

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПЛАНУВАННІ ТА ДИСТАНЦІЙНОМУ КЕРУВАННІ РУХОМ МОБІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Ю.О. Гунченко¹, І.В. Ковалець², С.А. Шворов³, Д.С. Комарчук³, В.С. Лукін³

¹ Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

² Інститут проблем математичних машин та систем НАН України,
пр. Глушкова, 42, м.Київ, 03680, Україна

³ Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна; e-mail:dmitruy@mail.ru

У статті з метою підвищення ефективності планування траєкторій руху мобільних об'єктів на складній місцевості запропоновано використовувати систему підтримки прийняття рішень при плануванні та дистанційному керуванні рухом мобільних роботів. Джерелом інформації для системи підтримки прийняття рішень є система технічного збору, що знаходиться на мобільному роботі та безпілотному літальному апараті. Відеоінформація, яка приймається системами технічного зору, передається на диспетчерський пункт в реальному часі. Розглянуті методи навігації мобільних роботів, які поділяються на три групи: глобальні, тактичні і локальні. Глобальний метод використовується перед початком руху мобільного робота на основі застосування карти місцевості. На тактичному рівні інформація про особливості різних ділянок місцевості та перешкоди на шляху руху робота постійно оновлюється за допомогою систем технічного зору. Для уникнення зіткнень з різними видами перешкод, які можуть з'явитися і зникати або змінювати своє місце розташування на шляху мобільного робота, застосовується локальний метод навігації. Показано, що використання систем технічного зору на базі безпілотного літального апарату істотно збільшує зони огляду мобільних роботів і дозволяє підвищити ефективність оперативного керування рухом та планування маршрутів мобільних роботів з урахуванням особливостей ділянок місцевості та різних перешкод. Розглянуті можливості застосування сучасних інформаційних систем і технологій, які включають в себе велику кількість процедур, що моделюють або підтримують процес інтелектуального планування руху мобільних об'єктів на основі даних, отриманих з безпілотного літального апарату. До простих процедур такого типу відноситься будь-яка класифікація кількісних даних по заданим користувачами критеріям, аналіз ділянок місцевості та перешкод з метою планування маршрутів мобільних роботів на складній місцевості. Процедури подібного типу присутні не тільки в задачах аналізу фотозображень, а й при їх обробці за допомогою геоінформаційних систем. Описано принципи використання і методи обробки навігаційної та зорової інформації при вирішенні основних завдань автономного руху мобільних роботів і польоту безпілотного літального апарату. Наведено структуру системи підтримки та прийняття рішень з застосуванням програмно-апаратних засобів систем технічного зору в складі мобільних роботів і безпілотного літального апарату в реальних середовищах.

Ключові слова: мобільна робототехніка, система технічного зору, мобільний робот, геоінформаційна система (ГІС), безпілотний літальний апарат (БПЛА)

Вступ

Системи підтримки та прийняття рішень (СППР) є якісно новим рівнем автоматизації управлінських рішень при плануванні маршрутів або навігації мобільних

роботів (МР). Під навігацією розуміється теорія і практика спрямування по заданій траєкторії рухомих об'єктів. Мета навігації МР полягає в знаходженні оптимальних (відповідно до заданих критеріїв) маршрутів його переміщення між заданими точками простору з урахуванням стаціонарних (пасивних) та рухомих (активних) перешкод. Виходячи з цього, розробка нових моделей, методів і алгоритмів навігації автономних мобільних роботів з урахуванням різних видів перешкод є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій [1-8] показує, що на даний час в СППР широко застосовуються глобальні і локальні методи навігації МР. Глобальні методи засновані на тому, що перед початком руху МР повністю відома карта місцевості. Знаючи своє місцезнаходження, точку фінішу, а також розташування всіх перешкод, МР, користуючись заданим алгоритмом дій, забезпечує знаходження найкоротшого шляху від старту до фінішу і після цього долає цей шлях. На практиці найбільш часто використовуються методи фронту хвилі, A^* , дерева квадратів, видимого графа [1-4]. До недоліків таких методів відноситься необхідність збереження карти місцевості (найчастіше великих розмірів) і підвищена обчислювальна складність. Локальні методи навігації використовуються в тих випадках, коли МР не відомі стаціонарні (пасивні) та рухомі (активні) перешкоди, які можуть з'являтися і зникати та змінювати своє місце розташування. У такому випадку МР отримує навігаційну інформацію про локальну область зовнішнього середовища, перебуваючи в межах дії його датчиків. До таких методів навігації МР можна віднести: методи, засновані на використанні потенційних полів перешкод [2], методи сімейства BUG [5, 6], що використовують для отримання навігаційної інформації тактильні датчики, а також методи сімейства VisBUG [6-8], які припускають отримання навігаційної інформації від ультразвукових датчиків. До переваг методів локальної навігації слід віднести їх обчислювальну простоту. Недоліки цих методів порівняно з методами глобальної навігації складаються у відхиленні реальної траєкторії руху МР від оптимального маршруту і більш складною процедурою локалізації МР в просторі. Для обох груп методів навігації МР характерна проблема своєчасного визначення пасивних та, особливо, активних перешкод на шляху руху МР. Крім того, існуючі методи та алгоритми розв'язання задач планування траєкторій руху наземного МР, застосовуються в два етапи: спочатку знаходиться глобальна траєкторія по картографічних даних, яка потім в процесі руху періодично уточнюється за даними бортової системи технічного зору (СТЗ) МР. Такому підходу властиві суперечності і недоліки, обумовлені суттєвою відмінністю масштабів подання інформації на цих двох етапах. Використання СТЗ на базі БПЛА, що поставляє проміжну між етапами планування інформацію про ділянки місцевості, дозволяє з одного боку оперативно уточнювати картографічні дані, а з іншого – на порядок розширити зону огляду бортової СТЗ МР, що підвищує ефективність вирішення всіх цільових завдань МР. Незважаючи на значний обсяг досліджень в даній області, проблема розробки СППР для навігації МР з урахуванням різних видів перешкод на шляху руху МР, залишається відкритою.

Мета досліджень – розробка структури системи підтримки та прийняття рішень при плануванні маршрутів руху і керуванні МР в залежності від перешкод, визначених за допомогою систем технічного зору.

Методи досліджень

Процес планування змісту та часу планування траєкторій руху МР поділяється на декілька етапів, а саме: формування електронної карти місцевості та визначення усіх видів перешкод на кожній ділянці з БПЛА на основі застосування методів статистичного аналізу та штучного інтелекту, а також визначення оптимальних

маршрутів руху МР з урахуванням перешкод з використанням методу ситуаційного керування.

Результати досліджень

У СППР використовується комбінований метод навігації МР, заснований на комплексному застосуванні глобальних, тактичних та локальних методів навігації. При наявності СТЗ на базі БПЛА можливий варіант трьохетапного планування траєкторій руху МР з використанням картографічних даних (глобальна траєкторія), даних з СТЗ на базі БПЛА (тактична траєкторія) і даних СТЗ МР (локальна траєкторія). Тактична траєкторія, яка побудована за даними з СТЗ на базі БПЛА, являє собою замкнуту траєкторію, що проходить по складкам місцевості. Цільовою точкою на глобальному рівні планування передбачається кінцева точка маршрутного завдання МР, цільовими точками на тактичному рівні планування буде послідовність точок, що належать глобальній траєкторії, а цільовими точками на локальному рівні планування будуть послідовності точок, що належать траєкторіям, побудованим на тактичному рівні планування. При цьому, місцевість, по якій пересувається МР, складається з ділянок двох видів: відкритих ділянок і перешкод, які МР не може прямо подолати. Якщо перешкода виявляється на шляху МР, то він повинен її об'їхати.

Система підтримки та прийняття рішень включає в себе необхідну кількість процедур, що моделюють або підтримують процес інтелектуального планування руху мобільних об'єктів (МО). До простих процедур такого типу відноситься будь-яка класифікація кількісних даних по заданим користувачами критеріям, більш складні забезпечують аналіз сцен, процесів, явищ з метою планування маршрутів МО на складній місцевості. Процедури подібного типу присутні не тільки в задачах аналізу фотозображень, а й при обробці даних за допомогою ГІС. У міру розширення сфери застосування геоінформаційних технологій та ускладнення процедур геоінформаційного моделювання процедури аналізу і класифікації сукупностей даних, об'єктів і структур займають все більш значуще місце і в ГІС нового покоління.

У СППР практично весь процес тематичного дешифрування фотозображень складається з поетапного угруповання і подальшого перетворення даних з метою створення абсолютно визначеною, проблемно-орієнтованої картини ділянки земної поверхні. Значна частина цих етапів забезпечується методами і алгоритмами, що входять в спеціалізовані інструментальні пакети, і завдання обробника полягає у створенні найбільш ефективної схеми класифікації даних.

Центральним елементом СППР (рис. 1) є спеціалізована база знань, яка здійснює ідентифікацію технологічних процесів керування МР. Під ідентифікацією надалі розуміється побудова математичної моделі, яка встановлює взаємозв'язок між вхідними змінними СТЗ і вихідними змінними щодо керування рухом МР. В основу математичної моделі ідентифікації покладена нечітка база знань, що представляє собою сукупність продукційних правил "ЯКЩО-ТО".

Обробка вхідних змінних СППР здійснюється на основі розпізнавання образів, що включає в себе ряд кроків:

1. Сприйняття образу від СТЗ (технічне вимірювання).
2. Фільтрація отриманого сигналу.
3. Визначення необхідних характеристик (індексація).
4. Прийняття рішення щодо класифікації образу.

На першому кроці забезпечується обробка інформації від радарів, камер спостереження, 3D-лазерних сканерів, тепловізорів.

Фільтрація отриманого сигналу та первинне опрацювання вхідних образів здійснюється на основі використання Вейвлет-аналізу [9].

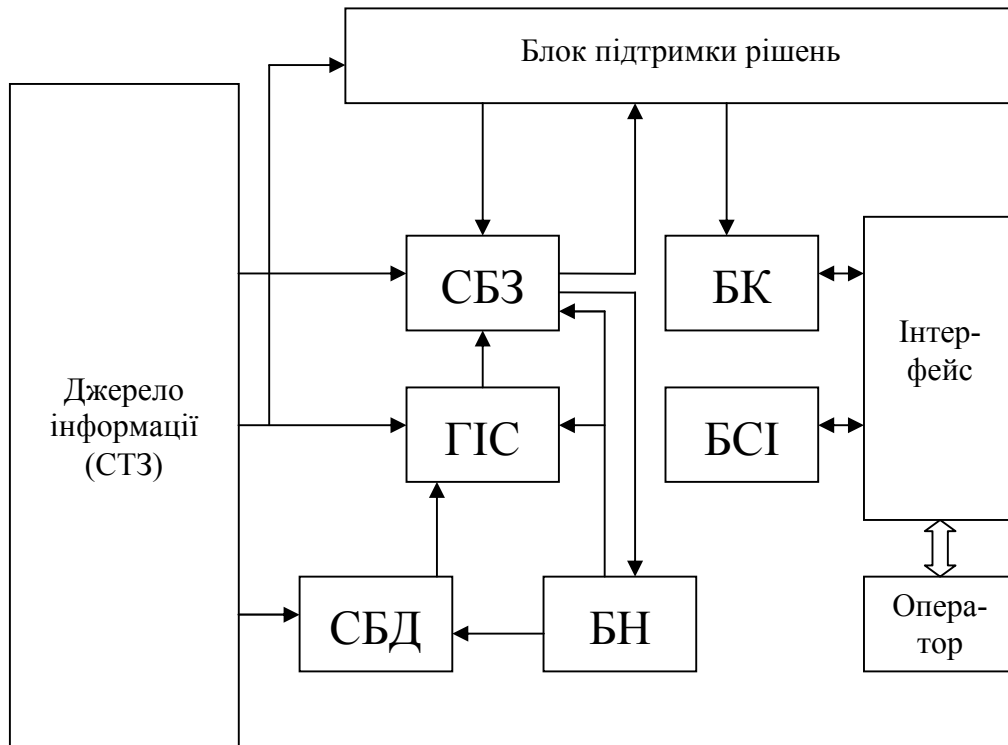


Рис. 1. Структурна схема СПДР: СБД – ситуативна база даних, СБЗ – спеціалізована база знань, ГІС – геоінформаційна система, БН – блок навчання, БК – блок коментарів, БСІ – блок синтезу інформаційної моделі

Розпізнавання образів (на третьому та четвертому кроках) здійснюється у системі розпізнавання образів (СРО). Синтез СРО включає наступні кроки: визначення тренувальної вибірки, представлення даних та значимих характеристик у необхідному вигляді, обґрунтування класифікуючого критерію та навчання СРО, повернення до кроку 2 (або навіть і до кроку 1) при незадовільній якості роботи СРО, оптимізація та налаштування СРО [9].

За допомогою СТЗ забезпечується отримання даних про ділянку місцевості з безпілотного літального апарату і МР та відображення перешкод на шляху руху МР за допомогою ГІС. Фотографування визначеної поверхні проводиться з висоти від 1 до 250 м з можливістю одержання знімків з високою роздільною здатністю.

Як показують результати експериментальних досліджень, отримані дані від звичайних цифрових фотокамер з БПЛА можна ефективно використовувати при визначенні різних перешкод на шляху руху МР. Після проведення фотозйомки на електронній карті місцевості на основі статистичної обробки RGB-сигналів визначається декілька контрастних за оптичними характеристиками зон (ділянок). Для кожної з цих зон експериментально визначаються контрольні розміри та спектральні характеристики різних видів перешкод, які використовуються для навчання нейронної мережі в БН. Таким чином, на основі статистичної обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості та за допомогою апарату нейронних мереж визначаються перешкоди на шляху руху МР, що забезпечує оперативне прийняття рішень для планування маршрутів руху МР.

За результатами фотозйомки з БПЛА проводиться статистична обробка отриманих даних. Оскільки стандартний формат Jpeg визначає значення RGB не для кожного конкретного пікселя, а для ділянок з однаковими параметрами, виникає необхідність у перетворенні даних із формату Jpeg в формат BMP, в якому значення яскравості складових адитивної моделі кольору утворення визначаються для кожного

пікселя. Таким чином, є можливість визначення координат перешкод на електронній карті місцевості, значення RGB яких відрізняються від середнього на відповідний відсоток.

Протягом всього польоту фотоапарат проводить серії знімків, що забезпечує їх перекриття для подальшої обробки. Дані про знімки завантажуються в СБД, СБЗ, ГІС та блок підтримки рішень, де обробляються, причому робота зі знімками може вестися як до приземлення апарату, так і після неї. Якщо контрольована територія має більший розмір ніж площа, яка відображена на знімку, тоді знімки «зшиваються» у панораму за допомогою програмного забезпечення «Panorama Factory». В результаті застосування цього програмного пакету отримуємо зведену панораму, до якої вже можна «прив'язати» географічні координати місцевості. В результаті чого отримуємо карту з прив'язкою по реперним точкам. Після прив'язки з'являється можливість обробляти знімок стандартним географічним інструментарієм.

Для планування руху МР відомою інформацією є початкове місце його знаходження та кінцева точка маршруту руху МР, координати перешкод, що отримані за допомогою СТЗ. Необхідно знайти такі оптимальні маршрути руху МР, при яких забезпечується:

- мінімальний шлях руху МР;
- об'їзд пасивних та активних перешкод.

Відправна задача приводиться до дискретного вигляду. Для цього область простору станів, що нас цікавить, накривається Q -ою мережею $L^{(1)} \times L^{(2)} \times \dots \times L^{(Q)}$. При цьому вважається, що МР може переміщуватися тільки з одного вузла цієї мережі до іншого.

Задача керування рухом в заданих умовах розв'язується за допомогою методу ситуаційного керування та апарату штучного інтелекту, що включає комбінацію нейронних мереж і продукційних правил, при застосуванні яких при переході від одного вузла до іншого мінімізується траєкторія руху МР [10].

Геометричні характеристики зони маневрування дистанційно визначаються СТЗ, створеної на базі 3D-лазерного сенсора, який дозволяє отримувати зображення зовнішнього середовища перед МР, в діапазоні відстаней 0...50 м, з точністю до 5 см. За результатами отриманих зображень відповідно до законів сканування з урахуванням кутових і лінійних переміщень МР будуються локальні траєкторії руху МР.

При плануванні глобальних траєкторій використовується картографічна база даних ГІС, що дозволяє не тільки зберігати інформацію про великі зони можливого маневрування, а й коригувати її в процесі руху за даними СТЗ БПЛА.

Таким чином навігаційна система створюється на основі комплексування ГІС, засобів супутникової навігації, датчиків БПЛА та МР. Комплексне використання різних датчиків і методів навігації (рис. 2), дозволило достовірно вирішувати навігаційну задачу бортовими засобами при функціонуванні МР в умовах пересіченій місцевості, а виконавча система відпрацьовувати знайдені траєкторії з урахуванням кінематичних і динамічних характеристик МР.

Експериментальне дослідження показало переваги в оперативності та достовірності отриманих результатів запропонованої СППР та в застосуванні комбінованого методу в порівнянні з традиційними методами навігації.

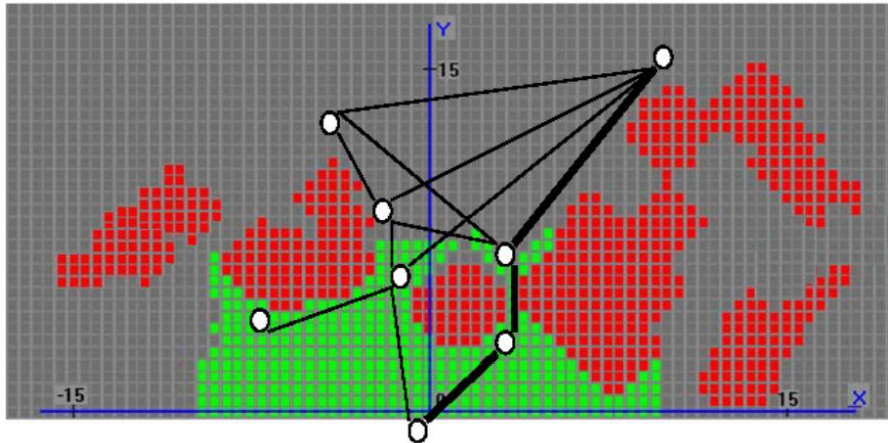


Рис. 2. Комплексне використання різних датчиків і методів навігації: червоним кольором зображені заборонені місця руху МР

Висновки і перспективи

Таким чином, запропонована СППР при плануванні маршрутів руху МР в залежності від наявності перешкод на шляху їх руху, визначених за допомогою СТЗ, передбачає більш високу достовірність і оперативність отримання інформації та точність керування МР, а також зменшення загальної довжини руху МР та витрат пального. Одержані дані з БПЛА дають можливість на основі використання розробленої технології оперативно визначати перешкоди на шляху руху МР, що скорочує часові витрати планування маршрутів руху групи мобільних роботів. Комплексне використання різних датчиків СТЗ і методів навігації МР є перспективним напрямом подальших досліджень.

Список літератури

1. Защелкин, К.В. Реализация комбинированного способа навигации автономного мобильного робота / К.В. Защелкин, В.В. Калинин, Н.О. Ульченка // Электротехнические и компьютерные системы. – 2013. – № 09 (85). – С. 102-109.
2. Адамів, О.П. Моделі та інтелектуальні засоби адаптивного керування автономним мобільним роботом [Текст] дис. ... канд.техн. наук: захищена 12.12.2007 / Адамів Олег Петрович. – Одеса, 2007. – 124 с.
3. Fahimi, F. Autonomous Robots. Modeling, Path Planning and Control / F. Fahimi –New York: Springer, 2009. – 348 p.
4. Hachour, O. Pathplanning of Autonomous Mobile robot / O. Hachour // International Journal of Systems Applications, Engineering and Development. – 2009. – Issue 4. – PP. 178 –190.
5. Lumelsky, V. Sensing, intelligence motion / V. Lumelsky – New Jersey: Wiley-Interscience, 2006. – 456 p.
6. Song, H. Research on Path Planning for the Mobile Intelligent Robot / H. Song, L. Hu // World Congress on Computer Science and Information Engineering. – 2009. – № 1. – P. 121-144.
7. Siegwart, R. Introduction to Autonomous Mobile Robots / R. Siegwart, I. Ourbakhsh. – Boston: MIT Press, 2004. – 336 p.
8. Jian, Y. Comparison of Optimal Solutions to Realtime Path Planning for a Mobile Vehicle / Y. Jian, Q. Zhihua, W. Jing, C. Kevin // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part A: System and Humans. – 2010. – Vol. 40. – PP. 721-725.
9. Шворов С.А. Нейромережеве розпізнавання оптичних образів у системах спеціального призначення / Шворов С.А., Штепа В.М., Заяць Н.А. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2014. – Вип. 45. – С. 102-108.

10. Гунченко, Ю.О. Метод побудови інтелектуальних систем планування переміщення мобільного робота в невідомому середовищі / Ю.О. Гунченко, І.В. Муляр, П.М. Дубина // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2015. – Вип. 50. – С. 23-28.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.А. Гунченко¹, И.В. Ковалец², С.А. Шворов³ С.А., Д.С. Комарчук³, В.Е. Лукин³

¹ Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

² Институт проблем математических машин та систем НАН Украины,
пр. Глушкова, 42, г. Киев, 03680, Украина

³ Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина; e-mail:dmitruy@mail.ru

В статье с целью повышения эффективности планирования траекторий движения мобильных объектов на сложной местности предложено использовать систему поддержки принятия решений при планировании и дистанционном управлении движением мобильных роботов. Источником информации для системы поддержки принятия решений являются системы технического зрения, которые находятся на мобильном роботе и беспилотном летательном аппарате. Видеоинформация, регистрируемая системами технического зрения, передается на диспетчерский пункт в реальном времени. Рассмотрены методы навигации мобильных роботов, которые делятся на три группы: глобальные, тактические и локальные. Глобальный метод используется перед началом движения мобильного робота на основе применения карты местности. На тактическом уровне информация об особенностях различных участков местности и препятствий на пути движения робота постоянно обновляется с помощью систем технического зрения. Во избежание столкновений с различными видами препятствий, которые могут появляться и исчезать или сменять свое местоположение на пути мобильного робота, применяется локальный метод навигации. Показано, что использование систем технического зрения на базе беспилотного летательного аппарата существенно увеличивает зоны обзора мобильных роботов и позволяет повысить эффективность оперативного управления движением и планирования маршрутов мобильных роботов с учетом особенностей участков местности и различных препятствий. Рассмотрены возможности применения современных информационных систем и технологий, которые включают в себя большое количество процедур, моделирующих или поддерживающих процесс интеллектуального планирования движения мобильных объектов на основе данных, полученных с беспилотного летательного аппарата. К простым процедурам такого типа относится любая классификация количественных данных по заданным пользователями критериям, анализ участков местности и препятствий с целью планирования маршрутов мобильных роботов на сложной местности. Процедуры подобного типа присутствуют не только в задачах анализа фотоизображений, но и при их обработке с помощью геоинформационных систем. Описаны принципы использования и обработки навигационной и зрительной информации при решении основных задач автономного движения мобильных роботов и полета беспилотного летательного аппарата. Приведена структура системы поддержки и принятия решений с применением программно-аппаратных средств систем технического зрения в составе мобильных роботов и беспилотного летательного аппарата в реальных средах.

Ключевые слова: мобильная робототехника, система технического зрения, мобильный робот, дрон, геоинформационная система, беспилотный летательный аппарат

**DECISION SUPPORT SYSTEM IN PLANNING AND REMOTE CONTROL OF MOVEMENT
MOBILE OBJECTS**

Yu. A. Gunchenko¹, I.V. Kovalets², S.A. Shvoro³, D.S. Komarchuk³, V.E. Lukin³

¹ Odessa I.I.Mechnikov National University,
Dvoryanskaya str., 2, Odessa, 65082, Ukraine

² The Institute of Mathematical Machines and Systems Problems National Academy of Science of Ukraine,
Academician Glushkova Avenue 42, 03680, Kiev, Ukraine

³ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail:dmitruy@mail.ru

In the article, in order to improve the efficiency of planning the trajectories of mobile objects on a difficult terrain, was suggested to use a decision support system for planning and remote control of the mobile robots movement. The source of information for the decision support system is a vision system that is on mobile objects and an unmanned aerial vehicle. Video information recorded by vision systems is transmitted to the control room in real time. The methods of navigation of mobile robots are considered, which are divided into three groups: global, tactical and local. The global method is used before the mobile robot moves on the basis of the map application. At the tactical level, information about the characteristics of different terrain areas and obstacles to the movement of the robot is constantly updated by the vision systems. To avoid collisions with various types of obstacles that can appear and disappear or change their location in the path of the mobile robot, a local navigation method is used. It is shown that the use of vision systems on the basis of an unmanned aerial vehicle significantly increases view areas of mobile robots and makes it possible to increase the efficiency of operational traffic control and route planning for mobile robots, taking into account the characteristics of terrain and various obstacles. The possibilities of application of modern information systems and technologies that include a large number of procedures that simulate or support the process of intellectual planning of the movement of mobile objects on the basis of data obtained from an unmanned aerial vehicle are considered. Simple procedures of this type include any classification of quantitative data for given users criteria, analysis of terrain and obstacles to plan routes for mobile robots in difficult terrain. Procedures of this type are present not only in problems of analyzing photo images, but also in their processing with the help of geoinformation systems. The principles of using and processing navigation and visual information in solving the main tasks of the autonomous movement of mobile robots and the flight of an unmanned aerial vehicle are described. The structure of the system of support and decision-making with the use of software and hardware for vision systems in mobile robots and an unmanned aerial vehicle in real environments is given.

Keywords: mobile robotics, technical vision system, UAV, mobile robot, geoinformation system, GIS, unmanned aerial vehicle