

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

INNOVATIVE METHODS FOR DETERMINING THE SPACE-COORDINATES OF MOVING OBJECTS

Федорищенко К.С., Пономаренко А.В., Осипова Т.А., Дедус Ф.Ф.

Fedorishchenko K., Ponomarenko A., Osipova T., Dedus F.

Аннотация: Решение задачи по оперативному определению пространственных координат движущихся объектов является весьма актуальной на данном этапе развития современных технологий. Такими объектами могут быть летательные аппараты различного назначения, наземный и морской транспорт, пункты геодезической сети, потребители навигационной информации и т.п. Применение полученной информации весьма многогранно.

Annotation: The solution of the problem of the operational definition of the spatial coordinates of moving objects is very relevant at this stage of development of modern technologies. Such objects can be aircraft for various purposes, land and sea transport, points of the geodetic network, consumers of navigation information, etc. The application of the information received is very multifaceted.

Ключевые слова: Измерения пространственных координат объектов, внешнетраекторные инновационные измерения, новые методы обработки измерений параметров движения летательных аппаратов, положение объекта в криволинейной сферической системе координат, инновационные разработки.

Keywords: Measurements of the spatial coordinates of objects, external-innovative innovative measurements, new methods for processing measurements of the parameters of the motion of aircraft, the position of the object in a curvilinear spherical coordinate system, innovative developments.

Введение

Измерения пространственных координат объектов представляет собой в настоящее время актуальную научную задачу. Такими объектами могут быть летательные аппараты различного назначения, наземный и морской транспорт, пункты геодезической сети, потребители навигационной информации и т.п. Объекты могут быть как динамическими, так и статическими. Измерению подвергаются различные параметры положения и движения — координаты центра масс, их отклонения от номинальных величин, поступательные и вращательные скорости и ускорения как самого объекта и его отдельных элементов, величины, характеризующие угловое положение объекта в различных системах координат. Измерения могут производиться приборами, уставленными как на самом объекте, так и вне его. В первом случае говорят о телеметрических измерениях, а во втором — о внешнетраекторных. Внешнетраекторные измерения выполняются приборным комплексом, расположенным, как правило, на земной поверхности и состоящим из сово-

купности нескольких измерительных пунктов (ИП) с необходимым приборным оборудованием[3].

Основная часть

Получаемая информация в дальнейшем используется для описания движения таких объектов в виде математических моделей, позволяющих моделировать их поведение уже без натуральных экспериментов, всегда предполагающих определенные материальные затраты. Методы обработки измерений параметров движения летательных аппаратов подробно изучены и классифицированы, но в каждом отдельном случае они должны быть увязаны с конкретным измерительным комплексом, используемым при производстве измерений. Помимо выполнения самих измерений в процессе натуральных испытаний исследователями решается задача обработки результатов измерений, оценка их точности, а также задача их планирования, исходя из параметров имеющихся измерительных средств, их количества и целей эксперимента. Эти задачи имеют самостоятельное научное значение. Основными измеряемыми

ми параметрами являются угловые величины и дальности, характеризующие положение объекта в криволинейной сферической системе координат. Чаще всего такими параметрами являются: дирекционный угол α или азимут A , угол места ϵ и дальность ρ . При необходимости они впоследствии пересчитываются в прямоугольные декартовы координаты $(X_G; h_G; Y_G)$.

В настоящее время разработаны следующие методы определения координат объекта:

- по измеренным углам. Такие методы называются пеленгационными или методами триангуляции;
- по измеренным дальностям. Такие методы называются трилатерационными;
- по измеренным углам и дальностям. Такие методы называются полигонометрическими.

Точность получаемой информации зависит от технических характеристик измерительной аппаратуры, особенно от точности измерения угловых величин и расстояний, количества используемых измерительных средств, их размещения на местности, а также от

порядка производства и обработки результатов измерений.

Повышение точности измерений может производиться по всем указанным направлениям. Первые два направления предполагают улучшение технических характеристик приборного комплекса или их количества, что всегда связано со значительными материальными и временными затратами. Последние два пути позволяют повышать точность измерений без дополнительных материальных затрат, что всегда является более предпочтительным[2].

Инновационным путем решения поставленной задачи является определение оптимального размещения измерительных пунктов на местности с целью засечки объекта измерений в некоторой наперед заданной области D , в которой, к примеру, происходит разделение объекта на составные части, необходимо выбрать расположение подвижных измерительных пунктов

так, чтобы точность получаемых координат точки разделения была бы максимальной.

Данная задача в различных вариациях достаточно часто встречается в различных областях полигонной практики, но до настоящего времени обоснованного решения не имеет. В настоящее время данная задача решается исходя из аналогий, опыта проведения подобных измерений в прошлом, а также здравого смысла и расчетов испытателя. При этом количество используемых измерительных пунктов может быть различным, а некоторые из них могут быть стационарными[4].

При организации процесса поиска оптимального расположения измерительных пунктов методом покоординатного спуска примем следующие допущения. Начальные положения измерительных пунктов в пределах заданного района расположения будем задавать случайным образом.

За начальный шаг изменения каждого аргумента примем величину $h_{x\text{нач}} = h_{y\text{нач}} = 2^{10} = 1024$ м.

Изменение шага в случае отсутствия лучшего решения на концах «креста» будем производить уменьшением текущий величины шага в два раза.

Процесс окончания поиска минимума целевой функции будем заканчивать, когда шаг изменения аргументов станет менее $h_{\text{кон}} = 2$ м.

По окончании расчётов для фиксирования взаимного положения двух измерительных пунктов будем определять два угла засечки из определяемой точки O и её эпицентра Θ на два измерительных пункта, которые обозначим γ_0 и γ_3 соответственно.

Расчёт углов засечки целесообразно производить по зависимостям, вытекающих из определения скалярного произведения векторов $O \text{ ИП}_1$ и $O \text{ ИП}_2$, а также $\Theta \text{ ИП}_1$ и $\Theta \text{ ИП}_2$. Т.к. по определению скалярного произведения векторов

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = x_a x_b + y_a y_b + z_a z_b = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cos(\vec{a} \wedge \vec{b})$$

то конечные формульные зависимости в условиях решаемой задачи имеют вид

$$\gamma_0 = \arccos \frac{(X_o - X_{\epsilon 1})(X_o - X_{\epsilon 2}) + (h_o - h_{\epsilon 1})(h_o - h_{\epsilon 2}) + (Y_o - Y_{\epsilon 1})(Y_o - Y_{\epsilon 2})}{\sqrt{(X_o - X_{\epsilon 1})^2 + (h_o - h_{\epsilon 1})^2 + (Y_o - Y_{\epsilon 1})^2} \sqrt{(X_o - X_{\epsilon 2})^2 + (h_o - h_{\epsilon 2})^2 + (Y_o - Y_{\epsilon 2})^2}}$$

$$\gamma_3 = \arccos \frac{(X_y - X_{\epsilon 1})(X_y - X_{\epsilon 2}) + (h_y - h_{\epsilon 1})(h_y - h_{\epsilon 2}) + (Y_y - Y_{\epsilon 1})(Y_y - Y_{\epsilon 2})}{\sqrt{(X_y - X_{\epsilon 1})^2 + (h_y - h_{\epsilon 1})^2 + (Y_y - Y_{\epsilon 1})^2} \sqrt{(X_y - X_{\epsilon 2})^2 + (h_y - h_{\epsilon 2})^2 + (Y_y - Y_{\epsilon 2})^2}}$$

Заключение

Анализ результатов решения задачи оптимизации позволяет сделать следующий вывод. Измерительные пункты необходимо размещать строго на окружности безопасности так, чтобы угол засечки из эпицентра объекта был бы прямым и принципиального значения не имеет. Точность средневзвешенных координат объекта при этом уменьшается на один, два порядка! Это

позволяет обоснованно размещать измерительные пункты на местности и значительно уменьшить ошибки измерений. При этом заявленный результат достигается без каких-либо дополнительных материальных, финансовых, людских, временных и прочих затрат[7].

Направлениями совершенствования описанного метода могут быть:

- определение точности положения исследуемого объекта при

производстве измерений с трёх и более измерительных пунктов;

- решение задачи позиционирования с ограничениями на взаимное положение измерительных пунктов;

- решение задачи позиционирования с ограничением на положение отдельно взятого измерительного пункта обусловленное, например, особенностями рельефа местности;

- решение задачи позицио-

нирования с требованием стационарности одного или нескольких пунктов;

- определение точности положения исследуемого объекта и решение задачи позиционирования при производстве измерений другими методами.

Литература

1. Алмазов В.Б. Методы пассивной радиолокации / В. Б. Алмазов. — Издательство Военной инженерной радиотехнической академии отечественной войны имени противоздушной обороны имени маршала Советского союза Говорова Л. А., 2014. 85 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений./ перевод с англ. под ред. Чочиа П. А. М.: Техносфера, 2015.
3. Смирнов А. В. Конспект лекций «Видео и оптикоэлектронные средства РЭБ», РГРТУ, Рязань, 2014
4. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех /Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос. М.: Радио и связь, 2015. 416 с.
5. Ширяев А. Н. Вероятностно-статистические методы в теории принятия решений / А. Н. Ширяев. М.: ФМОП, МЦНМО, 2016. — 144 с.
6. Быстров Р.П., Загорин Г. К., Соколов А. В., Федорова Л. В. Пассивная радиолокация: методы обнаружения объектов / Монография. Под ред. Р. П. Быстров, А. В. Соколов М.: Радотехника, 2016. — 320 с.
7. Травин Г. А., Горюнов В. В., Суровцев В. И., Перепелкин И. Н. Пеленгование и распознавание сложных дискретно-кодированных (шумоподобных) сигналов малозаметных РЛС на основе применения компьютерных технологий // Научные ведомости БелГУ: компьютерное моделирование — Б.: Белгородский государственный университет, 2014 г. N013(132)2012. Выпуск 23/1 — с. 123–127.