

Манин А.П., Васильев В.В., Джуган Р.В, Челахов Д.М., Фокин А.И.

ЗАДАЧА ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) В ГРУППОВОМ ПОЛЁТЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ В ПРОСТРАНСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

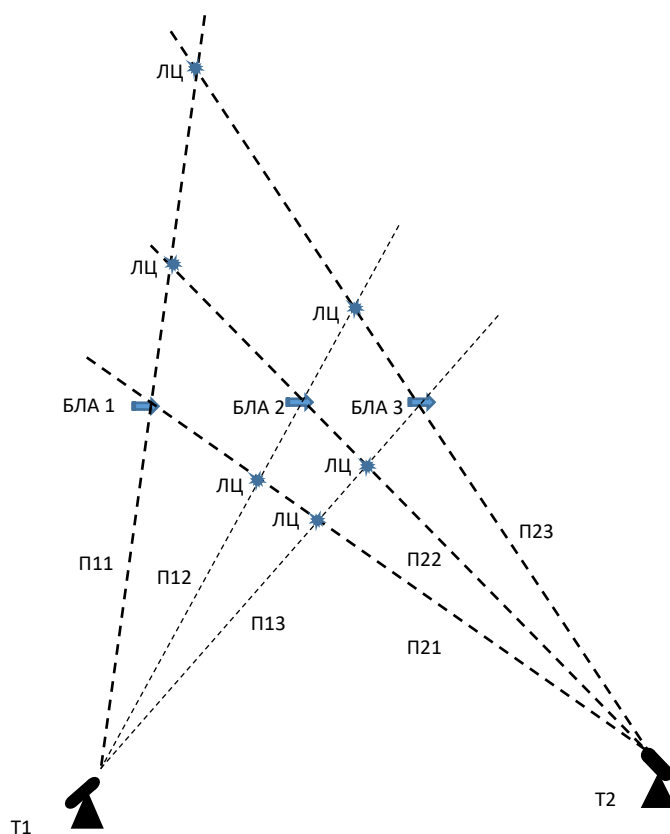
Приводится решение задачи отождествления БЛА при их групповом полёте. Определены условия, при которых обеспечивается однозначное определение параметров траектории движения каждого БЛА из группы. В качестве критериев отождествления применяются минимальные расстояния между пеленгами.

Введение

При наблюдении одного БЛА задача определения параметров траектории движения с помощью комплекса оптических средств решается следующим образом.

Каждым из двух (и более) теодолитов, входящих в комплекс оптических средств, измеряются угловые координаты (азимут и угол места) пеленга на объект наблюдения. В идеальном случае объект наблюдения находится в точке пересечения двух пеленгов. При погрешностях измерения угловых координат совокупность измерений двух (и более) теодолитов, привязанных к шкале единого времени, обрабатываются по методу наименьших квадратов (МНК), в результате чего измеренные значения угловых координат преобразуются в искомые оценки координат БЛА и скорости их изменения в избранной топоцентрической системе координат. По этим данным возможно осуществлять слежение и прогнозирование движения БЛА, что необходимо для принятия решения по их функционированию. Задача существенно усложняется, если одновременно в поле зрения теодолитов находятся несколько БЛА (Рис. 1). Так как однотипные БЛА не обладают индивидуальными идентификационными признаками, то невозможно напрямую «привязать» полученные измерения к каждому конкретному БЛА. В связи с этим могут определяться координаты ложных целей и пропуски истинных. При групповом полёте БЛА возникает необходимость в применении таких математических приёмов, которые позволят отнести измерения теодолитов к одним и тем же БЛА, т.е. возникает задача отождествления пеленгов БЛА. Решать задачу отождествления необходимо с учётом того, что измерения угловых параметров пеленгов сопровождаются неизбежными погрешностями, зависящими от точности оптических средств и условий их применения. Поэтому приходится говорить не о поиске точек пересечения пеленгов, а о том положении, когда между пеленгами достигается минимальное расстояние.

Задача отождествления объектов наблюдения при групповом полёте не тривиальна. Даже если измерения угловых параметров безошибочны, а несколько объектов наблюдения и теодолит находятся в одной плоскости (БЛА летят на одной высоте параллельным курсом), то не имеется однозначного решения, так как число пересечений пеленгов больше, чем число наблюдаемых объектов. Приходится привлекать к оценке три и более теодолитов и выбирать те варианты, где одновременно пересекаются три (и более) пеленга. Наличие погрешностей измерений угловых координат затрудняет формирование этих дополнительных признаков отождествления пеленгов.



БЛА – беспилотный ЛА

ЛЦ – ложная цель

Т – теодолит

П_{ji} – пеленг j-го теодолита на i-й БЛА

Рис 1. Схема многократных пересечений пеленгов, приводящий к неоднозначному определению местоположения БЛА

Для поиска пеленгов с минимальным расстоянием можно воспользоваться классическим решением [1]. Анализ его показал низкую устойчивость решения при наличии погрешностей измерения. Применялись также косвенные критерии близости пеленгов, например [2], которые так же не обладают должной устойчивостью.

В предлагаемом варианте решения задачи отождествления вначале по методу наименьших квадратов определяются координаты точек на пеленгах, в которых расстояние между пеленгами минимально, затем из множества точек выбираются те, в которых расстояние между точками или сумма расстояний между ними (при применении трёх и более теодолитов) минимальна.

Формализованная постановка задачи

Пусть в контролируемом участке пространства оптический комплекс (ОК) наблюдает $N_{\text{ла}}$ БЛА. Оптический комплекс состоит из нескольких, не менее двух, теодолитов, которые измеряют угловые параметры азимут α_j и угол места β_j пеленгов i-го БЛА

$$\begin{aligned}\alpha_{ji} &= f_{\alpha_j}(X_i, Y_i, Z_i) + n_{\alpha_{ji}}; \\ \beta_{ji} &= f_{\beta_j}(X_i, Y_i, Z_i) + n_{\beta_{ji}}; \\ j &= 1, 2, 3; \quad i = 1, 2 \dots N_{ла},\end{aligned}\tag{1}$$

где X_i, Y_i, Z_i – координаты i -го БЛА;

α_{ji} и β_{ji} – азимут и угол места i -го БЛА, измеренные j -м теодолитом ($j=1, 2, \dots$);

$n_{\alpha_{ji}}$ и $n_{\beta_{ji}}$ – погрешности измерения угловых координат.

Каждая пара измерений (α_{ji} и β_{ji}) представляет собой пеленг p_{ji} .

Рассмотрим для наглядности ситуацию, когда используются два теодолита.

Требуется все совокупности пеленгов $\Pi_1 = \{p_{1i}\}$ и $\Pi_2 = \{p_{2i}\}$ распределить по группам измерений, соответствующих одному и тому же БЛА, т. е.

$\{\Pi_1, \Pi_2\} \rightarrow \{(p_{11}, p_{21}), (p_{12}, p_{22}) \dots (p_{1N}, p_{2N})\}$, так, чтобы расстояния ρ_i между пеленгами p_{1i} и p_{2i} были минимальными.

Решение задачи

Между каждым пеленгом, измеренным одним теодолитом p_{1i} , и каждым пеленгом, измеренным вторым теодолитом p_{2j} , находится точка в пространстве $g_{ij} = (X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})$, 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 результате решения получается совокупность точек $\{X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}\}$, в которых могут находиться как истинные БЛА, так и ложные цели (Рис.1). Для того, чтобы определить «правильные» точки, необходимо рассчитать расстояние между пеленгами в этих точках и выбрать те N вариантов, которые имеют наименьшее расстояние. Иногда из-за погрешностей измерения возникают ситуации, когда в ложных точках имеется меньшее расстояние между пеленгами, чем в истинных. Тогда для повышения надёжности требуется привлечь третий теодолит и рассчитать сумму трёх взаимных расстояний между пеленгами.

Расстояние между пеленгами находится следующим образом. Найденная по МНК точка g_{ij} проецируется на соответствующие пеленги, находятся точки на одном и другом пеленгах $g_{p1ij} = (X_{1ij}, Y_{1ij}, Z_{1ij})$ и $g_{p2ij} = (X_{2ij}, Y_{2ij}, Z_{2ij})$ затем вычисляется расстояние $\rho(p_{1ij}, p_{2ij})$ между двумя точками.

Рассмотрим пример. В полёте находятся три БЛА ($N=3$) с координатами в относительной прямоугольной системе координат, соответственно $(X_1=7500 \text{ м}, Y_1=500 \text{ м}, Z_1=-10 \text{ м})$; $(X_2=7500 \text{ м}, Y_2=490 \text{ м}, Z_2=0 \text{ м})$ и $(X_3=7500 \text{ м}, Y_3=500 \text{ м}, Z_3=10 \text{ м})$. БЛА наблюдаются двумя теодолитами с координатами мест установки $(X_{T1}=0 \text{ м}, Y_{T1}=0 \text{ м}, Z_{T1}=-800 \text{ м})$ и $(X_{T2}=0 \text{ м}, Y_{T2}=0 \text{ м}, Z_{T2}=800 \text{ м})$. СКО погрешностей измерения углов $\sigma=50$ угл.сек. Для оценки координат БЛА требуется измерить его пеленг на каждом теодолите. Каждый теодолит измеряет три пеленга. Число возможных вариантов решения задачи определения координат равно девяти. Из них только три правильных.

Вычленим для наглядности ситуацию, когда на первом теодолите из всех наблюдаемых БЛА выделяется 2-й, а на другом теодолите рассматриваются все три БЛА. В этом случае будут оцениваться три расстояния между пеленгами. При приведенных исходных данных их значения таковы: $\rho(p_{12}, p_{21}) = 13,5 \text{ м}$; $\rho(p_{12}, p_{212}) = 3,6 \text{ м}$; $\rho(p_{112}, p_{213}) = 13,7 \text{ м}$. Действительно, минимальное значение расстояния ρ соответствует истинному положению БЛА.

Изменим положение БЛА1 и БЛА3: БЛА1 ($X_3=7500\text{м}$, $Y_3=500\text{м}$, $Z_3=-10\text{м}$); БЛА3($X_3=7500\text{ м}$, $Y_3=500\text{ м}$, $Z_3=10\text{ м}$). В этом случае значения расстояний таковы: $\rho_{(п12; п21)} = 3,62\text{ м}$; $\rho_{(п12; п212)} = 3,64\text{ м}$; $\rho_{(п112; п213)} = 3,67\text{ м}$. То есть пеленги с наименьшим значением расстояния соответствуют ложному пересечению.

Разрешить неопределённость можно, привлекая третий теодолит. Задача решается вышеизложенным способом. Находятся расстояния между пеленгами и определяется сумма расстояний между пеленгами. Для рассмотренного фрагмента значения этих сумм равны: $\Sigma_1 = \rho_{(п12; п21)} + \rho_{(п12; п22)} + \rho_{(п22; п31)} = 56,9$; $\Sigma_2 = \rho_{(п12; п21)} + \rho_{(п12; п22)} + \rho_{(п22; п32)} = 5,2$; $\Sigma_3 = \rho_{(п12; п21)} + \rho_{(п12; п22)} + \rho_{(п22; п33)} = 49,8$. Можно привести результаты и для других сочетаний. И только в одном сочетании с Σ_3 получается наименьшее значение суммы. Таким образом, привлекая третий теодолит, задача становится разрешимой. Координаты точки, в которой достигается минимум суммы расстояний между тремя пеленгами дают однозначную оценку местоположения БЛА.

Выводы

1. Для оценки траектории движения одного летательного аппарата оптическими средствами достаточно комплекса из двух теодолитов, однако при наблюдении группы БЛА появляются ситуации, при которых оцениваются координаты ложных целей. Для обеспечения надёжной оценки координат БЛА, совершающих групповой полёт, необходимо применять комплекс, состоящий из трёх и более теодолитов, и применить математические приёмы, исключающие ложные решения.

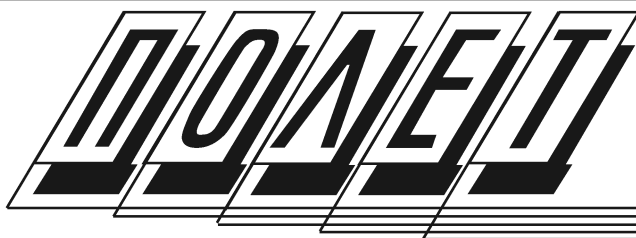
2. Представленный в статье математический аппарат позволяет исключать ложные цели и минимизировать количество теодолитов при определении траекторий групповых БЛА.

Литература

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

2. Васильев В.В., Манин А.П., Поликарпов С.Н., Челахов Д.М. Оценивание координат групповой цели с использованием цифровых оптических пассивных локаторов. XVI Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», г. Воронеж, 2010 г.

3. Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Джуган Р.В, Манин А.П. и др. Информационно-измерительное обеспечение натуральных испытаний сложных технических комплексов (под ред. Манина А.П. и Васильева В.В.). М. «Машиностроение-Полёт», 2016 г., 440 с.



АВИАЦИЯ ♦ РАКЕТНАЯ ТЕХНИКА ♦ КОСМОНАВТИКА

Орган Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского
и Академии наук авиации и воздухоплавания

Журнал выходит ежемесячно
Выпускается с августа 1998 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Н.Н. ДОЛЖЕНКОВ – главный редактор
(беспилотная авиация), доктор техн. наук

В.А. КОМАРОВ – главный редактор
(пилотируемая авиация), профессор,
доктор техн. наук

Члены
редакционной
коллегии

А.А. АЛЕКСАНДРОВ,
д.т.н., проф.

А.П. АЛЕКСАНДРОВ,
к.т.н., летчик-космонавт

Б.С. АЛЕШИН,
академик РАН

Б.В. БАЛЬМОНТ,
академик РАКЦ

М.В. ГОРДИН

В.Г. ДМИТРИЕВ,
чл.-кор. РАН

Б.И. КАТОРГИН,
академик РАН, проф.

А.А. ЛЕОНОВ,
к.т.н., летчик-космонавт

А.М. МАТВЕЕНКО,
академик РАН, проф.

С.В. МИХЕЕВ,
академик РАН

Н.Ф. МОИСЕЕВ, к.т.н.

М.А. ПОГОСЯН,
академик РАН, проф.

И.Б. ФЕДОРОВ,
академик РАН

Е.А. ФЕДОСОВ,
академик РАН, проф.

В.В. ХАРТОВ,
д.т.н., проф.

С.Л. ЧЕРНЫШЕВ,
академик РАН, проф.

Редактор-организатор
О.С. РОДЗЕВИЧ

Ответственный секретарь
О.Г. КРАСИЛЬНИКОВА

Спец. корреспондент
В.П. ЛОСИЦКИЙ

Редакционный совет

А.М. МАТВЕЕНКО,
председатель редсовета,
академик РАН, проф.

О.М. АЛИФАНОВ,
чл.-кор. РАН, проф.

И.В. БАРМИН,
чл.-кор. РАН, проф.

В.Е. БАРСУК, д.т.н.

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ,
д.т.н., проф.

О.Ф. ДЕМЧЕНКО, к.э.н.

С.Ю. ЖЕЛТОВ,
академик РАН

Л.М. ЗЕЛЕНЬКИЙ,
академик РАН, проф.

А.Н. КИРИЛИН, д.т.н.

А.А. КОРОТЕЕВ,
академик РАН

В.П. ЛОСИЦКИЙ, инж.

А.П. МАНИН, д.т.н.

М.Я. МАРОВ,
академик РАН

Е.А. МИКРИН,
академик РАН

К.М. ПИЧХАДЗЕ,
д.т.н., проф.

С.С. ПОЗДНЯКОВ, инж.

В.Г. СВЕТЛОВ, д.т.н.

А.Н. СЕРЬЕЗНОВ, д.т.н.

В.П. СОКОЛОВ,
д.т.н., проф.

В.А. СОЛОВЬЕВ,
чл.-кор. РАН, проф.,
летчик-космонавт

О.А. ТОЛПЕГИН, д.т.н.,
чл.-кор. РАН, проф.

В.В. ШАЛАЙ,
д.т.н., проф.

В.А. ШАТАЛОВ,
летчик-космонавт

Каплев С.А., Кременецкий Н.О., Игнатович Е.И., Болкунов А.И. Выбор структуры орбитальной группировки лунной навигационно-связной системы для различной кратности покрытия и этапов предоставления услуг..... 3

Детков А.Н., Трегубенков С.Ю. Радиолокационно-спутниковая система наведения ракет класса «воздух–поверхность» на наземные цели..... 20

Манин А.П., Васильев В.В., Джуган Р.В., Челахов Д.М., Фокин А.И. Задача отождествления беспилотных летательных аппаратов в групповом полете при определении траектории движения комплексом оптических средств.... 28

Ковалёв В.И., Абдикеев Н.М., Богачев Ю.С., Ерощкин С.Ю. Методика применения радиолокационных средств для измерения метеорологических параметров атмосферы в темное время суток 32

Богданов В.И., Мырнин В.А., Дормидонтов А.К. Предпосылки создания крыла с пульсирующим обтеканием для повышения его несущей способности 38

Матвеев Ю.А., Сысоев В.К., Феофанов А.С. Анализ областей применения луноходов для перспективных исследований 43

Цыганков О.С. Первый опыт сварки в космосе – зарождение космической технологии. К 50-летию космического эксперимента «Вулкан» 50

Хлебников А.А. М.Л. Миль – эпоха ренессанса отечественного вертолетостроения. К 110-летию со дня рождения ученого-конструктора М.Л. Миль 56

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней.

Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей. За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель. Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается. Аннотации статей журнала и требования к оформлению предоставляемых авторами рукописей приведены на сайте <http://ros-polet.ru>

Учредитель и издатель
ООО «Машиностроение–Полет»

© ООО «Машиностроение–Полет», 2019
© Авторы статей, 2019

Адрес редакции: 107076, РФ, г. Москва, Стромьинский пер., 4
Телефон: 8 (499) 269-54-97; +7-926-916-03-58
Адрес электронной почты: rospolet@mail.ru
Адрес в интернете: <http://ros-polet.ru>