

УДК 621.396.966

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ПОИСКА НАДВОДНОГО ОБЪЕКТА ПО ДАННЫМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ

А. П. Шепета,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Выводятся аналитические соотношения, позволяющие рассчитывать зону поиска движущегося объекта, «накрывающую» объект с заданной вероятностью, по данным предварительного целеуказания координат объекта на поверхности.

Ключевые слова — зона поиска, вероятность накрытия, закон распределения.

Пусть на плоскости XOY обнаружен объект, координаты которого (X, Y) вводятся в бортовую систему автономного управления (САУ) летательного аппарата (ЛА). Летательный аппарат начинает полет к обнаруженному объекту, при этом координаты объекта (дальность) относительно ЛА рассчитываются в САУ. При достижении ЛА через время полета t расчетной точки, определяемой возможностями бортовой радиолокационной системы ЛА, на дальности L включается радиолокационный обзор зоны, в которой происходит поиск объекта. Координаты центра зоны поиска объекта на плоскости относительно системы координат XOY , связанной с ЛА, положим равными $(X = L, Y = 0)$, а размеры зоны по дальности и по азимуту обозначим через $\Delta L, \Delta \alpha$ соответственно. Найдем размеры зоны поиска, «накрывающей» объект с заданной вероятностью $P_{\text{накр}}$.

За время t обнаруженный объект движется в неизвестном направлении φ со скоростью V . Начальные координаты объекта (X, Y) определяются с некоторой случайной ошибкой, при расчете координат объекта в течение времени полета t также происходит накопление ошибки, обусловленной особенностями САУ. Поэтому к моменту начала поиска координаты объекта на плоскости XOY относительно ЛА, вычисленные в САУ, являются случайными величинами. Будем считать, что к моменту поиска начальное положение объекта (X_0, Y_0) на плоскости XOY определяется двумерным нормальным законом распределения

$$f_0(X_0, Y_0) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(X_0 - L)^2}{\sigma_x^2} - \frac{Y_0^2}{\sigma_y^2}\right), \quad (1)$$

где σ_x^2 и σ_y^2 — дисперсии ошибок координат объекта в зоне поиска. Ошибки обусловлены ошибками первоначального определения координат объекта, ошибками ввода координат в систему САУ и ошибками системы САУ [1], определяющей координаты объекта в течение времени полета ЛА до расчетной точки включения активного поиска объекта в зоне $(\Delta L, \Delta \alpha)$.

К моменту включения режима поиска, через время t , положение объекта на плоскости XOY из-за движения объекта будет отличаться от рассчитанного. Обозначим координаты объекта к моменту t через X_t, Y_t . Тогда при движении объекта с постоянной скоростью V в направлении φ условная плотность распределения координат объекта на плоскости XOY определяется из выражения (1) в виде [2]

$$f_t(X_t, Y_t / V, \varphi) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \times \exp\left(-\frac{(X_0 - L - Vt \cos \varphi)^2}{\sigma_x^2} - \frac{(Y_0 - Vt \sin \varphi)^2}{\sigma_y^2}\right). \quad (2)$$

Размеры зоны поиска будут максимальны, если в качестве скорости V взять максимальную скорость V_{max} , а φ считать случайной величиной, равномерно распределенной в интервале $(-\pi, \pi)$. В этом случае, усредняя выражение (1) по φ и подставляя $V = V_{\text{max}}$ (усредняя по V , плотность рас-

пределения которой считаем дельта-функцией), получим

$$f_t(X_t, Y_t) = \frac{1}{4\pi^2 \sigma_x \sigma_y} \int_{-\pi}^{+\pi} \times \exp\left[-\frac{(X_0 - L - V_{\max} t \cos \varphi)^2}{\sigma_x^2} - \frac{(Y_0 - V_{\max} t \sin \varphi)^2}{\sigma_y^2}\right] d\varphi. \quad (3)$$

Выражение (3) и является искомым для расчета размеров зоны поиска (ΔL , $\Delta \alpha$) по дальности и по азимуту соответственно.

Рассмотрим частный случай выражения (3), а именно, положим $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$. В этом случае интеграл в выражении (3) может быть вычислен в явном виде

$$f_t(X_t, Y_t) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \times \exp\left[-\frac{(X_t - L)^2 + Y_t^2 + (V_{\max} t)^2}{\sigma^2}\right] \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \times \exp\left[-\frac{V_{\max} t \sqrt{(X_t - L)^2 + Y_t^2}}{\sigma^2} \cos\left(\varphi - \arctg \frac{Y_t}{X_t - L}\right)\right] d\varphi = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(X_t - L)^2 + Y_t^2 + (V_{\max} t)^2}{\sigma^2}\right] \times I_0\left(\frac{V_{\max} t \sqrt{(X_t - L)^2 + Y_t^2}}{\sigma^2}\right), \quad (4)$$

где $I_0(\cdot)$ — функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента. Для рассматриваемого частного случая $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ выражение (4) совпадает с аналогичным выражением, полученным другим способом [3].

Зона поиска объекта с помощью радиолокационных средств задается в полярных координатах (ρ_t, α_t) , где ρ_t — дальность до объекта; α_t — азимут, $\alpha_t = 0$ вдоль оси (OX). Перейдем в выражении (4) к полярным координатам:

$$\begin{cases} \rho_t = \sqrt{X_t^2 + Y_t^2}, \\ \alpha_t = \arctg \frac{Y_t}{X_t}, \end{cases} \begin{cases} X_t = \rho_t \cos \alpha_t, \\ Y_t = \rho_t \sin \alpha_t, \end{cases} \quad (5)$$

поэтому

$$f_t(\rho_t, \alpha_t) = f_t(X_t, Y_t) \begin{vmatrix} \frac{\partial X_t}{\partial \rho_t} & \frac{\partial Y_t}{\partial \rho_t} \\ \frac{\partial X_t}{\partial \alpha_t} & \frac{\partial Y_t}{\partial \alpha_t} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Подставляя в (6) значения декартовых координат из (5), получаем выражение

$$f_t(\rho_t, \alpha_t) = \frac{\rho_t}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{\rho_t^2 - 2\rho_t L \cos \alpha_t + L^2 + (V_{\max} t)^2}{2\sigma^2}\right] \times I_0\left(\frac{V_{\max} t \sqrt{\rho_t^2 - 2\rho_t L \cos \alpha_t + L^2}}{\sigma^2}\right), \quad (7)$$

которое и является исходным для расчета зоны поиска, «накрывающей» объект с заданной вероятностью $P_{\text{накр}}$, а именно, ΔL и $\Delta \alpha$ должны удовлетворять соотношению

$$P_{\text{накр}} = 2 \int_{L - \frac{\Delta L}{2}}^{L + \frac{\Delta L}{2}} \int_0^{\Delta \alpha / 2} f_t(\rho_t, \alpha_t) d\rho_t d\alpha_t. \quad (8)$$

Выражение (8) определяет размеры зоны поиска неоднозначно: существует множество пар $(\Delta L, \Delta \alpha)$, которые удовлетворяют (8). Поэтому на размеры зоны в полярных координатах можно наложить дополнительные условия. Например, фиксирование числа каналов обнаружения по дальности ограничивает выбор ΔL , а фиксирование времени поиска (при сканировании зоны поиска радиолокационным лучом) ограничивает $\Delta \alpha$.

Выражение (4) получено при условии, что зона поиска $(\Delta L, \Delta \alpha)$ имеет максимальные размеры, что эквивалентно заданию плотности распределения случайных величин (V, φ) в виде

$$f(V, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \delta(V - V_{\max}), \quad (9)$$

т. е. в виде произведения равномерно распределенной в интервале $(-\pi, \pi)$ величины φ и детерминированной величины V , плотность распределения которой считаем дельта-функцией. Можно задать другие условия относительно априорной информации о движении объекта обнаружения, что выразится в ином функциональном виде плотности распределения $f(V, \varphi)$, по которой необходимо усреднить выражение (2). При этом выражения (5), (6) и окончательное выражение (8) остаются в неизменном виде.

Литература

1. Коржавин Г. А., Подоплекин Ю. Ф., Шаров С. Н. Особенности радиолокационного обнаружения, селекции и классификации морских целей // Изв. РАН. 2006. Вып. 50. С. 81–86.
2. Ким Д. П. Методы поиска и преследования подвижных объектов. — М.: Наука, 1989. — 336 с.
3. Шепета А. П., Финоженко Г. Н. Определение зоны поиска при движении объекта. Комплексные радиоэлектронные системы управления // Межвуз. сб. ЛЭТИ / Под. ред. В. И. Бесекерского. Л., 1977. С. 119–121.

СОХРАНЯЯ И ПРИУМНОЖАЯ ТРАДИЦИИ

История факультета интеллектуальных систем управления и нанотехнологий Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП, в прошлом ЛИАП) берет свое начало с 1962 г., когда факультет авиационных приборов и электрооборудования Ленинградского института авиационного приборостроения был разделен на два факультета — приборов и автоматики летательных аппаратов и электрооборудования летательных аппаратов. Название и состав кафедр менялся в соответствии с развитием перспективных направлений науки и техники и потребностями промышленности, которые были всегда приоритетными для факультета в плане подготовки инженерных кадров и специалистов высшей квалификации.

Первым деканом факультета (1962–1973) был *Г. И. Дорофеев*, затем этот пост занимали *В. Ф. Шукалов*, *И. А. Огурк*, *В. В. Хрущев*, *Б. С. Петровский*, *Н. А. Шехунова*. С 2006 г. и по настоящее время факультет возглавляет *Л. И. Чубраева*.

Годы с 1962-го по 80-е можно охарактеризовать как период становления факультета, органически связанный с развитием профилирующих кафедр, с формированием научных школ, взрастивших плеяду ученых мирового уровня, с большим вкладом в развитие отечественной промышленности; расширения и углубления связей вуза с исследовательскими, проектными и производственными предприятиями страны.

История кафедр, составивших основу факультета и определивших его развитие, непосредственно связана с историей самого университета, образованного в 1941 г.

Кафедра электропривода летательных аппаратов

Первым заведующим кафедрой был *Б. А. Ягунов*, затем *И. А. Верebrюсов*, *И. А. Огурк*, *О. С. Попов*, *А. С. Коновалов*. С 2011 г. кафедрой заведует *В. Ф. Шишлаков*.

В 1965 г. кафедра была переименована в кафедру электрооборудования летательных аппаратов. Наряду с традиционными курсами по электроприводу, системам электроснабжения летательных аппаратов, полупроводниковым приборам усилительных и преобразовательных устройств начали преподаваться такие дисциплины, как «Цифровые системы управления», «Теория адаптивного управления», «Оптимальные самонастраивающиеся системы», «Автоматизация проектирования систем автоматического управления». Тем самым была заложена база для развития на кафедре новых направлений науки и техники.

В 1969 г. на кафедре была организована отраслевая лаборатория, где проводились исследования по созданию оптимальных самонастраивающихся САУ тормозными системами воздушных судов. Разработанные в этой лаборатории системы торможения применяются как штатные на самолетах ИЛ-86, ИЛ-96, ТУ-204, АН-124.

Велась большая научная работа по разработке учебно-исследовательской САПР нелинейных САУ, которая успешно завершилась созданием такой САПР и подсистемы промышленной САПР САУ.

С 1981 г. стали развиваться новые научные направления. В частности, решались задачи адаптивного, а затем интеллектуального управления сложными технологическими объектами. Результаты исследований были использованы при управлении автономными и буксируемыми подводными аппаратами, предназначенными для изучения шельфа.

Развитие новых направлений в научных исследованиях и в учебном процессе привело к тому, что прежнее название перестало соответствовать профилю кафедры, и она была переименована в кафедру управления и информатики в технических системах.

В период 1998–2011 гг. получили развитие научные связи кафедры с Российской академией наук, в частности, с Институтом проблем машиноведения РАН. Сотрудники кафедры работали над масштабным проектом разработки системы управления большим радиотелескопом РТ-70. В последние годы тематика научных исследований связана с приложениями систем искусственного интеллекта в задачах управления.



■ Сотрудники кафедры управления и информатики в технических системах

На кафедре развиваются идеи искусственного интеллекта, нейросетевого и нечеткого управления применительно к техническим системам.

Кафедра электрических машин

Образование кафедры относится к 1946 г. Создатель кафедры *Д. А. Завалишин* был основоположником школы электромашинно-вентильных преобразователей энергии.

Учебно-научная деятельность кафедры была тесно связана с производством, что явилось залогом внедрения многих разработок. С 1946-го по 1952 г. на кафедре работал *И. А. Глебов*, впоследствии лауреат многих Государственных премий, действительный член АН СССР. Он занимался исследованием синхронного генератора с ионным преобразователем в цепи возбуждения. Данная работа была началом нового научного направления в отечественном и мировом энергомашиностроении по разработке высокоэффективных вентильных систем возбуждения турбо- и гидрогенераторов и завершилась практически разработками на предприятиях электромашиностроения.

С приходом на кафедру в 1961 г. *В. В. Хрущева* появилось новое научное направление по разработке информационных микромашин для авиационных систем автоматики. Были выполнены основополагающие работы по теории, расчету и проектированию микроэлектромашин для систем автоматики. *В. В. Хрущев* (заведующий кафедрой с 1972 г.) считается основателем научно-педагогической школы в области малых электрических машин, главные направления которой: повышение точности информационных электрических машин, создание прецизионных аналоговых и цифроаналоговых преобразователей, разработка исполнительных бесконтактных электродвигателей с электронными коммутаторами (вентильных электродвигателей), создание САПР электрических машин малой мощности, применение микропроцессорных устройств для управления и улучшения характеристик малых электрических машин. Эти работы были отмечены Государственной премией СССР в области науки и техники.

На кафедре обучались и работали аспиранты целевой подготовки для вузов и НИИ других городов страны — Томска, Оренбурга, Воронежа, Севастополя, Симферополя, Еревана, Вильнюса.

Велась большая научно-исследовательская работа по договорам с ведущими отраслевыми предприятиями города: по созданию прецизионных электромашинных датчиков угла с погрешностью на уровне единиц угловых секунд, вращающихся трансформаторов при импульсном питании для индикаторов кругового обзора радиолокационных станций, вентильных двигателей по-

стоянного тока, асинхронных двигателей, тахогенераторов.

Заметной вехой в развитии кафедры стало открытие в 1974 г. технологической специализации в рамках специальности «Электрические машины». Подготовка студентов велась на базе Научно-исследовательского института специальных электрических машин (НИИСЭМ, ныне ВНИТИ «Электромашиностроение»). Такая форма обучения явилась ценным опытом при создании в дальнейшем базовых кафедр факультета на ряде предприятий города.

В 1982 г. на кафедре была открыта новая специальность «Робототехнические системы и комплексы», содержание которой отвечало новейшим тенденциям развития науки и техники. Для преподавания были приглашены специалисты по робототехнике, системам управления и микропроцессорной технике. Учитывая электромеханическую направленность в подготовке студентов, в 1985 г. кафедра была переименована в кафедру робототехнических и электромеханических систем.

Заслуживает внимания участие кафедры в эксперименте по целевой интенсивной подготовке студентов (ЦИПС). Благодаря такому участию кафедра получила опыт обучения студентов с ориентацией на конкретную отрасль и предприятие.

Высокий профессиональный уровень коллектива, высочайший уровень научных исследований, тесная связь с промышленностью и научными институтами, в том числе и со структурами РАН, сделали кафедру известной не только в России, но и за рубежом. С 1991 г. кафедрой заведовал *Г. В. Тазов*, а затем *А. В. Тимофеев*. В 2000 г. по решению ученого совета кафедра была переименована в кафедру информационных технологий в электромеханике, возглавила ее *Л. И. Чубраева*. В соответствии с новыми потребностями,



■ Сотрудники кафедры робототехнических и электромеханических систем

наряду с традиционными направлениями, кафедра занята научной деятельностью по созданию сверхпроводящих электрических машин, накопителей энергии, микро- и нанотехнологий.

Кафедра теоретических основ электротехники

Формирование кафедры связано с приходом в институт в 1947 г. замечательного педагога и талантливого ученого *М. И. Оранского*, ставшего первым ее заведующим. Его сменил *О. Б. Брон*, затем кафедрой руководил ученик *Д. А. Завалишина* *Б. В. Фролов*.

Ведущие ученые, заведя кафедрой (*Ю. А. Розовский*, *П. Ю. Каасик*, *А. К. Явленский*) на долгие годы определили самые разные направления научных исследований кафедры: в области низковольтного электроаппаратостроения, синтеза электрических машин и полупроводниковых преобразователей, определения диаграмм направленности антенных систем и идентификации электромагнитных полей, многокоординатного электропривода на базе индукторного электродвигателя с управлением от отечественной мини-ЭВМ «Электроника-60» для роботизированных систем; расчет параметров и характеристик шаровых гироскопов, электрических машин с цилиндрическим и сферическим ротором; создание безредукторного электродвигателя для симулятора системы ориентации и навигации космических аппаратов со скоростью вращения один оборот в сутки и высокой равномерностью углового перемещения вала; разработка диагностических моделей устройств силовой электроники и машинно-вентильных систем и систем контроля и диагностики электротехнического оборудования.

Созданы новые лабораторные работы по курсам линейных и нелинейных цепей, теории электромагнитного поля с элементами учебных исследований (УИРС) и внедрен фронтальный метод проведения работ.



■ Сотрудники кафедры электротехники и технической диагностики

В 2005 г. кафедра переименована в кафедру электротехники и технической диагностики, а заведующим назначен *А. А. Ефимов*.

Развитие факультета с начала 1980-х гг. по настоящее время

К началу 1980-х гг. кафедры факультета обладали серьезным научным потенциалом, развитой учебно-лабораторной и методической базой, сплоченным и квалифицированным кадровым составом. Это позволило факультету достаточно просто пройти период реорганизации, пришедшийся на середину 80-х гг.

В связи с развитием мировой и отечественной науки и техники и новыми потребностями отечественной промышленности происходит расширение номенклатуры специальностей факультета и модернизация традиционных направлений подготовки инженеров. В эти годы в состав факультета входит кафедра автоматизированных систем управления (АСУ), в связи с чем факультет меняет название на факультет систем управления и электрооборудования летательных аппаратов. В 1984 г. в институте была образована кафедра систем автоматизированного проектирования (САПР), которая в 1986 г. вошла в состав факультета авиационных приборов и автоматов. Несмотря на кратковременность работы в составе третьего факультета, кафедра САПР дала заметный импульс в развитии факультета, особенно в направлении систем управления робототехнических комплексов. Таким образом, на факультете была выстроена логическая последовательность в подготовке молодых специалистов: «АСУ промышленного предприятия — САПР — гибкая производственная система (ГПС)», — составляющая основу современного гибкого интегрированного производства.

В 2009 г. в состав факультета вошла кафедра микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения, история которой начинается в 1945 г.



■ Сотрудники кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

Первым заведующим кафедрой был назначен *П. И. Буловский*. Наряду с традиционным направлением научных исследований, связанных с технологией производства приборных комплексов, в 70–80-х гг. получили развитие такие направленные научные исследования, как автоматизированное проектирование технологической оснастки, разработка и эксплуатация гибких производственных комплексов и систем, неразрушающие методы и приборы контроля качества промышленной продукции.

Результаты научных исследований коллектива кафедры нашли широкое применение на предприятиях и в проектных организациях.

Тесное сотрудничество с ведущими технологическими предприятиями аэрокосмической отрасли позволило кафедре эффективно работать в области современного научного направления — исследования и разработки нанотехнологий. Кафедра является выпускающей по специальностям «Технология приборостроения (в аэрокосмическом приборостроении)» и «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств» и обеспечивает технологическую подготовку студентов всех технических специальностей университета. С 2008 г. кафедрой заведует *В. П. Ларин*.

В 2011 г. состоялся первый прием студентов для обучения на кафедре термоядерной и ядерной энергетики, образованной на факультете в 2007 г. Инновационный проект «Сверхпроводящие индуктивные накопители электромагнитной энергии», выполняемый с участием специалистов кафедры в 2008–2009 гг., отмечен Золотой медалью оргкомитета специализированной выставки.

Логическим продолжением в развитии факультета и его связей с промышленностью и ведущими научными институтами явилось создание базовых кафедр. Так, в 1997 г. в соответствии с договором о сотрудничестве между ГУАП и Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН) была организована базовая кафедра нейроинформатики и робототехники, что позволило использовать новые информационные технологии и научные достижения СПИИРАН в учебном процессе. Привлечение студентов и аспирантов ГУАП к научно-исследовательской работе по грантам и научным проектам СПИИРАН определяет высокий уровень подготовки выпускников, получающих в процессе обучения сочетание теоретических знаний с практическими навыками в решении актуальных технических задач и научных проблем.

В 2008 г. в ОАО «Силовые машины» была организована базовая кафедра диагностики электромеханотронных систем. Преподаватели читают курсы лекций по проблемным вопросам диагно-

стики и контроля качества электромеханических и электромеханотронных систем.

В 2012 г. открыта базовая кафедра наноматериалов в электромеханических и электротехнических системах в Институте химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН.

Создание в 2001 г. базовой кафедры технологий приборостроения явилось естественным продолжением сотрудничества кафедры технологии ГУАП и ЦНИИ «Авангард», начавшегося в 1960-х гг. В то время удалось создать своего рода полигон по подготовке инженеров, владеющих новыми технологиями изготовления микросхем и микросборок. В ОАО «Авангард» создан специализированный класс для занятий студентов; разработана образовательная система на базе двух колледжей, ГУАП и ОАО «Авангард», с согласованной трехсторонними договорами программой подготовки. В настоящее время главными направлениями работы базовой кафедры являются подготовка магистров, целевая подготовка кадров высшей квалификации, индивидуальная учебно-научная работа со студентами.

Помимо перечисленных, факультет в самых разных областях сотрудничал с ведущими организациями и предприятиями отрасли: ПО «Ленинец» ЦНИИ «Электроприбор», НПО «Прикладная механика», ОКБ «Кристалл», заводами «Машиноаппарат», «Пирометр», Вологодским подшипниковым заводом, ФГУП «ЦНИИСЭТ», ЗАО «Взлет», НПП «Дальняя связь», ОАО «Позитрон», «Информационные спутниковые системы», «Техприбор» и др.

Факультет интеллектуальных систем управления и нанотехнологий, имея пятидесятилетнюю историю, за годы своего существования подготовил тысячи инженеров и ученых, внес неосценимый вклад в развитие отечественной науки и промышленности. По инициативе выпускников факультета и под их руководством выполняются актуальные исследования и разработки технических систем и устройств с уникальными характеристиками. Сохраняя и приумножая традиции, заложенные его основателями, коллектив факультета достойно продолжает благородное дело воспитания молодого поколения технически грамотных, разносторонне образованных, владеющих современными методами научных исследований специалистов.

*М. А. Волохов — канд. техн. наук, доцент
кафедры информационных технологий
в электромеханике и робототехнике ГУАП*

*В. Д. Косулин — канд. техн. наук, доцент
кафедры электромеханики
и технической диагностики ГУАП*