

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА ЭКИПАЖА ВОЗДУШНОГО СУДНА

Лебедев В.Г., Кулида Е.Л.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65*

lebedev@ipu.ru, elena-kulida@yandex.ru

Аннотация: Для эффективного управления воздушным судном (ВС) в сложных лётных ситуациях желательно сформировать рекомендации экипажу на основе использования технологий искусственного интеллекта и математического моделирования в рамках интеллектуального интерфейса. Особенности таких интерфейсов при решении некоторых важных задач на борту ВС посвящена работа.

Ключевые слова: ассистент экипажа, методы искусственного интеллекта, интеллектуальный интерфейс экипажа.

Введение

В составе пилотажно-навигационного оборудования современных ВС предусмотрены бортовые системы, предназначенные для контроля полета (ассистенты экипажа). В первую очередь к таким системам относятся: система предупреждения критических режимов, предупреждения о приближении земли, предупреждения столкновений самолетов в воздухе. Эти системы обрабатывают сигналы о параметрах движения ВС, контролируют основные параметры, влияющие на безопасность полета, формируют предупреждающие сигналы об опасном изменении параметров и вырабатывают рекомендации по безопасному управлению ВС в сложившейся ситуации. Наиболее актуальную информацию для экипажа желательно представлять в зависимости от решаемой задачи и лётной ситуации с учётом погодных условий, воздушного движения и опасностей, связанных с рельефом местности, через комплексную систему электронной индикации и сигнализации.

Благодаря развитию информационных технологий (методов искусственного интеллекта, методов интеграции данных из разных источников, методов интеллектуального анализа данных и др.), значительному увеличению быстродействия и объемов памяти компьютеров, а также повышению точности датчиков, современным интеллектуальным системам удается формировать решения, качество которых превышает качество решений принимаемых человеком, особенно когда человек находится в условиях информационной перегрузки, ограниченного времени и стресса.

В настоящее время в ведущих авиационных странах разрабатываются средства для обеспечения экипажа всеобъемлющей качественной информацией о погоде, воздушном движении и рельефе местности. В центре внимания находятся, в частности, основные причины летных происшествий во всем мире, а именно: потеря управления, столкновение с землей при управляемом полете, летные происшествия при заходе на посадку и посадке. Разрабатываются системы и функции для лучшей осведомленности экипажа о летной ситуации, о раннем предупреждении экипажа на основе улучшенного интерфейса "человек-машина".

Важная особенность при создании интеллектуального интерфейса экипажа (ИИЭ) заключается в том, что процесс анализа ситуации человеком и компьютером реализуется по-разному. Человек (экипаж) не использует в своих рассуждениях математического моделирования на основе точных количественных значений параметров, но интуитивно на основе имеющегося опыта может быстро и точно уловить смысл происходящего в текущий момент времени. В то же время именно различие способов обработки информации и является залогом того качественного скачка, который может произойти, если объединить достоинства обоих подходов.

ИИЭ должен обеспечить адаптивное к экипажу и решаемой задаче взаимодействие экипажа с системами-ассистентами экипажа, диалоги между экипажем и этими системами, представление информации в интегрированном исчерпывающем виде.

Основными целями создания ИИЭ являются уменьшение эмоциональной и сенсорной нагрузки на экипаж (пилота), а также создание человеко-машинного взаимодействия, похожего на коммуникацию человека с человеком.

Попытки создать интеллектуальный человеко-машинный интерфейс для экипажа ВС предпринимаются последние несколько лет, но практические результаты, полученные в этом направлении, не соответствуют ожиданиям и создание ИИЭ представляет собой сложную научно-техническую проблему, основанную на создании адаптивных интерфейсов, подходящих под различные типы ВС (адаптация к объекту), разнообразные стили и приёмы управления,

используемые экипажами (адаптация к конкретному пользователю или группе пользователей), разные задачи (адаптация к решаемой задаче).

1 Архитектура верхнего уровня интеллектуального интерфейса экипажа

Для решения задачи создания ИИЭ в [1] была предложена архитектура верхнего уровня ИИЭ, который состоит из следующих модулей: модуль интерпретации; конфигуратор (проектировщик планов); информационный менеджер; модуль адаптивной поддержки, монитор ошибок.

Модуль интерпретации оценивает текущее состояние внешней среды, техническое состояние ВС, состояние экипажа и воздушного движения для формирования обобщённой информации для конфигуратора.

Конфигуратор генерирует варианты действий (формирует план действий) для передачи этой информации экипажу через информационного менеджера. Например, автоматически генерируется бесконфликтная траектория в условиях высокогорья и плохой видимости.

Информационный менеджер управляет представлением упорядоченной информации в соответствующей форме, которая является наиболее актуальной для экипажа в текущий момент времени. Данный модуль принимает ряд решений: что отображать, какую информацию выделить, какие средства отображения использовать (аудио, видео), какие атрибуты (цвет, размер, интонация) наиболее предпочтительны и т.д.

Модуль адаптивной поддержки помогает экипажу в следующих ситуациях:

- экипаж не способен решать задачу самостоятельно (по различным причинам);
- экипаж совершает ошибку, которую сам не обнаруживает;
- угрожающая ситуация требует немедленной реакции.

Монитор ошибок определяет, имеют ли действия или бездействие экипажа серьёзные последствия в контексте существующей ситуации.

ИИЭ должен основываться на математических моделях объектов, устройств, внешней среды, решаемых задач и других.

ИИЭ должен повышать уровень ситуационной осведомлённости экипажа и упреждающей сигнальной информации по предупреждению экипажа о возможности достижения ВС опасных режимов полёта (предаварииную область), потери устойчивости и управляемости. Для достижения поставленных целей необходимо осуществить глубокий анализ текущей лётной ситуации и сгенерировать варианты действий экипажа в зависимости от решаемой задачи.

2 Анализ текущей лётной ситуации

2.1 Анализ состояния внешней среды

На ИИЭ может быть возложена задача анализа состояния внешней среды на основе данных аэронаблюдений. В связи с большим объёмом данных аэронаблюдений очевидна необходимость использования методов и моделей ИИ для обработки этой информации. В настоящее время получили развитие методы обучения для решения задач распознавания образов и анализа больших данных. В области обработки и анализа изображений используются глубокие конволюционные нейронные сети в сочетании с глубоким машинным обучением [2]. Нейросетевые алгоритмы на основе глубоких конволюционных нейронных сетей демонстрируют хорошие результаты и могут эффективно применяться в том числе и при решении задач комплексирования разномасштабных изображений, например, на основе генеративной состязательной нейронной сети. С помощью глубоких нейронных сетей на борту ВС могут решаться задачи распознавания образов: контроль газопроводов, линий электропередач и др. К задачам распознавания образов, решаемых системами технического зрения (СТЗ), может добавиться задача распознавания явлений, происходящих в пространстве.

Актуальной является также задача автономной навигации летательного аппарата по изображениям от СТЗ. При практической реализации данной задачи возникают различные трудности, связанные с зашумлением изображения из-за метеоусловий, погрешностями в юстировке датчиков СТЗ и т.д., что требует разработки алгоритмов, инвариантных к шумам и геометрическим искажениям. Одним из способов решения подобной проблемы является использование сверточной нейронной сети, позволяющей детектировать объекты даже при частичной зашумленности. Как показывают исследования, для распознавания характерных точек местности (эталонных ориентиров) использование сверточной нейронной сети является достаточно эффективным. Главной сложностью такого подхода является подбор эталонных ориентиров и сам процесс обучения нейронной сети для решения подобной задачи.

Поскольку возрастают требования к соблюдению расписания полетов, то полёт должен выполняться в большем диапазоне неблагоприятных погодных условий, что ведет к необходимости разработки соответствующих бортовых и наземных средств, в частности, соответствующего отображения информации для предотвращения критического состояния при столкновении с грозным фронтом.

2.2 Анализ состояния воздушного судна

Существенный интерес для поиска трудно формализуемых закономерностей в данных о состоянии агрегатов и узлов ВС представляет использование методов интеллектуального анализа данных. Существует большое количество современных методов интеллектуального анализа данных, имеющих потенциал для поиска и формализации закономерностей в данных в рамках решения задачи классификации технического состояния ВС. Наиболее известные из них: нейронные сети, деревья решений, метод рассуждения на основе аналогичных случаев, метод опорных векторов. Перечисленные методы и их всевозможные модификации отличаются между собой по принципу формирования конечного результата, но обладают общим свойством – используют информацию о ранее возникающих случаях (прецедентах) для поиска и формализации закономерностей.

В результате применения интеллектуального анализа данных, в частности нейронных сетей, для поиска закономерностей при диагностике агрегатов и проведённой классификации, можно сделать заключение о техническом состоянии ВС. Например, при диагностике электромеханического привода (ЭМП) ВС формируется расширенная база прецедентов, включающая прецеденты для решения задач классификации и прогнозирования различных видов деградации ЭМП на основе математической модели ЭМП, ресурсных стендовых испытаний и эксплуатации рулевых ЭМП при различных режимах функционирования и факторах внешнего воздействия [3]. На вход нейронной сети подаётся вектор значений контролируемых параметров, на выходе формируется оценка технического состояния ЭМП. Возможно также применение свёрточных нейронных сетей, что может позволить получить более высокую точность классификации.

Нейронные сети нередко целесообразно применять в интеграции с методами, позволяющими снизить размерность пространства признаков, чтобы избежать «проклятия размерности». Обычно при уменьшении размерности пространства признаков исходное множество признаков подвергается процедурам отбора признаков. Под отбором признаков понимается формирование подмножества значимых признаков для построения модели/алгоритма классификации. Применение «wrapper methods» [4] является наиболее универсальным подходом к отбору признаков. Данные методы обеспечивают оптимизацию подмножества параметров моделей/алгоритмов классификации на основе информации, полученной в результате итерационного выполнения полноценного поиска и формализации закономерностей с использованием методов интеллектуального анализа данных, в частности нейронных сетей. Главной особенностью «wrapper methods» является то, что на каждой итерации оптимизационного алгоритма создаются модели/алгоритмы, которые в дальнейшем могут непосредственно применяться для решения прикладной задачи. Для каждого подмножества признаков, сгенерированного «wrapper methods», выполняется обучение нейронной сети, строится дерево решений, растущая пирамидальная сеть и т.д. Общие алгоритмы оптимизации, применяющиеся для решения комбинаторных задач формирования оптимальных подмножеств на основе заданного исходного множества, являются основой для «wrapper methods». При создании «wrapper methods» применяются следующие алгоритмы оптимизации: генетические алгоритмы [5], метод рассеяния (scatter search) [6], метод роя частиц [7], метод отжига [8] и т.д.

2.3 Анализ состояния экипажа воздушного судна

Необходимо отслеживание психофизического состояния пилота и его действий с генерацией предупреждающих сигналов относительно выявленного состояния, характеризующих уровень реальных способностей человека решать задачи и управлять ВС.

Также ведутся разработки, так называемого, нейроинтерфейса – нового перспективного направления, при котором специальная гарнитура, замеряющая сигналы активности мозга человека, контролирует их и может вовремя отреагировать, например, на то, что пилот начал засыпать. Такой интерфейс может являться составной частью модуля контроля психофизического состояния человека. Модели машинного обучения могут быть обучены различать нормальные и ненормальные паттерны в отношении движений глаз пилотов, данных от других психофизиологических датчиков, таких как частота сердечных сокращений или кровяное давление, и оказывать помощь пилотам в аномальных ситуациях [9]. Проводятся исследования в оценке состояния человека по голосу для выделения трёх классов сообщений: стандарт, усталость, нервозность [10].

3 Методы автоматической генерации вариантов решений

Разработка бортовой системы ИИЭ должна опираться на область научных и прикладных исследований по созданию интеллектуальных систем, которые могут выбирать решения в условиях многокритериальности, неопределённости и риска. К таким исследованиям относятся искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, алгоритмы кластеризации, деревья принятия решений и другие подходы, которые могут быть применены (и уже применяются) для формирования безопасных траекторий движения ВС.

Важное место в исследованиях по генерации вариантов решений возникающих задач занимает прецедентный подход, являющийся, например, основой ряда методов для построения траекторий ВС, в которых используются знания об организации воздушного движения и правилах выполнения полетов, а также о ранее возникавших ситуациях или случаях (прецедентах). Для рассматриваемой задачи в качестве прецедента можно рассматривать любую траекторию полета, реализованную ранее, при тех же начальных условиях. Данный прецедент состоит из двух частей: начальных условий предшествующих формированию траектории и выбранной на их основе траектории. Первая часть прецедента используется для решения задачи классификации (распознавания образов), а вторая как предполагаемое решение. Используя известные начальные условия, требуется отнести сложившуюся ситуацию к заранее определенному классу и сопоставить ей траекторию полета.

Возможным подходом для генерации альтернатив траекторий ВС является решение задачи поэтапной оптимизации некоторых промежуточных целевых функций для достижения требуемого результата. Одним из методов решения подобных задач является метод динамического программирования, позволяющий путём поэтапной оптимизации получить результирующее оптимальное решение. Для решения задачи генерации траектории осуществляется переход от управления в непрерывном пространстве к управлению в дискретном пространстве, задаваемом в виде графа $G = (W, E)$ в пространстве поиска, при этом класс рассматриваемых траекторий сужается, т.е. ищется приближенное решение.

$$W = \{w_i = (x_i, y_i, z_i), i = \overline{0, M}\},$$

$$E = \{e_{ij}^k = ([w_i, w_j], v_k), w_i, w_j \in W, v_k \in V,$$

$$V = \{v_k, k = \overline{1, K}\} - \text{скорости на отрезках траекторий.}$$

Решение задачи представляется в виде кусочно-линейных вектор-функций

$$z = \{e_{i-1,i}^k \in E, i = \overline{1, N}\}.$$

Существенным требованием для применения такого подхода является требование аддитивности оптимизируемого функционала, т.е. значение функционала на всей траектории должно вычисляться как сумма значений на отрезках, из которых состоит траектория:

$$\mu(z) = (T(z), R(z)) = \left(\sum_{i=1}^N t(e_{i-1,i}^k), \sum_{i=1}^N R(e_{i-1,i}^k) \right),$$

$$t(e_{i-1,i}^k) = \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}{v_k},$$

$T(z)$ – время движения по траектории z , $R(z)$ – значение минимизируемого функционала для траектории z . Идея алгоритма заключается в построении конечного множества Парето оптимальных альтернатив $Z = \{z\}$, вычислении для них значений характеристик $M = \{\mu(z)\}$, и ранжировании альтернатив в соответствии с полученными значениями.

$$\mu_1 = \mu(z_1) = (T_1, R_1), \quad \mu_2 = \mu(z_2) = (T_2, R_2)$$

$$\mu_1 = \mu_2 \Leftrightarrow (T_1 = T_2) \& (R_1 = R_2)$$

$$\mu_1 < \mu_2 \Leftrightarrow ((T_1 \leq T_2) \& (R_1 < R_2)) \vee (T_1 < T_2) \& (R_1 \leq R_2))$$

При таком подходе будет выбран лучший вариант из рассмотренных, хотя абсолютный экстремум, возможно, достигнут не будет. Для получения более точного решения нужно увеличивать количество рассматриваемых альтернатив, с учетом имеющегося времени на принятие решения и мощности вычислительных ресурсов. Большое значение имеет выбор алгоритма оптимизации.

Если требование аддитивности не выполняется, при автоматической генерации вариантов решений возможно использование получивших значительное развитие в последнее время популяционных, в частности, генетических алгоритмов. Генетические алгоритмы применимы для решения более широкого круга задач, поскольку не накладывают существенных ограничений на оптимизируемый целевой функционал, в частности не требуется аддитивность критерия.

4 Обработка алгоритмов на стенде имитационного моделирования

Особенностью методов искусственного интеллекта является отсутствие точных математических доказательств их эффективности, однако эти методы позволяют в режиме реального времени получать не всегда оптимальные, но вполне приемлемые варианты решений. Важным инструментом отработки и исследования эффективности и быстродействия таких алгоритмов является имитационное моделирование.

На созданном имитационном стенде отрабатывались алгоритмы генерации траекторий предпосадочного маневрирования в районах со сложным рельефом местности на основе динамического программирования (рис. 1).

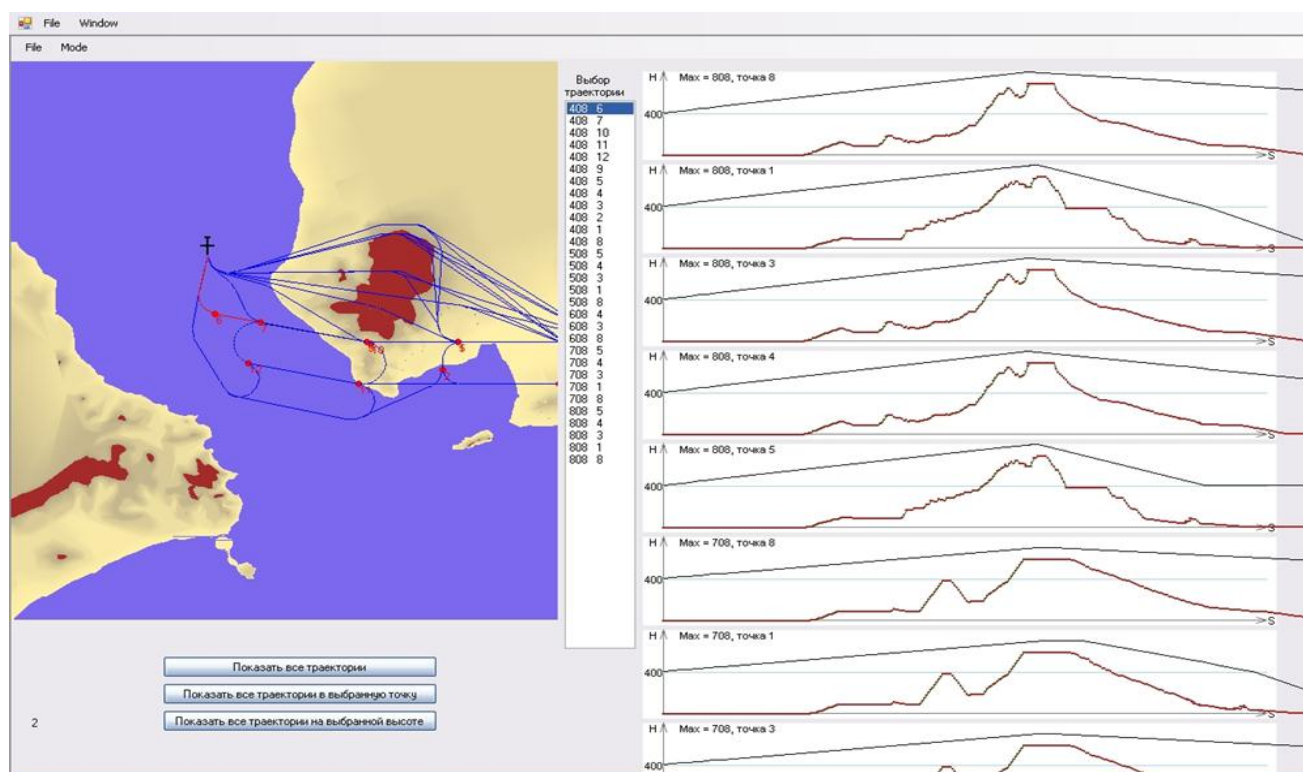


Рис. 1. Расчет траекторий облета препятствий рельефа перед заходом на посадку

Алгоритм предполагает генерацию набора траекторий с облетом препятствий на разной высоте [11]. Для оценки качества и выбора предпочтительной траектории применялись виртуальные полеты по сгенерированным траекториям с помощью бортовой математической модели самолета [12] (рис. 2).

Выбор наиболее предпочтительных из сгенерированных траекторий манёвра ВС осуществляется исходя из следующих критериев:

- нахождение в области режимов полёта (нормальная, эксплуатационная, предельная) и близость к границе области;
- близость к поверхности Земли или препятствиям;
- сложность траектории (количество и интенсивность управляющих воздействий, суммарная величина углов разворотов, требуемые углы крена);
- разность между скоростным режимом и конфигурацией самолета, необходимой для выполнения манёвра и реальной скоростью и конфигурацией самолета;
- необходимость полёта на малых скоростях с опасностью нарушения ограничений по скорости;
- степень изменения траектории исходного режима полёта и нарушение временного графика.

На рис. 3 представлено отображение рельефа местности, прогнозируемой (пунктирная линия) и рекомендуемой (сплошная линия) траекторий на экране перспективного навигационного дисплея.

На стенде обрабатывался также алгоритм генерации траекторий обхода подвижных препятствий, например, алгоритм генерации траектории облета зоны неблагоприятных погодных условий (рис. 4).

Для генерации траекторий заданной длины в условиях сложного рельефа местности был разработан генетический алгоритм [13] (рис. 5). Кроме того, генетический алгоритм применялся для решения задачи оптимизации последовательности и времен посадок ВС [14].



Рис.2. Структура бортовой математической модели самолета

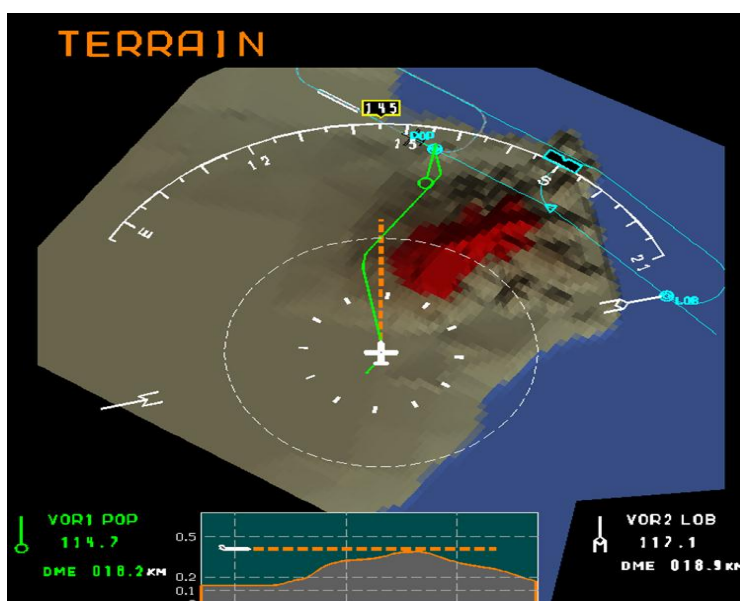


Рис. 3. Отображение рельефа местности, прогнозируемой и рекомендуемой траекторий на экране перспективного навигационного дисплея

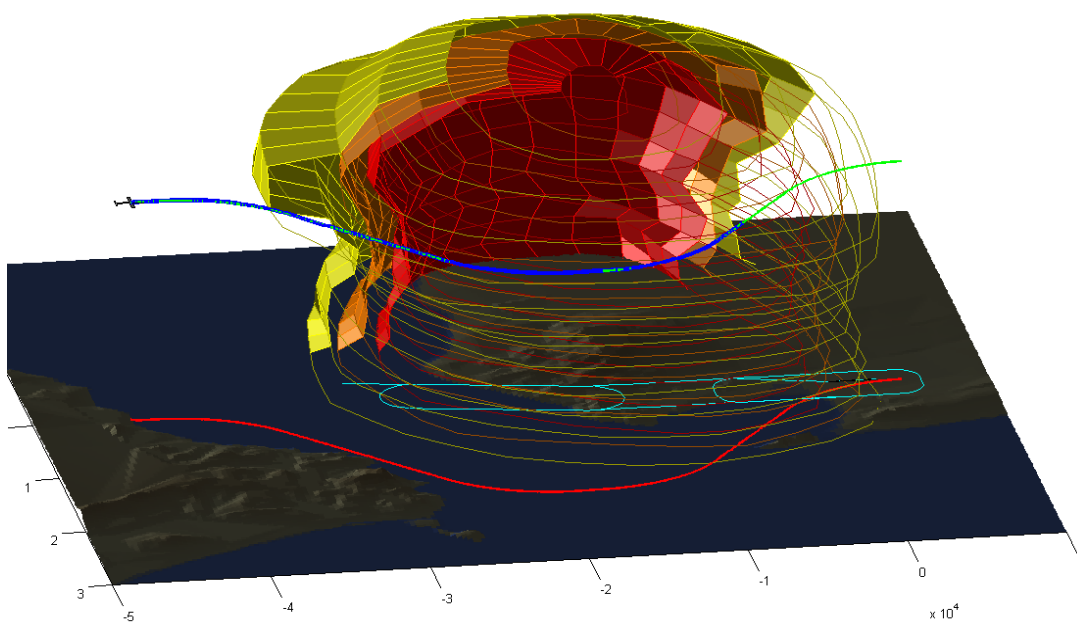


Рис. 4. Моделирование виртуального полета по сгенерированной траектории облета зоны неблагоприятных погодных условий.



Рис. 5. Сгенерированная траектория заданной длины при маневрировании в районе аэропорта Елизово

Заключение

Разработка ИИЭ требует анализа большого объема информации и разработки большого числа различных алгоритмов, в том числе эвристических и метаэвристических для генерации вариантов решения задач в условиях неопределённости. Важным инструментом отработки и исследования таких алгоритмов является создание прототипов бортовых систем и проведение математического моделирования на их основе. В докладе приведены примеры алгоритмов, разработанных и исследованных на основе созданного в ИПУ прототипа системы управления траекторной безопасностью полетов ВС.

Литература

1. *Kulida E.L., Lebedev V.G.* About the Use of Artificial Intelligence Methods in Aviation / Proceedings of the 13th International Conference “Management of Large-Scale System Development” (MLSD). Moscow: IEEE, 2020. С. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9247822>.
2. *Визильтер Ю.В., Горбацевич В.С. Желтов С.Ю.* Структурно-функциональный анализ и синтез глубоких конволюционных нейронных сетей // Компьютерная оптика, том 43, выпуск 5, 2019. С. 886-900.
3. *Veresnikov G.S., Skryabin A.V.* The Development of Electromechanical Actuator Mathematical Model for Fault Identification Using Data Mining Methods / Proceedings of the 13th International Conference “Management of Large-Scale System Development” (MLSD). Moscow: IEEE, 2020. С. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9247781>.
4. *Panthong R., Srivihok A.* Wrapper Feature Subset Selection for Dimension Reduction Based on Ensemble Learning Algorithm // The Third Information Systems International Conference // Procedia Computer Science, vol. 72, 2015, pp. 162-169.
5. *Soufan O., Klefogiannis D., Kalnis P., Bajic V.B.* DWFS: a wrapper feature selection tool based on a parallel genetic algorithm // PloS ONE, vol. 10(2), 2015, p. e0117988.
6. *Gendreau M., Potvin J.-Y.* Handbook of Metaheuristics – Third Edition // USA, Springer International Publishing, 2019, 604 p.
7. *Xue B., Zhang M., Browne W.N.* Particle Swarm Optimization for Feature Selection in Classification: A Multi-Objective Approach // IEEE Transactions on Cybernetics, vol. 43, issue 6, 2013. Pp. 1656-1671.
8. *Jeong I-S, Hong-Ki Kim H-K, Kim T-H, Lee D.H., Kim K.J., Kang S-H.* A Feature Selection Approach Based on Simulated Annealing for Detecting Various Denial of Service Attacks // Convergence Security, vol. 1, 2016, pp. 1-18.
9. *Luis Lutnyk, David Rudi, Raubal Martin,* Towards Pilot-Aware Cockpits, April 2020, Conference: 1st International Workshop on Eye-Tracking in Aviation (ETAVI 2020), DOI:10.3929/ethz-b-000407661.
10. *Андрянов Н.А., Дементьев В.Е.* Анализ состояния члена экипажа воздушного судна по его речи на базе гауссовых моделей смесей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.23, № 1, 2021. Информатика, вычислительная техника и управление. С. 97-102.
11. *Баженов С.Г., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.* Формирование бесконфликтных траекторий предпосадочного маневрирования с учетом ограничений на маневренные возможности самолета // Проблемы управления. 2012. № 2. С. 70-75.
12. *Алёшин Б.С., Баженов С.Г., Лебедев В.Г., Кулида Е.Л.* Оценка реализуемости и безопасности траекторий самолета с помощью бортовой математической модели // Проблемы управления. 2013. № 4. С. 64-71.
13. *Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.* Генерация траекторий заданной длины при предпосадочном маневрировании воздушного судна в условиях сложного рельефа местности // Проблемы управления. 2017. № 4. С. 59-64.
14. *Кулида Е.Л.* Система анализа алгоритмов оптимизации последовательности и времен посадок прибывающих воздушных судов // В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020. Труды тринадцатой международной конференции. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. 2020. С. 1528-1534.