

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ИХ ГРУППОВОГО ПОЛЁТА

Васильев В.В., Джуган Р.В.*

Ключевые слова: отождествление, беспилотный летательный аппарат, дрон, групповое движение, траектория, контроль, пеленг, расстояние, теодолит, измерение.

Аннотация.

Цель работы: совершенствование автоматизированных оптико-электронных систем контроля группового движения беспилотных летательных аппаратов (дронов) правоохранных органов.

Метод: системный анализ измерительной обстановки и определения параметров траекторий движения дронов при их групповом полёте и метод наименьших квадратов для определения координат объектов наблюдения.

Результаты: приводится решение задачи отождествления дронов при их групповом полёте; определены условия, при которых обеспечивается однозначное определение параметров траектории движения каждого дрона из группы; в качестве критериев отождествления применяются минимальные суммы расстояний между пеленгами, измеренными теодолитами.

DOI: 10.21681/1994-1404-2021-2-40-47

Введение

Необходимость контроля группового движения беспилотных летательных аппаратов возникает в ряде ситуаций. Так, например, при массированном налёте группы беспилотных летательных аппаратов на охраняемые объекты и организации противодействия им [2, 9]; при испытании группового полёта ракет и снарядов [3, 15]; при мониторинге местности [4] группой беспилотных летательных аппаратов (дронов). Не всегда имеется возможность устанавливать на борту дрона аппаратуру потребителя космической навигационной системы или воспользоваться её данными. Для оценки параметров движения часто используются радиолокационные средства (РЛС) [8]. Однако сама по себе РЛС имеет низкую разрешающую способность, поэтому необходимо использовать комплекс РЛС. В этом случае, если каждый элемент объекта наблюдения не имеет существенных отличительных признаков в отражённых сигналах, то однозначно нельзя отнести измерения, полученные РЛС, к каждому конкретному элементу группы дронов [12].

Некоторые дроны имеют очень малую эффективную отражающую способность [11] и исключают возможность применения РЛС. Высокую точность определения координат и разрешающую способность достигают применением автоматизированных оптико-электронных систем (АОЭС) [7] контроля их группового полёта, включающих оптический комплекс, состоящий из нескольких теодолитов [3] (рис. 1). В оптическом диапазоне имеются большие возможности в идентификации объектов наблюдения. Однако при однотипных дронах идентификационные различия стираются.

Задача отождествления дронов

Для того чтобы определить параметры траектории движения дрона оптическими средствами, необходимо измерить как минимум двумя разнесёнными в пространстве теодолитами угловые координаты: азимут и угол места — пеленгов. По этим данным возможно осуществлять слежение, оценивание параметров траектории и прогнозирование движения дрона. Решение задачи оценивания параметров движения осуществляется с учётом того, что измерения угловых параметров пеленгов сопровождаются неизбежными

* **Васильев Владимир Владимирович**, доктор технических наук, профессор, профессор Военной академии имени Петра Великого, г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: vv-vasiliev@yandex.ru

Джуган Руслан Васильевич, соискатель ученой степени, заместитель директора научно-производственного испытательного центра «Арминт», г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: post@armint.ru



Рис. 1. Техническая структура мобильной АОЭС мониторинга

погрешностями, зависящими от точности оптических средств и условий их применения. Поэтому приходится говорить не о поиске точек пересечения пеленгов, в которых находятся координаты дрона, а о том положе-

нии, когда между пеленгами достигается минимальное расстояние [3]. Задача существенно усложняется, если одновременно в поле зрения теодолитов находятся несколько дронов (рис. 2).

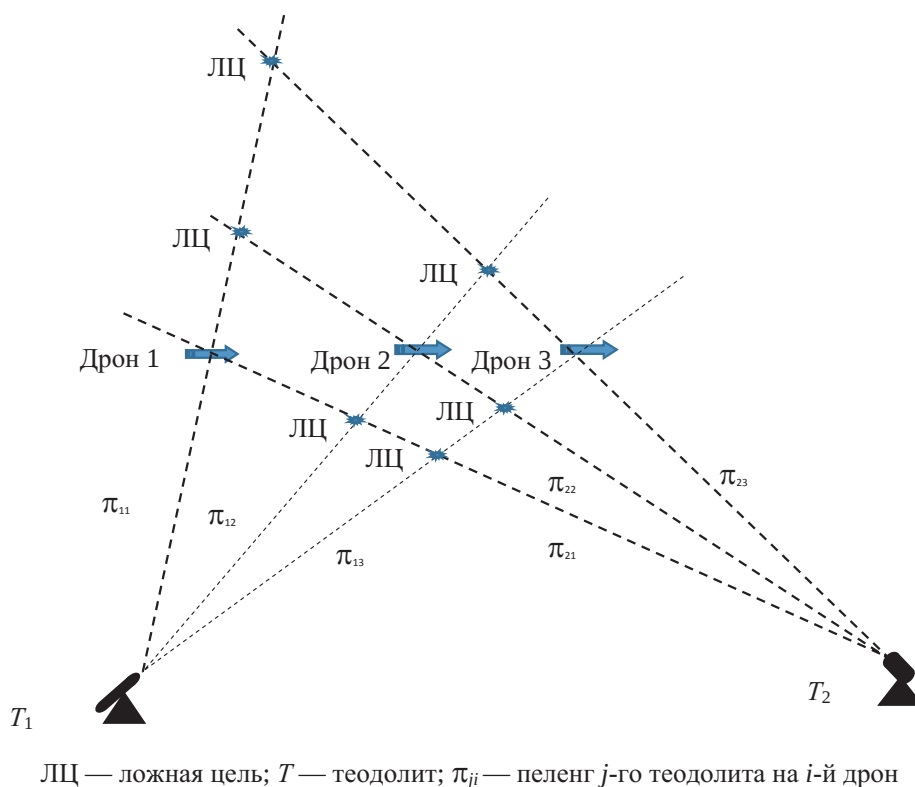


Рис. 2. Схема многократных пересечений пеленгов, приводящих к неоднозначному определению местоположения дронов в группе

Общее число таких пересечений или точек, где пеленги сближаются, равно $S = N^2 C_T^2$, где N — количество дронов, C_T — количество теодолитов, то есть возникает ряд дополнительных пересечений пеленгов, в которых отсутствуют наблюдаемые объекты. Так как однотипные дроны не обладают индивидуальными идентификационными признаками, то невозможно напрямую «привязать» полученные оценки координат к каждому конкретному дрону. В связи с этим могут определяться координаты ложных целей и пропуски истинных. При групповом полёте дронов возникает необходимость в применении таких математических приёмов, которые позволят отнести измерения теодолитов к одним и тем же дронам, т. е. возникает *задача отождествления* пеленгов дронов.

Задача отождествления объектов наблюдения при групповом полёте в реальном масштабе времени нетривиальна. Даже если измерения угловых параметров безошибочны, а несколько объектов наблюдения и теодолит находятся в одной плоскости (дроны летят на одной высоте параллельным курсом), то не имеет однозначного решения, так как число пересечений пеленгов больше, чем число наблюдаемых объектов. Наличие погрешностей измерений угловых координат затрудняет формирование признаков отождествления пеленгов даже при разноразмерном движении дронов. Анализ показал, что привлечение двух теодолитов не всегда даёт достоверные данные о местоположении дрона. Иногда из-за погрешностей измерения возникают ситуации, когда в ложных точках имеется меньшее расстояние между пеленгами, чем в истинных. Приходится привлекать к оценке три теодолита и более и выбирать те варианты, где одновременно пересекаются или наиболее близки три пеленга и более.

Для поиска пеленгов с минимальным расстоянием можно воспользоваться классическим решением¹. Анализ его показал низкую устойчивость решения при наличии погрешностей измерения. Применялись также косвенные критерии близости пеленгов, например, в [1], которые также не обладают должной устойчивостью.

Можно предложить несколько вариантов решения задачи, основанных на методе наименьших квадратов (МНК). В одном из вариантов решения задачи сначала по методу наименьших квадратов определяются координаты всех точек, в которых расстояния между измеренными тремя и более пеленгами минимально. Таких точек больше, чем число N дронов. Затем в каждой точке вычисляются расстояния между пеленгами и определяются суммы трёх и более расстояний между пеленгами. Из совокупности полученных сумм выбираются N наименьших сумм и вместе с этим N точек с искомыми координатами действительного положения дрона. Этот вариант обладает высокой *надёжностью* решения и *точностью* оценок координат, но требует перебора большого числа возможных решений.

В другом варианте в оценке координат действительных и ложных точек положения дрона могут участвовать два теодолита, а третий может привлекаться для выявления действительных решений. Число решений существенно меньше, что проще реализовать в реальном масштабе времени.

Формализованная постановка и решение задачи первого варианта

Пусть в контролируемом участке пространства оптический комплекс наблюдает N дронов. Оптический комплекс состоит из нескольких (не менее трёх) теодолитов, которые измеряют угловые параметры: азимут α_j и угол места β_j пеленгов i -го дрона:

$$\begin{aligned} \alpha_{ji} &= f_{\alpha ji}(X_i, Y_i, Z_i; X_j, Y_j, Z_j) + n_{\alpha ji}; \\ \beta_{ji} &= f_{\beta ji}(X_i, Y_i, Z_i; X_j, Y_j, Z_j) + n_{\beta ji}; \end{aligned} \quad , \quad (1)$$

$$j = 1, 2, 3; \quad i = 1, 2, 3 \dots N,$$

где X_i, Y_i, Z_i — искомые координаты i -го дрона; X_j, Y_j, Z_j — известные координаты j -го теодолита; α_{ji} и β_{ji} — азимут и угол места i -го дрона соответственно, измеренные j -м теодолитом ($j=1, 2, \dots$); $n_{\alpha ji}$ и $n_{\beta ji}$ — погрешности измерения угловых координат.

Каждая пара измерений $(\alpha_{ji} \text{ и } \beta_{ji})$ представляет собой пеленг π_{ji} .

Требуется все совокупности пеленгов $\Pi_1 = \{\pi_{1i}\}, \Pi_2 = \{\pi_{2i}\}, \Pi_3 = \{\pi_{3i}\}$ распределить по группам измерений, соответствующих одному и тому же дрону, т. е.:

$$\{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3\} \rightarrow \{(\pi_{11}, \pi_{21}, \pi_{31}), (\pi_{12}, \pi_{22}, \pi_{32}) \dots (\pi_{1N}, \pi_{2N}, \pi_{3N})\},$$

так, чтобы сумма расстояний $\sum r_i$ между пеленгами π_{1i} и π_{2i}, π_{1i} и π_{3i}, π_{2i} и π_{3i} была для N дронов наименьшей, чем для других сочетаний пеленгов. Это позволит однозначно определить искомые координаты каждого дрона.

Между пеленгами, измеренными тремя теодолитами π_{1i}, π_{2k} и π_{3m} , находится по МНК точка в пространстве $g_h = (X_h, Y_h, Z_h), h \in S$, в которой между этими пеленгами имеется минимальное расстояние. Координаты этой точки можно определить *стандартным* методом наименьших квадратов или *модифицированным* применительно к измерениям угловых координат методом [3]. В соответствии с ним вектор оценок координат находится следующим образом:

$$g_h^* = [(\Phi_\Sigma E_\Sigma)^T N^{-1} (\Phi_\Sigma E_\Sigma)]^{-1} \times (\Phi_\Sigma E_\Sigma)^T N^{-1} \Phi_\Sigma g_{0\Sigma}; h \in S \quad (2)$$

Форма записи соответствует типовой записи МНК, за исключением того факта, что в правой части вместо вектора измерений вводится обобщённый вектор заданных координат установки теодолитов

$$g_{0\Sigma}^T = \begin{vmatrix} X_{01} & Y_{01} & Z_{01} & X_{02} & Y_{02} \\ Z_{02} & X_{03} & Y_{03} & Z_{03} \end{vmatrix}. \quad (3)$$

¹ Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1970.

Остальные компоненты:

$$\Phi_{\Sigma} = \begin{bmatrix} \Phi_{\Pi}^1 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi_{\Pi}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \Phi_{\Pi}^3 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где Φ_{Σ} — обобщенная составная матрица; Φ_{Π}^i — матрица, проецирующая координаты дрона в систему координат фокальной плоскости объектива (ПЗС-матрицы²) j -го теодолита: $\Phi_{\Pi}^j = P[F_j \cdot \Pi_j]$;

F и Π — матрицы поворота оптической оси объектива относительно топоцентрической системы координат по углу места β и азимуту α соответственно:

$$F = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & \sin(\beta) & 0 \\ -\sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\Pi = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & 0 & \sin(\alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\alpha) & 0 & \cos(\alpha) \end{pmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \text{ — матрица проекции на плоскость,}$$

где $\mu = \frac{f}{Z}$ — масштабный коэффициент; f — фокусное расстояние объектива; Z — проекция объекта наблюдения на оптическую ось объектива (при произведении прямых и обратных матриц результирующее значение масштабного параметра равно единице);

$$E_{\Sigma} = \begin{bmatrix} E \\ \dots \\ E \end{bmatrix}; \quad (6)$$

где E — единичная матрица размера $[3 \times 3]$.

В результате решения получается совокупность точек $\{X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}\}$, в которых могут находиться как истинные дроны, так и «ложные цели». Для того чтобы определить «правильные» точки, необходимо рассчитать расстояние между пеленгами в этих точках и выбрать те N вариантов, которые имеют наименьшие суммы расстояний.

Расстояние между пеленгами находится следующим образом. Найденная по МНК точка g_h^* проецируется на соответствующие три пеленга $\pi_{1h}(\alpha_{1h}; \beta_{1h})$, $\pi_{2h}(\alpha_{2h}; \beta_{2h})$ и $\pi_{3h}(\alpha_{3h}; \beta_{3h})$. В результате находятся три точки на пеленгах $g_{\pi 1h} = (X_{1h}, Y_{1h}, Z_{1h})$, $g_{\pi 2h} = (X_{2h}, Y_{2h}, Z_{2h})$ и $g_{\pi 3h} = (X_{3h}, Y_{3h}, Z_{3h})$, затем вычисляются расстояния между ними $\rho(\pi_{1h}; \pi_{2h})$, $\rho(\pi_{1h}; \pi_{3h})$ и $\rho(\pi_{3h}; \pi_{2h})$.

Проекция точки g_h^* на пеленг π_{jh} находится с учётом разности $\Delta\alpha_{jh}$ и $\Delta\beta_{jh}$ между измеренными значениями угловых координат пеленга (α_{jh} ; β_{jh}) и расчётными угловыми координатами точки g_h^* .

Для этого находится расстояние точки g_h^* от начала координат j -го теодолита

$$R_{jh} = \sqrt{(g_h - g_{0j})^T (g_h - g_{0j})}, \quad (7)$$

затем находится расстояние проекции этой линии на пеленг:

$$R_{\pi jh} = R_{jh} \cos \Delta\beta_{jh} \cos \Delta\alpha_{jh} \quad (8)$$

и, наконец, определяются координаты точки на пеленге

$$g_{jh} = R_{\pi jh} \begin{bmatrix} \cos \alpha_{jh} \cos \beta_{jh} \\ \sin \beta_{jh} \\ \cos \alpha_{jh} \sin \beta_{jh} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Используя координаты точек для пересекающихся пеленгов, находится расстояние между пеленгами:

$$\rho(\pi_{1h}; \pi_{2h}) = \sqrt{(g_{1h} - g_{01} - g_{2h} + g_{02})^T} \times \times (g_{1h} - g_{01} - g_{2h} + g_{02}). \quad (10)$$

На основе полученных данных формируются показатели близости трёх пеленгов

$$\Sigma\rho_h = \rho(\pi_{1h}; \pi_{2h}) + \rho(\pi_{1h}; \pi_{3h}) + \rho(\pi_{3h}; \pi_{2h}); \quad h \in S. \quad (11)$$

Значения $\Sigma\rho_h$ ранжируются по величине, из этого ряда выбираются первые N наименьших значений и соответствующие им координаты дрона.

На рис. 3 приводится схема практического применения оптических средств для обнаружения, слежения и оценки координат группового полёта дронов.

Второй вариант решения задачи

При практическом решении задачи возникает потребность в минимизации числа теодолитных постов. Для оценки координат отдельно взятого дрона достаточно всего двух теодолитов. Но, к сожалению, не всегда измерения двух теодолитов позволяют отождествить дрон. Встречаются ситуации, когда использование двух теодолитов даёт ложные результаты. Можно предложить другой вариант решения задачи, организационно отличающийся от предыдущего.

В другом варианте в оценке координат действительных и ложных точек положения дрона участвуют два теодолита, а третий привлекается для выявления действительных решений.

На первом этапе последовательно для каждого наблюдаемого дрона находятся координаты возможного положения дрона в соответствии с (1) с учётом того, что входящие компоненты (2)...(6) описываются применительно к двум первым теодолитам. На первом цикле находятся N точек возможного положения дрона. На втором $N - 1$ и т. д.

На втором этапе по найденным координатам точек возможного местонахождения g_h^* определяются угло-

² ПЗС-матрицы (приборы с зарядовой связью) обеспечивают преобразование оптического изображения в аналоговый электрический сигнал.



Рис. 3. Автоматическое обнаружение, слежение и оценка координат группового полёта дронов на основе отождествления пеленгов

вые координаты α_{3i} , β_{3i} и расстояние R_{3i} этих точек относительно третьего теодолита:

$$\begin{aligned}\alpha_{3i} &= f_{\alpha_{3i}}(X_i, Y_i, Z_i; X_3, Y_3, Z_{i3}), \\ \beta_{3i} &= f_{\beta_{3i}}(X_i, Y_i, Z_i; X_3, Y_3, Z_{i3}), \\ R_{3i} &= \sqrt{(g_{ji}^* - g_3)^T ((g_{ji}^* - g_3))}.\end{aligned}\quad (12)$$

По этим данным находятся разности углов между оценками и измеренными значениями углов $\Delta\alpha_{3i}$ и $\Delta\beta_{3i}$ и невязки

$$\rho_{3i} = \sqrt{(R_{3i} \sin \Delta\alpha_{3i})^2 + (R_{3i} \sin \Delta\beta_{3i})^2} \quad (13)$$

Из совокупности точек местонахождения выбирается та i -я точка, для которой невязка наименьшая.

Выбор того или иного варианта решения задачи зависит от организации вычислительных процедур.

Следует заметить, что возможны различные типы группового полёта дронов: со стационарным положением дрона в группе и с переменным. При жёсткой *стационарной* структуре группы дронов достаточно в первые моменты наблюдения произвести отождествление и использовать сведения о координатах для прогнозирования местоположения дрона в группе. При свободном и *случайном* для наблюдателя перемещении дрона в группе возможны следующие подходы к решению задачи:

— осуществлять вычислительные процедуры отождествления при каждом такте совместной работы цифровых видеокамер теодолитов или каждом общем моменте измерения угловых координат теодолитами;

— наряду с отождествлением осуществлять автосопровождение каждого элемента группы в координатном пространстве.

Возможно решение, при котором организуется автосопровождение в поле цифровых данных об изображении³ [6] каждого элемента группы и отождествление осуществляется по мере необходимости. В любом случае к каждой точке пространства, в которой определены координаты дрона, необходимо присовокуплять идентификационный номер N (кодом), т. е. дрон представлять кортежем (X, Y, Z, N, p) , где X, Y, Z — координаты дрона; p — вероятность события или другое сведение.

Всю совокупность дронов в информационной среде можно представить в виде множества [10]:

$$\{(X_1, Y_1, Z_1, N_1, p_1); (X_2, Y_2, Z_2, N_2, p_2); \dots\} \quad (14)$$

и вычислительные процедуры прогноза движения дронов, их взаимодействия с другими объектами, в том числе и средствами их обезвреживания, осуществлять с учётом *базы данных и знаний* [5], созданной в информационной системе.

Однозначная оценка координат дронов позволяет надёжно привязывать информацию, получаемую от них, к точке визирования, что очень важно в пространственно-разнесённых информационных системах.

³ Цифровая обработка изображений в информационных системах / Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П. и др. : учеб. пособие. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. 352 с.

Если рассматривать дроны как объекты воздействия средств их поражения, то исключение «ложных целей» существенно повышает эффективность средств поражения. При испытаниях дронов с групповым полётом важно однозначно получать оценки параметров движения каждого из них. Для всех трёх случаев в основу решения задачи отождествления могут быть положены представленные выше модели решения.

Заключение

Таким образом, приведено обоснованное решение задачи определения параметров траекторий движения дронов при их групповом полёте. Определены условия, при которых обеспечивается однозначное определение параметров траектории движения каждого дрона из группы. В качестве кри-

териев отождествления применяются минимальные суммы расстояний между пеленгами, измеренными теодолитами.

Показано, что для оценки траектории движения одного летательного аппарата оптическими средствами достаточно комплекса из двух теодолитов, однако при наблюдении группы дронов появляются ситуации, при которых оцениваются координаты ложных целей. Для обеспечения надёжной оценки координат дронов, совершающих групповой полёт, необходимо применять комплекс, состоящий из трёх и более теодолитов, и использовать математические приёмы, исключающие ложные решения. Представленный математический аппарат позволяет исключать ложные цели и минимизировать количество теодолитов при определении траекторий групповых дронов.

Литература

1. Васильев В. В., Манин А. П., Поликарпов С. Н., Челахов Д. М. Оценивание координат групповой цели с использованием цифровых оптических пассивных локаторов // Тр. XVI Междунар. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь» (15 апреля 2010 г.) / Воронежский ГУ. Воронеж : ВГУ, 2010. С. 112—114.
2. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 2 (6). С. 62—70.
3. Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов / Под ред. А. П. Манина, В. В. Васильева. М. : Машиностроение-Полёт, 2016. 440 с.
4. Канушкин С. В. Синергетический подход в управлении группой беспилотных летательных аппаратов интеллектуальной системы охранного мониторинга // Правовая информатика. 2018. № 3. С. 25—37. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-3-25-37.
5. Ловцов Д. А. Архитектура базы данных и знаний подсистемы планирования и координации информационных процессов в иерархической эргасистеме // Правовая информатика. 2020. № 4. С. 4—19. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-04-19.
6. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов : монография. М. : Технолоджи-3000, 2019. 164 с. ISBN 978-5-94472-036-8.
7. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Эффективная автоматизированная оптико-электронная система аэрокосмического мониторинга // Правовая информатика. 2019. № 2. С. 29—35. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-29-35.
8. Ловцов Д. А., Черных А. М. Геоинформационные системы. М. : Росс. акад. правосудия, 2012. 188 с. ISBN 978-5-93916-340-8.
9. Макаренко С. И., Тимошенко А. В., Васильченко А. С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. С. 100—146.
10. Потюпкин А. Ю., Чечкин А. В. Искусственный интеллект на базе информационно-системной избыточности. М. : ИНФРА-М, 2019. 384 с.
11. Скотченко А. С. Метод расчета радиозаметности дистанционно пилотируемых аппаратов правоохранительных органов // Правовая информатика. 2020. № 4. С. 29—37. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-29-37.
12. Danyk, Y. G., Puleko I. V., Bougaiov V. Unmanned aerial vehicles detection based on analysis of acoustic and radar signals // J. Zhytomyr State Technol. Univ. Ser. 2014.
13. Michel A. H. Counter-drone systems. Center for the Study of the Drone at Bard College, 2018. 23 pp.
14. Sheu B. H., Chiu C. C., Lu W. T., Huang C. I., Chen W. P. Sheu B. H. et al. Development of UAV Tracing and Coordinate Detection Method Using a Dual-Axis Rotary Platform for an Anti-UAV System // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. № 13. P. 25—83.
15. Visser De E., Cohen M. S., LeGouillon M., Sert O., Freedy A., Freedy E., Weltman G., Parasuraman R. A. Design Methodology for Controlling, Monitoring, and Allocating Unmanned Vehicles // Third International Conference on Human Centered Processes "HCP-2008" (9-12 June 2008). Delft, Netherlands, 2008. P. 1—5.

Рецензент: **Цимбал Владимир Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры автоматизированных систем управления Филиала Военной академии имени Петра Великого, г. Серпухов, Российская Федерация.

E-mail: tsimbalva@mail.ru

IDENTIFICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE ELECTRONIC OPTICAL SYSTEM FOR MONITORING THEIR GROUP FLIGHT

Vladimir Vasil'ev, Ph.D. (Technology), Professor at the Peter the Great Military Academy, Moscow, Russian Federation.

E-mail: vv-vasiliev@yandex.ru

Ruslan Dzhugan, external Ph.D. student, Deputy Director of the Armint Research and Production Testing Centre, Moscow, Russian Federation.

E-mail: post@armint.ru

Keywords: identification, unmanned aerial vehicle (UAV), drone, group movement, trajectory, control, bearing, distance, theodolite, measurement.

Abstract.

Purpose of the paper: improving automated electronic optical systems for monitoring group flight of unmanned aerial vehicles (UAVs) of law enforcement bodies.

Methods used: system analysis of measuring environment and determining the parameters of the UAVs trajectories during their group flight and the least squares method for determining the coordinates of observed objects.

Results obtained: a solution for the problem of identifying UAVs during their group flight is presented; the conditions ensuring unambiguous determination of the parameters of the movement trajectory for each UAV of the group are identified; the minimum sums of distances between the bearings measured by theodolites are used as identification criteria.

References

1. Vasil'ev V. V., Manin A. P., Polikarpov S. N., Chelakhov D. M. Otsenivanie koordinat gruppovoi tseli s ispol'zovaniem tsifrovyykh opticheskikh passivnykh lokatorov. Tr. XVI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz" (15 aprelya 2010 g.), Voronezhskii GU. Voronezh : VGU, 2010, pp. 112-114.
2. Godunov A. I., Shishkov S. V., Iurkov N. K. Kompleks obnaruzheniya i bor'by s malogabaritnymi bespilotnymi letatel'nyimi apparatami. Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem, 2014, No. 2 (6), pp. 62-70.
3. Informatsionno-izmeritel'noe obespechenie naturnykh ispytaniy slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov. Pod red. A. P. Manina, V. V. Vasil'eva. M. : Mashinostroyeniye-Polet, 2016, 440 pp.
4. Kanushkin S. V. Sinergeticheskii podkhod v upravlenii gruppoy bespilotnykh letatel'nykh apparatov intellektual'noi sistemy okhrannogo monitoringa. Pravovaya informatika, 2018, No. 3, pp. 25-37. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-3-25-37.
5. Lovtsov D. A. Arkhitektura bazy dannykh i znaniy podsistemy planirovaniya i koordinatsii informatsionnykh protsessov v ierarhicheskoi ergasisteme. Pravovaya informatika, 2020, No. 4, pp. 4-19. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-04-19.
6. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Modelirovaniye optiko-elektronnykh sistem distantsionno pilotiruemykh apparatov : monografiya. M. : Tekhnologiya-3000, 2019, 164 pp. ISBN 978-5-94472-036-8.
7. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Effektivnaya avtomatizirovannaya optiko-elektronnaya sistema aerokosmicheskogo monitoringa. Pravovaya informatika, 2019, No. 2, pp. 29-35. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-29-35.
8. Lovtsov D. A., Chernykh A. M. Geoinformatsionnyye sistemy. M. : Ross. akad. pravosudiya, 2012, 188 pp. ISBN 978-5-93916-340-8.
9. Makarenko S. I., Timoshenko A. V., Vasil'chenko A. S. Analiz sredstv i sposobov protivodeystviya bespilotnym letatel'nyim apparatam. Chast' 1. Bespilotnyi letatel'nyi apparat kak ob'ekt obnaruzheniya i porazheniya. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti, 2020, pp. 100-146.
10. Potiupkin A. Iu., Chechkin A. V. Iskusstvennyi intellekt na baze informatsionno-sistemnoi izbytochnosti. M. : INFRA-M, 2019, 384 pp.

11. Skotchenko A. S. Metod rascheta radiozametnosti distantсионno pilotиruemykh apparatov pravookhranitel'nykh organov. Pravovaia informatika, 2020, No. 4, pp. 29-37. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-29-37 .
12. Danyk, Y. G., Puleko I. V., Bougaiov V. Unmanned aerial vehicles detection based on analysis of acoustic and radar signals. J. Zhytomyr State Technol. Univ. Ser, 2014.
13. Michel A. H. Counter-drone systems. Center for the Study of the Drone at Bard College, 2018, 23 pp.
14. Sheu B. H., Chiu C. C., Lu W. T., Huang C. I., Chen W. P. Sheu B. H. et al. Development of UAV Tracing and Coordinate Detection Method Using a Dual-Axis Rotary Platform for an Anti-UAV System. Applied Sciences, 2019, vol. 9, No. 13, pp. 25-83.
15. Visser De E., Cohen M. S., LeGoullon M., Sert O., Freedy A., Freedy E., Weltman G., Parasuraman R. A. Design Methodology for Controlling, Monitoring, and Allocating Unmanned Vehicles. Third International Conference on Human Centered Processes "HCP-2008" (9-12 June 2008), Delft, Netherlands, 2008, pp. 1-5.