средств: «man-in-the-loop systems» (с управляемыми объектами, когда удаленный оператор является необходимым звеном системы управления), «man-on-the-loop systems» (с контролируемыми объектами, когда все обычные задачи решаются без участия оператора, а вмешательство его требуется только в ответственных случаях), «fully autonomous systems» (полностью автономные системы, когда оператор только инициирует систему для выполнения задачи) [3].

В последние годы именно миниатюрные дистанционно управляемые и автономные летающие аппараты (MAV) стали важным инструментом не только в военном применении, но также и в гражданском. Квадрокоптеры становятся очень популярными особенно для целей наблюдения и исследования внутри и вне помещений, сбора данных или просто как высокотехнологичные игрушки.

Существует множество примеров успешного применения квадрокоптеров, например, в исследовательских задачах, таких как инспектирование поврежденных атомных реакторов АЭС Фукусима-1 в мар-

те 2011 года и для воздушного наблюдения и мониторинга потенциально опасных ситуаций, таких как массовые спортивные мероприятия.

Однако, существует множество других потенциальных применений: группа маленьких, легких и дешевых квадрокоптеров может быть применена для быстрого обнаружения очага возгорания, поиска пострадавших внутри горящих и разрушающихся зданий, промышленных объектов без риска для человеческих жизней, а также для локального оперативного пожаротушения с применением современных легких и эффективных средств пожаротушения.

Летное поведение квадрокоптера идентично традиционному вертолету: квадрокоптер может взлетать и садиться вертикально, зависать на одном месте и двигаться в любом направлении в любое время без предварительных разворотов. Это дает квадрокоптерам – в противоположность классическим самолетам – возможность маневрировать в очень ограниченных пространствах таких как коридоры, офисы, площадки с технологическим оборудованием. Это также делает квадрокоптеры идеальным техническим средством для наблюдений и инспекций внутри помещений и в окружении множества препятствий.

Хотя первый концепт летательного аппарата с четырьмя роторами в одной плоскости был предложен в 1922 году, эта схема была довольно быстро забыта в связи с доминированием схемы с классического двухвинтового вертолета [5]. Существовали две основные причины отказа от дальнейшей разработки такой схемы: несмотря на механическую простоту, квадрокоптер гораздо менее стабилен и сложен в управлении. Также квадрокоптеры менее энергоэффективные, чем классические двухвинтовые вертолеты.

В связи с ростом популярности MAV, схема квадрокоптера снова стала применяться. Четыре ротора в одной плоскости механически гораздо проще, чем классический вертолет, так как все роторы закреплены на раме. Также роторы и пропеллеры могут быть защищены кожухом, защищающим их от повреждений и дающим возможность безопасно выполнять полеты внутри помещений.

В целях навигации современные MAV могут использовать самые различные сенсоры. В дополнение к inertial measuring unit (IMU) – инерциальному измерительному блоку, измеряющему положение и ускорение летательного аппарата, также может использоваться GPS для определения абсолютного положения MAV. Это дает

возможность использования автономной навигации в уже известном окружении, либо для удержания конкретной позиции без сноса.

При полетах в неизвестном окружении либо внутри помещений – где сигнал GPS недоступен – требуются альтернативные методы локализации. Для этого может быть использован широкий спектр сенсоров: от недорогих и легких ультразвуковых датчиков расстояния, работающих в одном выбранном направлении, до лазерных сканеров с высоким разрешением, дающих полную карту глубин окружающей среды, но стоящих несколько тысяч евро. Одни из самых простых технических средств сбора информации – это оптические камеры: они относительно дешевы, энергоэффективны, небольшого размера и массы и часто уже встроены в MAV. Обработка большого объема визуальных данных является сложной задачей, требующей большого объема вычислительных мощностей, но решаемой с применением современных технических средств (GPGPU).

Самым сложным является вычисление информации о глубине при обработке изображения, так как камера выдает только двумерное изображение; дистанция и размер объектов не могут быть определены непосредственно.

Первый и самый главный компонент любой системы, применимой для автономной навигации, – способность определить свое положение в пространстве. В случае с летательным аппаратом удержание занимаемой позиции требует создания постоянного противодействия незначительным случайным движениям, которые также требуют отдельных методов измерения. С помощью современных высокоточных IMU это становится возможным без привлечения внешних средств измерения. Но тем не менее у IMU есть свойство накапливать ошибки, что со временем приводит к медленному сносу от желаемой позиции. Так что при наличии возможности у MAV точно определять свое положение в пространстве накопление ошибок IMU может быть легко компенсировано.

Задача точного измерения движения робота в произвольном и неизвестном заранее пространстве является одной из главных в области компьютерного зрения и робототехники и широко известна как проблема одновременной навигации и составления карты (simultaneous localization and mapping – SLAM). Идея очень проста – составлять карту окружающего пространства, используя сенсоры. Карта в дальнейшем используется для повторного определения текущей позиции робота спустя некоторый период времени. Таким образом SLAM отвечает на вопросы «Как выглядит окружа-

ющий мир?» и «Где я нахожусь?». Процесс может быть произведен в активном режиме, когда робот одновременно получает новую информацию об окружающем мире и точно отслеживает свое перемещение и позицию. Этот подход называется SPLAM (simultaneous planning, localization and mapping) [4].

Когда текущая позиция MAV определена, она может использоваться для достижения и удержания заданной целевой позиции либо для следования по заданному пути. В дальнейшем эта система может быть использована как сокращение нагрузки пилота, делая управление значительно проще благодаря автоматической компенсации неустойчивости полета, в частности горизонтального сноса. В случае работы в неизвестной прежде окружающей среде, допуская полностью автономный полет, знать только текущую позицию MAV недостаточно: также необходимо определять препятствия, стены, а также объекты интереса.

Проблематика исследования

Целью данной работы является создание алгоритмов, подходящих для управления и навигации квадрокоптера в неизвестном окружении, пригодных для противопожарного мониторинга и применения в чрезвычайных ситуациях, происходящих в нефтеперерабатывающей отрасли; с использованием только встроенных сенсоров без дополнительных маркеров и объектов калибровки. В качестве главного сенсора будет использоваться фронтальная камера, встроенная в квадрокоптер, используемая для вычисления текущей позиции квадрокоптера с применением методов визуальной одометрии. В дальнейшем вычисленная поза может быть использована для вычисления управляющих команд, необходимых для полета и удержания необходимой позиции в трехмерном пространстве. Этот подход дает квадрокоптеру возможность выполнять следующие задачи:

- задерживаться в определенной позиции несмотря на влияние внешних сил, таких как ветер и тепловые потоки;
- высокоуровневое управление. Вместо непосредственного управления летательным аппаратом пилоту необходимо ввести лишь координаты следующей позиции;
- следовать по заранее заданному пути в трехмерном пространстве относительно стартовой позиции;
- автономно выполнять различные действия по взаимодействию с объектами интереса.

В данном подходе имеется множество трудностей: неизвестный масштаб визуальной карты, компенсация больших задержек

в системе управления, обработка данных низкокачественных сенсоров. В то же время система должна быть надежной и устойчивой к временной потере визуального трекинга, отсутствующих или поврежденных данных сенсоров и нестабильного качества беспроводной связи.

Проблематика исследования выявляет следующие задачи:

1. Реализация методов SLAM для однообъективной камеры.

2. Определение масштаба изображений, полученных с однообъективной камеры.

3. Реализация методов создания карты глубины как части системы обхода препятствий.

4. Получение, фильтрация и валидация данных IMU квадрокоптера.

5. Реализация системы управления.

6. Реализация взаимодействия с объектами интереса:

а) мониторинг пожарной ситуации на объектах нефтехимической промышленности;

б) тушение пожаров;

в) предоставление оперативной информации в штаб пожаротушения.

7. Создание программного комплекса, включающего в себя перечисленные выше возможности.

Список литературы

1. Иванов Е.И. Основы пожарной защиты нефтеперерабатывающих заводов. – М.: Химия, 1977. – С. 144.

2. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – С. 672.

3. Фетисов В.С., Неугодникова Л.М., Красноперов В.В. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. – Уфа: ФОТОН, 2014. – С. 217.

4. Stachniss C. Exploration and Mapping with Mobile Robots. PhD thesis, Universitat Freiburg, 2006. – С. 244.

5. Surmann H. et al. Teleoperated Visual Inspection and Surveillance with Unmanned Ground and Aerial Vehicles // iJOE. – 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 26–38.

References

1. Ivanov E.I. Osnovy požarnoj zaschity neftepererabatyvajushhij zavodov. M.: Himija, 1977. – p. 144

2. Marshall V. Osnovnye opasnosti himicheskij proizvodstv. M.: Mir, 1989. pp. 672.

3. Fetisov V.S., Neugodnikova L.M., Krasnoperov V.V. Bespilotnaja aviacija: terminologija, klassifikacija, sovremennoe sostojanie. Ufa: FOTON, 2014. pp. 217.

4. C. Stachniss. Exploration and Mapping with Mobile Robots. PhD thesis, Universitat Freiburg, 2006. pp. 244.

5. Surmann H. et al. Teleoperated Visual Inspection and Surveillance with Unmanned Ground and Aerial Vehicles // iJOE. 2008. T. 4. no. 4. pp. 26–38.

Рецензенты:

Борзых В.Э., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», г. Тюмень;

Логачев В.Г., д.т.н., профессор кафедры кибернетических систем, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.