

УДК 007:621.865.8

В.А. Аникин, Н.В. Ким, В.П. Носков, И.В. Рубцов

РЕШЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСОМ РТК – ВЫНОСНОЙ ПУНКТ СТЗ

Для расширения функциональных возможностей и повышения эффективности применения наземного робототехнического комплекса (РТК) или группы РТК предлагается использовать систему технического зрения (TVS-technical vision system) на базе беспилотного летательного аппарата (UAV). Видеоинформация, принимаемая TVS, передается на РТК в реальном времени. Для повышения длительности полета UAV может быть соединен с РТК кабелем (привязной UAV), по которому осуществляется электропитание UAV и информационная связь с РТК. Показано, что использование TVS существенно увеличивает зоны обзора РТК и позволяет повысить эффективность оперативного планирования маршрута РТК. Кроме того UAV обеспечивает возможность ретрансляции радиосигналов между отдельными РТК, входящими в состав группы, и пунктом управления. Рассмотрены особенности использования привязных UAV с TVS при решении основных целевых задач РТК: наведения и навигации по наземным ориентирам. Показано, что в условиях города целесообразно использовать UAV, несвязанные кабелем с РТК. Описаны принципы использования и методы обработки навигационной и зрительной информации при решении основных задач автономного движения РТК и полета UAV (навигации, построения 3D-моделей внешней среды и планирования траекторий движения и полета). Приведены результаты экспериментальных исследований созданных программно-аппаратных средств СТЗ в составе действующих РТК и БПЛА в реальных средах.

Мобильная робототехника; система технического зрения; выносной пункт технического зрения; беспилотный летательный аппарат (БПЛА).

V.A. Anikin, N.V. Kim, V.P. Noskov, I.V. Rubcov

APPLICATION OF A ROBOT SYSTEM WITH A REMOTE VISION

To extend the functionality and efficiency of ground robotic complex (RTC) or group of the RTC use of a technical vision system (TVS-technical vision system) based on an unmanned aerial vehicle (UAV) was proposed. Video information that receives by the TVS, transmits to the RTC in the real time UAV can be connected to the RTC by a cable (tethered UAV), to increase the duration of the flight. The cable is used to power UAV and to make an information communication with the RTC. It is shown that the use of the TVS significantly increases the field of view of the RTC and improves the efficiency of the operational route planning of the RTC. In addition the UAV allows relaying radio signals between the individual RTC, members of the group and the control point. The features of the use of tethered UAV with the TVS in addressing the major objectives of the RTC: object detection, aiming and navigation reference to the ground, were reviewed. It is shown that in urban environments it is unadvisable to use the UAV connected by a cable with the RTC. The principles and methods of the navigation and visual information processing to solve major problems of autonomous movement of the RTC and UAV's flight (navigation, construction of 3D-models of environmental and planning trajectories and flight) were described. The results of experimental studies designed software and hardware TVS as part of existing RTC and UAVs in real-world environments were shown.

Mobile robotics; technical vision system; remote vision system; unmanned aerial vehicle (UAV).

Введение. Одним из важнейших направлений в области совершенствования робототехнических систем является повышение их автономности. Существующие дистанционно-управляемые робототехнические комплексы, решая важнейшую задачу вывода человека из зоны боевых действий, в то же время не в полной мере реализуют потенциальные возможности образцов вооружения и военной техники в связи с присущими таким комплексам недостаткам [1]:

- ◆ ограниченностью радиуса действия при управлении по радио или кабельным линиям связи;
- ◆ необходимостью непрерывного участия операторов в процессе управления как комплексом в целом, так и его подсистемами;
- ◆ возможностью нарушения устойчивой работы каналов передачи информации и команд управления путем применения противником средств радиоэлектронного противодействия;
- ◆ демаскированием РТК и пункта дистанционного управления вследствие интенсивного радиообмена между ними.

В числе общих требований, предъявляемых к разрабатываемым автономным робототехническим комплексам (РТК) ВН для применения в составе комплекта вооружения СВ необходимо выделить следующие:

- ◆ возможность применения РТК ВН днем и ночью в условиях огневого, радиоэлектронного и информационного противодействия;
- ◆ возможность управления РТК ВН и приема информации от них при прямой радиовидимости и с использованием ретрансляторов, космических аппаратов связи военного и двойного назначения, а также пилотируемой авиации, БЛА, аэростатов;
- ◆ обеспечение группового информационного обмена между РТК ВН при выполнении задач в едином районе боевого управления в составе смешанной группы, в том числе с экипажными образцами ВВСТ;
- ◆ возможность одновременного применения и управления требуемым количеством РТК ВН;
- ◆ обеспечение дистанционного, автоматического (программного) и автоматизированного (с контролем оператора) управления РТК ВН и его целевой нагрузкой.

Кроме того, важными факторами, влияющими на эффективность применения роботизированных систем, являются условия их применения.

Так, анализ событий последних десятилетий показывает, что значительное количество боевых действий происходит в городских условиях. Следовательно, при разработке роботизированных образцов наземных РТК военного назначения необходимо учитывать специфику и требования, предъявляемые к образцам В и ВТ в условиях города [2].

Одним из наиболее эффективных в условиях города является использование мотострелковых подразделений. Однако легкое вооружение подразделений не позволяет им поражать противника, находящегося в прочных зданиях и сооружениях. При этом городская среда ограничивает применение поддерживающих боевых машин пехоты, бронетранспортеров и тем более – танков вследствие их повышенной уязвимости и ограниченности области обзора.

Бои в черте города проходят в непосредственной близости от расположения мирного населения, что требует дополнительной корректировки огня, т.е. повышения эффективности средств наблюдения.

Таким образом, расширение области обзора РТК и увеличение возможностей информационного обмена, в том числе для ретрансляции радиосигналов и управления группой РТК, существенно повысит эффективность боевого применения РТК.

В работах [3, 4] было показано, что эффективность применения автономных мобильных РТК может быть существенно повышена за счет использования выносного пункта системы технического зрения (ВПСТЗ) на базе привязного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) (рис. 1).

Подобный подход позволяет, за счет подъема и управления положением СТЗ, расширить область наблюдения РТК, обеспечить бесперебойную радиосвязь и ретрансляцию сигналов.

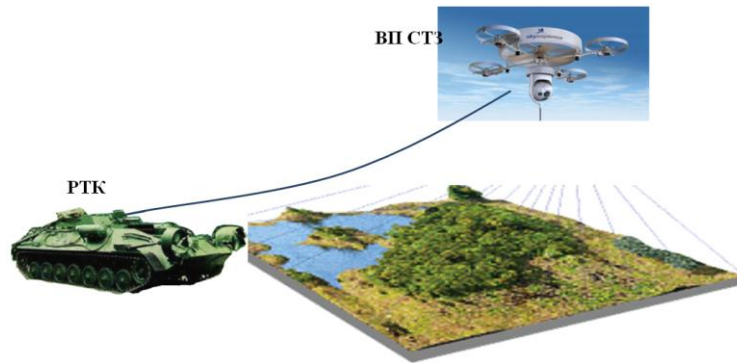


Рис. 1. ВПСТЗ на базе привязного БПЛА

В качестве привязного БПЛА предлагается использовать квадрокоптер, оснащенный СТЗ, собственной навигационной системой и системой автоматического управления (САУ). Стабилизация положения квадрокоптера в пространстве реализуется с помощью САУ, а высокоточная оценка ориентации относительно РТК осуществляется путем слежения СТЗ за маркерами, размещенными на РТК.

Рассматриваемая схема позволяет эффективно использовать электрический привод для несущей системы квадрокоптера за счет подачи электроэнергии от РТК по привязному кабелю и обеспечивает надежный и полный информационный обмен между РТК и ВПСТЗ, повышая помехоустойчивость канала связи и уменьшая его радиозаметность.

Решение целевых задач с помощью ВП СТЗ. Будем считать, что ВП СТЗ оснащена видеокамерами, одна из которых обеспечивает решение целевых задач (целевая система наблюдения), а вторая обеспечивает оценку положения ВП СТЗ относительно РТК. ВПСТЗ сможет оснащаться также различными датчиками, в том числе лазерными дальномерами, радиовысотомерами, радиолокаторами, камерами, работающими в различных диапазонах волн и расширяющими условия возможного функционирования РТК.

ВПСТЗ формирует изображения подстилающей поверхности в зоне обзора. Эти изображения могут обрабатываться в бортовом вычислителе или передаваться по кабелю на борт РТК. Обработка и анализ принимаемой информации позволяет решать задачи анализа обстановки и планирования действий как одиночных РТК, так и группы РТК.

Для использования получаемых измерений при решении целевых задач, необходимо согласовать координаты зоны обзора ВПСТЗ с другими системами координат. На рис. 2 условно показано расположение РТК – точка R , ВПСТЗ – точка C , начало земной системы координат точка N и ориентира (цели) – точка M . Жирной стрелкой обозначен вектор x_C^R , определяющий связь RC между РТК и ВП СТЗ (верхний индекс обозначает систему координат). Рассмотрим неподвижную земную систему координат $NX_N Y_N Z_N$, начало которой находится в точке N . Направление оси NX_N определяется исходя из условий решения целевой задачи, ось NY_N направлена вверх, поперечная ось NZ_N направлена вправо. Другой базовой системой является так называемая связанная система координат $RX_R Y_R Z_R$, начало которой находится в центре масс РТК (R). Ось RX_R направлена по продольной оси РТК вперед, ось RY_R лежит в плоскости симметрии РТК

и направлена вверх. Поперечная ось RZ_R направлена вправо, а вектор \mathbf{x}_R^N показывает местоположение РТК в неподвижной системе координат. Начало системы координат бортовой аппаратуры находится в центре бортовой аппаратуры наблюдения ВП СТЗ (C). Вектор \mathbf{x}_C^R дает относительные координаты бортовой аппаратуры наблюдения по отношению к связанной системе координат РТК. Очевидно, что вектор \mathbf{x}_C^R не является постоянным, т.к. ВП СТЗ связана с РТК гибким кабелем с изменяемой длиной.

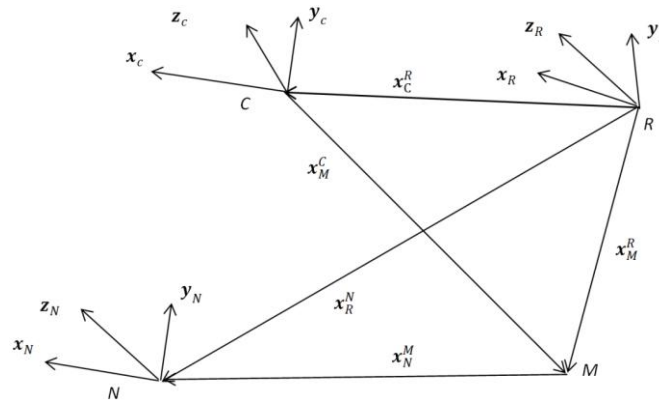


Рис. 2. Системы координат СТЗ, БПЛА, РТК и опорной поверхности

Рассмотрим неподвижную земную систему координат $NX_N Y_N Z_N$, начало которой находится в точке N . Направление оси NX_N определяется исходя из условий решения целевой задачи, ось NY_N направлена вверх, поперечная ось NZ_N направлена вправо. Другой базовой системой является так называемая связанная система координат $RX_R Y_R Z_R$, начало которой находится в центре масс РТК (R). Ось RX_R направлена по продольной оси РТК вперед, ось RY_R лежит в плоскости симметрии РТК и направлена вверх. Поперечная ось RZ_R направлена вправо, а вектор \mathbf{x}_R^N показывает местоположение РТК в неподвижной системе координат. Начало системы координат бортовой аппаратуры находится в центре бортовой аппаратуры наблюдения ВП СТЗ (C). Вектор \mathbf{x}_C^R дает относительные координаты бортовой аппаратуры наблюдения по отношению к связанной системе координат РТК. Очевидно, что вектор \mathbf{x}_C^R не является постоянным, т.к. ВП СТЗ связана с РТК гибким кабелем с изменяемой длиной.

Считая, что положение ВП СТЗ относительно РТК определяется с помощью системы наблюдения СТЗ, получим

$$\mathbf{x}_C^R = C_C^R \mathbf{x}_C^C. \quad (1)$$

Наведение. В задачах наведения средств поражения одной из базовых задач является определение координат цели M относительно РТК, т.е. вектора \mathbf{x}_M^R .

Если ВПСТЗ обнаружил цель и определил ее координаты (вектор \mathbf{x}_M^C), то с учетом (1)

$$\mathbf{x}_M^R = C_C^R \mathbf{x}_M^C - C_C^R \mathbf{x}_C^C. \quad (2)$$

где C_R^C – постоянная переходная матрица из связанной в систему координат бортовой аппаратуры; C_N^R – переходная матрица из системы координат бортовой аппаратуры в неподвижную систему координат [5].

Элементы матриц перехода определяются через измеряемые углы в навигационных системах БПЛА и РТК.

Расчет траектории полета отделяемых средств (ОС) и решение задачи о встрече [5, 6] реализуется на основе данных о конкретных ОС.

Навигация. Пусть необходимо определить координаты РТК в земной системе координат. При этом координаты x_M^N стационарной цели или ориентира M известны.

Как и в задаче наведения, будем считать, что вектор x_M^C определен, т.е. координаты ориентира известны в системе координат ВП СТЗ [7].

Тогда искомым вектор определяется как

$$x_R^N = C_R^N C_C^B (x_M^C - x_R^C) + x_M^N. \quad (3)$$

Необходимость и особенности применение без привязного БПЛА. При ведении боевых и обеспечивающих операций в черте города достаточно часто могут возникнуть условия, когда использование ВПСТЗ на базе привязного БПЛА затруднительно или вообще не возможно. Например, при плотной городской застройке, наличии туннелей, эстакад, различных надземных коммуникаций и, особенно, внутри зданий (аэропорты, вокзалы, стадионы, ...). В этих условиях актуальной становится задача обеспечения автономного полета без привязного БПЛА в неизвестном заранее пространстве при отсутствии внешнего навигационного поля и искаженном магнитном поле Земли. Система управления такого БПЛА должна иметь возможность работать в дистанционном режиме – в зоне прямой видимости или уверенного радиообмена (например, на участках взлета-посадки) и полностью в автономном режиме – на участках полета при отсутствии радиообмена, что характерно для районов с плотной застройкой, промышленных зон и внутри зданий. В рассматриваемом случае траектория автономного полета известна приблизительно, точно известны точки старта и посадки, а также последовательность промежуточных точек (или их окрестности) обязательного посещения, траектория между которыми должна строиться и корректироваться в процессе полета по данным бортовых устройств с учетом конфигурации окружающего пространства, координат текущего положения и целевых точек. Таким образом, бортовая система автономного управления такого БПЛА должна обеспечивать определение текущих координат (трех линейных и трех угловых), иметь средства формирования трехмерной объемной модели окружающего пространства для планирования целенаправленных безопасных траекторий полета и средства их отработки [8]. Структурная схема такой автономной системы управления полетом приведена на рис. 3.

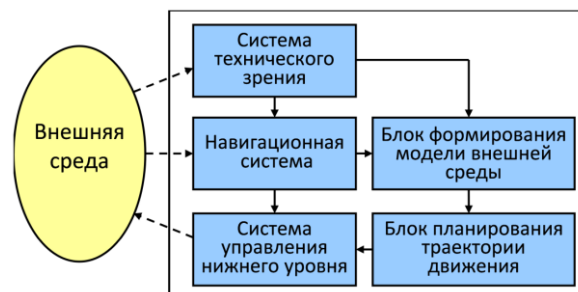


Рис. 3. Структурная схема автономной системы управления БПЛА

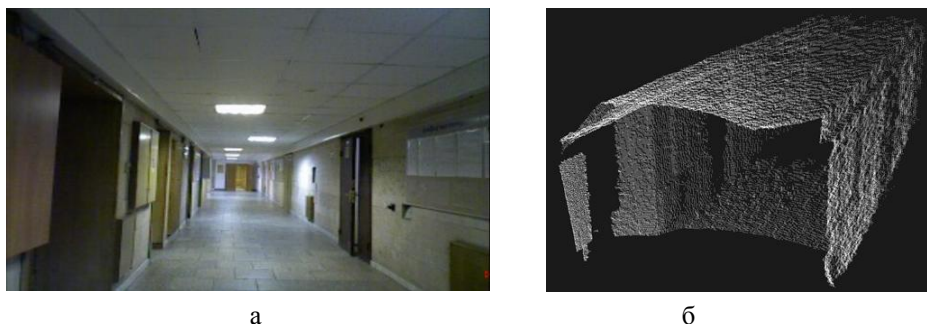
Формирование модели окружающего пространства. Для формирования трехмерной (3D) модели окружающего пространства, как и для наземных РТК, так и для БПЛА, перспективными в настоящее время являются СТЗ на базе сканирующих лазерных дальномеров – 2D- или 3D-лазерных сенсоров (рис. 4).



а) 2D-лазерный сенсор НОКУУО UTM-30LX б) 3D-лазерный сенсор HDL-32E в) 3D-сенсор глубины Asus Xtion Pro, комплексированный с видеокамерой

Рис. 4. Образцы сканирующих лазерных дальномеров

Если 3D-лазерные сенсоры, позволяют непосредственно получать 3D-модель внешней среды (рис. 5,б), то 2D-лазерные сенсоры позволяют формировать 3D-модель только за счет движения объекта управления (РТК или БПЛА). Например, на рис. 6,а) приведено дальнометрическое 3D-изображение внешней среды, полученное за счет вращения вокруг вертикальной оси БПЛА с 2D-лазерным сенсором [8].



а

б

Рис. 5. Изображения внешней среды, формируемые сенсором Asus Xtion Pro: а – видеоизображение внешней среды; б – дальнометрическое 3D-изображение

Навигация без привязного БПЛА. Задача определения текущих координат в рассматриваемом случае может быть решена на основе обработки информации, поступающей от бортовых 3D-лазерного сенсора и малогабаритных твердотельных трехосных акселерометра и гироскопа. Акселерометр позволяет измерять абсолютные значения углов крена и дифферента, а гироскоп, вследствие ухода нуля и ошибки интегрирования угловых скоростей, только относительные значения углов крена, дифферента и курса. Одиночные дальнометрические 3D-изображения, формируемые 3D-лазерным сенсором, при известном крене и дифференте БПЛА позволяют непосредственно измерять высоту, а последовательность дальнометрических 3D-изображений, формируемых в процессе полета, – приращения широты, долготы (или приращения линейных горизонтальных координат Δx , Δy) и уточнять курс

($\Delta\varphi$) методами экстремальной навигации [9]. Зависимость ошибки определения этих приращений координат методами экстремальной навигации от ошибки измерения дальности в дальнометрическом изображении приведена на рис. 7.

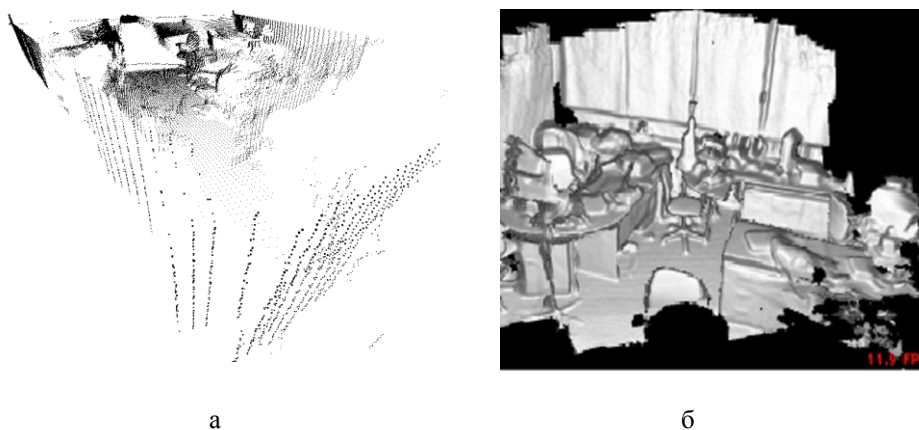


Рис. 6. 3D-модели, формируемые 2D-лазерным сенсором HOKUYO UTM-30LX в процессе движения БПЛА: а – 3D-изображение при вращении БПЛА с 2D-лазерным сенсором HOKUYO; б – объединенная 3D-модель внешней полученная в процессе полета БПЛА

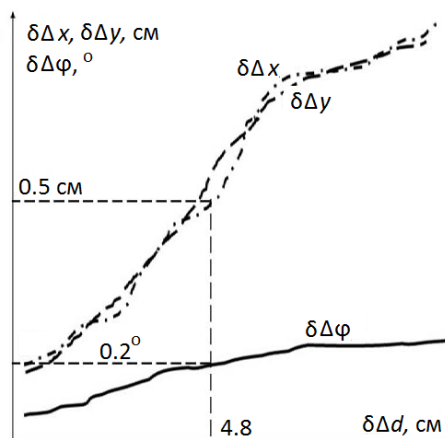


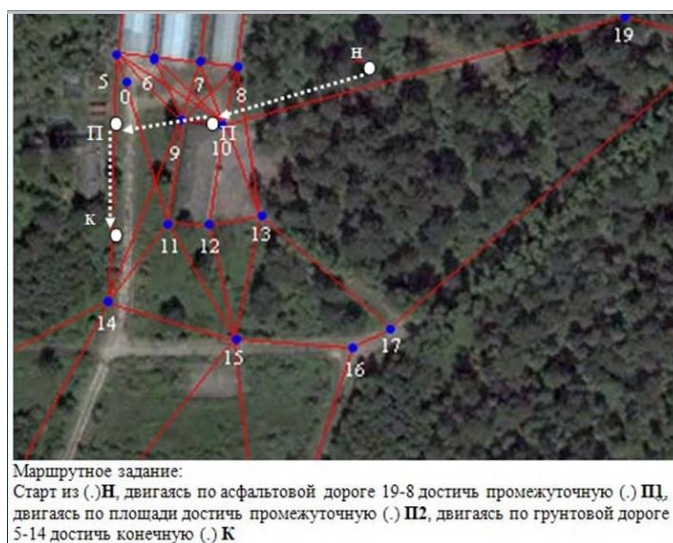
Рис. 8. Зависимость ошибки вычисления приращения координат от ошибки измерения дальности

В соответствии с паспортными данными существующих в настоящее время сканирующих лазерных сенсоров, ошибка измерения дальности составляет не более 3÷5 см. Поэтому ошибка вычисления приращения координат на одном цикле, как это видно из графиков, приведенных на рис. 8, составит по линейным координатам не более 0.5 см, а по курсу – не более 0.2°. Эффективная дальность современных сканирующих лазерных сенсоров в рассматриваемых условиях их использования составляет 10÷20 м, поэтому можно приблизительно принять, что на каждые 15 м полета необходимо выполнить цикл определения координат. Тогда на 150 м автономного полета необходимо выполнить 10 циклов и верхняя граница суммар-

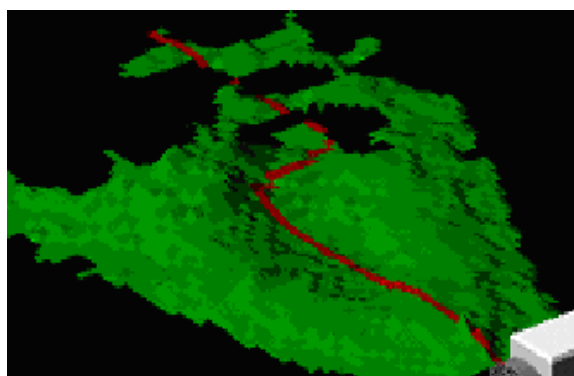
ной ошибки определения текущего положения составит 5 см по линейным координатам и 2° по курсу, что позволяет сделать вывод о возможности использования рассмотренного метода не только для навигационного обеспечения автономного полета, но и для объемного дальнометрического картографирования окружающего пространства [10]. Последнее обстоятельство существенно повышает живучесть БПЛА, вследствие возможности построения объединенной объемной модели с размерами на порядок больше размеров зоны одного обзора, что обеспечивает автономный выход (“вылет”) из тупиков и лабиринтов соответствующего размера.

Вследствие увеличения навигационной ошибки пропорционально дальности полета, дальность полета ограничена заданной точностью позиционирования в целевой точке. Однако для полетов с возвратом в точку старта по той же траектории в обратной последовательности, дальность ограничена только энергетическим ресурсом, так как при возврате определение текущего положения можно выполнять не по предыдущему изображению, а по ближайшему в данный момент времени “старому” изображению, полученному еще при удалении от точки старта. При этом по мере приближения к точке старта при возврате, навигационная ошибка будет пропорционально уменьшаться. Очевидно, что для этого необходимо хранить в памяти системы управления некоторые изображения с координатами их получения и использовать их по мере необходимости, как опорные [9].

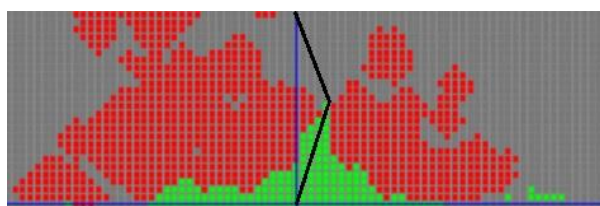
Планирование маршрута движения. Методы и алгоритмы решения задач планирования траекторий движения, как наземного РТК, так и БПЛА, при известной геометрии окружающего пространства известны [1, 8, 11], поэтому остановимся только на особенностях построения траекторий движения РТК с ВПСТЗ на базе БПЛА. Традиционно траектория наземного РТК строится в два этапа: сначала находится глобальная траектория по картографическим данным, которая затем в процессе движения периодически уточняется по данным бортовой СТЗ [1]. Такому подходу свойственны противоречия и недостатки, обусловленные существенным отличием масштабов представления информации на этих двух этапах [3]. Использование ВПСТЗ на базе БПЛА, предоставляющей промежуточную по масштабу представления информацию, позволяет с одной стороны оперативно уточнять картографические данные, а с другой – на порядок расширить зону обзора бортовой СТЗ и планировать с учетом этой информации, как на первом, так и на втором этапах, наиболее оптимальные траектории, что повышает живучесть РТК и эффективность его использования при решении всех целевых задач. При наличии ВПСТЗ на базе БПЛА возможен вариант трехэтапного планирования траекторий движения РТК (рис. 9) с использованием картографических данных (глобальная траектория), данных с ВПСТЗ на базе БПЛА (тактическая траектория) и данных бортовой СТЗ РТК (локальная траектория). Здесь тактическая траектория, построенная по данным с ВПСТЗ на базе БПЛА, представляет собой скрытую траекторию, проходящую по складкам местности. Целевой точкой на глобальном уровне планирования будет конечная точка маршрутного задания, целевыми точками на тактическом уровне планирования будут последовательность точек, принадлежащих глобальной траектории, а целевыми точками на локальном уровне планирования будут последовательности точек, принадлежащие траекториям, построенным на тактическом уровне планирования.



а) Глобальная траектория, построенная по картографическим данным



б) Тактическая траектория с учетом складок местности, построенная по данным ВПСТЗ



в) Локальная траектория, построенная по данным бортовой СТЗ РТК

Рис. 9. Трехэтапное планирование траекторий движения РТК

Заключение. Использование ВПСТЗ существенно расширяет функциональные возможности РТК, в частности, позволяя реализовать целевые задачи наведения (прицеливания) по объектам, находящимся вне поля зрения РТК. Также, в случае ненадежной работы спутниковой навигации, ВПСТЗ может использоваться для решения задач визуальной навигации (по наземным ориентирам).

Выполняя функции ретранслятора радиосигналов, ВПСТЗ может обеспечить реализацию сетевых методов группового управления РТК.

Формируемые бортовой СТЗ РТК или ВПСТЗ 3D-модели могут быть использованы не только для обеспечения автономного движения наземного РТК или автономного полета без привязного БПЛА, но и (при существовании канала связи) для визуализации для оператора окружающего объект управления пространства. При этом может быть использован метод проекции лучей из пары соответствующих точек для генерирования стереопары изображений пространства. При наличии соответствующего оборудования визуализации, у оператора будет создаваться ощущение присутствия, что позволит существенно повысить эффективность дистанционного режима управления. Также возможно визуализировать виртуальное перемещение в пространстве перед непосредственным движением наземного РТК или БПЛА путем генерации по сформированной ранее 3D-модели соответствующих точкам перемещения изображений внешней среды (рис. 6,б). Кроме того, наличие синхронной видеосъемки позволяет с помощью имеющегося уже в настоящее время прикладного программного обеспечения [8] построить объемные визуально-подобные модели разведанного пространства и обеспечить тем самым создание базовых элементов единого информационного поля для оперативного и эффективного планирования боевых или обеспечивающих операций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Носков В.П., Рубцов И.В. Опыт решения задачи автономного управления движением мобильных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 21-24.
2. Лапинов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В., Рудянов Н.А., Рябов А.В., Хрущев В.С. Бой в городе. Боевые и обеспечивающие роботы в условиях урбанизированной территории // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 3 (116). – С. 142-146.
3. Аникин В.А., Ким Н.В., Носков В.П., Рубцов И.В. Мобильный робототехнический комплекс с системой технического зрения на базе БПЛА // Вопросы оборонной техники. – 2010. – Сер. 9. – Вып. № 1(242)–2(243). – С. 40-46.
4. Аникин В.А., Бодунков Н.Е., Ким Н.В., Носков В.П., Рубцов И.В. Облик выносной системы технического зрения на базе БПЛА для робототехнических мобильных наземных комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 3 (152). – С. 70-77.
5. Мубаракишин Р.В., Ким Н.В., Красильщиков М.Н., Саблин Ю.А., Шингирий И.П. Бортовые информационно-управляющие средства оснащения летательных аппаратов: Учебник / Под ред. Красильщикова М.Н. – М.: Изд-во МАИ, 2003. – 380 с.
6. Жуков Г.А. Основы теории воздушной стрельбы: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ. 2008. – 180 с.
7. Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В. и др. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Под ред. М.Н. Красильщикова, Себрякова Г.Г. – М.: Физматлит. 2009. – 556 с.
8. Загоруйко С.Н., Казьмин В.Н., Носков В.П. Навигация БПЛА и 3D-реконструкция внешней среды по данным бортовой СТЗ // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 8. – С. 62-67.
9. Носков В.П., Носков А.В. Навигация мобильных роботов по дальнометрическим изображениям // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 16-21.
10. Носков В.П., Рубцов И.В., Романов А.Ю. Формирование объединенной модели внешней среды на основе информации видеокамеры и дальнометра // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – № 8. – С. 2-5.
11. Каляев А.В., Носков В.П., Чернухин Ю.В., Каляев И.А. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. – М.: Наука, 1990. – 147 с.

REFERENCES

1. *Noskov V.P., Rubtsov I.V.* Opyt resheniya zadachi avtonomnogo upravleniya dvizheniem mobil'nykh robotov [The experience of solving the problem of the Autonomous motion control of mobile robots], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2005, No. 12, pp. 21-24.
2. *Lapshov V.S., Noskov V.P., Rubtsov I.V., Rudianov N.A., Ryabov A.V., Khrushchev V.S.* Boy v gorode. Boevye i obespechivayushchie roboty v usloviyakh urbanizirovannoy territorii [Fight in the city. Combat and providing robots in urban areas], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 3 (116), pp. 142-146.
3. *Anikin V.A., Kim N.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V.* Mobil'nyy robototekhnicheskiy kompleks s sistemoy tekhnicheskogo zreniya na baze BPLA [Mobile robot of the system of technical vision-based UAV], *Voprosy oboronnoy tekhniki* [Questions of defense technology], 2010, Ser. 9, Issue No. 1(242)–2(243), pp. 40-46.
4. *Anikin V.A., Bodunkov N.E., Kim N.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V.* Oblik vynosnoy sistemy tekhnicheskogo zreniya na baze BLA dlya robototekhnicheskikh mobil'nykh nazemnykh kompleksov [Appearance of the remote uav based technical vision system for landing mobile robotic complex], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 3 (152), pp. 70-77.
5. *Mubarakshin R.V., Kim N.V., Krasil'shchikov M.N., Sablin Yu.A., Shingiriy I.P.* Bortovye informatsionno-upravlyayushchie sredstva osnashcheniya letatel'nykh apparatov [On-Board information and control the means of equipping aircraft]: *Uchebnik, Pod red. Krasil'shchikova M.N.* [Textbook, Under the editorship krasil'shchikova M. N.]. Moscow: Izd-vo MAI, 2003, 380 p.
6. *Zhukov G.A.* Osnovy teorii vozduшной strel'by [Basic theory of air shooting]: *Uchebnoe posobie* [Textbook]. Moscow: Izd-vo MAI-PRINT. 2008, 180 p.
7. *Veremeenko K.K., Zheltov S.Yu., Kim N.V. i dr.* Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v zadachakh navigatsii i navedeniya bespilotnykh manevrennykh letatel'nykh apparatov [Modern information technologies in problems of navigation and guidance maneuverable unmanned aircraft], *Pod red. M.N. Krasil'shchikova, Sebr'yakova G.G.* [Edited by Krasil'shchikova M.N., Sebr'yakov G.G.]. Moscow: Fizmatlit. 2009, 556 p.
8. *Zagoruyko S.N., Kaz'min V.N., Noskov V.P.* Navigatsiya BPLA i 3D-rekonstruktsiya vneshney sredy po dannym bortovoy STZ [The UAV navigation and 3D reconstruction of the environment based on data from on-Board vision systems], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2014, No. 8, pp. 62-67.
9. *Noskov V.P., Noskov A.V.* Navigatsiya mobil'nykh robotov po dal'nometricheskim izobrazheniyam [Navigation of mobile robots on telemetric images], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2005, No. 12, pp. 16-21.
10. *Noskov V.P., Rubtsov I.V., Romanov A.Yu.* Formirovanie ob"edinennoy modeli vneshney sredy na osnove informatsii videokamery i dal'nometra [The formation of a unified model of the external environment on the basis of information of the camera and rangefinder], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2007, No. 8, pp. 2-5.
11. *Kalyaev A.V., Noskov V.P., Chernukhin Yu.V., Kalyaev I.A.* Odnorodnyye upravlyayushchie struktury adaptivnykh robotov [Homogeneous control structures adaptive robots]. Moscow: Nauka, 1990, 147 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Т. Калугин.

Аникин Виктор Андреевич – ОАО «Камов»; e-mail: v.anikin@kamov.ru; 140007, г. Люберцы, Московской области, ул. 8-го Марта, 8а; тел.: 84959944800 (д. 732); главный конструктор; д.т.н.

Ким Николай Владимирович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; e-mail: nkim2011@list.ru; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4; тел.: 84991584549; кафедра 704; к.т.н.; профессор.

Носков Владимир Петрович – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; 105005, г. Москва ул. 2-я Бауманская, 5; тел.: +79166766057; кафедра специальной робототехники и мехатроники; к.т.н.; доцент.

Рубцов Иван Васильевич – тел.: 84992636019; кафедра специальной робототехники и мехатроники; зав. кафедрой; к.т.н.

Anikin Viktor Andreevich – PLC «Kamov»; e-mail: v.anikin@kamov.ru; 8a, 8 Marta street, Ljubercy, Moskovskoj oblasti, 140007, Russia; phone: +74959944800 (д. 732); chief designer; dr. of eng. sc.

Kim Nikolaj Vladimirovich – Moscow Aviation Institute (National Research University); e-mail: nkim2011@list.ru; 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia; phone: +74991584549; division 704; cand. of eng. sc.; professor.

Noskov Vladimir Petrovich – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; 5, 2nd Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia; phone: +79166766057; the department of special robotics and mechatronics; cand. of eng. sc.; associate professor.

Rubtsov Ivan Vasil'evich – phone: +74992636019; the department of special robotics and mechatronics; chief of department; cand. of eng. sc.

УДК 582.87

Н.И. Сельвесюк, Ю.Г. Веселов, А.С. Островский

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСА ПОЛУЧЕНИЯ ВИДОВОЙ ИНФОРМАЦИИ*

Статья посвящена вопросам построения технического облика систем и комплексов получения видовой информации для решения типовых задач обнаружения и распознавания интересующих объектов в ходе дистанционного зондирования Земли. Предложенная модель основана на использовании математических моделей оптико-электронных систем, а также формул Живичина-Соколова и умножения вероятностей. Она позволяет осуществлять оценку вероятности распознавания интересующих объектов на изображениях цифровых оптико-электронных систем получения видовой информации видимого и инфракрасного диапазонов длин волн электромагнитного излучения. Использование модели предполагает выполнение ряда действий в следующей последовательности. На первом этапе проводится анализ значений параметров и характеристик оптико-электронной системы (или систем, работающих в составе комплекса, если проводится оценка возможностей комплекса получения видовой информации) и условий ее (их) применения. Далее проводится оценка линейного разрешения на местности по аэроснимку, полученному посредством применения интересующего средства с использованием специальных математических моделей оптико-электронных систем. Итоговым этапом является оценка показателя (показателей) результативности применения средств получения видовой информации. В качестве показателя результативности предлагается использовать вероятность распознавания объектов на изображении (в случае использования комплекса – вероятности распознавания объектов на изображениях каждой системы, входящей в состав комплекса). Вместе с тем, предложенная модель позволяет не только осуществлять прогнозирование возможностей средств получения видовой информации, но и оценивать оптимальные значения параметров и характеристик систем комплекса и условий применения по критерию максимального значения вероятности распознавания объектов по изображениям систем комплекса.

Оценка возможностей; средства получения видовой информации; оптико-электронные системы и комплексы; формула Живичина-Соколова; вероятность распознавания объекта на изображении; комплексирование систем; математические модели оптико-электронных систем.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-08-00640-а.