

В.А. Голембо, А.В. Гребеняк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

НАВІГАЦІЯ В КОЛЕКТИВІ АВТОНОМНИХ АПАРАТІВ

© Голембо В.А., Гребеняк А.В., 2010

Розглянуто проблему навігації робототехнічних агентів. Надано увагу агентам які працюють в колективах. Розглянуто існуючі варіанти вирішення проблеми навігації агентів у середовищі і у середині колективу.

The problem of robotic navigation agents. Attention is given to agents who work in groups. Existing solutions to the problems of navigation agents in the environment and in the mid team.

Вступ. Мобільні робототехнічні системи застосовуються сьогодні у різних галузях. Корпоративні замовники цікавляться багатофункціональними промисловими роботами, активно купуються інтелектуальні пирососи і роботи-собачки, служби безпеки та порятунку розраховують на автономні пристрої, здатні безупинно виконувати завдання стеження та пошуку. При цьому всі подібні пристрої в ідеалі повинні упевнено переміщатися в незнайомому і непередбачуваному середовищі реального світу.

Стан проблеми. Одною з основних проблем нині існуючих мобільних апаратів, які переміщуються самостійно, без управління з боку людини, залишається навігація. Для успішної навігації в просторі бортова система мобільного апарата повинна вміти будувати маршрут, керувати параметрами руху, правильно інтерпретувати відомості про навколишній світ, що отримуються від датчиків, і постійно відстежувати власні координати.

Першими спробами змусити апарат рухатись по маршруту було прокладення вздовж маршруту електричних кабелів. Були реалізації навігації за допомогою маркерів. Недоліками цих методів було те, що маршрути руху були жорстко фіксовані, а іноді потребували обслуговування.

З'являються задачі, коли апарат повинен рухатись по території і знати своє місцезнаходження, і немає можливості розгорнути сітку жорстко фіксованих маршрутів. Методом вирішення цієї задачі є навігація за допомогою спеціально побудованих споруд – маяків або радіомаяків. За цими методами апарати рухаються вільно, не прив'язуючись до маршруту, але рух апаратів обмежений областю видимості маяків [1].

Задачі руху та навігації апарата по невідомій території потребували застосування принципово інших методів для вирішення завдання. Результат пошуків – інерційні навігаційні системи. Гіроскопи дозволяють вимірювати момент зовнішньої сили, що прикладається до тіла, на яких вони розміщені, і на цій основі визначати положення тіла відносно позиції, з якої почався рух, і його швидкість. Акселерометри схожим способом визначають власне прискорення.

Найпростіший варіант навігаційного пристрою колісного апарату – одометр. Він вимірює швидкість обертання колеса і, знаючи діаметр останнього, визначає пройдений шлях. До недоліків цього пристрою можна віднести: прокручування, проковзування коліс, неоднаковість коліс. Тобто одометр постійно накопичує помилки вимірювання. Однак попри всі ці недоліки ця технологія застосовується дуже активно. Її поширення пов'язане насамперед з інвестиціями автовиробників. Так, одометри нового покоління міститимуть мікрохвильові радари і точніше вимірюватимуть реально подолану відстань. Крім того, одометр – це іноді єдине можливе навігаційне рішення (наприклад, при знаходженні апарата під землею). Підвищити точність одометра можна,

застосувавши для обробки даних, які надходять з одометра, математичні методи корекції [2]. Основним недоліком інерційних навігаційних систем є накопичення помилок під час роботи, тобто чим довше працює апарат, оснащений цією системою навігації, тим більшою буде його похибка у визначенні координат. Ці системи також малоефективні у випадках, коли швидкість апарата часто і різко змінюється.

Серйозні проблеми виникають, коли з'являється необхідність навігації колективу апаратів, які працюють одночасно. Це задачі моніторингу середовища, пошуку та оточення зони збурень, патрулювання території та інші [3]. Розв'язання цих задач доцільно розглядати з позиції теорії мультиагентних систем у складі колективу самоорганізованих агентів, які працюють без використання централізованого управління [4].

Постановка задачі. Сьогодні проблему глобальної навігації вирішено застосуванням системи GPS, точність якої за сприятливих умов досягає двох метрів. Для підвищення точності визначення координат системи GPS використовують наземні станції. Ця технологія отримала назву DGPS (диференційна система GPS). При використанні наземних станцій точність визначення координат апарату залежить від параметрів станції та віддалення апарата від цієї станції. Але визначення координат під водою або у закритому приміщенні й надалі залишається проблемою [5].

Віднедавна почали розробляти робототехнічні системи, у складі яких одночасно працює кілька апаратів [6]. Перед розробниками таких систем постають проблеми навігації колективу як цілого, і кожного апарата в колективі. Те, що ще якось працює для одного апарату, виявляється неспроможним задовольнити потреби в навігації групи апаратів. Потрібен метод навігації, який би дав змогу визначати координати розташування апарата на деякій території, а також здійснювати навігацію кожного апарата в колективі, не застосовуючи для цього глобальної системи навігації, наперед визначених маршрутів руху або стаціонарних маяків.

Аналіз існуючих методів навігаційних систем кількох апаратів. Розглянемо метод навігації колективу, в якому навігаційні системи кількох апаратів доповнюють один одного [7]. Цей метод орієнтований на визначення координат декількох апаратів, які рухаються в колоні. Технологія опирається на "періодичну стаціонарну базу DGPS", де ведучий і замикаючий апарат в колоні вибираються як базова станція DGPS. Як тільки колона починає рух, замикаючий апарат зупиняється, щоб забезпечити диференціальними поправками GPS-приймачі на рухомих апаратах через радіоканал. Пройшовши зумовлену таким методом певний шлях, колона зупиняється, щоб замикаючий апарат наздогнав колону. Водночас ведучий апарат бере на себе роль базової станції DGPS, забезпечуючи диференціальними поправками решту апаратів. Коли замикаючий апарат доганяє колону, яка зупинилася, то роль стаціонарної бази DGPS повертається до замикаючого апарата, а колона продовжує рух.

Ця технологія дає змогу досягти точності DGPS на великих територіях за мінімальної залежності від стаціонарних базових станцій DGPS. Важливо, що навігація реалізовується саме за допомогою кількох апаратів. Недоліки цього підходу полягають у необхідності періодичних зупинок колони, залежності від отримання точних даних про початкове положення опорної базової станції DGPS, а також накопиченні похибок диференціальних поправок, коли замикаючий або ведучий апарати беруть на себе роль опорної станції. Навігація групи апаратів весь час залежить від функціонування замикаючого або ведучого апарата. Для подолання деякої відстані потрібно вдвічі більше часу, оскільки половину часу колона не рухається, очікуючи замикаючий апарат.

Розглянемо методи навігації колективом апаратів, які реалізують методи навігації колективів, що існують в природі: колонії мурах, ос, птахів, жаб, череди великої рогатої худоби. Скупчення в колонії цих тварин можна описати як властивість, за якою група простих автономних агентів взаємодіє для вирішення складних завдань. Розглянемо, як організована навігація в мурашок. В колоніях мурах спостерігають два основні режими навігації. У першому режимі навігація здійснюється за допомогою певних речовин – феромонів, котрі виділяються на всьому шляху руху мурашки. Феромони – це спеціальні хімічні речовини, які виділяють мурашки під час

руху, щоб передати інформацію про маршрут руху. Концентрація феромонів має здатність до розпаду (випаровуватись) з часом. Мурахи, як правило, рухаються по маршрутах, в яких найбільша концентрація феромонів. Мураха має можливість видавати свої феромони, коли знаходить об'єкт інтересу (їжу, дрібні частинки). Ці феромони є маяками для інших мурашок. Чим більший ресурс об'єкта інтересу, тим більше мурашок рухається по маршруту, тим самим збільшуючи концентрацію феромонів. Як тільки ресурс зменшується, кількість мурашок, котрі рухаються маршрутом, теж зменшується. Наслідком цього є зниження концентрації феромонів на маршруті. Другий режим навігації використовує візуальні сигнали, коли інформація збирається під час пошуку їжі для побудови майбутнього маршруту руху за допомогою феромонів. Це режим пошуку нового маршруту може використовувати здатність мурах запам'ятовувати пройдений шлях.

Навігацію мурашок використали при проектуванні системи пошуку і локалізації зони збурень [8]. Аналогом хімічних феромонів мурашок стали цифрові феромони – радіосигнали певних частот. Локалізація зони збурень в цій технології, потребує кількох апаратів. На рис. 1 наведено алгоритм функціонування одного апарата. Як тільки елемент колективу знаходить зону збурень, він видає сигнал залучення для збирання групи. Після збирання групи сигнал припиняється, зону збурень локалізують і продовжують пошук наступних зон збурень.

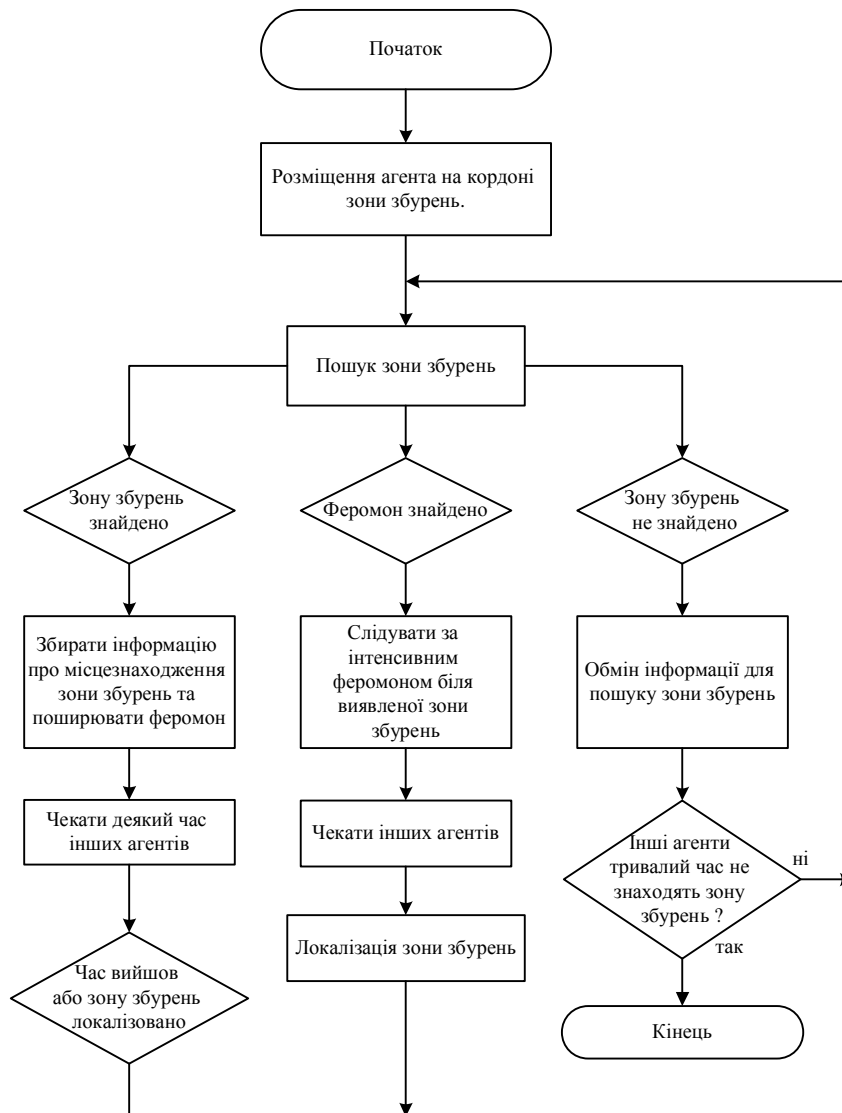


Рис. 1. Алгоритм функціонування одного апарата колективу для локалізації зони збурень

Розвитком ідеї “цифрових феромонів” є метод навігації в колективі за допомогою сигналів залучення та ухилення [9]. Система навігації заснована на простих радіомаяках і може бути реалізована з відносно простого устаткування, не вимагає наявності цифрової мережі зв'язку для виконання своїх функцій (рис. 2,а). Загалом запропонована система містить два типи радіомаяків, які є в кожному агенті: маяк цільового залучення і маяк ухилення від зіткнення (рис. 2,б). Маяк цільового залучення стає активним після виявлення цілі або коли колектив апаратів рухається роєм. Кожен апарат, окрім маяків залучення і ухилення, має дві антени. Під час руху в колективі, порівнюючи силу сигналу на двох антенах, визначається напрям руху. Сигналами для порівняння є сигнал ухилення від зіткнень, який генерує апарат, що знаходиться поруч, та сигнал цільового залучення. Якщо інтенсивність сигналу зіткнення вища інтенсивності сигналу залучення, то апарат обходить сусіда, щоб уникнути зіткнення. Коли сигналу зіткнення немає, вмикається сигнал цільового залучення, що забезпечує можливість рухатись роєм.

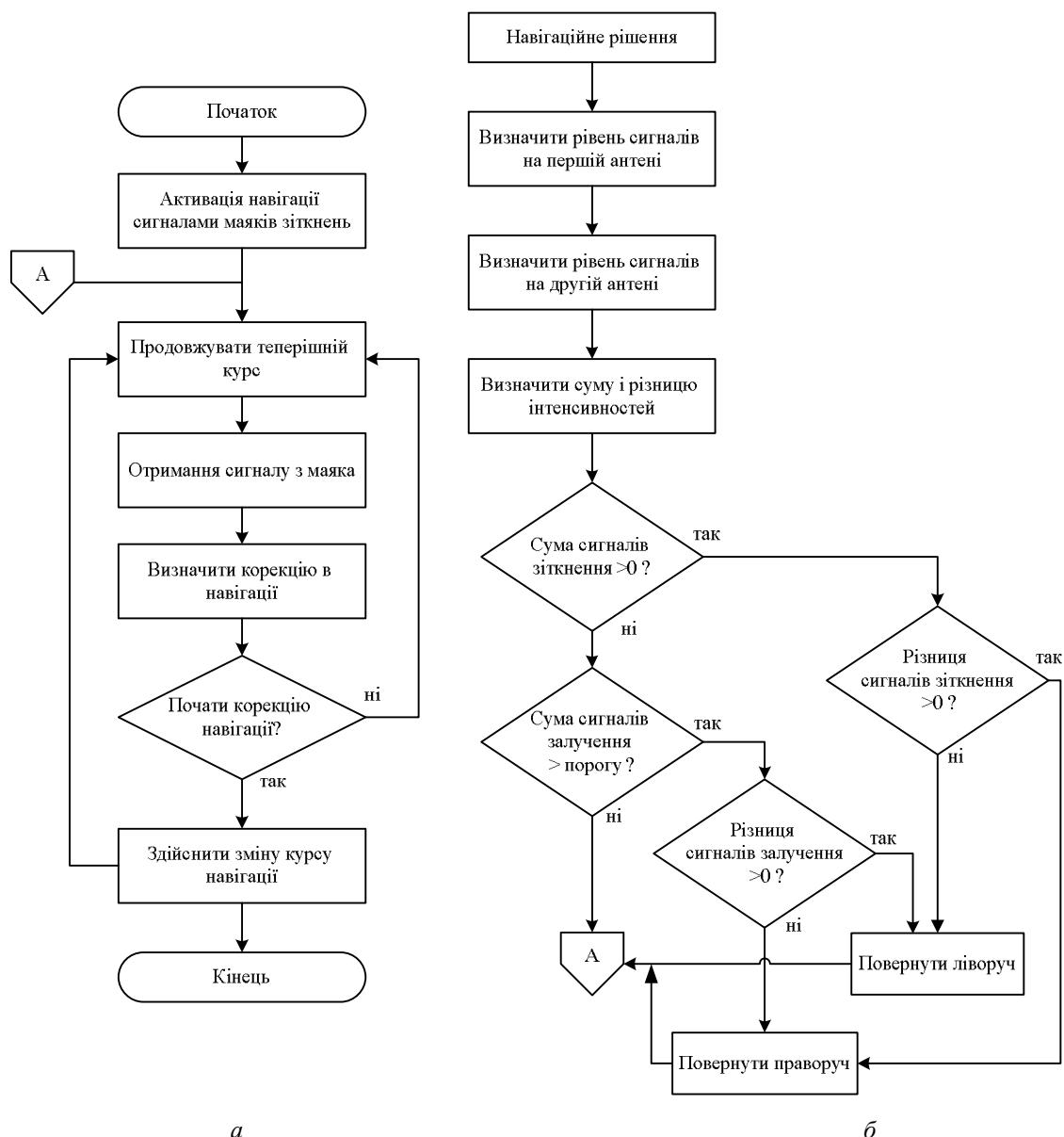


Рис. 2. Алгоритм роботи апарата колективу за методом цифрових феромонів: а – алгоритм здійснення процесу навігації; б – алгоритм прийняття навігаційного рішення

Запропонована система навігації вирішує проблему координації апаратів у колективі, а також дає змогу виконувати колективом задачі пошуку та руху роєм. Особливістю цього методу є низька складність методу навігації. Недоліком цього методу можна вважати відсутність інформації про

поточне місцезнаходження. Колектив апаратів, навігація якого здійснюється за цим методом, не здатен повернутися в початкове положення.

Розглянемо метод навігації для колективу апаратів, де кожен апарат володіє інформацією про свої координати [10]. За цим варіантом навігації кожен апарат, обладнаний радіопередавачем/приймачем, має можливість визначати відстань і кут до іншого апарату та має сенсори для визначення перешкод. Колектив розглядається як єдине ціле, напрям руху колективу є вектором, який являє собою векторну суму векторів руху кожного елемента колективу (рис. 3).

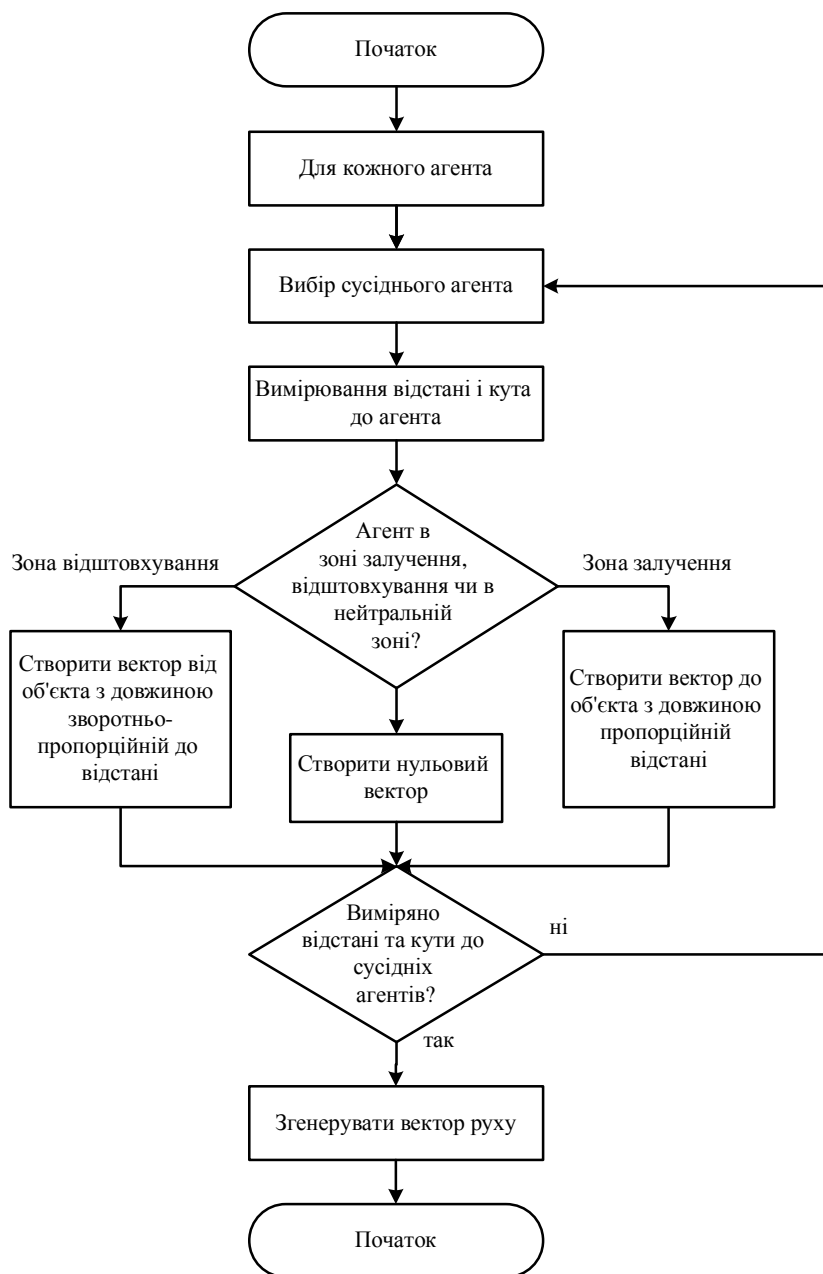


Рис. 3. Алгоритм навігації елемента колективу за методом векторного руху

За методом “векторного руху” можливі кілька варіантів руху колективу, зокрема рух за лідируючим апаратом. Варто зауважити, що раптовий вихід з ладу лідируючого апарата не призведе до розформування колективу, тому що почнеться процес вибору нового лідера. Для підвищення надійності навігації колективу цікавим є метод дублювання лідера, коли одночасно кілька апаратів повторюють функції лідера. Метод руху при потраплянні колективу до небезпечної зони передбачає, що найбільш постраждалі апарати або апарати, ресурси яких вичерпуються,

перетворюються на блокуючі маяки. Їх завданням є попередити колектив про небезпеку і виділяти сигнал ухилення від небезпечних зон. Для визначення місцезнаходження під час руху колектив може визначати кілька довідникових апаратів, які оголошують про своє місцезнаходження. За допомогою трьох апаратів методом триангуляції колектив може визначити свої координати.

Всередині колективу рух здійснюється за допомогою сигналів залучення і відштовхування. Кожен апарат має свою критичну область для руху, і якщо сусідній апарат зайде на цю територію, активізуються процеси уникнення зіткнення. Аналогічно в кожного апарата є область видимості. Вийшовши за межі видимості апаратів колективу, апарат ризикує просто відбитись від колективу і загубитись. Задачу рівномірного розподілу апаратів по деякій території можна розв'язати, змінюючи області руху і видимості.

Цей метод навігації задовольняє потреби колективу в інформації про своє розташування. Недоліком цього методу є велика складність кожного апарата в колективі. Визначення відстані та кута, виявлення перешкод – це неповний перелік того, чим повинен володіти кожен апарат колективу.

Можливі шляхи вирішення проблеми. Розглянувши кілька варіантів вирішення проблеми навігації колективу апаратів, сформуємо основні вимоги для систем навігації колективу. Система навігації повинна реалізовуватись на простих апаратах. Особливістю колективного виконання завдання є мінімізація появи помилок, які неминуче виникають, коли над завданням працює один апарат. Важливим моментом є те, що результат, який отримує один апарат, обладнаний складною системою навігації, можна досягнути колективом апаратів з простою системою навігації, завдяки доповненню систем один одного. Навігація за допомогою колективу якраз створюється для того, щоб функцію одного складного апарату виконували кілька простих і дешевших апаратів.

Відстані між агентами можна оцінити за сигналом передавання, коли рівень сигналу зменшується зі збільшенням відстані. Оскільки інтенсивність сигналу змінюється в зворотній пропорції до квадрата відстані від джерела походження сигналу, інтенсивність значення цього сигналу можна використати для визначення відстані.

Підрахувати пройдений шлях можна за допомогою інерційної системи навігації – одометра. Хоча інерційна система з часом накопичує похибку відстані, але працюючи в колективі, багаторазове дублювання системи майже усуне появу цієї похибки. Апарати, що входять до складу колективу, доповнюватимуть навігаційні системи один одного для збільшення надійності і точності. У результаті це забезпечить більшу точність навігаційної системи, ніж точність індивідуальних навігаційних систем.

Запам'ятовування карти території вимагає великого об'єму пам'яті. Використавши для руху замість системи декартових координат систему полярних координат, можна зменшити об'єм пам'яті для збереження відомостей про пройдений шлях за критичними точками, або необхідних місць, запам'ятавши лише відстань і кут відносно попередньої або початкової точки.

Висновки. Розглянуто проблему навігації колективу мобільних автономних апаратів. Розглянуто чотири методи для реалізації навігаційної системи колективу апаратів. Проаналізовано позитивні та негативні сторони кожної з систем. Наведено основні переваги та недоліки для кожної системи. Запропоновано можливі шляхи для створення системи навігації колективу мобільних апаратів.

1. Бобровський С. Навігація мобільних роботів // *PC Week/RE*. – 2004. – № 9. – С. 52; 2004. – № 10. – С. 53; 2004. – № 11. – С. 45. 2. Magdalena Dobrzanska, Pawel Dobrzanski. *Navigation software of automated guided vehicle // Supplement to International Journal "Information technologies and knowledge", Volume 3 / 2009, - 217p.* 3. Бочкар'єв О. Ю., Голембо В. А. *Моделі автономної поведінки вимірювальних агентів // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі". – 2002. – № 463. – С. 19–27.* 4. Мельник А.О., Голембо В.А., Бочкар'єв О.Ю. *Нові принципи побудови вимірювально-обчислювальних мереж на основі інтелектуальних агентів //*

Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі". – 2003. – № 492. – С.100–107. 5. Голембо В. А., Бочкар'юв О. Ю., Гребеняк А. В. Проблема організації узгоджених колективних дій автономних мобільних підводних апаратів // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". – 2009. – № 650. – С. 168–173. 6. Paley D., Zhang F., Leonard N., *Cooperative Control for Ocean Sampling: The Glider Coordinated Control System*, *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, April 30, 2006. 7. Jonathan Dixon, Oliver Henlich. *Mobile Robot Navigation (Final Report)* // Imperial College, London, information systems engineering year 2: Surprise 1997: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4/jmd/ 8. Pub. No.: US 2006/161405 A1. *Methods for locating targets and simulating mine detection via a cognitive, swarm intelligence-based approach.* / Munirajan V.K. Pub. Date: 2006-07-20. 9. Pub. No.: US 2009/099768 A1. *Methods and Apparatus for Swarm Navigation of Multiple Agents.* / Bauer P.K., Scheutz M.. Pub. Date: 2009-04-16. 10. Pub. No.: WO0208843 A2. *Method and apparatus for controlling the movement of a plurality of agents.* / Howard M., Payton D., Hoff B., Lee C., Daily M.. Pub. Date: 2009-04-16

УДК 536.521.2

Н. Гоц

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

АНАЛІЗ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТОДАМИ ДВОКАНАЛЬНОЇ ТЕРМОМЕТРІЇ ВИПРОМІНЕННЯ

© Гоц Н., 2010

Розглянуто особливості застосування двоканальних методів вимірювання температури об'єктів за випромінення. На основі математичного моделювання проаналізовано інструментальну та методичну складові похибки вимірювання температури різними методами.

Ключові слова: температура за випроміненням, похибка вимірювання.

In the article the features of application of twochannel methods of measuring of temperature of objects are considered for a radiation. On the basis of mathematical design the analysis of errors of measuring of temperature is conducted by different methods.

Keywords: radiation temperature, measurement error.

Вступ. Для дослідження фізичних властивостей речовин, контролю природних явищ та технологічних процесів широко застосовуються такі безконтактні засоби вимірювання температури, як двоканальні термометри випромінення [1–3].

Вони функціонують на основі методів двоканальної термометрії випромінення (ДКТВ), а саме на основі вимірювання спектральної енергетичної яскравості на двох спектральних ділянках випромінення, утворення їх різних комбінацій та прирівнювання до аналогічних комбінацій яскравостей абсолютно чорного тіла (АЧТ) за однаковою температурою. В результаті розвитку теоретичної бази пірометрії існує велика кількість локальних методів ДКТВ, які розрізняються за способом опрацювання інформації, що несе потік випромінення від поверхні досліджуваного об'єкта. Ці методи використовують переважно з метою зменшення різних видів похибок, розглянутих в [4], та поділяються на дві основні групи:

- методи двоканальної монохроматичної пірометрії;
- методи двоканальної широкоспектральної пірометрії.