

2. Impact of Artificial Intelligence in Mechanical Engineering: Shaping the Future of Innovation [Electronic resource] / MIT Academy of Engineering, USA, Texas 2024. – Mode of access: <https://mitaoe-ac-in.translate.google.com/blog/Impact-of-Artificial-Intelligence-in-Mechanical-Engineering.php>. – Data of access: 02.10.2024.

3. Как искусственный интеллект используется на производстве: [Электронный ресурс] Российская Федерация, 2024. – Режим доступа: <https://mosregco.ru/publication/kak-iskusstvennyy-intellekt-ispolzuetsya-na-proizvodstve>. – Дата доступа: 03.10.2024.

УДК 623.76

Возможные подходы к формированию траекторий воздушных объектов в тренажерных средствах многофункциональных РЛС

Казарин А. В., профессор кафедры тактики и вооружения ЗРВ
Военная академия Республики Беларусь
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация:

В статье рассматриваются особенности траекторий движения воздушных объектов, формируемых тренажерными средствами многофункциональных радиолокационных станций для обучения операторов.

Тренажерные средства (ТС) широко используются для подготовки операторов, а также оценки технического состояния современных радиолокационных станций (РЛС) различного назначения, в том числе и многофункциональных (МФ РЛС). Основные функции их операторов заключаются в обнаружении воздушных объектов (ВО), наведении следящих измерителей координат, а также применении средств поражения. Последняя функция, как правило, полностью формализована, в значительной степени автоматизирована и поэтому в дальнейшем не рассматривается. Она заключается в последовательном строго определенном воздействии на ряд органов управления и не требует не только творческого подхода, но и даже

существенного отклонения от установленной последовательности операций.

Поэтому основное внимание уделено особенностям формируемых траекторий и соответствию их характера требованиям обеспечения подготовки операторов при обнаружении ВО и наведении следящих измерителей координат. Одной из основных функций моделирующего устройства тренажерных средств является формирование координат и параметров движения воздушных объектов, максимально подобных реальным. Но это подобие не является принципиально необходимым на всех этапах подготовки и во всех режимах эксплуатации МФ РЛС.

В частности, для начальной подготовки и формирования основных навыков работы операторов целесообразно использовать простые прямолинейные траектории движения объектов локации. Такой подход соответствует общеизвестным принципам доступности последовательности обучения и обучения от простого к сложному. А при оценке технического состояния и настройке основных устройств РЛС такие траектории позволяют максимально упростить процессы обнаружения и наведения следящих измерителей координат, что снижает продолжительность и трудоемкость настройки. Основные особенности таких простых траекторий, которые в дальнейшем будут именоваться базовыми, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика базовых траекторий

Параметры	Особенности
Характер движения	Прямолинейное
Линейная и радиальная скорости	Постоянные
Время формирования	Обеспечивает выполнение всех измерений и настроек
Диапазон дальностей, высот и скоростей полета	В середине диапазона основных технических характеристик РЛС
Характер изменения координат	Линейный или близкий к линейному
Количество траекторий	Равно числу каналов следящих измерителей координат

При необходимости выполнения сложных и продолжительных этапов технического обслуживания моделирующие устройства

тренажерных средств могут формировать сигналы воздушных объектов с неизменяющимися координатами.

Для более качественной подготовки операторов к реальным условиям работы воздушная обстановка должна быть усложнена. Например, с целью совершенствования навыков обнаружения ВО и оценки воздушной обстановки целесообразно увеличить количество имитируемых траекторий, скорость и диапазон изменения их координат, а следовательно и сократить время нахождения в зоне работы РЛС. Последнее весьма актуально для РЛС с ограниченным сектором работы и с механическим управлением диаграммой направленности антенны.

Для совершенствования навыков селекции воздушных объектов быстрого и точного наведения следящих измерителей могут быть сформированы группы траекторий, не разрешаемых по ряду измеряемых координат. С целью формирования навыков распознавания типов ВО по траекторным признакам целесообразно формировать траектории подобные характеру движения реальных объектов того или иного типа. Перечень необходимых операторам навыков и особенностей траекторий, обеспечивающих их формирование, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень профессионально важных навыков операторов РЛС и особенностей траекторий для их формирования

Навыки	Особенности траекторий
1	2
Обнаружения ВО и наведения следящих измерителей	Нескольких траекторий одновременно входящих в сектор работы РЛС воздушных объектов
Определения типа ВО (распознавание)	Параметры траекторий подобны реальным воздушным объектам
Прогнозирования возможных действий ВО	Сочетание траекторий ударных и отвлекающих, либо ведущих разведку воздушных объектов
Управления положением сектора работы РЛС	Группировка траекторий в пространстве в соответствии с размерами рабочего сектора РЛС

Продолжение таблицы 2.

1	2
---	---

Выбора наиболее эффективных режимов работы РЛС	Изменение характера движения воздушных объектов после включения эффективного режима работы РЛС
Умения учитывать характер местности в зоне обнаружения	Формирование траекторий только при наличии прямой видимости

Следует отметить, что указанные в таблице, а также другие профессионально важные качества операторов РЛС могут быть сформированы путем использования и других, не рассмотренных здесь способов. Но целью данной статьи является рассмотрение именно особенностей траекторий, формируемых тренажерным средством для подготовки операторов. Очевидно, что процесс формирования траекторий в моделирующем устройстве ТС должен сопровождаться и генерацией соответствующих радио или видеосигналов, отображаемых на рабочих местах операторов. Эти процессы в статье также не рассматриваются. Далее траектории, особенности которых приведены в таблице 2, будут именоваться траекториями среднего уровня сложности.

Логично предположить, что при наивысшем уровне подготовки операторы МФ РЛС должны своевременно и правильно реагировать на возможные варианты противодействия противника работе систем обнаружения и поражения, уметь вести дуэль с воздушными объектами. Возможные варианты пассивного и активного противодействия работе МФ РЛС и управляемых ею средств поражения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Возможные варианты реакции воздушных объектов на работу систем обнаружения и поражения

Пассивные	Активные
1	2
Разворот и выход из зоны обнаружения или поражения	Постановка активных помех
Снижение для уменьшения дальности прямой видимости	Пикирование на РЛС

Продолжение таблицы 3.

1	2
---	---

Увеличение скорости для сокращения времени нахождения в зоне поражения	Пуск средств поражения РЛС
Маневр против управления (периодическое изменение направления движения)	Пуск средств поражения защищаемого объекта
Маневр против поражения (разворот с уменьшением высоты)	Пуск ложных целей

Траектории, реализующие приведенные варианты реакции воздушных объектов на работу средств обнаружения и поражения будут именоваться траекториями высокого уровня сложности. Таким образом, для всесторонней подготовки операторов, моделирующие устройства современных тренажерных средств в МФ РЛС должны формировать как простые базовые, так и траектории среднего, а также высокого уровня сложности.

Для решения задач борьбы с современными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), которые могут использоваться массово и двигаться не всегда предсказуемо [1, 2] формируемые траектории должны быть многочисленными и состоять из нескольких прямолинейных и криволинейных участков. Моменты изменения характера движения ВО должны определяться, во-первых, моментами изменения режимов работы РЛС, во-вторых, назначением и характеристиками БПЛА, и, в-третьих, характером окружающей местности. Начало и окончание формирования траекторий должно быть согласовано с возможной дальностью обнаружения, а также с дальностью прямой видимости. Методика расчета этих параметров известна [3], а для их выполнения необходимы цифровые карты местности.

Представляют интерес также способы математического описания криволинейных участков траекторий. В принципе для этого могут быть использованы многочисленные типы кривых второго и третьего порядка (окружности, эллипсы, спирали) [4 с.318–321, 719–720]. Но для сохранения подобия формируемых траекторий реальным следует учитывать имеющиеся ограничения. В частности, и пилотируемые и беспилотные летательные аппараты различных типов имеют

пределы высоты, скорости полета, а также располагаемых продольных и поперечных перегрузок. А связь между радиусом, разворота, линейной скоростью и поперечной перегрузкой наиболее просто описывается при движении по дуге окружности. При моделировании траекторий легких БПЛА, чувствительных к порывам ветра и ошибкам управления [1, 2], могут быть использованы генераторы случайных чисел. Но также при соблюдении отмеченных ограничений.

Поскольку характеристики БПЛА различных типов существенно отличаются и, кроме того, изменяются в процессе их модернизации, то целесообразно использовать моделирующее устройство тренажера с программируемой логикой. Это позволит корректировать параметры формируемых траекторий без изменения структуры и конструкции ТС, обеспечивая подготовку операторов МФ РЛС в изменяющихся условиях. Следует учесть, что емкость оперативной и постоянной памяти моделирующего устройства в ТС может быть ограничена. Поэтому разделение траекторий на группы создает условия для эффективного использования запоминающих устройств путем записи рабочих программ в отдельные быстро заменяемые блоки.

Рассмотренные принципы и особенности формирования траекторий воздушных объектов могут быть использованы и для подготовки операторов обзорных РЛС, применяемых, например, для управления воздушным движением. Это позволит сформировать у них навыки обнаружения БПЛА, создающих угрозы воздушным судам гражданского назначения, а также умения выбирать способы устранения этих угроз. Наличие таких навыков и умений весьма целесообразно при контроле воздушного пространства вблизи крупных аэропортов с интенсивным воздушным движением.

Список использованных источников

1. Мальков, А. В. Особенности боевого применения современных беспилотных летательных аппаратов / А. В. Мальков, В. Ю. Гумилев, А. В. Шудря // *Авиация и космонавтика вчера, сегодня, завтра*. Январь 2024. – С. 2–7.
2. Никольский, М. FPV – дроны. Реалии современной войны / М. Никольский // *Авиация и космонавтика вчера, сегодня, завтра*. Декабрь 2023. – С. 4–6.

3. Коростелев, А. А. Теоретические основы радиолокации / А. А. Коростелев, И. Ф. Ключев, Ю. А. Мельник; под ред. В. Е. Дулевича – 2-е изд. переработ. и доп. – М. : Сов. Радио, 1978. – 608 с.

4. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике. Для инженеров и учащихся ВТУЗОВ / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1980. – 976 с.

UDC 004.4

Inference of reversible decision diagrams for modelling adders

Prihozhy A. A.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract:

The quantum logical circuits are reversible since they are defined through using Boolean conjunction, exclusive-or and constants. We propose a technique of inferring ternary reversible decision diagrams at the aim of modelling and synthesis of quantum parallel many-bit adders.

The binary and ternary decision diagrams [1] are a means for modelling and synthesis of logical circuits. The theory of ternary diagrams is based on incompletely specified logical functions [2, 3]. The paper proposes a technique for inferring reversible ternary decision diagrams representing logical circuits of adders [4] for quantum implementation [5].

Let $x = (x_1, \dots, x_n)$ be a vector of n scalar Boolean variables. A scalar Boolean function $f(x)$ is a mapping $B^n \rightarrow B$, $B = \{0, 1\}$. Let a Boolean vector function $F(x) = (f_1, \dots, f_n): B^n \rightarrow B^n$ is given by vector $(x_1, \dots, x_{i-1}, f(x_1, \dots, x_n), x_{i+1}, \dots, x_n)$ of scalar functions $f_1 = x_1, \dots, f_{i-1} = x_{i-1}, f_i = f, f_{i+1} = x_{i+1}, \dots, f_n = x_n$. In $F(x)$, the number of components is the same as the number of primary variables in $f(x)$. The Boolean function $f(x_1, \dots, x_n)$ is n -reversible if there is an index $i \in \{1, \dots, n\}$ for which the vector function $F(x) = (x_1, \dots, x_{i-1}, f(x_1, \dots, x_n), x_{i+1}, \dots, x_n)$ is bijective. All logical quantum circuits are reversible in nature and are represented by reversible functions.

It is shown in previous works that the binary Boolean *exclusive-or* operation which is given by $f = x_1 \oplus x_2$ is 2-reversible. The binary Boolean