

УДК 063.456.45 (045)

<sup>1</sup>**В. М. Синеглазов**, д-р техн. наук,  
<sup>2</sup>**С. А. Дьяков**, асп.

## ОТОБРАЖЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ДИСТАНЦИОННО ПИЛОТИРУЕМОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТЕ МЕСТНОСТИ

Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: <sup>1</sup>svm@nau.edu.ua,  
<sup>2</sup>sergey.dyakoff@gmail.com

*Разработана система отображения траектории движения дистанционно пилотируемого летательного аппарата с целью повышения эффективности работы оператора наземного пункта управления.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, дистанционно пилотируемый летательный аппарат, траектория, электронная карта, наземный пункт управления.

**Введение.** Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) в общем случае – это летательный аппарат без экипажа на борту. Беспилотные летательные аппараты являются одними из наиболее перспективных, динамично развивающихся систем военного и гражданского назначения.

Практика использования БПЛА показывает, что качественное выполнение их целевой задачи зависит от бесперебойной работы всех бортовых систем, однако особая роль отводится навигационно-пилотажным системам БПЛА. Это утверждение справедливо и для такого вида БПЛА, как дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА). Если обычный беспилотный самолёт выполняет полёт по заданной программе и возвращается стартовую позицию, то ДПЛА действует немного иначе. Этот тип летательных аппаратов предусматривает интерактивный способ управления, что позволяет оператору ДПЛА, находясь на наземном пункте управления, оценивать поступающую информацию и по командному радиоканалу управлять самим ДПЛА и его целевой нагрузкой, например, видеокамерой. Такой тип управления дает возможность многократных повторных заходов на цель для достижения оптимального результата. Но в тоже время дистанционное управление лишает ДПЛА таких факторов успешного выполнения полетов, как автономность и независимость от человеческого фактора; за полет ДПЛА полностью отвечает лицо, которое им управляет.

На операторов наземного пункта управления возлагаются такие функции:

- слежение за полетом;
- прием данных;
- передача команд управления.

Для решения поставленных перед оператором задач он либо визуально наблюдает ДПЛА, либо ориентируется по изображению, передаваемому видеокамерой. Ограничения такого управления очевидны: при визуальном наблюдении размеры БПЛА и условия видимости ограничивают дальность ручного управления БПЛА одним–двумя километрами. При слежении по видеокамере управление становится невозможным в темное время суток, в условиях ограниченной видимости. В связи с этим возникает необходимость постоянно отслеживать траекторию полета БПЛА на экране наземного пункта управления.

**Постановка задачи.** Необходимо разработать систему, которая позволит непрерывно отслеживать траекторию полета БПЛА на экране наземного пункта управления. Входными данными для системы являются данные в формате NMEA, получаемые с навигационных систем летательного аппарата. Полученные данные необходимо преобразовать, нанести на электронную карту в формате SHAPE и отобразить на экране.

**Задачи и структурная схема системы.** Для отслеживания траектории летательного аппарата оператором наземного пункта управления используется система отображения движения ДПЛА на электронной карте местности, которая разработана для таких целей:

– приема и обработки информации навигационной системы ДПЛА;  
 – загрузки предварительно подготовленной карты местности;  
 – отображения заранее заданной желаемой траектории полета ДПЛА;  
 – обновления с определенной частотой реального местоположения и траектории ДПЛА.

Структурная схема системы отображения движения ДПЛА на электронной карте местности приведена на рис. 1.

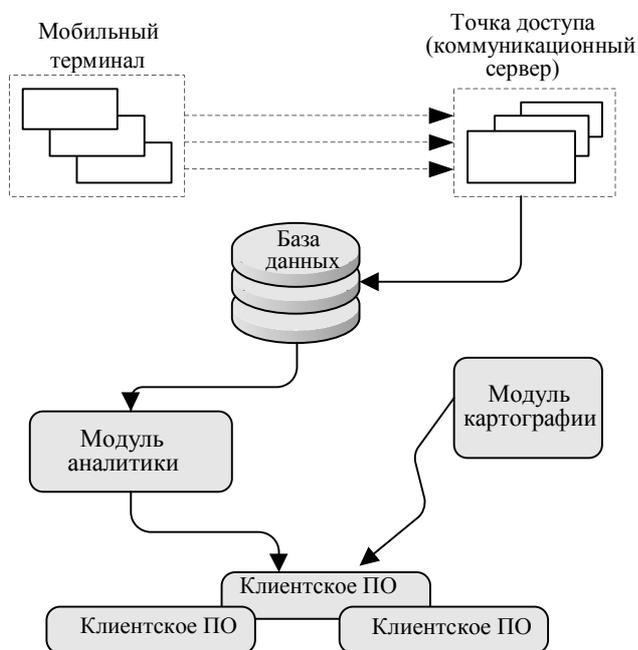


Рис. 1. Структурная схема системы отображения движения ДПЛА на электронной карте местности:  
 ПО – программное обеспечение

В состав навигационной системы ДПЛА входит GPS приемник. Полученная со спутниковой системы навигации пространственная информация с интервалом 1 с передается через радиоканал на приемник, установленный на наземном пункте управления, преобразовывается в нужный формат и сохраняется в базе данных, откуда при необходимости извлекается, обрабатывается аналитическими модулями системы и визуализируется на персональном компьютере оператора наземного пункта. Также на его компьютер может быть загружена электронная карта местности.

**Преобразование формата входных данных.** Данные в систему поступают в формате NMEA 0183 (National Marine Electronics Association) – текстовый протокол для связи навигационного оборудования.

Общий вид строк в NMEA 0183:

- символ «\$»;
- пятибуквенный идентификатор сообщения (первые две буквы – идентификатор источника сообщения, следующие три буквы – идентификатор формата сообщения согласно протоколу NMEA 0183 определенной версии);
- список данных (буквы, цифры и точки), разделённых запятыми. Если какие-либо данные отсутствуют внутри строки, запятые всё равно ставятся (например «,»). Некоторые поля в конце строки могут отсутствовать;
- символ «\*»;
- двузначное 16-ричное число – контрольная XOR-сумма всех байт в строке между «\$» и «\*»;
- <CR> <LF> (конец строки).

Существует множество NMEA-сообщений и команд, однако в системе используется рекомендуемый минимум навигационных данных RMC. GPS-приёмник автоматически с интервалом 1 с посылает данные в виде строки RMC:

\$GPRMC,hhmmss.ss,A,GGMM.MM,P,gggmm.mm,J,v.v,b.b,ddmmyy,x.x,n,m\*hh<CR><LF>.

Пробелов и переносов внутри строки нет. Значение полей:

- GP – приём сигналов GPS (GL зарезервировано для ГЛОНАСС);
- RMC – сообщения в формате Recommended Minimum sentence;
- hhmmss.ss – время фиксации местоположения по всемирному координированному времени UTC: hh – часы, mm – минуты, ss.ss – секунды;
- A – статус: A – данные достоверны, V – недостоверны;
- GGMM.MM – широта. 2 цифры градусов(GG), 2 цифры целых минут, точка и дробная часть минут переменной длины. Лидирующие нули не опускаются;
- P – N для северной или S для южной широты;
- gggmm.mm – долгота. 3 цифры градусов (ggg), 2 цифры целых минут, точка и дробная часть минут переменной длины. Лидирующие нули не опускаются;
- J – E для восточной или W для западной долготы;
- v.v – горизонтальная составляющая скорости относительно земли в узлах;
- b.b – путевой угол (направление скорости) в градусах. Число с плавающей точкой. Целая и дробная части переменной длины. Значение равно 0 соответствует движению на север, 90 – восток, 180 – юг, 270 – запад;
- ddmmyy – дата: день месяца, месяц, последние 2 цифры года (ведущие нули обязательны);
- x.x – магнитное склонение в градусах (часто отсутствует), рассчитанное по некоторой модели. Число с плавающей точкой. Целая и дробная части переменной длины;
- p – направление магнитного склонения: для получения магнитного курса магнитное склонение необходимо E – вычесть, W – прибавить к истинному курсу;
- m – индикатор режима: A – автономный, D – дифференциальный, E – аппроксимация, N – недостоверные данные (часто отсутствует, данное поле, включая запятую, отсутствует в старых версиях NMEA);
- hh – контрольная сумма;
- <CR> – байт равен 0×0D;
- <LF> – байт равен 0×0A.

Периодически (интервал задается в системе) из данной строки системой извлекаются необходимые данные о местоположении ДПЛА в пространстве: широта, долгота, высота, скорость, путевой угол.

Эти данные обрабатываются и преобразовываются в формат, позволяющий использовать их для нанесения траектории на электронную карту.

Для определения уникального местоположения на земле нужно использовать по 2 поля из RMC для каждой координаты.

Для широты: GGMM.MM (2 цифры градусов (GG), 2 цифры целых минут, точка и дробная часть минут) и P (N для северной или S для южной широты).

Для долготы: gggmm.mm (3 цифры градусов (ggg), 2 цифры целых минут, точка и дробная часть минут) и J (E для восточной или W для западной долготы).

В использованном формате электронной карты принято несколько другое исчисление. Широта может принимать значения от минус 90 до 90, а долгота – от минус 180 до 180. Широта и долгота задаются числовыми значениями, имеют точность 6 десятичных знаков и разделяются запятой.

Для преобразования координат, полученных из строки RMC, нужно целую часть градусов GG (ggg) оставить без изменения, а целую и дробную часть минут MM.MM (mm.mm) разделить на 60. Таким образом, будет получена целая и дробная часть градусов,

что необходимо для корректного отображения на электронной карте. Для определения знака координаты (+ или -) используются значения P и J из строки RMS. Отрицательными значениями описываются южная широта и западная долгота.

Полученные и преобразованные данные о местонахождении летательного аппарата в пространстве могут быть успешно использованы для отображения положения ДПЛА на карте, а также сохраняются для обеспечения возможности отображения траектории его движения за выбранный период времени в виде соединенных контрольных точек.

**Особенности сохранения данных.** При поступлении с навигационной системы ДПЛА пространственной информации производится ее обработка, преобразование в форму, удобную для визуализации и сохранение в базу данных. База данных системы содержит две основные таблицы: *Navigation\_Objects* и *Navigation\_History* (выборки из таблиц базы данных приведены в табл. 1 и 2).

Таблица *Navigation\_Objects* содержит по одной уникальной записи для каждого объекта, за которым производилось наблюдение с помощью системы. Каждый такой объект идентифицируется уникальным номером. Таблица содержит поля с названием объекта и его пространственными атрибутами: широта, долгота, скорость, курс. Поступившая с навигационного оборудования БПЛА новая информация после надлежащего преобразования перезаписывает информацию, которая уже имеется в таблице касательно текущего объекта слежения или создает новую запись, если информации об объекте еще нет.

Таблица 1

Выборка из таблицы *Navigation\_Objects*

ID	Название	Широта	Долгота	Скорость	Курс	Время
1	Объект_1	50,447261	30,474119	67	125	2011-05-11 12:33:36
2	Объект_2	50,435976	30,489558	24	230	2011-06-12 11:13:58

В момент поступления новой информации она так же записывается во вторую основную таблицу *Navigation\_History*, которая содержит всю историю обо всех объектах, за которыми велось наблюдение с помощью системы.

Таблица 2

Выборка данных из таблицы *Navigation\_History*

ID	Obj_ID	Название	Широта	Долгота	Скорость	Курс	Время
108	1	Объект_1	50,445123	30,47211	52	120	2011-05-11 12:31:36
109	1	Объект_1	50,445687	30,47296	58	123	2011-05-11 12:32:06
110	1	Объект_1	50,446254	30,47331	50	122	2011-05-11 12:32:36
111	1	Объект_1	50,446896	30,47398	59	124	2011-05-11 12:33:06
112	1	Объект_1	50,447261	30,474119	67	125	2011-05-11 12:33:36
113	2	Объект_2	50,435976	30,489558	24	230	2011-06-12 11:13:58

Такое дублирование информации значительно ускоряет доступ к текущим пространственным атрибутам нужного объекта, так как для этого нужно сделать запрос к *Navigation\_Objects*, предоставив всего лишь идентификатор объекта.

При необходимости отображения положения определенного объекта в определенный момент времени или его траектории за определенный промежуток времени нужно сделать запрос к таблице *Navigation\_History* с указанием идентификатора объекта и границ интервала времени.

**Работа с электронными картами.** Для эффективного управления ДПЛА необходимо четко контролировать его местонахождение в пространстве. Навигационные системы ДПЛА обеспечивают своевременную и точную передачу пространственных данных в систему отображения траектории. Но для восприятия пространственной информации оператором наземного пункта управления ее необходимо качественно визуализировать. Для решения данной задачи используются электронные карты.

Электронная карта – это компьютерное картографическое изображение в растровом или векторном формате, представляющее собой визуализацию данных для построения изображения, полученных на основе традиционных (бумажных) или цифровых карт.

В системах управления электронные карты должны позволять в реальном времени оценивать обстановку и принимать решение, ставить задачи и организовывать взаимодействие, изучать географические особенности регионов, территорий и местность, а также выполнять необходимые расчеты при оценке обстановки, планировании, моделировании действий, определении свойств местности, прогнозировании изменений местности, определении координат объектов на местности.

В системе используется один из популярных форматов электронных карт – Shapefiles.

Shapefile содержит нетопологическую геометрическую и атрибутивную информацию для набора объектов. Геометрия объекта хранится как форма, содержащая набор векторных координат.

Поскольку shapefiles не содержат топологической надстройки, они имеют ряд преимуществ перед другими источниками данных, например, более быстрая отрисовка и возможность редактирования. Shapefiles работают с объектами, которые могут перекрываться или совсем не соприкасаться. Они обычно требуют меньшей дисковой памяти и более просты при чтении и записи тем. В остальном функционал для shapefiles и покрытий идентичен.

Shapefiles работают с объектами в форме точек, линий и полигонов. Полигоны должны быть представлены в виде замкнутых фигур. Атрибутивные данные содержатся в формате dBase. Каждая запись базы данных находится в связи «один к одному» с соответствующей записью объекта.

Shapefiles состоит из главного файла, индексного файла и таблицы dBase. Главный файл – это файл прямого доступа, содержащий записи переменной длины, каждая из которых описывает объект при помощи списка вершин. В индексном файле каждая запись содержит смещение соответствующей записи в главном файле относительно начала главного файла. Таблица dBase содержит атрибуты объектов. Только одна строка таблицы соответствует только одному объекту в главном файле. Соответствие «один к одному» между атрибутами и объектами основывается на номере записи. Номер записи атрибутов в таблице dBase должен быть таким же, как и номер записи в главном файле.

Главный файл, индексный файл и dBase-файл должны иметь одно и то же имя. Расширение главного файла должно быть таким: «.shp». Расширение индексного файла: «.shx». Расширение dBase-файла: «.dbf».

Загруженная в систему карта местности в формате Shapefiles отображается на экране рабочей станции оператора наземного пункта управления. Внешний вид рабочего окна программы с загруженной картой местности приведен на рис. 2.

Система отображения траектории движения ДПЛА дает возможность задания желаемой (эталонной) траектории движения объекта слежения в виде набора координат поворотных пунктов. В рабочем окне программы, при обновлении данных в базе данных, на экране в виде точки отображается текущее местоположение объекта и обновляется реальная траектория движения. Эталонная траектория так же может отображаться на экране, что дает возможность следить за текущими отклонениями реальной траектории движения ДПЛА от заданной. Оператор воспринимает и анализирует предоставленную системой информацию, и принимает решение о необходимости передачи управляющего сигнала на ДПЛА.

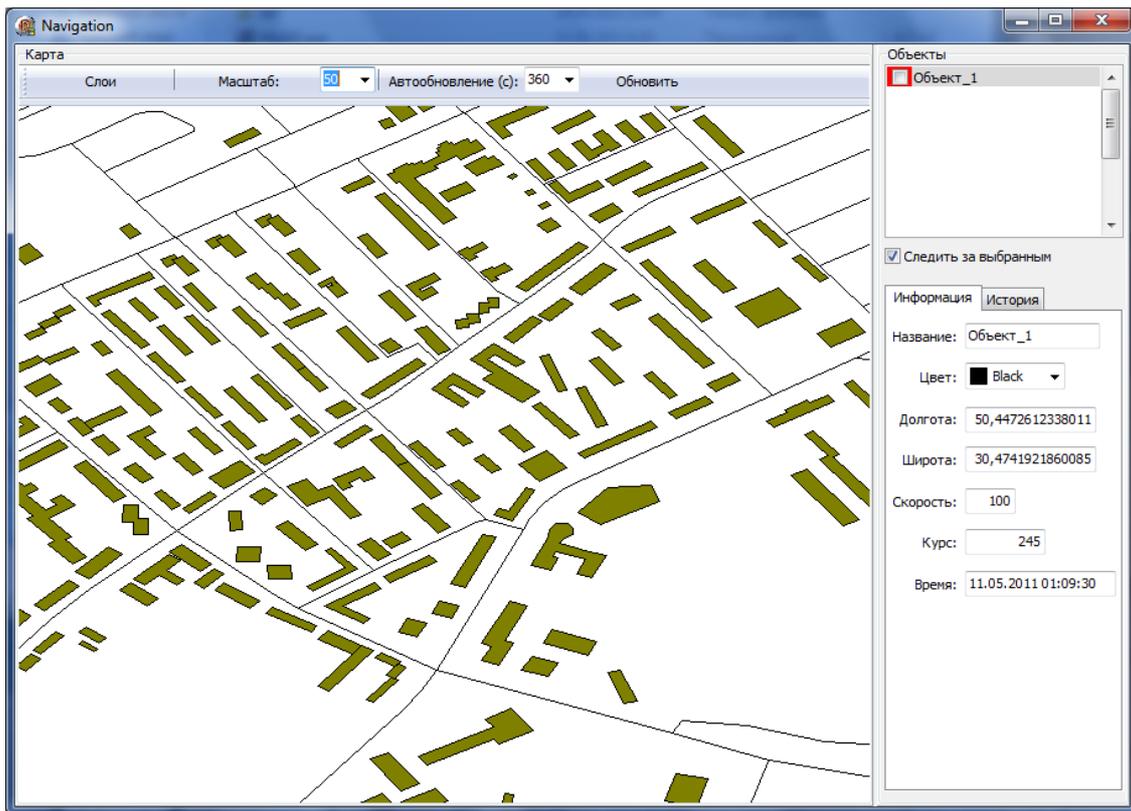


Рис. 2. Отображение загруженной в систему электронной карты

**Выводы.** Система отображения траектории движения ДПЛА была разработана для автоматизации задачи слежения за полетом оператором наземного пункта управления, с целью повышения эффективности его работы. Данная система прошла успешную апробацию на реальном объекте. Благодаря независимости от канала передачи, применению стандартного формата навигационных данных и электронных карт в популярном и высокопроизводительном формате Share, область применения системы может охватывать различные виды ДПЛА, а также другие транспортные средства.

#### Список литературы

1. Бугаевский Л. М. Геоинформационные системы: учеб. пособие для вузов / Л. М. Бугаевский, В. Я. Цветков. – М.: Златоуст – 2005. – 222 с.
2. Королев Ю. К. Общая геоинформатика. Часть I. Теоретическая геоинформатика / Ю. К. Королев – М.: СП ООО Дата+, 1998. – 118 с.
3. Шипулин В. Д. Основные принципы геоинформационных систем: учеб. пособие / В. Д. Шипулин – Х.: ХНАГХ, 2010. – 337 с.
4. Замай С. С. Программное обеспечение и технологии геоинформационных систем: учеб. пособие / С. С. Замай, О. Э. Якубайлик – Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 1998. – 110 с.

В. М. Синеглазов, С. О. Дьяков

#### **Відображення траєкторії руху дистанційно пілотованого літального апарата на електронній карті місцевості**

Розроблено систему відображення траєкторії руху дистанційно пілотованого літального апарату з метою підвищення ефективності роботи оператора наземного пункту управління.

V. M. Sineglazov, S. O. Dyakov

#### **Displaying trajectory of remotely piloted aircraft on electronic map**

This article is devoted to the development of the system of displaying trajectory of remotely piloted aircraft in order to improve the efficiency of ground control operator's work.