

## ІЄРАРХІЧНА СТРУКТУРА КЕРУВАННЯ В СУЧАСНІХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ РОБОТІВ

Абрамов В.О.

Захоплення роботами серед молоді останнім часом зобумовлено досягненнями і рівнем розвитку науки і техніки в цій сфері. Роботи все більше працюють в промисловості, сільському господарстві, у різних наукових і дослідницьких проектах. Крім того, роботи — це красива і захоплююча іграшка для дітей, що значно стимулює їх вивчення і сприяє розвитку відповідних галузей науки. У всьому світі підтримується й організовується захоплення робототехнікою, проводяться конкурси, змагання, олімпіади. У Києві теж була проведена перша олімпіада роботів [1]. Вона показала великий інтерес молоді до цієї галузі наукових знань і великі потенційні можливості нашої країни в розвитку сучасних високих технологій і виходу на передові світові рубежі, за умови цілеспрямованої та ефективної підтримки цієї діяльності.

Тому дуже важливо надати якомога широкому колу захоплених людей технічні можливості для конструювання роботів і систем управління для них. У попередній статті [2] був описаний лабораторно-методичний комплекс для вивчення основ теорії комп'ютерних систем управління і робототехніки. Основою макету було управління пристроями і механізмами через спеціальний адаптер паралельного порту комп'ютера. За такого рішення робот постійно сполучений з комп'ютером спеціальним кабелем для передавання інформації. Це значно обмежує його мобільність і функціональні можливості.

З подібними труднощами стикаються майже всі творці навчальних та ігрових робототехнічних комплексів. Завдання полягає в необхідності збільшувати одночасно функціональність і мобільність об'єктів управління. У розв'язанні цієї задачі можуть бути два варіанти.

Перший варіант полягає в передаванні всіх функцій управління автономній мікропроцесорній системі робота і підвищенні її потужності та складності, що призводить до значного дорожчання моделі робота. Але в цьому випадку робот буде дійсно автономним. Лише періодично необхідно завантажувати програми із зовнішнього комп'ютера, у якому знаходяться засоби створення і доробки програм управління. Для завантаження можна використовувати кабель або бездротовий канал. Після цього робот є незалежним від зовнішнього комп'ютера і діє автономно за заданою програмою. Цим шляхом йдуть більшість фірм розробників навчальних та ігрових наборів для конструювання моделей роботів.

Більш економічне рішення полягає в переданні основних функцій керування потужному комп'ютеру, що знаходиться поза об'єктом управління (робота). Водночас із зростанням мобільності об'єкта управління зростає відповідальність, яка накладається на відповідний канал передавання інформації. До нього пред'являються досить високі вимоги з пропускну здатності, перешкодостійкості, гнучкості і рух-

ливості. Такими властивостями володіють деякі бездротові канали зв'язку (наприклад, радіо, оптичний, акустичний). У цьому варіанті вся інтелектуальна частина системи управління й підготовки програм залишається в зовнішньому комп'ютері, що управляє і реалізує програми управління, а також оперативно взаємодіє по інформаційному каналу з виконавчими механізмами і датчиками усередині робота.

Значно ефективнішою є ієрархічна структура, яка об'єднує обидва варіанти. Водночас робот має свій автономний мікропроцесор, але більша частина програми управління реалізується на зовнішньому комп'ютері. Функції, що управляють, розділені між роботом і комп'ютером. У цьому випадку робот не повністю автономний, а частково залежить від зовнішнього блоку управління (видаленого комп'ютера), тому дуже легко розширити функціональність системи додаванням оперативного дистанційного телекерування (радіоуправління). На рис. 1 наведена типова функціональна структура такого ієрархічного керування.

Необхідно також врахувати перспективи розвитку таких систем, складність яких постійно збільшуватиметься. В існуючих конструкторах мікропроцесорні блоки управління робота обслуговують всього декілька входів і виходів (двигунів і датчиків), у разі збільшення їх числа складність і вартість блоку управління значно зростає. В ієрархічній системі блок управління робота виконує прості функції і є транслятором інформації між роботом (його датчиками і виконавчими механізмами) і зовнішнім комп'ютером, який управляє. Тому складність і вартість робота мало залежить від складності системи управління.

Крім того, значний розвиток мають системи, що складаються з декількох роботів із централізованим або децентралізованим управлінням. Ці роботи можуть об'єднуватися в пов'язані групи, що трансформуються, для виконання спільних завдань. Управління такими групами також доцільно робити ієрархічним для спрощення взаємодії між роботами. Функції центру сповна може забезпечити один сучасний комп'ютер із середньою продуктивністю.

Сказане дозволяє вважати, що розвиток навчальних систем моделювання роботів із мікропроцесорним управлінням буде, швидше за все, спрямовано по шляху розвитку дистанційного керування з покладанням все більших функцій на зовнішній комп'ютер, який по бездротовому каналу через блок управління робота оперативно взаємодіє з його механізмами і да-





Рис. 1. Ієрархія функцій і програмних засобів системи керування роботом

тчиками. У цьому випадку також легко реалізувати розподілене централізоване управління декількома роботами і досить простими засобами забезпечити їх чітку й ефективну взаємодію.

Є чимала кількість мікроконтролерних модулів, зручних для створення роботів шляхом простого збирання з адаптованими засобами програмування. На їх основі виконано багато проектів, інформація про яких у великій кількості є в літературі та Інтернеті. Досить детальна інформація є про найбільш популярні модулі та конструктори, наприклад, Microcamp, Minibot, RoboCom [3, 4, 5] та інші.

Найбільшою мірою продумані рішення для навчальних цілей і реалізовані в конструкторі роботів LEGO MINDSTORMS Education [5]. У ньому є набір засобів для управління (контролер, датчики, виконавчі двигуни), повний набір спеціальних програмних засобів для створення і відпрацювання програм, комплект інструкцій і документації, зошит для практичних робіт. Цей конструктор з успіхом використовувався на першій українській олімпіаді роботів.

У конструкторі є контролерний блок Lego RCX, у якому використовується мікропроцесор Hitachi H8/3297 (сімейство процесорів H8/300 з 32Kb оперативної пам'яті). Це велика сім'я мікропроцесорів, яка включає H8/300, H8/300H, H8/500 і H8S серії. Основа архітектури H8 базується на рішеннях фірми DEC і їх легендарному комп'ютері PDP-11. Для цих мікроконтролерів є розвинена система програмного забезпечення (компілятори асемблера і мов високого рівня). H8 використовуються в цифрових фотокамерах, контролерах, принтерах і різних автоматичних системах.

Можливості робота з RCX досить скромні. Мікроконтролер має три порти для підключення датчиків таких, як датчик освітленості, датчик кута повороту і три порти для підключення виконавчих пристроїв: моторів і лампочок. Проте, і на елементах LEGO можна зібрати немало цікавого. Наприклад, в [6] описана одна з конструкцій робота, що йде по лінії.

У Lego RCX є інфрачервоний порт для зв'язку з комп'ютером. Вбудована в чип 16Kb ROM містить прошитий драйвер, який запускається під час першо-

го включенні RCX. Можливості цього драйвера розширюються під час завантаження відповідного програмного забезпечення (firmware). Разом вони дозволяють виконувати команди, отримані з комп'ютера через ГЧ порт. Програми, створені користувачем, завантажуються в RCX у відведеній для них 6Kb ділянці пам'яті. Мова програмування Robolab є усіченою версією професійної мови програмування LabView, яка використовується в науковій діяльності, у промисловості та космонавтиці.

Інший контролерний блок Lego NXT працює під управлінням 32-бітового мікроконтролера сімейства ARM7 (Atmel AT91SAM7S256) на частоті 48 MHz. Має 256 Kb Flash-пам'яті програм і 64 Kb RAM. Є також 8-бітовий мікроконтролер Atmel AVR з 4 Kb FLASH-пам'яті і 512 Byte RAM. NXT має вбудований Bluetooth-модуль, порт USB, 4 порти для датчиків, 3 порти для моторів, графічний LCD-дисплей (100x64) і гучномовець. Для програмування використовується спеціальне середовище LEGONXT, яке також засновано на мові LabView.

Окрім досить високої продуктивності мікроконтролерів, у Lego системі є можливість ще розширити її можливості шляхом реалізації оперативного дистанційного керування із зовнішнього комп'ютера. Для цього використовується радіоканал і відповідне програмне забезпечення. Можна також реалізувати й управління декількома роботами одночасно.

Для вивчення теорії управління і робототехніки в багатьох навчальних закладах створюються власні спеціальні лабораторні комплекси. Наприклад, лабораторний стенд [7] призначений для відробітку апаратних засобів і програмного забезпечення систем управління автономними транспортними засобами. Стенд забезпечений комплексом програмного забезпечення, до якого входять вільно поширювані програмні продукти фірми Microchip і програмні продукти, створені розробником. Стенд має ієрархічну структуру. Для управління окремими механізмами використовуються мікропроцесори і, крім того, стенд підключений до ПЕОМ через вузол зв'язку і COM-порт. Також передбачається розробка радіоінтерфейсу. Стенд

призначений для навчання методів управління, практичного використання мікроконтролерів, побудови систем реального часу.

Використання в таких стендах і конструкторах відомих і популярних програм дозволяє значно розширити їхні можливості та ефективність навчання. Наприклад, у [8] повідомляється про використання Matlab і RealTerm для управління роботом на основі контролера Lego Mindstorm NXT.

У КМПУ ім. Грінченка також продовжується вдосконалення і розвиток навчальної системи конструювання й управління моделями роботів. Розвиток системи здійснюється по шляху реалізації комплексного ієрархічного підходу, поєднуючого автономність з дистанційною керуваністю об'єктів. У системі реалізується централізоване розподілене дистанційне керування одночасно декількома об'єктами (моделями роботів) з одного зовнішнього центрального комп'ютера. Водночас роботи забезпечені мікропроцесорними блоками управління, які виконують лише прості тактичні функції з управління та інформаційної взаємодії з центральним комп'ютером.

Велика продуктивність і пам'ять зовнішнього комп'ютера, що управляє, дозволяє створювати, зберігати і використовувати великі програми, що реалізують всілякі складні алгоритми управління, оптимізувати траєкторії переміщення робота і його механізмів, експериментувати з різними методами управління, вивчати роботу алгоритмів пошуку дороги й обходу перешкод, зберігати карти маршрутів і планувати перешкоди на маршруті. Для створення програм і безпосереднього управління роботами стають доступними мови високого рівня і спеціальні засоби управління. Наприклад, легко реалізується програма моделювання поведінки мобільних роботів, така як RoboMar [9], з'являється можливість складати правила поведінки робота, який мандрує по намальованій карті.

Для створення і відпрацювання програм, що управляють, не вимагається спеціальне середовище розробки, використовуються будь-які відомі програмні засоби, а також будь-які операційні системи та оболонки без обмежень. Це значно підвищує ефективність

процесів створення програм управління, знижує вартість системи і робить її зручнішою в роботі.

У центральному комп'ютері є програми, які управляють окремими функціями роботів і низка драйверів для управління різними виконавчими пристроями і механізмами конкретних роботів, які враховують особливості кожного з них, умови їх роботи і вимоги до виконуваних функцій. Причому кожним виконавчим пристроєм можуть управляти різні програми, залежно від обставин і алгоритму управління. Доступ до роботів вони дістають через бездротовий канал зв'язку і драйвер управління послідовним портом.

На рис. 2 представлена структура системи розподіленого централізованого управління моделями роботів. У системі є центральний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням. Через послідовний порт і радіоканал комп'ютер здійснює взаємодію з мікропроцесорами керуючих блоків роботів. Кожен мікропроцесор, отримавши інформацію для керування, через свої порти введення-виведення управляє роботою двигунів та інших виконавчих механізмів, а також прочитає інформацію з датчиків і через зворотний канал передає її до центрального комп'ютера. Датчики можуть бути аналоговими, дискретними і цифровими. Для обробки аналогових сигналів використовуються аналогові комутатори і штатні АЦП мікропроцесорів.

Потужність управляючого комп'ютера забезпечує практично необмежені функції роботів і можливості з їх нарощування, а також відсутність обмежень зі складності відповідних програм управління і кількості керованих роботів. Водночас складність і вартість блоку управління кожного робота майже не залежать від числа його входів і виходів, тобто від числа виконуваних функцій. Для оперативного управління моделями до комп'ютера можуть бути додані будь-які ігрові маніпулятори і відповідні програмні засоби.

Передавання інформації здійснюється по прямому і зворотному ширококомовному радіоканалу на різних частотах дуплексним асинхронним методом. Кожен сеанс управління або збору інформації складається з декількох байт. Перший байт містить адресу робота або іншого об'єкта управління й адресу його

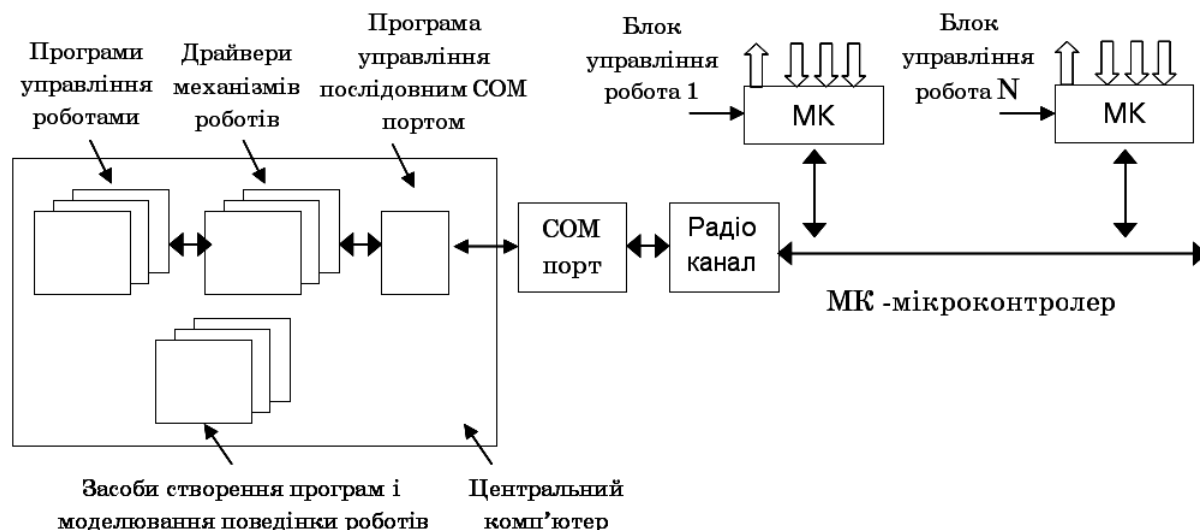


Рис. 2. Структура розподіленого централізованого управління макетами роботів

порту введення-виведення (рис. 3). Кількість біт відведених для обох адрес може бути змінено під час програмування і налаштування системи. Другий і третій байти призначені для корисної інформації (яка управляє або контрольної). Кількість байт корисної інформації також може бути змінена під час налаштування. Водночас можна оптимізувати швидкість системи передавання інформації і збільшити швидкість реакції робота.

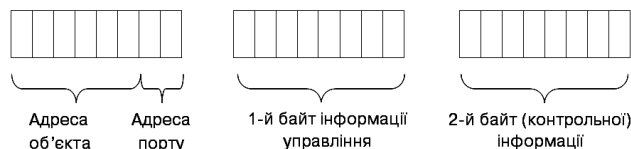


Рис. 3. Структура керуючих і телеметричних сигналів в розподіленій централізованій системі управління роботами

Вибір конструкції радіоканалу обмежений лише умовами забезпечення дальності, перешкодостійкості і швидкодії. Є безліч розробок таких каналів, наприклад, радіоканал, описаний в [10]. Під час вибору каналу зв'язку треба забезпечити його пропускну спроможність, що забезпечує задані характеристики системи управління роботами. Наприклад, при необхідному часі реакції робота  $T$  мс пропускну спроможність каналу  $P$  має бути не гіршою ніж

$$P = 10 \cdot N \cdot B / T \text{ (біт/с),}$$

де  $N$  — загальна кількість каналів введення-виведення в системі,  $B$  — кількість байт, які передаються в сеансі зв'язку й управління.

Необхідна перешкодостійкість передавання інформації забезпечується використанням контрольних сум і перевірочних розрядів, які знаходяться в третьому байті. Тут також немає жодних обмежень і для виконання лабораторних робіт учні можуть застосувати будь-які коди і методи захисту від перешкод.

У сучасних операційних системах відсутня можливість безпосереднього звернення до портів введення-виведення. Тому в програмах управління з використанням послідовного порту необхідно використовувати спеціальні системні засоби доступу до порту. Такі засоби надають відповідні драйвери, спеціально розроблені для цих цілей. Прикладом добре працюючого драйвера для Windows служить PortTalk [11]. Він забезпечує як безпосереднє передавання інформації, так і роботу з додатковими регістрами порту. У процесі програмування задаються команди введення-виведення: INP і OUTP.

У програмуванні на мовою C++ можна використовувати безпосередньо команди `_inp` і `_outp`. А для роботи з мовою VB знадобиться додаткова бібліотека DLL. Наприклад, в інтернеті є бібліотека `cardio32.ZIP(18K)`, її вихідний код `CardioSrc.zip (12K)` також можна викачати з інтернету.

На рис. 4 показаний фрагмент лабораторного комплексу, а саме модель самохідного керованого шасі робота з відеосистемою і засобами керування камерою і передатчиком радіоканалу.

Подальший розвиток комплексу передбачається здійснювати у напрямі розробки спеціального навчального середовища для створення програм та управ-

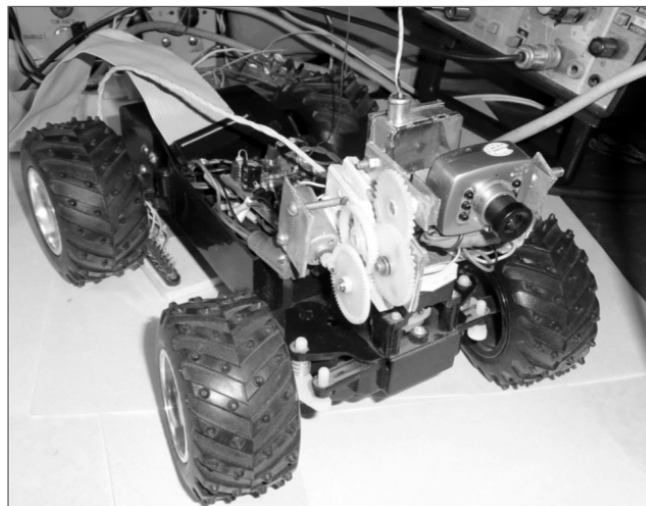


Рис. 4. Модель самохідного керованого шасі робота з відеосистемою і засобами керування камерою і передатчиком радіоканалу

ління групами взаємопов'язаних об'єктів. Ефективність навчальної системи визначається її функціональними можливостями. У даному випадку, у разі використання універсальних комп'ютерів, вони досить широкі: від засобів розробки програм і всіляких алгоритмічних мов до різних засобів апаратного забезпечення.

Ієрархічні системи управління з потужним продуктивним центральним комп'ютером, що управляє, і бездротовими каналами зв'язку для дистанційного керування малопотужними периферійними мікроконтролерами дозволяють значно підвищити ефективність використання і прискорити розвиток навчальних систем управління моделями мобільних роботів. Показники вартість-ефективність таких систем істотно покращуються, і вони можуть отримати масове використання для дитячої науково-технічної творчості, створення розвивальних ігор і в навчальних закладах для навчання основ комп'ютерних технологій і робототехніки.

### Література

1. <http://korrespondent.net/tech/technews/806165>.
2. Абрамов В.О. Лабораторно-методичний комплекс для вивчення основ теорії комп'ютерних систем управління і робототехніки // Комп'ютер в школі та сім'ї. — 2009. — №2. — С. 27–29.
3. Microsoft v1.1 Mega8. Повний комплект для збірки учебного мобильного робота, [http://roboclub.ru/project/Project/Project\\_30.html](http://roboclub.ru/project/Project/Project_30.html).
4. Контроллери RoboCom. <http://ironfelix.ru/modules.php>.
5. LEGO RCX-конструювання. <http://www.home-edu.ru/user/uatml/0000011/oneurok/docum/vved.htm>, <http://www.legorobot.ru/index.asp?main=pole>, <http://mbvas.narod.ru/nomen/oborud/rcx/rcx.htm>.
6. <http://posp.raai.org/data/posp2005/SIR/Razumov/razumov.html>. Робот йде по лінії; <http://orobotax.ru/documents/stat020.html>, С. Свита. Робот, що йде по лінії // Радіо. — 2008. — №3. — С. 48.
7. Лосев С.А., Иванов А.А. Стенд для відробітку апаратних засобів і програмного забезпечення систем управління автономними транспортними засобами. Робототехнічний сайт ironfelix.ru.
8. Gregory Gutt Using Matlab, RealTerm and Bluetooth to control Lego Mindstorm NXT. [http://realterm.sourceforge.net/realterm\\_from\\_matlab.html](http://realterm.sourceforge.net/realterm_from_matlab.html).
9. Програма RoboMap. <http://www.prorobot.ru/load/RoboMap-2006.zip>.
10. Радіомодем. <http://www.shematic.net/page-162.html>.
11. Драйвер PortTalk. <http://www.beyondlogic.org/porttalk/porttalk.htm>.