

Совместное использование авиасимулятора X-Plane и среды SimInTech для исследования работы авиационных систем

Князев А.С.

Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков,

ул. Дзержинского, 135, Краснодар, 350090, Россия

e-mail: agent-483@yandex.ru

Статья поступила 15.03.2021

Аннотация

В работе показана актуальность использования авиасимулятора X-Plane в качестве среды для проведения исследований. Для взаимодействия с X-Plane использована отечественная среда моделирования SimInTech, ничем не уступающая импортным аналогам. Для примера рассмотрен блок-субмодель «Демпфер», описана его работа и рассмотрены его элементы. Описан механизм взаимодействия проекта в SimInTech с авиасимулятором X-Plane. С использованием примитивных блоков в SimInTech возможна реализация (воспроизведение) схем различных авиационных систем. Приведены ссылки на документацию, содержащую подробные инструкции для использования SimInTech и X-Plane.

Ключевые слова: SimInTech, авиасимулятор, X-Plane, демпфер.

Авиасимулятор как среда для проведения исследований

Использование авиасимуляторов в качестве среды моделирования с целью проведения исследований является общемировой практикой. Одним из лучших для этих целей является авиасимулятор X-Plane. Это подтверждается тем, что X-Plane используется компаниями Boeing (для виртуальных тест-полётов концепт-моделей), Japan Airlines (для анализа полётов), Cessna (для обучения покупателей самолётов на своих тренажёрах), NASA (для тестирования воздушных судов (ВС) в атмосфере Марса и проектирования концептов). Симулятором X-Plane для различных задач пользуются ВВС США [1].

Авиасимулятор X-Plane с исследовательской точки зрения может представлять интерес по следующим причинам:

1) Полётная модель базируется на концепции теории элемента лопасти. X-Plane дает возможность формировать модель, действия которой в набегающем потоке воздуха рассчитываются симулятором на основе большого количества переменных, в отсутствии предварительно запрограммированного характера динамики ВС. Например, увеличение частоты вращения винта, воздушный поток, проходящий через него, ускоряется и набегаем на находящееся за ним крыло, руль высоты, повышая их подъемную силу, а неподвижный винт закрывает собой часть набегающего потока, оказывая воздействие на аэродинамические поверхности, расположенные за ним и т.д.;

2) Реалистичная полётная модель симулятора дает возможность не создавать полную математическую модель движения ВС, существенно облегчая сложность и

сокращая время для проведения исследований. В связи с этим для изучения движения ВС в набегающем потоке воздуха необходимо разработать только его трёхмерную модель [2];

3) Интегрированный редактор трёхмерных моделей воздушных судов Plane Maker дает возможность разрабатывать модификации ВС различных форм и конфигураций – расположением крыла, двигателей, управляющих плоскостей и др.;

4) Для проведения исследований могут быть использованы трёхмерные модели, форма и размеры которых соответствуют реальным ВС, что в ряде случаев дает возможность применять результаты исследований, выполненных в X-Plane, к реальным объектам;

5) Интегрированный атмосферный модуль способен задавать для исследований различные погодные условия и изучать динамику полета ВС при разной силе и направлении ветра, при полете в тумане, во время выпадения осадков, днем и ночью.

В отличие от многих других авиасимуляторов, X-Plane предоставляет пользователю обширные возможности по обмену информацией через сетевой протокол UDP путем отправки и приема сокетов определенного формата [3, 5, 6, 9]. Именно эта особенность дает возможность создания пользовательских программ для создания своих законов управления (как ручного, так и автоматического), постройки собственных тренажеров на основе самодельных кабин, подключаемых к X-Plane [4, 5, 6].

Использование SimInTech как инструмента для взаимодействия с X-Plane

В настоящее время существует несколько программ, использование которых позволяет взаимодействовать с X-Plane. К ним относятся такие программные продукты, как Microsoft Visual Studio, Builder C++, Delphi, Matlab Simulink, LabView и др. [6, 7, 8, 9, 10]. Однако, они не позволяют использовать весь свой функционал без лицензии, ограничивая поле деятельности для студентов, преподавателей, инженеров. Без лицензии невозможно получать и открыто публиковать полученные с их помощью результаты, что затрудняет использование их в исследовательских и образовательных целях. Кроме того, перечисленные программные продукты являются импортными, а в связи с государственной программой №328 «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» от 15.04.2014 г., приказом Министерства связи «Об утверждении плана по импортозамещению программного обеспечения» от 01.02.2015 г., постановлением Правительства РФ от 16.11.2015 г. № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд» их использование в отечественных предприятиях и вузах нежелательно.

Одним из отечественных программных продуктов, предоставляющих готовые решения для быстрого старта по взаимодействию пользователя с X-Plane для исследовательских целей, является программа SimInTech [10].

SimInTech предназначена для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления. Разработка

математических моделей и алгоритмов управления в SimInTech происходит в виде структурного проектирования логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений.

SimInTech решает задачи моделирования объектов ВПК/ОПК, энергетических объектов, атомных объектов, нефтегазовых объектов, аэрокосмических объектов, транспортных объектов и других. Кроме этого, SimInTech предназначена для создания тренажёров [11]. Данная программа обладает рядом преимуществ относительно своих импортных аналогов, а по качеству расчетов ничем им не уступает [12]. Кроме того, программа SimInTech может быть предоставлена вузам бесплатно.

Для создания схемы взаимодействия SimInTech с авиасимулятором X-Plane используется набор примитивных блоков, доступных на панелях главного окна. Однако, пользователю не нужно составлять схему самому, так как в папке с программой уже содержатся готовые демо-проекты со всеми необходимыми блоками, настроенными для взаимодействия с авиасимулятором X-Plane. При разработке своего проекта целесообразно использовать готовые решения в качестве отправной точки.

Взаимодействие пользователя с X-Plane для исследовательских целей осуществляется путем приема данных от симулятора и отправки данных в симулятор. Для приёма данных от X-Plane существуют следующие способы:

1. Через сообщения с заголовком «DATA»;

2. Через ссылки DREFs (с помощью плагина).

Для отправки данных в X-Plane существуют следующие способы:

1. Через сообщения с заголовком «DATA»;
2. Через сообщения с заголовком «DREF»;
3. Через сообщение с заголовком «CHAR»;
4. Через сообщение с заголовком «CMND».

Каждый из этих способов описан в разделе «Настройка совместной работы SimInTech и X-Plane» [13]. Для удобства пользователей разработаны готовые примеры, реализующие каждый из вышеперечисленных способов взаимодействия с авиасимулятором.

Для демонстрации одного из возможных способов совместной работы SimInTech и X-Plane был разработан проект «Обмен данными с X-Plane через DATA.prt» (рис. 1).

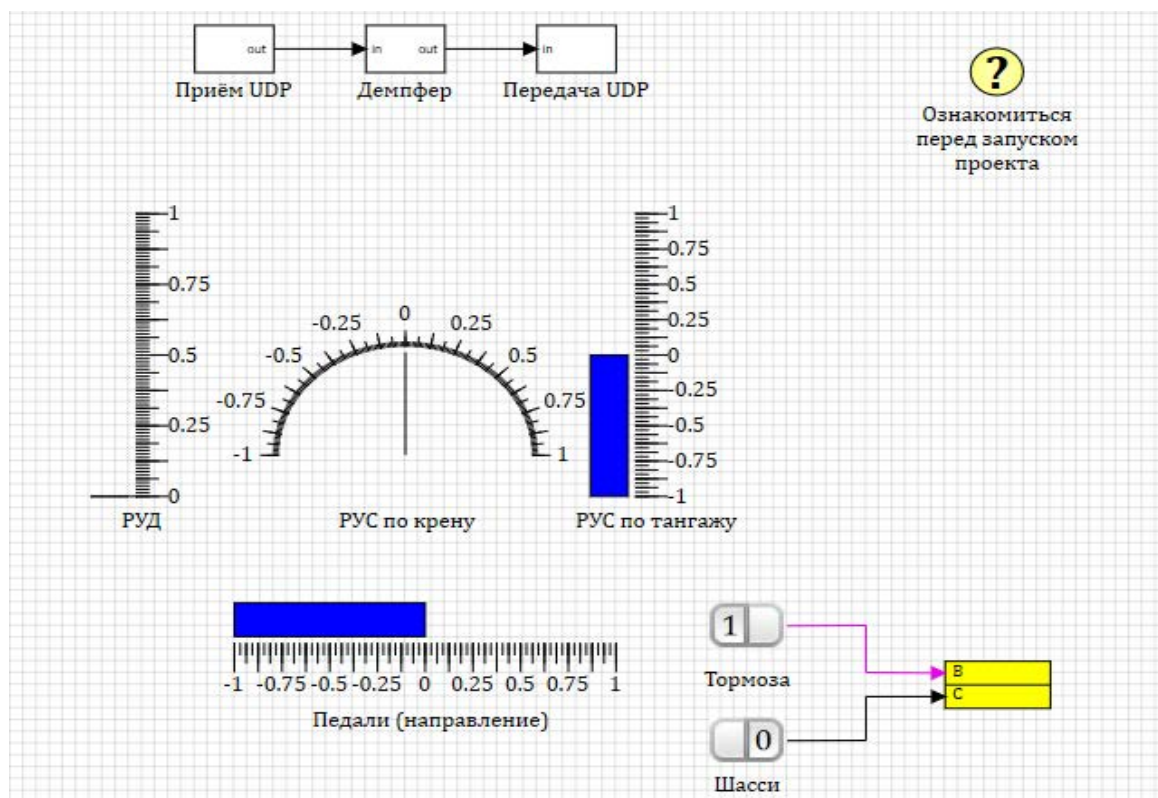


Рисунок 1 – Схема проекта «Обмен данными с X-Plane через DATA.prt»

В верхней части схемы расположены три блока-субмодели: «Приём UDP», «Демпфер» и «Передача UDP». Кроме того, в схеме присутствуют блоки, с помощью которых реализовано управление моделью ВС в авиасимуляторе (вместо джойстика) - по каналам тяги (РУД), крена (РУС по крену), тангажа (РУС по тангажу), направления (Педали), а также выключатели, управляющие выпуском/уборкой шасси и включением/отключением тормозов. Рассмотрим более подробно каждый из вышеперечисленных блоков-субмоделей (рис. 2, 4, 5).

В субмодели «Приём UDP» реализована схема приема данных через UDP-порт в виде сообщения с заголовком «DATA», содержащем принимаемые от симулятора данные. Выбор данных, отправляемых симулятором через UDP-порт, осуществляется в окне авиасимулятора «Вывод данных» (рис. 3). В каждом наборе

данных содержится 8 переменных, каждая из которых соответствует определенному параметру в авиасимуляторе, например: барометрической высоте, истинной высоте полета и т.д. Если выбрать наборы данных под индексами 8, 14 и 25, как показано на рисунке 3, то необходимо принять сообщение, в котором после заголовка DATA# будут следовать выбранные наборы данных, из которых в блоках ByteUnPack извлекаются значения каждой из 8 переменных. Составляя схему обработки данных, получаемых от авиасимулятора, можно реализовать различные контуры управления (в зависимости от поставленной задачи).

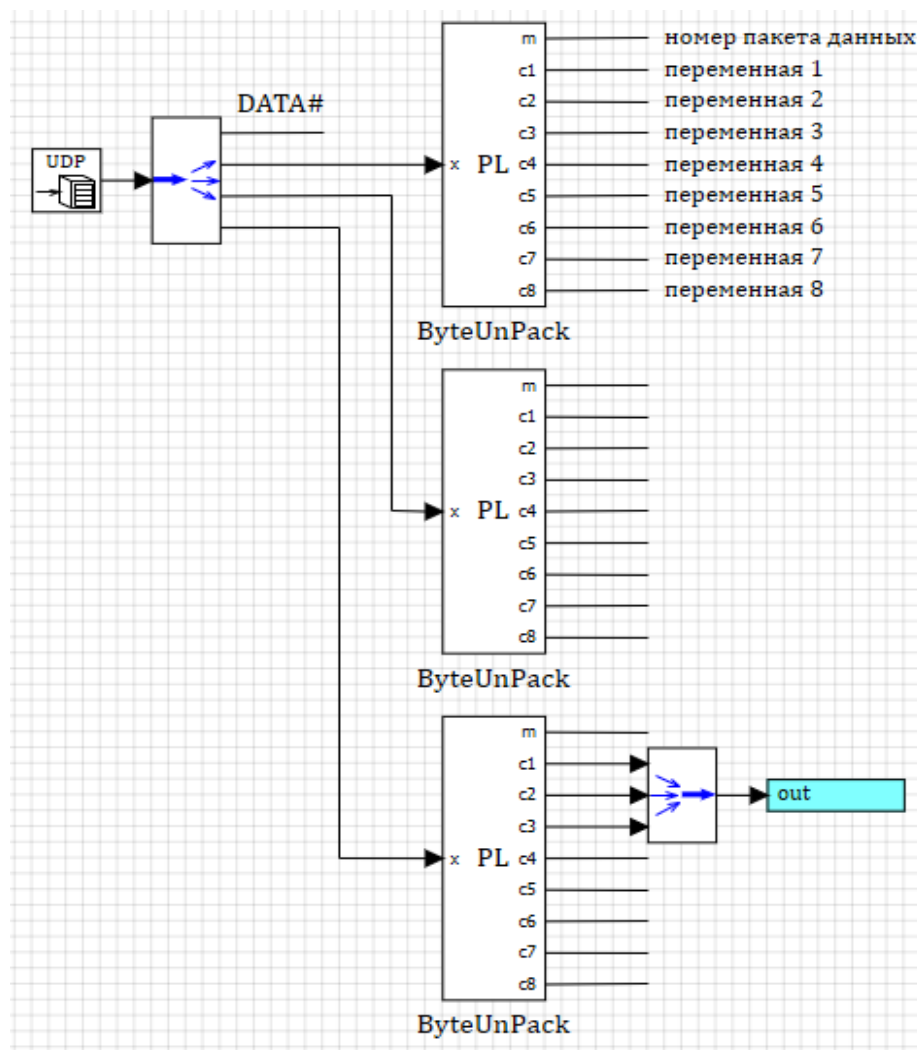


Рисунок 2 – Схема субмодели «Приём UDP»

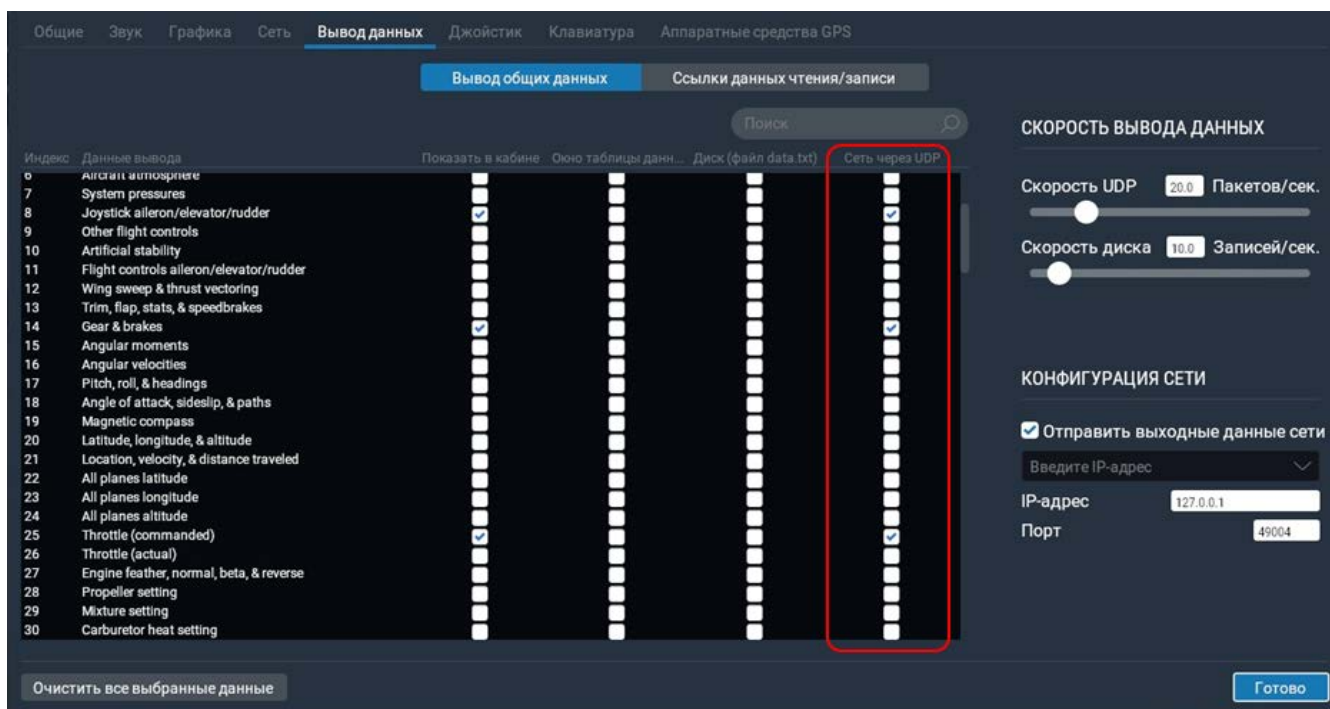


Рисунок 3 – Окно «Вывод данных» в авиасимуляторе X-Plane

Для примера в блоке-субмодели «Демпфер» реализована схема демпферов (в рассматриваемом случае - с постоянным коэффициентом демпфирования) в каналах управления по тангажу, по крену и по направлению. На вход блока поступают сигналы от органов управления (РУС и педалей), а также сигналы угловых скоростей (на рис. 4 угловые скорости содержатся в наборе данных под индексом 16), значения которых принимаются от авиасимулятора. Кроме того, в схеме присутствует блок «Инерционное звено 1-го порядка», имитирующий небольшую задержку в работе рулевых машин, которые не могут мгновенно изменить положение управляющего штока при резком отклонении органов управления (РУС и педалей).

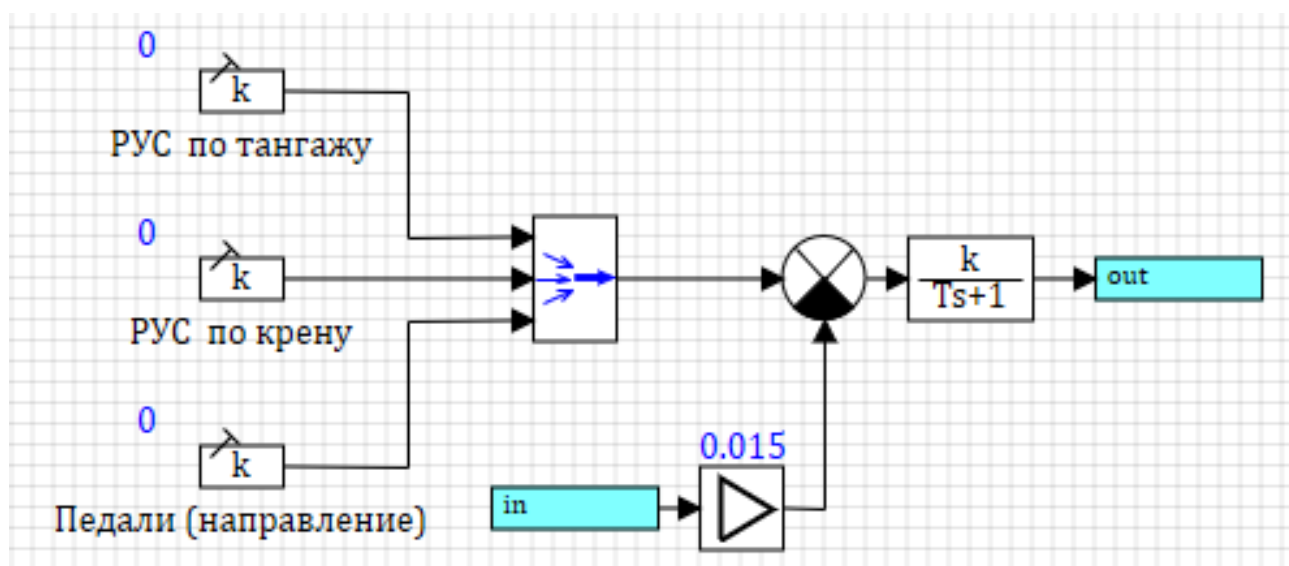


Рисунок 4 – Схема субмодели «Демпфер»

Для управления моделью ВС по тангажу, по крену и по направлению на выходе блока-субмодели «Демпфер» формируются соответствующие управляющие сигналы «Положение руля высоты», «Положение элеронов» и «Положение руля направления», которые передаются в блок-субмодель «Передача UDP» для отправки в X-Plane (рис. 5). Эти параметры передаются в наборе данных с индексом 8. В наборе данных с индексом 14 передаются значения параметров, управляющих включением тормозов и уборкой/выпуском шасси. В наборе данных с индексом 25 передаются значения положения РУД (на рисунке 5 для задания положений РУД для двигателей №1, №2, №3, №4 используется один и тот же сигнал).

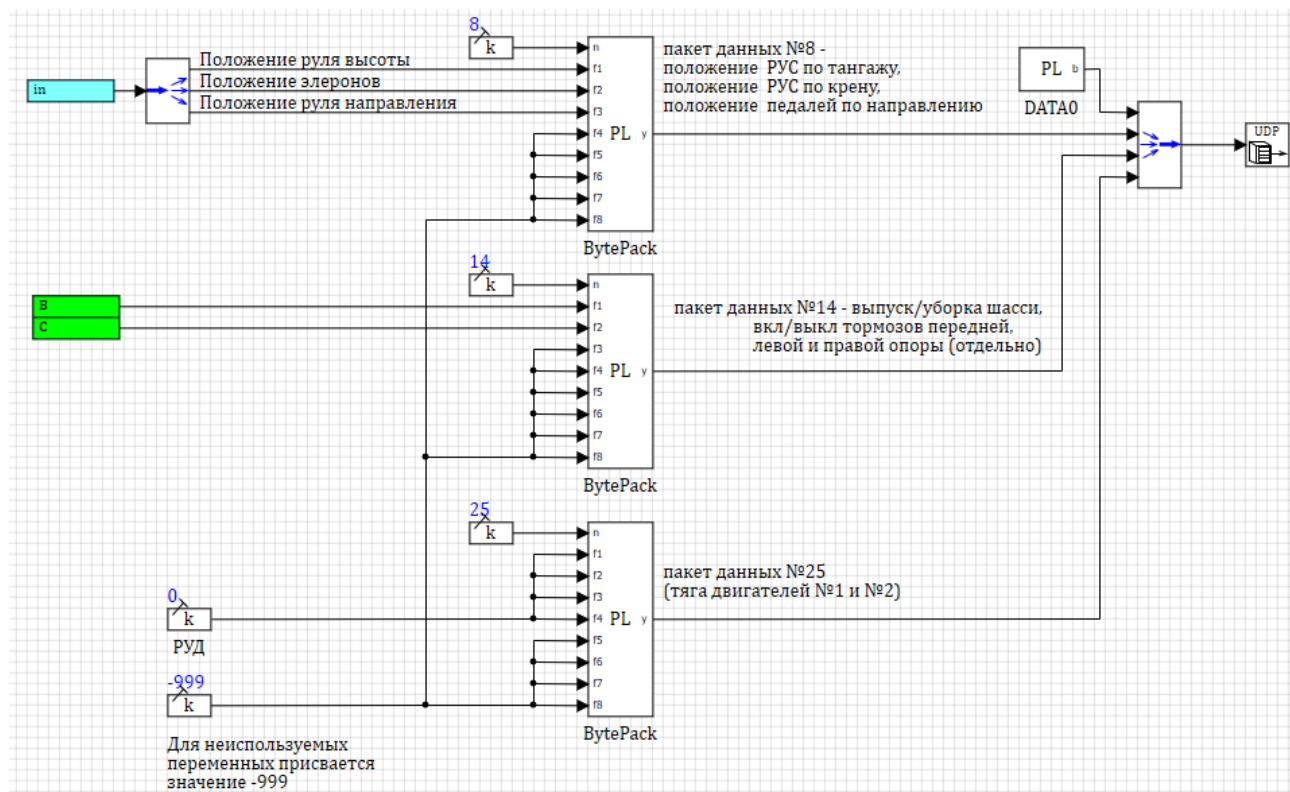


Рисунок 5 – Схема субмодели «Передача UDP»

Сформированные управляющие сигналы преобразуются в блоках BytePack для отправки в X-Plane и формируются в сообщении с заголовком «DATA0». Симулятор автоматически обрабатывает полученные данные и отрабатывает передаваемые значения положения органов управления. Изменяя схему блока-субмодели «Демпфер» можно исследовать влияние его работы на изменение характеристик устойчивости и управляемости ВС в полете.

Возможности SimInTech для отладки авиационных систем

С использованием примитивных блоков в SimInTech возможно реализовать (воспроизвести) схемы различных авиационных систем. Совместное использование

SimInTech и X-Plane позволяет принимать от авиасимулятора данные, которые в реальном ВС могут быть получены от различных бортовых датчиков и систем. Подавая эти данные на вход разработанных схем в режиме реального времени возможно обрабатывать логику их работы и проводить различные исследования, для чего необходимо:

1. Принять от симулятора нужные данные (выбор данных производится в X-Plane (рис. 3));
2. Обработать принятые данные, совершив над ними преобразования и вычисления;
3. Отправить в симулятор управляющие сигналы, имитируя работу экипажа или систем управления ВС.

Для взаимодействия с авиасимулятором X-Plane в среде SimInTech разработаны демо-примеры, реализующие все доступные способы отправки и приема данных, поэтому он ни в чем не уступает другим программам, которые могут быть использованы для тех же целей.

Все проекты, в которых реализовано взаимодействие SimInTech и X-Plane, подробно описаны [13], размещены в папке с демо-примерами «C:\SimInTech64\Demo\Интеграция со сторонним ПО\X-Plane» и доступны сразу после установки программы SimInTech.

Библиографический список:

1. Чем X-Plane намного лучше MSFS. URL:
<https://www.avsim.ru/forum/topic/81621-чем-x-plane-намного-лучше-msfs/>
2. RuSky Group. URL: <https://www.youtube.com/c/RuSkyGroup/videos>
3. X-Plane UDP reference. URL:
<http://www.nuclearprojects.com/xplane/xplaneref.html>
4. Козин Н.А. Епанчин М.И., Кахановский Д.В. Авиационный симулятор как достойная альтернатива тренажной подготовки летного состава // VII Международная научно-практическая конференция «Научные чтения им. проф. Н.Е. Жуковского»: сборник научных статей (Краснодар, 20-22 декабря 2016). - Краснодар: КВВАУЛ, 2017. С. 41 - 45.
5. Project Baron 58 - Home Cockpit Simulator for X-Plane. URL:
<https://simvim.com/b58/>
6. Князев А.С. Совместное использование авиасимулятора X-Plane 9 и программной среды C++Builder 6 для разработки и исследования систем автоматического управления летательных аппаратов // II Всероссийская научно-практическая конференции «АВИАТОР»: сборник научных статей (Воронеж, 11-13 февраля 2015). - Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. Т. 2. С. 81 - 85.
7. Князев А.С. Использование авиасимулятора в учебном процессе при проведении группового занятия «Режимы работы САУ»: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск № 24. - Краснодар: КВВАУЛ, 2020. С. 164 - 169.

8. UAV autopilot controllers test platform using Matlab/Simulink and X-Plane. URL: https://www.researchgate.net/publication/224207132_UAV_autopilot_controllers_test_platform_using_MatlabSimulink_and_X-Plane
9. Simulink-Xplane10 Communication Via UDP. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47144-simulink-xplane10-communication-via-udp>
10. de Castro D.F., Prado I.A.A., Goncalves P.F.S.M., dos Santos D.A., Goes L.C.S. Simulation scheme for quadricopter control with LabView and X-Plane, Instituto Tecnologico de Aeronautica Sao Jose dos Campos, Sao Paulo, Brasil, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/301382452_Simulation_scheme_for_quadricopter_control_with_labview_and_x-plane
11. SimInTech. URL: <https://project797652.turbo.site/>
12. Парфирьев И.В. Краткий обзор программных средств моделирования технических систем и актуальность внедрения отечественных программных продуктов в вузах на примере среды динамического моделирования технических систем SimInTech // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018» (Томск, 16–18 мая 2018). – Томск: В-Спектр, 2018. Ч. 3. С. 297 - 300.
13. Настройка совместной работы SimInTech и X-Plane. URL: https://help.simintech.ru/index.html#priemy_raboty/nastroika_sovmestnoi_raboty_SimInTech_i_X-Plane.html

14. Совместная работа SimInTech и авиасимулятора X-Plane. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XvA04WvzuoI>
15. Смагин Д.И. и др. Моделирование системы кондиционирования воздуха перспективного пассажирского самолета в программном комплексе SimInTech // Computational nanotechnology. 2018. № 3. С. 24 - 31.
16. Кабанов А.А. Имитационное моделирование в производстве авиационных и ракетно-космических систем. Что предшествует эксперименту? // Труды МАИ. 2013. № 65. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35910>
17. Фадин Д.А. Использование среды MATLAB-Simulink для реализации вычислительных алгоритмов в целочисленных микропроцессорных системах // Труды МАИ. 2015. № 80. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57021>
18. Кручинин М.М., Кузьмин Д.А. Математическое моделирование копровых испытаний шасси вертолета // Труды МАИ. 2017. № 92. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=77093>
19. Погосян М.А., Верейкин А.А. Системы автоматической посадки летательных аппаратов: аналитический обзор. Информационное обеспечение // Труды МАИ. 2020. № 113. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118156>. DOI: [10.34759/trd-2020-113-11](https://doi.org/10.34759/trd-2020-113-11)
20. Калягин М.Ю., Волошин Д.А., Мазаев А.С. Моделирование системы управления полетом квадрокоптера в среде Simulink и Simscape Multibody // Труды МАИ. 2020. № 112. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=116625>. DOI: [10.34759/trd-2020-112-20](https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-20)

Joint use of the X-Plane flight simulator and the SimInTech program to investigate the operation of aircraft systems

Knyazev A.S.

Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots,

135, Dzerzhinskiy str., Krasnodar, 350090, Russia

e-mail: agent-483@yandex.ru

Abstract

The work shows the relevance of using the X-Plane flight simulator as a research program. From the existing programs allowing to realize interaction with X-Plane such as Microsoft Visual Studio, Builder C ++, Delphi, Matlab Simulink, LabView, etc., many are import therefore their use in the Russian enterprises and universities is undesirable. Besides, it doesn't allow students, teachers and engineers to conduct researches without license for these products.

In this regard, for interaction with the X-Plane flight simulator, it is advisable to use the Russian modeling program SimInTech, which is not inferior to imported analogues in terms of functionality and calculation quality, and also has some advantages and can be provided to Russian universities and enterprises for free. To interact SimInTech with the X-Plane flight simulator a set of primitive blocks is used. Ready demos projects with all necessary blocks which are adjusted for interaction with X-Plane are available to the user. When developing the project it is expedient to use ready decisions to start work.

Interaction of the user with X-Plane for the research purposes is carried out by receiving data from the simulator and sending data to the simulator. For an example it is considered the “Damper” block-submodel. It’s work is described and it’s elements are

considered. The mechanism of interaction of the project in SimInTech with the X-Plane flight simulator is described. With use of primitive blocks in SimInTech the implementation (reproduction) of schemes of various aviation systems is possible. Sharing of SimInTech also X-Plane allows to accept from the flight simulator data which in real aircraft can be received from various onboard sensors and systems.

To interact with the X-Plane flight simulator, the program SimInTech developed demo examples that implement all available methods of sending and receiving data, so it is in no way inferior to other programs that can be used for the same purposes. References to documentation containing detailed instructions for use of SimInTech and X-Plane are given.

Keywords: SimInTech, flight simulator, X-Plane, damper.

References

1. *Chem X-Plane namnogo luchshe MSFS.* URL: <https://www.avsim.ru/forum/topic/81621-chem-x-plane-namnogo-luchshe-msfs/>
2. *RuSky Group.* URL: <https://www.youtube.com/c/RuSkyGroup/videos>
3. *X-Plane UDP reference.* URL: <http://www.nuclearprojects.com/xplane/xplaneref.html>
4. Kozin N.A. Epanchin M.I., Kakhanovskii D.V. *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauchnye chteniya im. prof. N.E. Zhukovskogo»*, Krasnodar, KVVAUL, 2017, pp. 41 - 45.

5. *Project Baron 58 - Home Cockpit Simulator for X-Plane*. URL: <https://simvim.com/b58/>
6. Knyazev A.S. *II Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsii «AVIATOR»*, Voronezh, VUNTs VVS «VVA», 2015, vol. 2, pp. 81 - 85.
7. Knyazev A.S. *Ispol'zovanie aviasimulyatora v uchebnom protsesse pri provedenii gruppovogo zanyatiya «Rezhimy raboty SAU»* (The use of the flight simulator in the educational process during the group lesson «Operating modes of the automatic control system»), Krasnodar, KVVAUL, 2020, issue 24, pp. 164 - 169.
8. *UAV autopilot controllers test platform using Matlab/Simulink and X-Plane*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/224207132 UAV autopilot controllers test platform using MatlabSimulink and X-Plane](https://www.researchgate.net/publication/224207132_UAV_autopilot_controllers_test_platform_using_MatlabSimulink_and_X-Plane)
9. *Simulink-Xplane10 Communication Via UDP*. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47144-simulink-xplane10-communication-via-udp>
10. de Castro D.F., Prado I.A.A., Goncalves P.F.S.M., dos Santos D.A., Goes L.C.S. *Simulation scheme for quadricopter control with LabView and X-Plane*, Instituto Tecnologico de Aeronautica Sao Jose dos Campos, Sao Paulo, Brasil, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/301382452_Simulation_scheme_for_quadricopter_control_with_labview_and_x-plane
11. *SimInTech*. URL: <https://project797652.turbo.site/>

12. Parfir'ev I.V. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Nauchnaya sessiya TUSUR–2018»*, Tomsk, V-Spektr, 2018, part. 3, pp. 297 - 300.
13. *Nastroika sovmestnoi raboty SimInTech i X-Plane.* URL: https://help.simintech.ru/index.html#priemy_raboty/nastroika_sovmestnoi_raboty_SimInTech_i_X-Plane.html
14. *Sovmestnaya rabota SimInTech i aviasimulyatora X-Plane.* URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XvA04WvzuoI>
15. Smagin D.I. et al. *Computational nanotechnology*, 2018, no. 3, pp. 24 - 31.
16. Kabanov A.A. *Trudy MAI*, 2013, no. 65. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=35910>
17. Fadin D.A. *Trudy MAI*, 2015, no. 80. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57021>
18. Kruchinin M.M., Kuz'min D.A. *Trudy MAI*, 2017, no. 92. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=77093>
19. Pogosyan M.A., Vereikin A.A. *Trudy MAI*, 2020, no. 113. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=118156>. DOI: [10.34759/trd-2020-113-11](https://doi.org/10.34759/trd-2020-113-11)
20. Kalyagin M.Yu., Voloshin D.A., Mazaev A.S. *Trudy MAI*, 2020, no. 112. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=116625>. DOI: [10.34759/trd-2020-112-20](https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-20)