

БЕЗПИЛОТНИ АВИАЦИОННИ СИСТЕМИ С ЕЛЕМЕНТИ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ В ИНТЕРНЕТ СРЕДА

Евгений Хубенов, Георги Сотиров, Зоя Хубенова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: zhubenova@space.bas.bg*

Ключови думи: *Безпилотна авиационна система, изкуствен интелект, управление, комуникационна архитектура*

Резюме: *В доклада са описани структура и технология за осигуряване на работа на безпилотна авиационна система (БАС) в реално време в интернет среда с елементи на изкуствен интелект (ИИ). Разгледани се въпросите за управлението на безпилотни летателни апарати (БЛА) през Интернет и организацията на конвейерната архитектура за събиране, агрегиране и обработка на данни в реално време. Показани са задачите и елементите на ИИ и позиционирането им в структурата на БАС и комуникационната архитектура за осигуряване на управление и включване на БАС в информационното пространство на информационно-ориентирани мрежи.*

UNMANNED AVIATION SYSTEMS WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE INTERNET ENVIRONMENT

Evgeni Hubenov, Georgi Sotirov, Zoya Hubenova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: zhubenova@space.bas.bg*

Keywords: *Unmanned aviation system, artificial intelligence, control, communication architecture*

Abstract: *The report describes the structure and technology for ensuring the operation of an unmanned aerial system (UAS) in real-time in an Internet environment with elements of artificial intelligence (AI). The issues of control of unmanned aerial vehicles (UAVs) via the Internet and the organization of the pipeline architecture for real-time data collection, aggregation, and processing are considered. The tasks and elements of AI and their positioning in the structure of UAS and the communication architecture for ensuring management and inclusion of BMA in the information space of information-oriented networks are shown.*

Въведение

Препоръките ITU-T Y.3001 [1] относно мрежите на бъдещето (Future Networks) определят основната разлика между тях и други транспортни мрежови системи, които използват интернет протокол (IP). Това е преминаването от отделен транспорт и услуги към информационно-ориентирана мрежа с характеристики, съобразени с услугите и управлението, която се основава на споделени и виртуализирани комбинирани ресурси за обработка, съхранение и комуникация. Периферните изчисления с множествен достъп Multi-Access Edge Computing (Mobile Edge Computing) (MEC) са ETSI-дефинирана стъпка в еволюцията на мобилните мрежи за данни и сближаването на IT и телекомуникационни мрежи в комуникационно-информационните системи (КИС). MEC е признат от европейския изследователски орган за 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) като един от ключовите фактори за 5G мрежите за задоволяване на изискванията по отношение на очакваната производителност, латентност, мащабируемост и автоматизация. [2,3]

Съвременната архитектура на БАС в разглежданата среда трябва да има високо ниво на системна интелигентност и да бъде проектирана да отговаря на хармонизирани препоръки и стандарти, включително ITU [4,5] и ETSI Experiential Networked Intelligence Specifications.

Наименованието изкуствен интелект (ИИ) се използва за системи, които показват интелигентно поведение, като анализират средата и с известна степен на самостоятелност предприемат действия за постигане на конкретни цели. ИИ е общо понятие, обхващащо голям брой области като: когнитивна информатика, машинно обучение, разширен интелект (сътрудничество между човек и машина), роботика. ИИ се разделя най-общо на тесен и общ. Тесният може да извършва конкретни задачи, общият може да извършва всяка интелектуална дейност, която е присъща за човек.

Целта на статията е да предложи БАС и структура за управление и използване на интелигентен БЛА, базиран на мобилна 4G/5G комуникационна и информационна система за събиране, обобщаване, обработка и представяне в потоци от информационни обекти в реално време на в Интернет среда. Системните функции ще бъдат осигурени с елементи на ИИ в предложената структура за нейната адаптация – параметрична и структурна и осигуряване на задачи, обичайно изпълнявани от оператор.

Мрежова технология, логическа, физическа структура и топология на мрежата

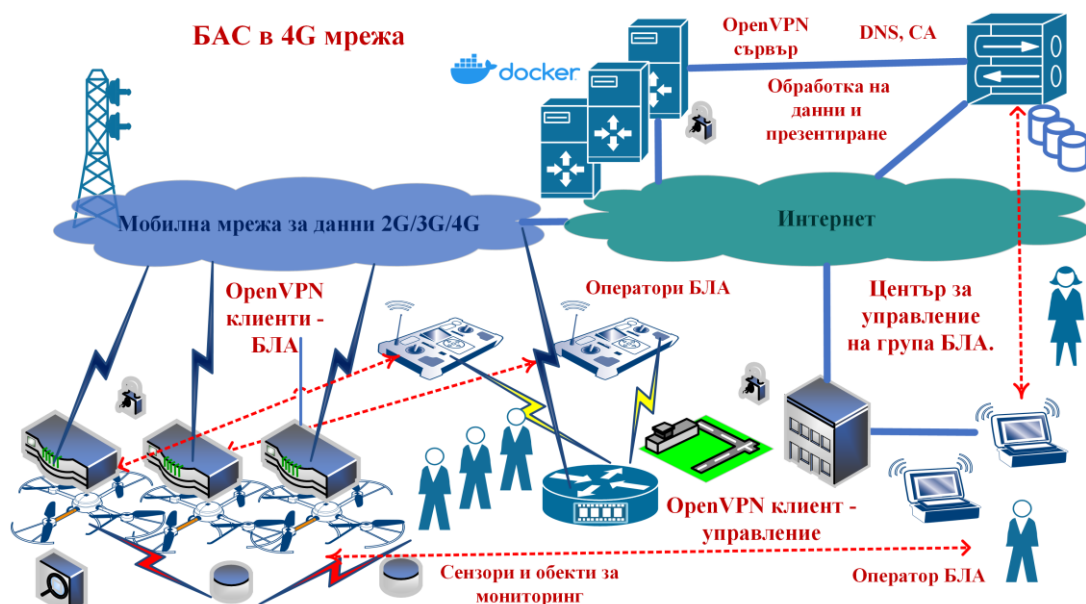
За комуникация БЛА - Център за управление и обработка на данни е избрана виртуална частна мрежа с тунелиране Ethernet/IP по технология OpenVPN и физическа топология тип звезда в състав OpenVPN сървър и OpenVPN клиенти, базирани на БЛА и клиенти за осигуряване на управление на полетите с Интернет свързаност за операторите. Логическата структура на виртуалната мобилна мрежа, определена от целите и задачите на БАС, е йерархична с локална степен на централизация Център за управление (ЦУ) – БЛА и регионална за група БЛА, с връзка към глобалната мрежа Интернет за целите на управление, за транспорта и обработката на данни. По характер мрежата е елемент от отворена комуникационно-информационна система, свързана с Интернет и с необходимата степен на защита на данни (виртуална частна мрежа, VPN). Достъпът до виртуалната мрежа е с цифров сертификат, трафикът в комуникационният тунел през Интернет е криптиран, а IP-VPN сегментът – изолиран и защитен.

Тип на тунелиране Ethernet/IP през глобалната IP мрежа Интернет осигурява работа в един и същи Ethernet и IP сегмент на устройствата, достъпни от борда на БЛА и тези на мрежата в центровете за управление. Така устройствата, които са базирани на БЛА или са сензори с IP свързаност, могат да се разтоварят от мрежови и приложни задачи, които не са свързани пряко с управление и мониторинг при пълна свързаност между възлите в мрежата. Управлението на адресацията в IP-VPN сегмента дава възможност за фиксирани частни адреси, които да бъдат устойчиви елементи на информационните обекти, формирани от сензори, датчици и БЛА в КИС. Така се осигурява скалиране и развитие за голям брой сензори и устройства.

OpenVPN сървърът е маршрутизатор, който трябва да бъде с публичен IP адрес позициониран в точки на националното или международно IP пространство. За мобилни данни 2G/3G/4G, доставчиците използват частни адреси. За осигуряване на резервираност, скалируемост и миграция в еволюцията на КИС се използва OpenVPN-сървър/Docker решение на виртуална машина и сървърни приложения за осигуряване на полета на БЛА, агрегиране на данни и задачи на ИИ на контейнери, разположени на Docker-сегмента (Фиг. 1).

За структура с 5G транспортна мрежа за данни OpenVPN сървърът и останалите приложения трябва да се разположат на достъпен IP адрес с достъп до Интернет в MEC структурата, което намалява закъсненията до приложенията и осигурява динамика на управление на БЛА (Фиг. 2).

Технологиите за мрежов транспорт 5G/4G/3G/2G при налични публични мрежи за мобилен пренос на данни практически не създават ограничения за географския обхват на мрежата. Независимо от високия коефициент на покритие разпределението на технологии, характеристики, качество и скорост на транспорт на данни са географски сегментирани и различни за степента на урбанизация на географския район. Възможни са и временни прекъсвания на мрежовия достъп поради преминаване в зони на различни клетки при полет или попадане в минимума на вертикалната диаграма на излъчване. В хоризонталната равнина особено извън населени места диаграмата на излъчване на антените може да е в сектори по направление по посоката на шосета и железопътни линии, което също създава предпоставки за загуба на мрежова свързаност на БЛА.



Фиг. 1. Структура на БАС в 4G мобилна мрежа и управление през Интернет

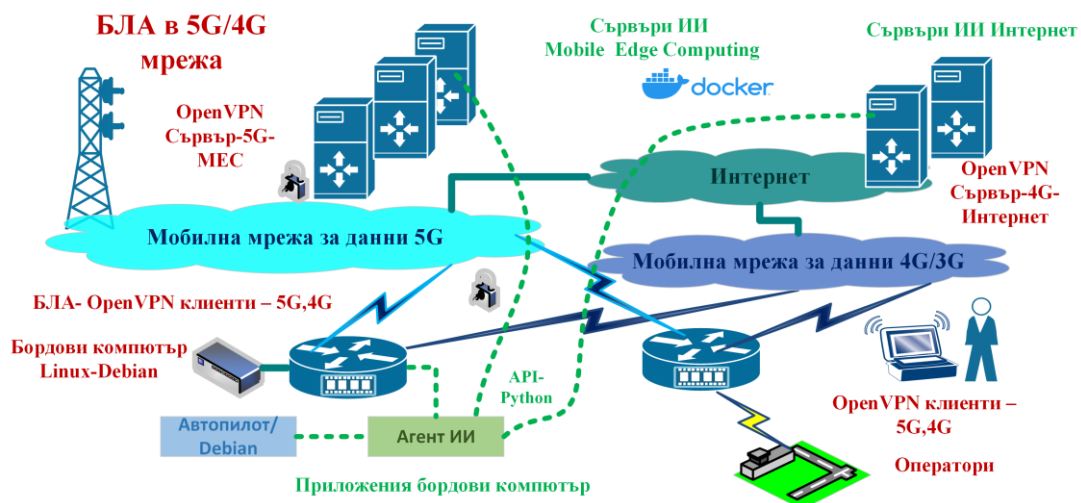


Фиг. 2. Структура на БАС в 5G мобилна мрежа и управление през Интернет

Управление на БЛА и адаптиране на структурата на БАС като задача на ИИ

Особеностите на мрежовия транспорт в мобилна мрежа за данни налага да се запази традиционното радиоуправление (РУ) за полети на БЛА в слабо урбанизирана среда, телеметрия и визуализация на полета при излитане и кацане по радиоканал. Трябва да се осигурят и следните възможности: режим на планиран автономен полет при загуба на управление, възможност за избор на транспортна среда за управление – мобилна мрежа по технология или оператор или традиционното управление по радиоканал. За управлението през мобилна мрежа за данни на БЛА е необходимо да се осигури техническа възможност за избор на алтернативна (“fall back”) мобилна мрежа за данни, когато предпочитаната по технология или по доставчик мрежа не са достъпни. За мобилната свързаност за БАС възможността за избор на работеща алтернатива трябва да включва и преминаване в режим от мобилна мрежа за данни към РУ и обратно. Наличните услуги за доставка на информационни обекти (SMS) също могат да се включат в процедурите за “fall back” и за възстановяване на управлението или преход към планиран автономен полет. Превключване на режим на планиран автономен полет се усложнява от наличието на повече критерии за загуба на управление. В подобни ситуации

пилотът-оператор губи свързаност към БЛА и управлението е задача с елементи на изкуствен интелект. Необходимо е вграждане на агент за ИИ на борда на БЛА, който да осигури с решения бордовата автоматика за изменение на общата структура на КИС при липса на комуникация, като превключва управлението към алтернативен и достъпен комуникационен канал и включва информационните услуги на БЛА, налични за тази технология за пренос



Фиг. 3. БЛА в 5G/4G мобилна мрежа с елементи на ИИ

Структурна схема на комуникационната свързаност и управлението на БЛА с елементи на ИИ е показана на Фиг. 3. БЛА и операторите са с възможност за Интернет достъп през мрежи с технологии 5G/4G/3G. На практика структурите 5G-4G се осигуряват с едновременно активиране на два OpenVPN клиента на един маршрутизатор, с което се постига модулност на системата и запазване на инвестициите при миграция и развитие в посока 5G. Маршрутите от OpenVPN клиента, получен през 5G мрежата са с приоритет и при наличие на мрежова свързаност управлението се осигурява от MEC базирани сървъри, които осигуряват елементи на ИИ за задачите на управление на полета и управление на услугите за агрегиране на данни от сензори с минимално закъснение. Едновременно с това работи друг OpenVPN клиент с маршрутизация с по-малък приоритет през 4G мрежата за приложения, които не изискват високи скорости и бързодействие с възможност за избор на алтернативен пренос (3G/2G). КИС е адаптивна по отношение на комуникационна свързаност, структура за доставка, обработка, агрегиране и презентирание на данни и запазване на управлението на БЛА при временна загуба на достъп до пилот-оператор. В случаи на загуба на комуникационна свързаност задачите на ИИ се изпълняват от агент, базиран на БЛА.

В практическата реализация бордовият компютър е реализиран на Debian/BeagleBone® Blue с приложения автопилот (ArduPilot/Debian®) и ИИ агент (Python, Perl, Node.js®). Реализирано е IP тунелиране на данни от мониторинг на полета и навигационни данни от сензори, терминирани на бордовия компютър. Въпросът за навигационните данни и данните за мониторинг на полета е свързан с осигуряване на задачите на БАС за управление на полета. Експортирането на тези данни в Интернет и към публични облачни услуги е необходима системна функция на БАС за осигуряване на съвместни безопасни полети на различни летателни апарати [5].

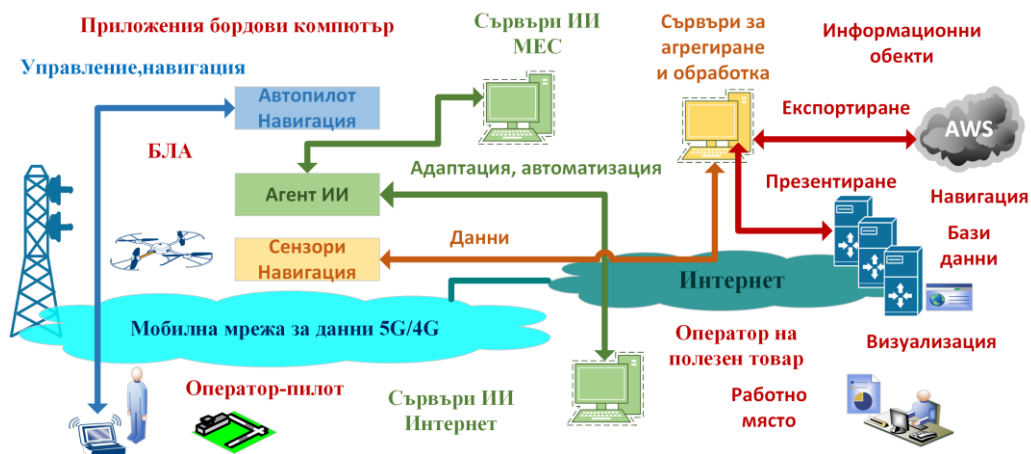
Управлението на полета на БЛА от пилот-оператор се извършва от работно място с един програмнен продукт, като операторът има възможност да избира налична транспортна среда – РУ, WiFi, IP достъп през Интернет. Разглежданата структура осигурява възможности за делегиране на управлението на различни пилот-оператори с достъп през Интернет до виртуалната мрежа на БАС в зависимост от задачите и географията на полета. Повторно обучение на оператора не се налага, но в хода на полета закъсненията в комуникационния канал може да са различни в зависимост от наличната в зоната на БЛА мобилна услуга. Това налага операторът да следи допълнителни параметри, свързани с полета. Разпределението на вниманието в зрителното поле при полет с висока динамика е въпрос, който трябва да получи адекватна обективна оценка с цел налагане на ограничения в името на безопасността [6]. Част от функциите за мониторинг при динамична промяна на комуникационната среда могат да бъдат осигурени от оператора на полезен товар, който с приоритет да решава задачи, които подпомагат управлението на БЛА.

На борда на БЛА се инсталират IP сензорен шлюзове към безжични мрежи с други протоколи (например LoRa), достъпни в мрежовата инфраструктура на БАС. Управлението на потоците от данни в различни транспортни среди е задача на оператора на полезен товар и на агента за ИИ на борда на БЛА. Някои високоскоростни услуги са свързани и изискват наличието на 5G мрежа, други се активират в определени географски зони, като това налага управление от оператор или максимална автоматизация с агента за управление с елементи на ИИ.

Потоци от данни, информационни обекти, презентирани и експортирани към облачни информационни системи

Потоците от данни от и към БЛА (фиг. 4) можем да разделим условно на четири групи: 1) данни за управление, навигация и мониторинг на БЛА, предназначени за пилота-оператор с минимално закъснение, директна доставка и пакетна приоритизация в мрежата, включително видеопоток за визуализация на полета; 2) данни за системата за ИИ между сървърите и агента с минимално закъснение и мрежова приоритизация; 3) данни за оператора на полезен товар, които постъпват на сървъри, формират се като информационни обекти и се визуализират на работното място с цел оптимизация за последваща обработка и агрегиране; 4) Данни от сензори, камери, датчици с директен запис в подходящи бази и възможност за визуализация в реално време за оператора на полезен това както и презентирани за екипи от специалисти и експортирани към публични облачни услуги [4,5].

Извън БАС информационните обекти, получени в резултат на обработка на данните могат да бъдат експортирани за целите на безопасност на полета към други информационни системи (например географските координати на БЛА към публичен сървър) или формирани за повече потребители (например високоскоростно 5G видео). Функциите по форматирането и управлението на информационните услуги в реално време на БАС трябва да се добавят към дейностите на оператора на полезен товар и да се автоматизират с участието на агента за ИИ.



Фиг. 4. Информационни потоци в БАС с елементи на ИИ в състава на КИС

Експериментални резултати

Експериментиран и реализиран е на практика модел на БЛА и БАС в следния състав и възможности:

- БЛА с Ardupilot за управление от оператора-пилот с Mission Planner <https://ardupilot.org/> Arducopter/Debian на апаратна част BeagleBone Blue https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee192/sp20/files/BeagleBone_Blue_ShortSpec.pdf достъпни във виртуална частна мрежа през Интернет и WiFi локално в адресното пространство на виртуалната частна мрежа;
- Виртуални частни мрежи, които са изградени по технологията OpenVPN за осигуряване на IP свързаност между БЛА, ЦУ, оператор-пилот, оператори на полезен товар и сървърите осигуряващи БАС като част от КИС;
- OpenVPN сървъри, изпълнени на Docker/CentOS на виртуални машини с публични IP адреси;
- Маршрутизатори, клиенти на виртуалните мрежи базирани на БЛА и осигуряващи работата на мобилните оператори UR32 (4G/3G/2G) или UR-75-5G (5G/4G) <https://www.milesight-iot.com/>;

- Управление (ssh, http) и мониторинг (SNMP) на мобилните маршрутизатори, както и конфигуриране на приложно-програмен API (Application Programming Interface) за управление от страна на системата за ИИ;
- Навигационна система във виртуалната мрежа с достъп и през Интернет за работа на оператори на полезен товар Traccar/Docker <https://www.traccar.org/> и API за експортиране на навигационни данни за полета на БЛА към облачни навигационни услуги;
- Агрегиране, обработка и визуализация на данни от сензорите в реално време за работа на оператори с Telegraf и бази данни Mariadb и Influxdb с мониторинг в реално време на работно място за оператор, конфигурирано на Grafana;
- Изграждане на API за сървърите за ИИ и агента на ИИ, базиран на БЛА (Node.js, Python) за осигуряване на автоматизация и достъпност на полета на БЛА;
- Модулност и енергийна ефективност за дълготрайна работа и производителност на полета.

Заклучение

В заключение можем да отбележим че в доклада са представени резултатите от синтез и реализация на структура на БАС с елементи на ИИ в Интернет среда като част от КИС, която осъществява доставка, обработка, агрегиране и експортиране на данни, доставени от БЛА, и която има следните предимства:

- БАС осигурява възможности за работа с пренос в мобилни мрежи 5G/4G/3G с висока достъпност на услугата и с адаптация към наличните транспортни услуги, а също така и в с РУ в слабо урбанизирана среда без наличен мобилен пренос на данни.

- БАС експортира обработени данни като информационни обекти в Интернет в реално време, с високи скорости и при високо ниво на сигурност, което е осигурено от работата на елементите на системата във виртуални мрежи и криптирането на трафика през публичните мрежи за данни.

- Синтезирана е структура сървър-агент на ИИ за целите на адаптация при различни условия и за автоматизацията на задачите, които изпълнява БАС – управление на полета и доставка на географски данни.

- Структурата на БАС е функционално завършена и развита до КИС, модулна, енергийно-ефективна и лесно скалируема, с ниска цена и висока надеждност, с перспектива за развитие, поради използването на свободен код и съвременни технологии за виртуализация.

Литература:

1. Domingue, J., A. Galis, A. Gavras, T. Zaharius, ...M. Nisson The Future Internet Future Internet Assembly 2011: Achievements and Technological Promises, Spinger, 2011
2. Pascual, D., Artificial Intelligence Tools Decision Support Systems in Condition Monitoring and Diagnosis, CRC Press, 2015
3. Nonami, K., F. Kendoul, S. Suzuki ...D.Nakazawa Autonomous Flying Robots Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles, Springer, 2010
4. ITU-T F.749.13 Framework and requirements for civilian unmanned aerial vehicle flight control using artificial intelligence (06/2021)
5. ITU-T Y.3178 Functional framework for artificial intelligence-based network service provisioning in future networks including IMT-2020 (07/2021)
6. Metodiev, K., A Tool for Estimating Saccade Kinematics, Sixteenth International Scientific Conference "Space, Ecology, Safety, SES-2020," Sofia, 4 – 6 November 2020
7. Gramatikov, P., Electric Motor-Generators for Unmanned Aerial Vehicles. Aerospace Research in Bulgaria, 29, Space Research Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences, 2017, ISSN:1313-0927, DOI:10.7546/AeReBu.29.18.01.10, 120–132