

TÁBIYIY HÁM TEXNIKALÍQ ILIMLER**Fizika-matematika. Texnika. Informatika****РАДИОНАВИГАЦИЯ ТИЗИМЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ УЧУН
MATLAB/SIMULINK АСОСИДАГИ КОМПЛЕКС СИМУЛЯЦИЯ АРХИТЕКТУРАСИ****Эшмурадов Дилшод Эльмурадович** – техника фанлари номзоди, доцентe_dilshod69@mail.ru**Саидова Гулчехра Эркиновна** – катта ўқитувчиgulisaidova62@gmail.com

Тошкент ахборот технологиялари университети

Элмурадов Темурмалик Дилшод ўғли – катта ўқитувчиtemurmalielmuradov@yandex.ru

Тошкент давлат иқтисодиёт университети

**КОМПЛЕКСНАЯ АРХИТЕКТУРА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ MATLAB/SIMULINK ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ РАДИОНАВИГАЦИИ****Эшмурадов Дилшод Эльмурадович** – кандидат технических наук, доцент**Саидова Гулчехра Эркиновна** – старший преподаватель

Ташкентский университет информационных технологий

Эльмурадов Темурмалик Дилшодович – старший преподаватель

Ташкентский государственный экономический университет

**A MATLAB/SIMULINK-BASED INTEGRATED SIMULATION ARCHITECTURE
FOR THE STUDY OF RADIONAVIGATION SYSTEMS****Eshmuradov Dilshod Elmuradovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate professor**Saidova Gulchehra Erkinovna** – Senior teacher

Tashkent University of Information Technologies

Elmuradov Temurmali Dilshodovich – Senior teacher

Tashkent State University of Economics

Таянч сўзлар: радионавигация тизимлари, ишончлилиқ, Марков занжирлари, GNSS/INS интеграцияси, кўп агентли мониторинг тизими, MATLAB/Simulink, симуляция архитектураси.

Резюме. Мақолада ҳаво ҳаракатини бошқариш тизимидаги радионавигация воситаларининг ишончлилигини, GNSS/INS интеграциясини ва кўп агентли диагностика тизимларини ягона дастурий муҳитда тадқиқ қилиш имконини берувчи MATLAB/Simulink асосидаги комплекс симуляция архитектураси тақлиф этилган. Архитектура тўртта ўзаро боғлиқ модулдан – ишончлилиқ симуляцияси, навигация симуляцияси, халақит генерацияси ва кўп агентли мониторинг симуляцияси – иборат бўлиб, ҳар бири диссертациянинг тегишли илмий натижаларини дастурий равишда верификация қилиш учун мўлжалланган. Модуллараро маълумот алмашинуви ва интеграция механизмлари кўриб чиқиладиган, шунингдек, ҳар бир модулнинг MATLAB Toolbox таркиби асосланади. Тақлиф этилган ёндашув радионавигация тизимлари бўйича илмий-тадқиқот ишларини автоматлаштириш ва такрорий синовдан ўтказиш имкониятини оширади.

Ключевые слова: системы радионавигации, надёжность, цепи Маркова, интеграция GNSS/INS, многоагентная система мониторинга, MATLAB/Simulink, архитектура имитационного моделирования.

Резюме. В статье предложена комплексная архитектура имитационного моделирования на базе MATLAB/Simulink, позволяющая исследовать в единой программной среде надёжность средств радионавигации системы организации воздушного движения, интеграцию GNSS/INS и работу многоагентных систем диагностики. Архитектура состоит из четырёх взаимосвязанных модулей – моделирования надёжности, моделирования навигации, генерации помех и моделирования многоагентного мониторинга, каждый из которых предназначен для программной верификации соответствующих научных результатов диссертации. Рассмотрены механизмы обмена данными и интеграции между модулями, а также обоснован состав используемых MATLAB Toolbox для каждого модуля. Предложенный подход повышает возможности автоматизации и воспроизводимости научных исследований в области систем радионавигации.

Key words: radionavigation systems, reliability, Markov chains, GNSS/INS integration, multi-agent monitoring system, MATLAB/Simulink, simulation architecture.

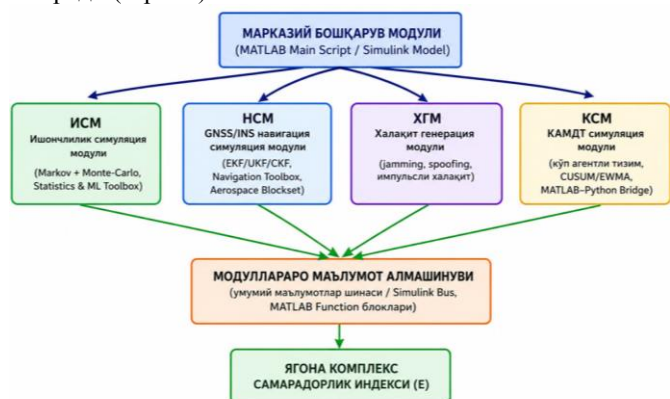
Summary. This paper proposes an integrated MATLAB/Simulink-based simulation architecture that enables the study of radionavigation equipment reliability within air traffic management systems, GNSS/INS integration, and multi-agent diagnostic systems within a single software environment. The architecture consists of four interconnected modules – reliability simulation, navigation simulation, interference generation, and multi-agent monitoring simulation – each designed to provide software-based verification of the corresponding scientific results of the dissertation. The data exchange and integration mechanisms between modules are examined, and the composition of the MATLAB toolboxes used in each module is justified. The proposed approach enhances the automation and reproducibility of research in the field of radionavigation systems.

Қириш. Ҳаво ҳаракатини бошқариш (ХХБ) радионавигация воситаларининг (РНТ) ишончлилигини тизимларини модернизация қилиш жараёнида таъминлаш, GNSS/INS навигация тизимларининг

интеграциясини такомиллаштириш ҳамда носозликларни ўз вақтида аниқлайдиган кўп агентли мониторинг тизимларини жорий этиш ўзаро чамбарчас боғлиқ вазибалар ҳисобланади. Ушбу вазибаларнинг ҳар бирини назарий жиҳатдан ҳал қилиш билан бир қаторда, таклиф этилаётган моделлар ва алгоритмларнинг амалий самарадорлигини реал тизимга жорий этишдан олдин дастурий муҳитда синовдан ўтказиш зарурати мавжуд. Бирок адабиётлар шарҳи шуни кўрсатадики, ишончилилик моделлаштириш [1-3], навигация алгоритмларини синовдан ўтказиш [5-7], ҳалақитларга бардошликни баҳолаш [8] ва кўп агентли диагностика тизимлари [9], одатда, бир-биридан алоҳида дастурий воситаларда амалга оширилади – бу эса турли тадқиқот натижаларини яхлит ҳолда таққослаш ва уларнинг ўзаро таъсирини баҳолашни қийинлаштиради.

Мазкур мақоланинг мақсади – юқорида қайд этилган тўртта йўналишни ягона дастурий муҳитда бирлаштирувчи, MATLAB/Simulink асосидаги комплекс симуляция архитектурасини таклиф этишдир. Таклиф этилаётган архитектура диссертация доирасида ишлаб чиқилган назарий натижаларни – Марков-Байес-бета-фактор ишончилилик моделини, GNSS/INS интеграциясида СКФ асосидаги мослашувчан ҳалақит компенсацияси алгоритминини ҳамда КАМДТ кўп агентли мониторинг ва диагностика тизимини – дастурий равишда верификация қилиш ва улар ўртасидаги ўзаро боғлиқликни намоиш этиш имконини беради.

Асосий қисм. 1. Комплекс архитектуранинг умумий тузилиши. Таклиф этилаётган симуляция комплекси марказий бошқарув модули (MATLAB бош скрипти ва Simulink модели) орқали бошқариладиган тўртта функционал модулдан иборат: ишончилилик симуляция модули (ИСМ), GNSS/INS навигация симуляция модули (НСМ), ҳалақит генерация модули (ХГМ) ва КАМДТ симуляция модули (КСМ). Модулар умумий маълумотлар шинаси (Simulink Bus объектлари ва MATLAB Function блоклари) орқали ўзаро боғланган бўлиб, ҳар бир модулнинг чиқиш натижалари якуний комплекс самарадорлик индекси (Е) ҳисобига интеграциялашади. Бундай тузилма алоҳида модулларни мустақил равишда ишлаб чиқиш ва синовдан ўтказиш, шунингдек уларни зарур ҳолатда яхлит сценарийда биргаликда ишга тушириш имконини беради (1-расм).



1-расм. MATLAB/Simulink асосидаги комплекс симуляция архитектурасининг тузилиши

Бунда марказий бошқарув модули MATLAB/Simulink муҳитида моделнинг барча ҳисоблаш жараёнларини мувофиқлаштиради ва ишончилилик симуляцияси, GNSS/INS навигация симуляцияси, ҳалақитларни генерация қилиш ҳамда кўп агентли моделлаштириш модуллари ўртасидаги ўзаро ҳамкорликни таъминлайди. Ҳар бир модулдан олинган ҳисоблаш натижалари Simulink Bus орқали ягона маълумотлар алмашинув муҳитига узатилади ва комплекс таҳлил қилинади. Модуллари интеграция натижасида тизимнинг ишончилиги, навигация аниқлиги, ҳалақитларга бардошлилиги ва эксплуатацион самарадорлиги ҳисобга олинган ҳолда ягона комплекс самарадорлик индекси (ЕЕЕ) шакллантирилади. Бундай архитектура моделнинг модуллилигини, кенгайтирилиш имкониятини ҳамда турли эксплуатация сценарийларида ҳисоблаш натижаларининг ишончилиги ва такрорланувчанлигини таъминлайди.

2. Ишончилилик симуляция модули (ИСМ). Мазкур модул Марков-Байес-бета-фактор ишончилилик моделини [2-4] дастурий равишда амалга оширишга мўлжалланган. Модул чекли ҳолатлар фазосини ва ҳолатлар ўртасидаги ўтиш интенсивликларини акс эттирувчи генератор матрицани MATLAB муҳитида қуради ҳамда Чепмен–Колмогоров тенгламалари тизимини сонли усулда ечади [3]. Аналитик ечим билан бир қаторда, модул Statistics and Machine Learning Toolbox воситасида Монте-Карло усулида такрорий (10^4 – 10^6 марта) симуляция ўтказиш имконини беради – бунда ҳар бир синов трассасида тизимнинг ҳолатлар кетма-кетлиги тасодифий сонлар генератори ёрдамида моделлаштирилади ва натижалар аналитик ечим билан статистик жиҳатдан таққосланади [1, 4].

3. GNSS/INS навигация симуляция модули (НСМ). Мазкур тадқиқот натижасида СКФ алгоритмининг самарадорлигини баҳолаш мақсадида унинг навигацион аниқлиги, ҳисоблаш барқарорлиги ва ҳалақитларга чидамлилиги EKF ҳамда UKF алгоритмлари билан таққосланди. Бу таққослаш турли манёвр режимлари ва GNSS сигналларига ҳалақит таъсир этган шароитларда амалга оширилди.

Учта филтър (EKF, UKF, CKF) бир хил кириш маълумотлари асосида параллел ишга туширилиб, уларнинг позициялаш аниқлиги (RMSE кўрсаткичи бўйича) ва ҳисоблаш мураккаблиги (бир итерациядаги ўртача бажарилиш вақти бўйича) таққосланади [6, 7].

4. Ҳалақит генерация модули (ХГМ). ХГМ GNSS сигналига таъсир этувчи турли хил ҳалақитларни – тор поласали ва кенг поласали жамминг (jamming), спуфинг (spoofing) [8] ҳамда импульсли электромагнит ҳалақитларни – моделлаштиради. Модул НСМ билан бевосита боғланган бўлиб, генерацияланган ҳалақит сигнали GNSS қабул қилгичи моделининг киришига узатилади, бу эса НСМ дан синовдан ўтказилаётган EKF/UKF/CKF филтърларининг турли интенсивликдаги (сигнал/ҳалақит нисбати –10 дан +20 дБ гача) ва турли турдаги ҳалақитлар остидаги бардошлилигини баҳолаш имконини беради [8]. Бундай биргаликдаги синов диссертациянинг тегишли бўлимида келтирилган назарий хулосаларни – СКФ асосидаги алгоритмнинг юқори интенсивликдаги ҳалақитлар шароитида EKF га

нисбатан устунлигини – дастурий равишда тасдиқлаш учун асосий восита ҳисобланади.

5. КАМДТ симуляция модули (КСМ). Бу модуль эса кўп агентли мониторинг ва диагностика тизимининг (КАМДТ) дастурий прототипини амалга оширади. Ҳар бир агент (масалан, алоҳида РНТ объектини кузатувчи дастурий модуль) мустақил равишда параметрларни (сигнал даражаси, частота силжиши, ишлаш ҳарорати ва ҳ.к.) кузатиб боради ҳамда меъёрдан оғишларни аниқлаш учун CUSUM (кумулятив йиғинди) ва EWMA (экспоненциал вазнли ҳаракатланувчи ўртача) статистик усуллари кўллаиди [9]. Агентлар ўртасидаги маълумот алмашинуви ва марказий диагностика хулосасини шакллантириш MATLAB ва Python Bridge интерфейси орқали амалга оширилади – бу эса Python муҳитидаги машина ўрганиши кутубхоналаридан MATLAB симуляция муҳитида фойдаланиш имконини беради. Тармоқ хавфсизлиги ва маълумот алмашинуви хавфсизлигини таъминлаш борасида [12] да келтирилган ёндашувлардан фойдаланилди. Модул синтетик носозлик сценарийлари (тўсатдан ва аста-секин ривожланувчи носозликлар) асосида синовдан ўтказилиб, аниқлаш вақти (detection delay) ва ёлғон сигнал бериш даражаси (false alarm rate) кўрсаткичлари бўйича баҳоланади [9].

6. Модулларо интеграция ва якуний баҳолаш. Тўртта модулнинг чиқиш натижалари – ИСМ дан олинган тайёрлик кўрсаткичи, НСМ ва ХГМ биргаликдаги ишидан олинган навигация аниқлиги ва ҳалақитга бардошлилик кўрсаткичи, КСМ дан олинган носозликларни аниқлаш самарадорлиги – умумий маълумотлар шинаси орқали марказий бошқарув модулига узатилади ва муаллиф томонидан илгари таклиф этилган комплекс самарадорлик индекси (Е) таркибий қисмларини шакллантиришда фойдаланилади. Шу тариқа комплекс архитектура нафақат ҳар бир йўналишни алоҳида верификация қилиш, балки уларнинг ўзаро таъсирини яхлит ҳолда баҳолаш имконини беради.

Хулоса. Хулоса ўрнида шуни айтиш мумкинки, авиация радионавигация тизимларини тадқиқ қилиш учун MATLAB/Simulink асосидаги тўрт модулли (ИСМ, НСМ, ХГМ, КСМ) комплекс симуляция архитектураси таклиф этилди. Архитектуранинг асосий афзаллиги тўрт йўналишдаги (ишончлилик моделлаштириш, навигация интеграцияси, ҳалақитга бардошлиликни баҳолаш ва кўп агентли диагностика) илмий натижаларини ягона дастурий муҳитда, модулларо ўзаро таъсирни ҳисобга олган ҳолда верификация қилиш имконини беришидир.

Адабиётлар

1. Garg S., Garg S. Reliability analysis of communication systems using fault tree analysis. // International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2020, Vol. 11, № 2. – P. 321–334.
2. Dhillon B.S. Engineering Systems Reliability, Safety, and Maintenance. – Boca Raton: CRC Press, 2017.
3. Rausand M., Bøhren I.B. Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications. 2nd ed. – Hoboken: Wiley, 2021.
4. An Application of a Modified Beta Factor Method for the Analysis of Software Common Cause Failures. 2022. arXiv:2206.11321.
5. Groves P.D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. 2nd ed. – Boston: Artech House, 2013.
6. Эшмуратов Д.Э., Элмуратов Т.Д., Тураева Н.М. Автоматизация обработки аэронавигационной информации на основе многоагентных технологий. // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, 2022, Т. 25, № 1. – С. 65–76.
7. Eshmuradov D.E. et al. The Need To Use Geographic Information Systems In Air Traffic Control. // Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), 2021, Vol. 12, № 7. – P. 1972–1976.
8. Humphreys T.E. Statement on the vulnerability of civil unmanned aerial vehicles and other systems to civil GPS spoofing. // University of Texas at Austin (Cockrell School of Engineering), 2012.
9. Montgomery D.C. Introduction to Statistical Quality Control. 8th ed. – Hoboken: Wiley, 2019.
10. The MathWorks, Inc. Navigation Toolbox User's Guide. Natick, MA: MathWorks, 2024.
11. The MathWorks, Inc. Aerospace Blockset User's Guide. Natick, MA: MathWorks, 2024.
12. Kudratov G., Eshmuradov D., Yadgarova M. General issues of protection of the backline computer networks. // Science and Innovation, 2022, Vol. 1, № 8. – P. 684–688.