

ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ BLINUX ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПІДВОДНИМИ БЕЗКОМАНДНИМИ АПАРАТАМИ

Шапо В. Ф.

кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри озброєння
Інституту Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»
ORCID ID: 0000-0002-3921-4159

Анотація. Останні кілька років надзвичайно швидко створюються, застосовуються та вдосконалюються різноманітні безпілотні апарати, які працюють на землі, у повітрі, на воді та під водою, вирішуючи чисельні завдання в різноманітних галузях діяльності людини. Багато із цих завдань принципово не могли бути вирішені раніше або вирішувалися зі значно гіршою якістю. Деякі з безпілотних апаратів можуть бути повністю автономними та виконувати заздалегідь закладений алгоритм дій, даючи змогу за необхідності втручатися оператору, деякі можуть керуватися безпосередньо оператором. Вони відрізняються один від одного такими основними параметрами, як сфера застосування, швидкість вбудованої комп'ютерної системи, швидкість переміщення, час автономної роботи, ціна, можливість модернізації та програмування, комунікаційні протоколи, кількість портів для підключення зовнішнього обладнання, функціональні можливості, засоби управління, використання навігаційних систем та систем позиціонування і т. ін. У роботі розглянуто інтелектуальний безпілотний підводний апарат, управління яким реалізовано на базі вбудованої комп'ютерної системи та інтегрованої в нього операційної системи Blinux сімейства Linux, і його додаткові програмні модулі, що дають змогу розширити спектр завдань, що вирішуються, у тому числі шляхом розроблення користувальницьких програмних застосунків за допомогою спеціальних програмних бібліотек. Виконано аналіз діагоналей, частот оновлення, співвідношення боків та роздільних здатностей моніторів, які можуть бути застосовані на комп'ютерній системі оператора чи відповідному людинно-машинному інтерфейсі. Запропоновано методу розрахунку потрібної швидкості передавання даних між підводним безпілотним апаратом та віддаленою комп'ютерною системою оператора за дротовим каналом залежно від необхідної роздільної здатності, частоти оновлення та кольорової гамми монітора оператора чи налаштувань зберігання відеофайлів з урахуванням використання різноманітних алгоритмів стиснення даних чи без нього.

Ключові слова: безпілотний підводний апарат, віддалене управління, пропускна здатність каналу передавання даних, роздільна здатність монітора.

Shapo V. F. APPLICATION OF BLINUX OPERATION SYSTEM FOR THE INDERWATER UNMANNED VEHICLES CONTROL

Abstract. Last few years different unmanned vehicles which work on the ground, in the air, on the water and under the water, solving countless tasks in different fields of human activity are being created, applied and upgraded at unprecedented speed. A lot of these tasks could not be solved earlier principally, or could be solved with significantly worse quality. Some of unmanned vehicles can be fully autonomous and can perform the algorithm of actions, developed beforehand, and allow operator's intervention in the case of necessity, and some of these unmanned vehicles may be controlled directly by operator.

Such unmanned vehicles may have different main characteristics like application field, productivity of embedded computer system, velocity of moving, time of autonomous work, cost, possibilities of upgrading and programming, communication protocols, the number of ports for external equipment connecting, functional possibilities, control means, using of navigation and positioning systems and so on. Remotely operated intelligent unmanned underwater vehicle, controlled on the base of integrated computer system and Blinux operation system of Linux operation systems family, and its additional software modules which allow to expand the spectrum of the tasks, which are being solved, including the way of the user application software development with the using of special software libraries are analyzed in this paper. The analysis of the diagonals, refresh rates, ratios of the displays sides and displays resolutions, which may be used on the operator's computer system or the corresponding human-machine interface, is performed.

Methodic of the calculation of the necessary channel's data transfer rate between the underwater unmanned vehicle and operator's computer system or specialized data processing and storing center by wired physical data transfer line depending on the necessary resolution, refresh rate and operator's display color gamma or settings of video files storing with the using of different algorithms of data compression or without it, is proposed.

Key words: underwater unmanned vehicle, remote control, data transfer channel bandwidth, display resolution.

Останні кілька років надзвичайно стрімкими темпами створюються, застосовуються та вдосконалюються різноманітні безпілотні апарати (БПА), які працюють на землі, у повітрі та у воді. Деякі з них можуть бути повністю автономними та виконувати заздалегідь закладений алгоритм дій, даючи змогу за необхідності втручатися оператору, деякі можуть керуватися безпосередньо оператором.

Надзвичайно велике значення при цьому має програмне забезпечення (ПЗ), яке дає змогу функціонувати самому БПА, а також додавати відповідні функції під час застосування різноманітних зовнішніх пристроїв, що можуть підключатися до БПА. Суттєвим кроком уперед у цьому питанні є створення спеціалізованих операційних систем (ОС), що дають змогу вирішити всі питання, пов'язані з керуванням БПА, підключенням нових пристроїв, передаванням даних від БПА до оператора або до центру управління.

Так, норвезька компанія Blueeye Robotics [1] додатково до вже наявних простіших БПА розробила, почала виробництво та експлуатацію віддалено керованого БПА ROV X3 (Remotely Operated Vehicle, апарат, що управляється дистанційно) наступного покоління з підтримкою такого зовнішнього обладнання (три порти), як сонари, маніпулятори, датчики, камери, джерела світла, інше додаткове обладнання. Щільна інтеграція БПА зі спеціально розробленою компанією Blueeye Robotics ОС Blunux, нові версії якої може встановлювати користувач, дає змогу легко керувати БПА та регулярно оновлювати його можливості.

Указані три порти підтримують вісім різних комунікаційних протоколів для підключення зовнішніх пристроїв.

Реалізовано повну програмну інтеграцію з програмним застосунком Blueeye App для захватів та маніпуляторів.

Підтримується взаємодія з такими навігаційними системами та системами позиціонування, як Waterlinked DVL та GPS, та різноманітними сонарами виробництва компаній Blue Robotics, Impact Subsea, Blueprint Subsea.

Зовнішня камера та зовнішній ліхтар Blueeye можуть бути позиціоновані в різних напрямках та програмно інтегровані з управляючим програмним застосунком Blueeye App.

Усі пристрої Blueeye Robotics сумісні між собою та дають змогу обмінюватися даними.

Ядром набору ПЗ, необхідного для роботи БПА, є ОС Blunux. Вона базується на ОС Linux та працює безпосередньо на самому БПА, включає систему управління та систему забезпечення передавання і зберігання відео та забезпечує усі комунікації.

Важливим компонентом БПА та його системи управління є Blueeye Remote SDK (Software Development Kit, набір програмних продуктів чи інтегроване середовище для розроблення програмного забезпечення з віддаленого управління, яке можуть створювати сторонні розробники) та Blueeye Onboard SDK (набір програмних продуктів для розроблення сторонніми розробниками програмного забезпечення, що виконується безпосередньо на БПА). Структуру програмних підсистем БПА представлено на рис. 1.

ОС Blunux містить модулі (рис. 1), коротко описані нижче.

1. Модуль комунікацій, входив у систему та ведення системного журналу.

2. Модуль передавання та запису графічної інформації.

3. Вебсервер, що забезпечує доступ до файлів журналів, графічних файлів та дає змогу виконувати діагностику БПА з використанням протоколу HTTP.

4. Система управління Blueeye.

5. Програмна бібліотека libguestport, що містить драйвери та функції взаємодії із зовнішнім периферійним обладнанням (датчики, сонари, маніпулятори), що може бути підключене до БПА.

6. Програмна бібліотека libblunux, що містить алгоритми системи управління, інтеграції датчиків, функції взаємодії з апаратним забезпеченням Blueeye.

7. Програмні бібліотеки підтримки середовищ розроблення ПЗ різних розробників.

8. Інтегрована ОС Linux.

До Blueeye Remote SDK входять модулі, перелічені в пунктах 1–4. До Blueeye Onboard SDK входять модулі, перелічені в пунктах 5–8. До ОС Blunux у цілому входять усі модулі, перелічені вище.

Одними з найважливіших завдань, для вирішення яких використовуються підводні БПА, є обстеження підводних об'єктів та переда-

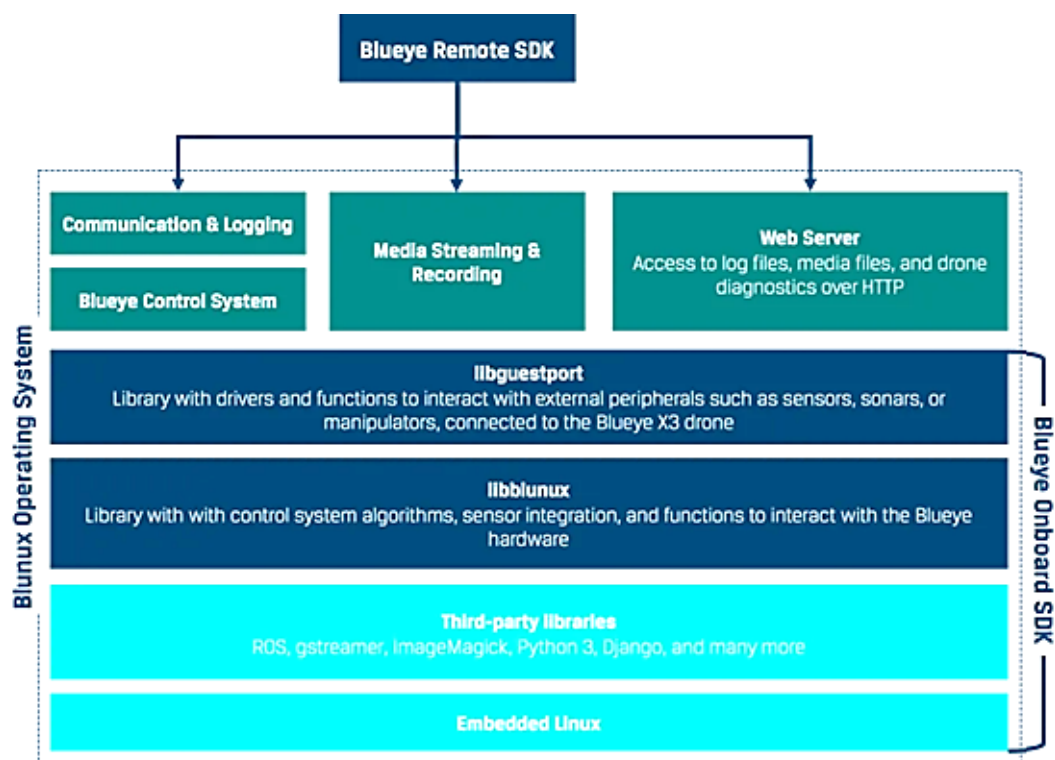


Рис. 1. Структура програмних підсистем із розроблення ПЗ для ОС Blunux

вання оператора отриманих фото та відеоданих, у тому числі в режимі реального часу. Так, у жовтні – листопаді 2022 р. БПА використовувалися для обстеження підводних газопроводів «Північний потік», пошкоджених у результаті підводних вибухів [2].

Для відображення відео та фото даних, що передаються з БПА, безпосередньо на переносному екрані оператора можуть бути використані невеликі дисплеї систем людиномашинного інтерфейсу (ЛМІ). Найбільш популярними є дисплеї з такими діагоналями: 2.8, 3.5, 4.3, 5.6, 5.7, 7, 8, 8.4, 9, 10, 10.2, 10.4, 12, 12.1, 13, 15 дюймів.

Отримані результати розрахунків показано в табл. 1.

У табл. 1 наведено початкові дані та результати розрахунків, які дали змогу отримати швидкість передавання даних W відеоінтерфейсу, сегменту мережі передачі даних чи каналу Інтернет для передавання нестиснутих відеоданих. Розрахунки, виконані за формулою (1) для сучасних моніторів із різноманітними співвідношеннями боків (4:3, 16:9, 16:10 та ін.), роздільними здатностями за горизонталлю та вертикаллю та різними частотами кадрового розгортання:

Таблиця 1
Розраховані пропускні здатності мережі передавання даних чи графічного інтерфейсу під час передавання нестиснутих графічних даних або відео

Кількість пікселів по горизонталі, H	Кількість пікселів по вертикалі, V	F , Гц	Швидкість передавання даних W , Мбайт/с
240	160	75	5,49
320	240	75	10,99
400	240	75	13,73
480	272	75	18,68
640	200	75	18,31
640	350	75	32,04
640	480	75	43,95
720	348	75	35,84
800	480	75	54,93
800	600	75	68,66
800	640	75	73,24
1024	600	100	117,19
1024	768	100	150,00
1152	864	100	189,84
1280	800	100	195,31
1280	960	100	234,38
1280	1024	100	250,00
1600	1200	100	366,21
1920	1080	100	395,51

$$W = \frac{HVF_n}{2^{20}} \text{ Мбайт/с}, \quad (1)$$

де H – роздільна здатність відповідного монітора (телевізора, рідкокристалічної панелі) по горизонталі, пікселів;

V – роздільна здатність відповідного монітора (телевізора, рідкокристалічної панелі) по вертикалі, пікселів;

F – кадрова частота, Гц;

n – об'єм пам'яті для зберігання інформації про колір пікселя (глибина кольору), байт.

Для зберігання даних щодо кількості кольорів (бітова глибина кольору) за замовчуванням припускається 16 бітів (2 байти). Це дає змогу отримати $2^{16} = 65\,536$ кольорів; це значення є припустимим і навіть непоганим сьогодні для вирішення великої кількості задач візуалізації. Ділення на 2^{20} виконується, щоб отримати кінцеву одиницю виміру Мбайт/с (1 кбайт = 2^{10} байт, 1 Мбайт = 2^{10} кбайт = 2^{20} байт). Також для кодування кольору може бути використана менша кількість бітів (8, 10, 12 біт замість 16). Це дасть змогу суттєво зменшити потрібну пропускну здатність каналу передавання даних залежно від наявного обладнання (монітори, комп'ютери) та мережних характеристик, але може призвести до втрати якості зроблених БПА чи будь-яким іншим дроном фото або відео. Але для підводних зйомок можливе також використання 24- чи 32-бітної (16 777 216 та 429 496 7296 кольорів відповідно) глибини кольору, що дасть змогу отримати більш

високу якість отриманих фото чи відео навіть за суттєво збільшеного навантаження на канал передавання даних та комп'ютерні системи.

Розрахунки, виконані за формулою (1), актуальні для визначення пропускну здатності інтерфейсу між зовнішньою чи інтегрованою відеокартою комп'ютерної системи та дисплеєм (телевізором, рідкокристалічною панеллю), потрібної пропускну здатності внутрішніх інтерфейсів (шин) комп'ютера та швидкодії графічної підсистеми процесора. Отримані результати є дуже великими для поставленого завдання, тому в реальності відеодані здебільшого повинні бути стиснуті з деякою втратою якості, майже непомітною чи зовсім непомітною для ока людини. Наприклад, для передавання стандартного телевізійного сигналу потрібна пропускну здатність близько 3.8 Мбіт/с, а для передавання сигналу телебачення високої чіткості потрібна пропускну здатність близько 15–25 Мбіт/с зі стисненням за стандартом MPEG-2 (H.262) чи 8–12 Мбіт/с зі стисненням за стандартом MPEG-4 (H.264) [4]. Найновіший стандарт стиснення High Efficiency Video Coding (HEVC) H.265 підтримує роздільні здатності до 8192×4320 пікселів, дає змогу вдвічі збільшити стиснення відеоданих за збереження тієї самої якості відео або отримати суттєво покращену якість відео за збереження розміру файлу [5]. Завдання бездротового передавання даних під водою вимагає окремого ретельного аналізу.

Література:

1. Blueeye Newsletter. URL: <https://www.blueyerobotics.com>.
2. Blueeye Newsletter. URL: [https://www.blueyerobotics.com/Revealing the damages on the Nord Stream 1pipeline with the Blueeye underwater drone.html](https://www.blueyerobotics.com/Revealing_the_damages_on_the_Nord_Stream_1pipeline_with_the_Blueeye_underwater_drone.html).
3. Vladlen Shapo. Method of training system hardware characteristics calculating. Proceedings of the 13th International Conference on Engine Room Simulators. *Збірник праць XIII Міжнародної конференції тренажерів машинного відділення*. Одеса : НУ «ОМА», 2017. С. 76–80.
4. High-definition television. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/High-definition_television.
5. High Efficiency Video Coding. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/High_Efficiency_Video_Coding#2017.

References:

1. Blueeye Newsletter (n.d.). Retrieved from: <https://www.blueyerobotics.com>
2. Blueeye Newsletter (n.d.). Revealing the damages on the Nord Stream 1pipeline with the Blueeye underwater drone. Retrieved from: <https://www.blueyerobotics.com/>
3. Vladlen Shapo. (2017). Method of training system hardware characteristics calculating. *Proceedings of the 13th International Conference on Engine Room Simulators (Zbirnyk prats XIII Mizhnarodnoi konferentsii trenazheriv mashynogo viddilennia)*. Odesa: NU «OMA». P. 76–80.
4. Wikipedia (n.d.). High-definition television. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/High-definition_television
5. Wikipedia (n.d.). High Efficiency Video Coding. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/High_Efficiency_Video_Coding#2017