

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 62-523.8

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ КЕРОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ КРОКУЮЧИХ ПЛАТФОРМ З ЧОТИРМА КІНЦІВКАМИ*Павловський О. М., Платов І. М., Півторак Д. О.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: a_pav@ukr.net*

У статті запропоновано концепцію побудови керованих крокуючих платформ із чотирма кінцівками. Ці платформи можуть бути використані в ході військових, виробничих, будівельних, пошукових і рятувальних операцій. Оскільки існуючі розробки є доволі перспективними, то кожен існуючий прототип, що підтвердив свою ефективність, використовується для подальшої модернізації або розробки типових конструкцій. Найчастіше, більшість використовуваних крокуючих платформ має шість рухомих кінцівок, т.з. гексаподи, у статті приділено увагу конструкції, що використовує чотири рухомі кінцівки, що зменшує витрати на виготовлення подібних платформ, причому не залежно від розмірів, потужності та сфери застосування.

Особливістю даного типу крокуючих роботів є складність побудови та правильного підбору складових, їх характеристик, розташування, керуючих алгоритмів тощо. Не дивлячись на існуючі зразки таких відомих компаній як Boston Dynamics, Mechanized Propulsion Systems, немає єдиної концепції створення крокуючих платформ, тому метою даної роботи є намагання об'єднати в єдину концепцію найбільш ефективні загально доступних прийомів для створення крокуючих керованих автоматизованих платформ із чотирма кінцівками.

У статті описані необхідні конструктивні елементи, які використовуються для побудови простого крокуючого робота, а саме приводи, елементи рухомих опор, обчислювальне ядро, чутливі елементи. Показані варіанти розташування елементів для більшої стійкості конструкції. В результаті, використовуючи розроблену концепцію, запропоновано побудувати квадропод для подальшого проведення експериментальних досліджень, що дозволить підтвердити ефективність і достовірність запропонованої концепції. Також необхідно зазначити, що у роботі розглядаються питання, що стосуються лише механічної частини конструкції, а питання алгоритмів керування, особливостей їх програмування, прийому та обробки керуючих сигналів, питання споживання енергії та ін. будуть розглянуті у подальших працях.

Ключові слова: *крокуюча платформа; концепція створення; алгоритм створення; ARM; STM32; ARDUINO; мікроконтролер; сервоприводи; кінематика; гексапод; квадропод.*

Вступ та постановка задачі

У сучасній промисловості розробляється та реалізується велика кількість різноманітних робототехнічних рішень, і, незалежно від того, які функції виконують ці роботи, класу точності, формфактора кінцівок, габаритів, їх можна умовно поділити на дві групи – рухомі (вільно рухаються в інерційному просторі) та нерухомі (жорстко закріплені до поверхні) [1]. Не дивлячись на те, що автомати та роботи, що закріплені на нерухомій платформі, більш поширені, досконалі та використовуються масово, наразі, більш перспективними є розробки, що вільно рухаються у просторі. На відміну від роботів, що рухаються за допомогою коліс або гусениці, крокуючі, легше долають перешкоди, можуть рухатися з місця в будь-якому напрямку, а, головне, утримують корпус у горизонтальному положенні при переміщенні через перешкоди, які одна відносно одної знаходяться на різних рівнях висот.

Зазвичай, реалізуються крокуючі керовані платформи з шістьма кінцівками, так звані роботи "павуки" або гексаподи, які є більш стійкими, ніж роботи з чотирма кінцівками, внаслідок наявності додаткових рухомих опор. Проте, розвиток матеріальної бази, застосування сучасних матеріалів, приводів та систем керування, надало змогу провідним виробникам робототехніки, серед яких інженерні компанії Boston Dynamics, Mechanized Propulsion Systems та ін., стрімко створювати та розвивати автоматизовані роботизовані крокуючі платформи з чотирма кінцівками або квадроподи, які застосовуються в ході виробничих, будівельних, пошукових і рятувальних операцій, перенесення вантажів, для військових операцій, оскільки у цьому випадку легше маскувати роботу під тварину і т.п. [2, 3]. Крім того, така конструкція економічно оправдана порівняно із конструкцією типу "гексапод", причому незалежно від розмірів, потужності та сфери застосування.

Не дивлячись на різноманіття керованих автоматизованих крокуючих платформ, сфери їх застосування, габаритів, потужності, автономності, існує низка однакових проблем, що постають перед розробниками, проте не існує єдиної, або розповсюдженої концепції створення або алгоритму дій, наприклад, для вибору форми кінцівок, кількості та типу приводів, їх розташування, наявних сенсорів тощо.

Отже, метою цієї роботи є намагання об'єднання в єдину концепцію найбільш ефективних і загально доступних прийомів для створення крокуючих керованих автоматизованих платформ із чотирма кінцівками.

Аналіз конструкцій крокуючих платформ та формування концепції створення крокуючих платформ із чотирма кінцівками

Як зазначено вище, зазвичай, найбільш розповсюдженою конструкцією для реалізації крокуючих платформ, є конструкції, що використовують шість рухомих опор – павуки або гексаподи (рис. 1).

Порівняно із конструкціями, що використовують чотири рухомі кінцівки (представлені на рис. 2), подібні платформи потребують більшої кількості складових (опори, приводи, системи живлення), що суттєво збільшує їх вартість.

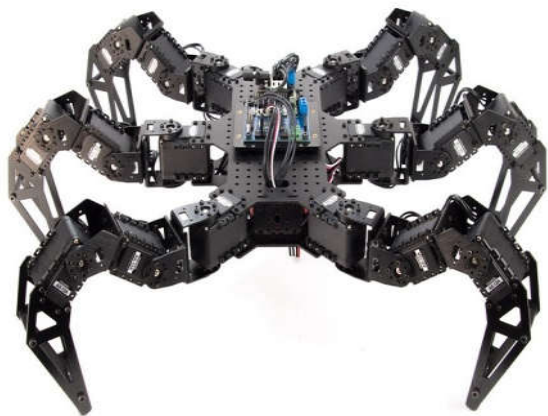


Рис. 1. Різновиди крокуючих платформ із шістьма кінцівками

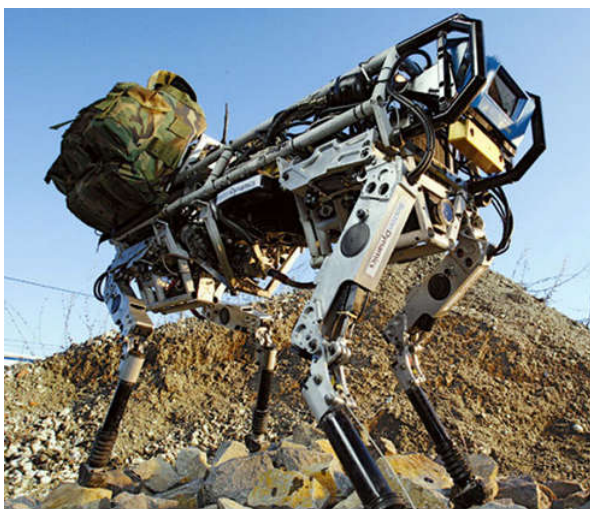


Рис. 2. Крокуючі платформи із чотирма кінцівками від Boston Dynamics [2]

Натомість, недоліком квадроподів є зменшена стійкість через відсутність додаткових точок опори, проте таке питання може бути вирішене удосконаленням алгоритму керування. З урахуванням того, що обробка модифікованого алгоритму повністю покладається на обчислювальне ядро, та-

кий підхід призводить до значної економії матеріальних ресурсів. Таким чином, наступні задачі будемо розглядати на прикладі конструкції крокуючих платформ із чотирма кінцівками.

Проте, не дивлячись на суттєві відмінності у конструктивному виконанні для гекса та квадро-

подів, та проаналізувавши джерела [1 – 4], можна виділити низку однакових завдань, виконання яких дозволить уніфікувати алгоритм створення крокуючих платформ та сформувати єдину концепцію:

- вибір матеріалів для виготовлення кінцівок;
- вибір типу кінематики та реалізація алгоритмів руху;
- вибір типу та кількості приводів для руху кінцівок;
- вибір мікроконтролера в якості керуючого ядра;
- обрання чутливих елементів систем орієнтації та навігації;
- обрання додаткових сенсорів та модулів;
- питання розміщення основних елементів.

Наведений перелік не є вичерпним, проте, на думку авторів, є базовим для побудови рухомої частини крокуючих платформ типу квадропод. Далі будемо розглядати основні пункти наведеної концепції з формуванням рекомендацій щодо використання. Також зазначимо, що для підтвердження ефективності та працездатності запропонованої концепції, буде створено прототип крокуючої платформи, тому описані у подальшому конструктивні та виконавчі елементи будуть обрані з огляду на можливість фізичної реалізації.

Вибір матеріалів для виготовлення кінцівок

Існуючі прототипи крокуючих платформ у якості матеріалів для виготовлення, використовують пластики, полімери, метали та їх комбінацію. Немає однозначної рекомендації для вибору того чи іншого матеріалу для певного виду конструкції, сфери застосування або потужності. Проте з урахуванням розвитку 3D-друку та якості використовуваних пластиків, переважна більшість використовує саме таку технологію. Можна сформулювати рекомендацію, що спирається на масогабаритні параметри крокуючої платформи і, відповідно, на корисне навантаження, яке переноситься. Відтак, для платформ із корисним навантаженням до 1 кг, використовуються дешеві низькотемпературні пластики типу ABS/ABS+, PLA, що використовують побутові 3D-принтери. Такі конструкції, при невеликій міцності, мають низку переваг, серед яких є низька вартість, можливість заміни та ремонту пошкоджених сегментів, модернізація моделей тощо. При корисному навантаженні більше 1 кг, необхідно використовувати конструкційні пластики, посилені металевими елементами на базових сегментах. Прототипи Boston Dynamics [2] використовують металевий каркас з полімерними опорами на базі карбону, що дозволяє переносити вантажі до 150 кг (BigDog та його модифікації).

Вибір типу кінематики та реалізація алгоритмів руху

Квадропод можна розглядати як тверде тіло

(платформу) і декілька кінцівок (ланок), поєднаних між собою. Всі ланки поєднані з платформою одним кінцем нероздільно, а інший кінець вільно рухається в просторі (з обмеженнями на певний кут повороту). Відповідно, необхідно знати кінцеву координату кінцівки, і певний алгоритм дій, що призведе до необхідного переміщення як всієї платформи, так і кінцівки окремо, тобто необхідною умовою є визначення кінематики руху, яка визначає геометрію руху робота в просторі. Для цього вирішуються дві її основні задачі – пряма або обернена [4, 5]. Пряма задача кінематики дозволяє, знаючи кути повороту рухомих ланок та їх параметри, отримати координати положення рухомої частини. Зворотна задача дозволяє отримати кути повороту рухомої частини, знаючи параметри та координати положення рухомих ланок, відповідно, вибір вирішуваної задачі залежить від сфери використання квадропода. Необхідно зазначити, що проаналізувавши роботи [4, 5] визначено, що для побудови кінематики, і відповідно, алгоритму руху для гексаподів, вирішуються і пряма, і зворотна задачі кінематики, проте не можна використовувати ті ж параметри руху для квадроподів, що обумовлено меншою кількістю одночасно рухомих елементів, браком точок опори, а також іншим принципом переміщення платформи. З врахуванням вищесказаного, для побудови алгоритму керування квадроподом, необхідно використовувати більш потужні мікроконтролери у якості обчислювального ядра.

Оскільки кінцівки квадропода можуть здійснювати поступальні й обертальні рухи відносно платформи, для кожної ланки кінцівки визначається зв'язана система координат, вісі якої паралельні осям з'єднань ланок. Для вирішення прямої задачі кінематики, необхідно визначити матрицю перетворення, яка встановлює зв'язок між платформою (абсолютною системою координат) і зв'язаною системою координат. Для опису обертального руху використовується матриця повороту 3×3 , для представлення векторів положення у тривимірному просторі застосовуються однорідні координати, а для поступального руху зв'язаної системи координат використовується матриця однорідного перетворення 4×4 . Таким чином можна отримати універсальний алгоритм кінематики робота.

Щодо зворотної задачі, існує багато методів для її вирішення і обрання конкретного залежить від сфери використання квадропода. Деякі з них: метод зворотних перетворень, гвинтової алгебри, подвійних матриць, подвійних кватерніонів, метод ітерацій, геометричний підхід тощо [4]. Широко застосовуються алгоритми руху на базі різноманітних регуляторів [6], хоча вони мають свої недоліки, серед яких збільшення кількості додаткових сенсорів, ускладнена система керування та додаткове навантаження на обчислювальне ядро.

Чотири кінцівки квадропода відповідають кі-

лькості кінцівок більшості ссавців, а отже ключовим фактором конструювання є їх конфігурація. Для квадропода необхідно щонайменше по дві ступені свободи на кожну кінцівку, що достатньо для переміщення. Розміщення сервоприводів і форма кінцівок залежать від призначення, габари-

тів робота, розташування центра мас (бажано, щоб центр мас співпадав з центром платформи). Геометрична форма обирається згідно із сферою використання, корисним навантаженням, кількістю датчиків, якими буде оснащений квадропод, деякі з форм показані на рис. 3.

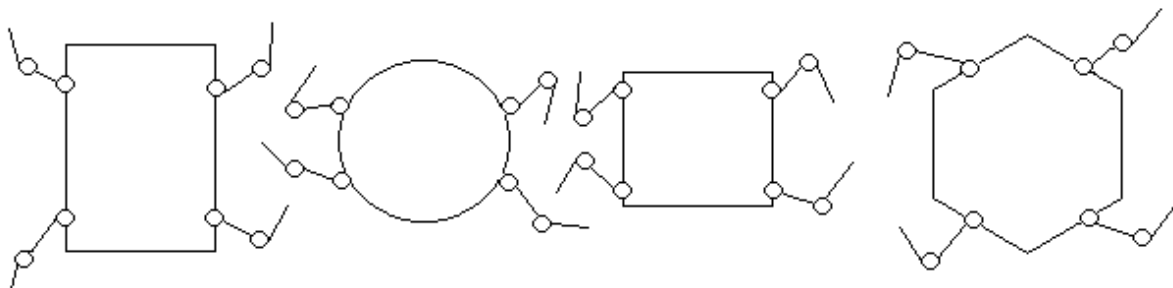


Рис. 3. Приклад форм платформи квадропода

Для уникнення дебалансу та підвищення стійкості, важкі елементи, такі як елементи живлення, рекомендовано розташувати якомога нижче, логічним і розповсюдженим рішенням є розташування елементів живлення під платформою.

Вибір приводів для руху кінцівок

Залежно від необхідного моменту, масогабаритних параметрів, споживаної потужності для існуючих прототипів крокуючих платформ існує широкий спектр різноманітних двигунів і приводів, серед яких можна виділити пневмоприводи (рис. 4, а), гідравлічні приводи (рис. 4, б), лінійні приводи (рис. 4, в), соленоїди (рис. 4, г), сервопри-

води (рис. 4, д) та крокові двигуни (рис. 4, ж). У різних конструкціях всі ці двигуни та приводи можуть використовуватися як окремо, так і в комбінованому варіанті, що значно розширює сферу застосування кожного двигуна. Наприклад, лінійний привод можна використати в якості елемента кривошипно-шатунного механізму і перетворити поступальний рух в обертальний. Проте зазначимо, що перші чотири із зазначених приводів (рис. 4, а – рис. 4, г), у більшості випадків використовуються для промислових маніпуляторів або для крокуючих платформ з великим корисним навантаженням.

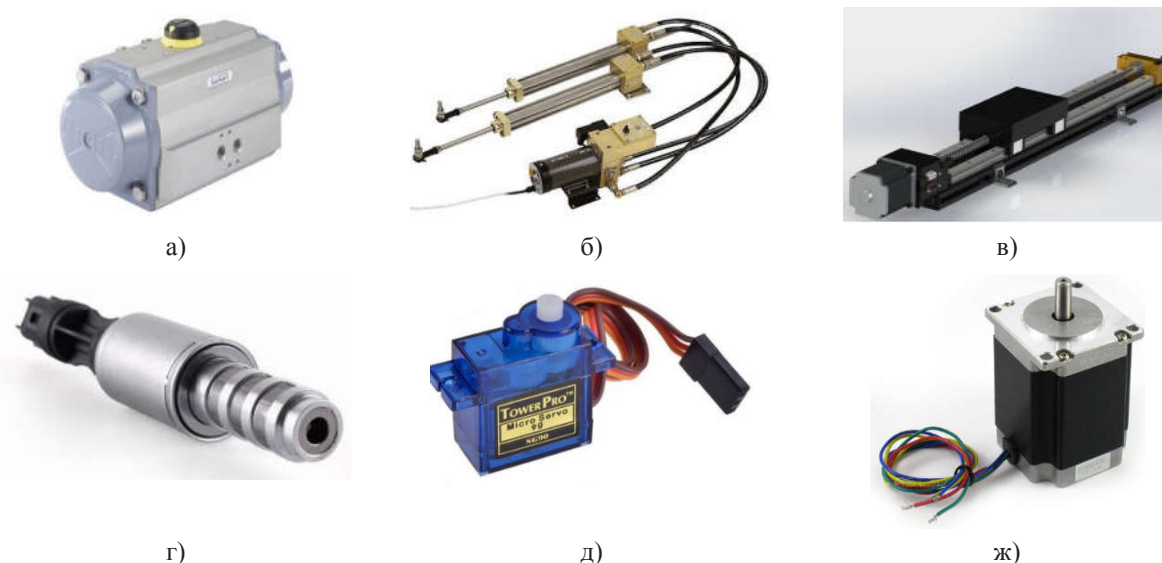


Рис. 4. Різновиди приводів для реалізації крокуючих платформ, де: а) пневмопривод; б) гідравлічний привод; в) лінійний привод; г) соленоїд; д) сервопривод; ж) кроковий двигун

Серед вище представлених, найпопулярнішими є сервоприводи (рис. 4, д), оскільки мають

невисоку вартість, легко керуються, дозволяють отримати великі обертальні моменти, мають схему

вимірювання кута, що є актуальним при побудові квадроподів. Тому для реалізації рухомих платформ із невеликим корисним навантаженням, пропонується використовувати саме сервоприводи.

Вибір керуючого ядра

Із значним розвитком мікропроцесорної техніки, в якості обчислювального ядра, у більшості випадків, використовують один єдиний мікроконтролер (МК) – мікропроцесорна система, яка може виконувати складні обчислення та керування багатьма модулями в реальному часі. На сьогодні популярними ядрами є мікроконтролери сімейств ARM та ATmega [7]. Незважаючи на те, що реалізація алгоритмів керування на Arduino, що використовує ядро ATmega доволі розповсюджена і

більш проста, ARM-мікроконтролери більш потужні, що необхідно для обробки великої кількості даних, особливо з врахуванням особливостей кінематики і алгоритмів керування для платформ із чотирма кінцівками. Тому побудову квадропода краще здійснювати на базі ARM мікроконтролера [7, 8].

Для простоти монтажу існують готові плати типу STM32-Discovery з сучасним 32-бітним мікроконтролером сімейства ARM фірми ST Microelectronics, з усім необхідним для програмування та налаштування керуючої програми, які розглянуті в роботі [9], але вони є занадто громіздкими. Більш компактним варіантом є плати налаштування, що показані на рис. 5, а та рис. 5, б, характеристики обчислювальних ядер наведені в таблиці 1.

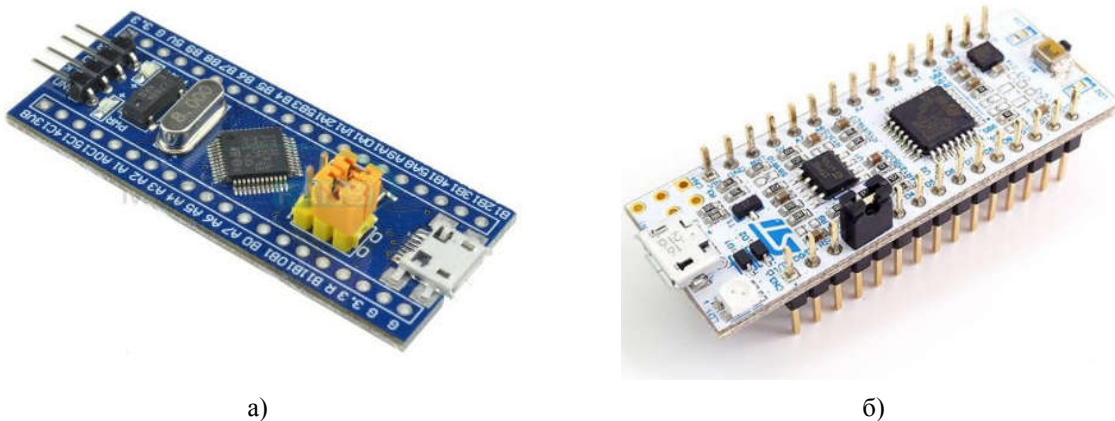


Рис. 5. Плати з мікроконтролерами сімейства ARM фірми ST Microelectronics, де: а) налаштувальна плата STM32F103C8T6, б) налаштувальна плата STM32 Nucleo-32 з контролером STM32F303K8T6

Таблиця 1. Характеристики налаштувальних плат

Модель:	STM32F103C8T6	STM32F303K8T6
Ядро:	ARM 32 Cortex-M3	ARM 32 Cortex-M4
Режим налаштування:	SWD	SWD, JTAG
Робоча частота:	72 МГц	72 МГц
Пам'ять програм:	64 КБ	64 КБ
Пам'ять даних:	20 КБ	16 КБ
Напруга живлення:	2.0-3.6 В	2.0-3.6 В
Кварцевий резонатор:	8 МГц і 32768 кГц	4 - 32МГц і 32768 кГц

У випадку, якщо виникає необхідність підключення великої кількості сервоприводів (8-16 од.) та зменшення навантаження безпосередньо на МК, існує модуль розширення – 16-канальний 12-bit PWM/Servo з I2C інтерфейсом на PCA9685 [10], за допомогою якого можливо підключити до 16 сервоприводів, а поєднавши декілька таких плат – до 992.

Даний модуль не лише дозволяє збільшити кількість приводів, а й здійснює гальванічну розв'язку живлення, що підвищує надійність і дозволяє уникнути пошкодження мікроконтролера.

Окремий вхід живлення сервоприводів надає змогу розділити живлення на дві лінії – силову та

лінію живлення мікроконтролера, що додатково забезпечує контролер, і дозволяє використовувати різні джерела живлення, що актуально при побудові ефективної системи живлення крокуючої платформи.

Чутливі елементи крокуючих платформ

Для вирішення питань позиціонування квадропода у просторі та планування маршруту, на платформі розташовують безплатформну інерціальну навігаційну систему, яка може бути виконана на чутливих елементах різного типу. Так для крокуючих платформ із великим корисним навантаженням використовують лазерні гіроскопи [11 –

13], для невеликих квадрата та гексаподів – мікро-механічні датчики різної точності. Глобальне позионування реалізується із використанням GPS/ГЛОНАСС.

Для додаткової стійкості при подоланні перешкод та виконанні складних рухів, на кінцівках можуть бути розміщені датчики тиску, або датчики положення кінцівки, зазвичай це або оптичні, або індукційні датчики. Для фіксування перешкод за азимутом, та побудови карти місцевості, використовуються оптичні системи машинного зору,

що є найбільш розповсюдженим рішенням, проте такі системи або потребують додаткового обчислювального ядра, або значною мірою навантажують основний контролер, тому альтернативою таким системам є використання датчиків відстані на рухомій основі. Найбільш розповсюдженими чутливими елементами для реалізації зазначених систем є ультразвукові (рис. 6, а), інфрачервоні та лазерні (рис. 6, б) вимірювачі відстані. Принципи роботи, переваги та недоліки зазначених чутливих елементів описані у роботах [14 – 16].



а



б

Рис. 6. Вимірювачі відстані, що використовуються для побудови крокуючих платформ, де: а) ультразвуковий датчик відстані SU04; б) лазерний датчик відстані VL53L0X-V2

Для компенсації недоліків кожного із чутливих елементів, а також для підвищення точності, сенсори можуть бути підібрані та встановлені у комплексі.

Окрім наведених чутливих елементів, на платформі, залежно від сфери застосування, можуть бути розміщені відеокамери, тепловізори, комплекси для проведення неруйнівного контролю та діагностики, системи пеленгу та фіксації цілей, кліматичні датчики тощо.

Отже, використовуючи найбільш розповсюджені конструктивні рішення, що приведені вище, надалі буде створено макет квадропода із можливістю переносу корисного навантаження до 1 кг. Такий формфактор обраний із огляду на врахування економічних аспектів, проте, створений макетний зразок дозволить підтвердити або скоригувати розроблену концепцію.

У роботі глибоко не розглядаються питання розробки алгоритмів керування платформою, їх адаптації до обраного мікроконтролера, не розглянуте питання щодо стійкості платформи у фазі переносу кінцівки, та варіанти технічних рішень підвищення стійкості, ці питання будуть розглянуті у подальшому. Також, у подальшому, планується розглянути питання щодо енергоефективності системи живлення, дослідити взаємозв'язок між ємністю елементів живлення, їх формфактором, типом та часом безперервного функціонування автоматизованої крокуючої платформи з чотирма кінцівками залежно від призначення.

Висновки

Із розвитком промисловості, все більше задач покладаються на автоматизовані системи, на виробництві широко використовуються роботи та маніпулятори, які можуть бути або жорстко закріплені на робочому місці, або переміщуватись по певній траєкторії. Останнім часом набувають широкого вжитку т.з. крокуючі платформи, що стало можливим у зв'язку із активним розвитком силових приводів та мікропроцесорних ядер. Особливістю даного типу робототехнічних рішень є, з одного боку рухомість в обмежених просторах, на відміну від класичних машин з колесами або гусеницею, а з іншого – складність побудови і правильного підбору складових.

У статті показано, що при створенні крокуючих платформ із різною кількістю рухомих кінцівок вирішуються однотипні задачі, проте єдиного алгоритму створення таких систем не існує, таким чином, в статті показано можливість об'єднання у єдину концепцію найбільш ефективних і загальнодоступних прийомів для створення крокуючих керованих автоматизованих платформ. Зроблений основний акцент на крокуючих платформах із чотирма кінцівками або квадроподах, що на відміну від платформ із шістьма кінцівками, є економічно доцільнішими, проте мають низку недоліків, які вирішуються алгоритмічно, модифікуючи алгоритми керування для керуючого ядра, і потребують вирішення більш складних кінематичних задач.

Приведений опис основних пунктів запропонованої концепції, показані різновиди матеріалів та

виконавчих елементів, залежно від корисного навантаження платформи, приведені стислі рекомендації для вибору цих рішень, для можливості подальшої реалізації. Приведено опис поширених мікропроцесорних ядер, що можуть виконувати роль єдиного обчислювального ядра для керування квадроподом, з урахуванням використання більш складних алгоритмів руху, порівняно із гексаподами.

Надалі планується підтвердити ефективність запропонованої концепції та, використовуючи найбільш розповсюджені конструктивні рішення, створити макет квадропода, що дозволить підтвердити або скоригувати розроблену концепцію і може бути використаний для дослідницької, навчальної або інженерної діяльності.

Що стосується наукових здобутків, то планується проаналізувати основні відмінності алгоритмів керування гексаподів, як найбільш розповсюджених, а отже і більш досконалих, від алгоритмів керування квадроподів, виявити спільні частини, і таким чином, зробити висновок про можливість універсалізації алгоритму. У випадку, якщо аналіз покаже повну несумісність таких алгоритмів, то, знаючи принципи відмінності, можна буде значно підвищити стійкість квадроподів у фазі руху.

Робототехніка крокуючих машин не обмежується матеріалами, представленими в цій роботі, тому, поєднуючи різні типи двигунів, сенсорів, використання ефективних конструктивних рішень значно розширить сфери застосування даних роботів.

Література

- [1] Е. И. Юревич, *Основы робототехники*: Учебное пособие, 4-е изд., перераб. и доп. СПб, РФ: БХВ-Петербург, 2017.
- [2] Офіційний сайт Boston Dynamics [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bostondynamics.com/>
- [3] Офіційний сайт Mechanized Propulsion Systems [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mechaps.com/>
- [4] К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли, *Робототехника*. Москва, СССР: Мир, 1989.
- [5] Э. Накано, *Введение в робототехнику*, Москва, СССР: Мир, 1988.

- [6] Как настроить ПИД-регулятор для гоночного робота [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://edurobots.ru/2019/01/pid/>
- [7] І. М. Платов, О. М. Павловський “Вимірювання часу роботи функцій чисельного інтегрування на мікроконтролерах STM32F303VCT6, ATmega328P.”, на *XII Всеукр. наук.-практ. конф. Погляд у майбутнє приладобудування*, Київ, 2019, с. 42–45.
- [8] STM32 Nucleo Boards [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32-nucleo-boards.html>
- [9] І. М. Платов, О. М. Павловський, “Переваги використання відладочних плат STM32DISCOVERY у навчальному процесі на кафедрі ПСОН”, на *XI наук.-практ. конф. Погляд у майбутнє приладобудування*, Київ, 2018, с. 49–52.
- [10] PCA9685 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf>
- [11] M. Raibert, K. Blankespoor, G. Nelson, R. Playter and the BigDog Team, “BigDog, the Rough-Terrain Quaduped Robot”, Boston Dynamics, In: Proc: *The IFAC Workshop on Navigation, Guidance and Control*, IFAC NGCUV 2008, Killaloe, Ireland, April 8-10, 2008.
- [12] В. В. Аврутов, *Испытания инерциальных приборов*: Учебное пособие. Киев, Украина: НТУУ КПИ им. Игоря Сикорского, 2016.
- [13] Т. Окоси, *Волоконно-оптические датчики*, Ленинград, СССР: Энергоатомиздат, 1990.
- [14] Ультразвуковые датчики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://electricalschool.info/automation/1548-ultrazvukovye-datchiki.html>
- [15] Ultrasonic Sensor SU04 User Manual. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://img.banggood.com/file/products/20180629054243RadiolinkUltrasonicSensorSU04UserManual-2018.6.9.pdf>
- [16] VL53L0X. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/group3/b2/1e/33/77/c6/92/47/6b/DM00279086/files/DM00279086.pdf/jcr:content/translations/en.DM00279086.pdf>

УДК 62-523.8

А. М. Павловский, И. М. Платов, Д. А. Пивторак

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ШАГАЮЩИХ ПЛАТФОРМ С ЧЕТЫРЬМЯ КОНЕЧНОСТЯМИ

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

В статье предложена концепция построения управляемых шагающих платформ с четырьмя конечностями. Такие платформы могут быть использованы в ходе военных, производственных, строительных, поисковых и спасательных операций. Поскольку существующие разработки довольно перспективны, то каждый существующий

прототип, підтвердивши свою ефективність, використовується для подальшої модернізації або розробки типових конструкцій. Частіше за все, більшість використовуваних шагаючих платформ мають шість подвижних кінцівок, т.н. гексаподи, в статті уделено увагу конструкції, яка використовує чотири подвижні кінцівки, що зменшує витрати на виготовлення подібних платформ, причому незалежно від розмірів, потужності та сфери застосування.

Особливістю даного типу шагаючих роботів є складність побудови та правильного підбору складових, їх характеристик, розташування, керуючих алгоритмів та тому подібного. Незважаючи на наявні зразки від таких відомих компаній як Boston Dynamics, Mechanized Propulsion Systems, немає єдиної концепції створення шагаючих платформ, тому метою даної роботи є спроба об'єднання в єдину концепцію найбільш ефективних та загальнодоступних прийомів для створення шагаючих керуваних автоматизованих платформ з чотирма кінцівками.

В статті описані необхідні конструктивні елементи, які використовуються для побудови простої шагаючої роботи, а саме приводи, елементи подвижних опор, обчислювальне ядро, чутливі елементи. Показані варіанти розташування елементів для більшої стійкості конструкції. В результаті, використовуючи розроблену концепцію, запропоновано побудувати квадропода для подальшого проведення експериментальних досліджень, що дозволить підтвердити ефективність та достовірність запропонованої концепції. Також необхідно зазначити, що в роботі розглядаються питання, пов'язані з механічною частиною конструкції, а питання алгоритмів управління, особливостей їх програмування, прийому та обробки керуючих сигналів, питання, пов'язані з витратами енергії та ін. будуть розглянуті в наступних роботах.

Ключові слова: шагаюча платформа; концепція створення; алгоритм створення; ARM; STM32; ARDUINO; мікроконтролер; сервоприводи; кінематика; гексапод; квадропод.

Oleksii Pavlovskiy, Ilya Platov, Diana Pivtorak

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

THE CONCEPT OF A CONTROLLED, AUTOMATED STEPPING PLATFORM WITH FOUR LIMBS

In this article the concept of building stepping platforms with four limbs is proposed. Such platforms can be used during military, industrial, construction, search and rescue operations. As the existing developments are quite promising, each existing prototype, which has confirmed its effectiveness, is used for further modernization or development of standard structures. Most often, most of the walking platforms used have six moving limbs, the so-called hexapods, the article will focus on a design that uses four moving limbs, which reduces the cost of manufacturing such platforms, and regardless of size, power and scope.

The peculiarity of this type of walking robots is the complexity of building and correct selection of components, their characteristics, location, control algorithms and the like. Despite the existing samples from such well-known companies as Boston Dynamics, Mechanized Propulsion Systems, there is no single concept of creating walking platforms, so the purpose of this work is an attempt to combine into a single concept of the most effective and generally available methods for creating walking controlled automated platforms with four limbs.

The article describes the necessary conservative elements that are used to build a simple walking robot, namely, drives, elements of moving supports, computing core, sensitive elements. Arrangements of elements for more stable construction are shown. As a result, using the developed concept, it is proposed to build a quadropod for further experimental studies, which will confirm the effectiveness and reliability of the proposed concept. It should also be noted that the work deals with issues related only to the mechanical part of the structure, and the question of control algorithms, features of their programming, reception and processing of control signals, the question of energy consumption, etc. will be considered in subsequent papers.

Keywords: ARM; STM32; ARDUINO; microcontroller; servo drives; kinematics; hexapod; quadropod.

*Надійшла до редакції
25 квітня 2020 року*

*Рецензовано
06 березня 2020 року*