

Академія наук України
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова

На правах рукопису

ВОЛКОВИЧ Володимир Вікторович

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РУХОМ
АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА
НА ПЕРЕСІЧЕНІЙ МІСЦЕВОСТІ

05.13.01 — управління в технічних системах

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 1993

АВ 29.253

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова АН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ПАВЛОВ В. В.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
АРТЮШИН Л. М.,
кандидат фізико-математичних наук СЕМЕНОВ В. М.

Провідна організація: Київський університет імені
ТАРАСА ШЕВЧЕНКА.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00801462 (L)

Захист відбудеться «3» марта 1994 р. о 14⁰⁰
год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 016.45.04
при Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова АН України
за адресою:

252207 Київ 207, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічному
архіві інституту.

Автереферат розісланий «24» єквара 1999 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

ГУБАРЄВ В. Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Побудова системи керування роботом, що самостійно рухається по деякій поверхні, пов'язана з вирішенням так званої проблеми "інтелектуалізації роботів". Найбільш суттєвою вона стає у тому випадку, коли робот робить це без посередньої допомоги людини, автономно, лише за допомогою бортового комп'ютера, що розташований на ньому. Робот повинен уміти визначати зовнішнє оточення та приймати у реальному часі рішення відносно маршруту руху і керуючих дій.

Коли оточення відоме, тобто є карта місцевості, то автономний мобільний робот (АМР) повинен, користуючись цією інформацією, досягти певної цільової позиції на місцевості так, щоб мінімізувати запроваджені критерій якості системи при прямуванні робота по геодезичній поверхні місцевості. Поверхня місцевості в загальному вигляді є нелінійною, невиключою і нерегулярною. Динаміка руху робота по цій місцевості принципово описується нелінійними диференціальними рівняннями, і це обумовлює складність побудови системи керування рухом робота.

Вирішення цієї проблеми полягає в розробці ефективних алгоритмів планування оптимальної траєкторії руху робота на місцевості та керування рухом робота уздовж усієї запланованої траєкторії за допомогою бортового комп'ютера, що повинен вирішувати ці задачі в реальному часі.

Щоб забезпечити рішення цієї складної проблеми бортовим комп'ютером, дослідники звертаються до різнноманітних спрощень: чи то спрощування моделі подання місцевості (моделюють її як плоску поверхню, на якій розташовані перепони певної геометричної форми); чи то спрощування реальних процесів руху АМР на місцевості.

В загальному вигляді проблема керування рухом АМР по геодезичній поверхні місцевості є на сьогодні не вирішеною. Тому розробка загального підходу та програмного забезпечення для вирішення як проблеми планування роботом оптимальної траєкторії руху, так і проблеми здійснення керування роботом уздовж цієї траєкторії є актуальною проблемою.

Мета та задачі дослідження. Головна мета полягає в розроб-

ці інтелектуальної системи керування рухом автономного мобільного робота на пересіченій місцевості, що потребує розв'язання таких задач:

- розробити математичну модель динаміки руху АМР на поверхні місцевості;
- провести аналіз процесів керування рухом АМР та визначити необхідні умови існування керування АМР в просторі місцевості, а також визначити допустимі області гарантованого керування роботом;
- синтезувати закони оптимального керування роботом при русі його на поверхні місцевості і розробити схему керування рухом АМР уздовж оптимальної траєкторії;
- розробити алгоритми планування в реальному часі оптимальної траєкторії руху АМР для бортового комп'ютера;
- розробити програмне забезпечення у вигляді інтелектуальної системи для вирішення проблеми керування рухом АМР на пересіченій місцевості;

Наукова новизна проведеної роботи полягає в наступному:

1. Розглянуто задачу керування рухом мобільного робота на пересіченій місцевості в загальному вигляді і розроблено математичну модель руху АМР.

2. Визначені необхідні умови існування керування мобільним роботом в просторі місцевості, на підставі чого був структурований простір місцевості у вигляді сукупності областей гарантованого керування АМР.

3. Синтезовані закони оптимального керування рухом АМР на пересіченій місцевості, а також запропонована схема керування роботом виходячи з позицій обернених задач динаміки.

4. Розроблено алгоритм планування АМР своєї оптимальної траєкторії руху виходячи із знання місцевості, що дозволяє робити це бортовому комп'ютеру АМР у реальному часі.

5. Розроблено інтелектуальну систему планування оптимальної траєкторії руху робота та здійснення керування рухом АМР уздовж запланованої траєкторії для бортового комп'ютера АМР.

Практична значимість роботи полягає в такому:

- розроблено новий підхід до планування оптимальної траєк-

торії руху на пересіченій місцевості бортовим комп'ютером АМР, що дозволив здійснювати потрібні розрахунки в реальному часі;

-на підставі розробленої інтелектуальної системи керування рухом робота можливо організувати оптимальне керування рухом АМР без безпосередньої участі людини уздовж оптимальної траєкторії на пересіченій місцевості;

-практично доведена можливість створення роботів, що вирішують проблему керування своїм рухом на поверхні пересіченої місцевості в реальному часі.

Реалізація результатів роботи. Теоретичні розробки запропонованого підходу до керування АМР, а також розроблена інтелектуальна система керування рухом робота на місцевості виконувались в межах науково-технічної програми України 6. 4. 2 "Інтелектуальні системи автоматизації керування виробничими комплексами та технологіями" і науково-технічної програми України 6. 2. 1 "Інтелектуалізація процесів прийняття рішень".

Основні тези, що виносяться на захист:

1. Алгоритм структування місцевості, по якій повинен рухатися робот, за допомогою областей гарантованої керованості рухом АМР, що функціонально являють собою внутрішнє відображення пересіченої місцевості в бортовому комп'ютері робота.

2. Цілеспрямоване дискретизування місцевості з метою побудови скінченного графа траєкторій руху бортовим комп'ютером АМР.

3. Метод та рекурсивний алгоритм планування оптимальної траєкторії руху робота, що визначає кінцевий граф можливих оптимальних траєкторій руху АМР.

4. Структура оптимального керування рухом АМР уздовж оптимальної траєкторії на пересіченій місцевості.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на науковому семінарі відділу 330 Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова АН України (м. Київ, 1993г.), на науковому семінарі з Проблеми "Кібернетика" АН України "Ергатичні системи керування" (м. Київ, 1993р.) та на звітному семінарі робочої групи по науково-технічній програмі України 6. 4. 2

"Інтелектуальні системи автоматизації керування виробничими комплексами та технологіями" (м. Київ, 1993р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 3 друкованих наукових праці.

Структура роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти глав, висновку, списку цитованої літератури та додатків. Зміст дисертації викладено на 75 сторінках машинописного тексту, 11 малюнках, 1 таблиці і 48 сторінках додатків. Список літератури складається із 63 наменувань. Загальний об'єм роботи становить 139 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі визначається проблема, яка розглядається в дисертації, та описується структура роботи по главах.

Перша глава присвячена аналізу досліджень та результатів робіт, що розглянуті в літературі, а проблеми керування роботами на місцевості. Описані засоби інформаційного відображення знання місцевості у комп'ютері, а також показана складність вирішення проблеми керування рухом робота на пересіченій місцевості в загальному вигляді, коли місцевість являє собою нелінійну, невикривлену та нерегулярну поверхню. На цій підставі сформульовані мета та задачі дослідження.

У другій главі визначені об'єкт керування та його оточення, а також сформульована задача оптимального керування рухом автономного мобільного робота на місцевості.

Під автономним мобільним роботом розуміється система, що цілеспрямовано керує своєю швидкістю та кермом виходячи з інтерпретації та планування своїх певних дій без безпосередньої участі людини. Місцевість вважається нелінійною, невикривленою та нерегулярною геодезичною поверхнею.

Для означеного типу робота та місцевості розроблена математична модель для нормальної взаємодії АРМ та місцевості, коли розглядається рух центра ваги системи, яка стійко рухається по геодезичній поверхні місцевості зі швидкістю не більше ніж максимально допускається для цього типу робота.

Модель має вигляд:

$$\dot{X}_1 = V \cos \Psi, \quad (2.1)$$

$$\dot{X}_2 = V \sin \Psi, \quad (2.2)$$

$$\dot{V} = K_1 u_1 - K_3 V^2 - K V + K_v \cos \Psi \cos \Theta, \quad (2.3)$$

$$\dot{\Psi} = K_2 u_2 - \operatorname{Sign}(u_2) \left(\frac{K_H V}{1-V^2} + K_4 \cos \Psi \sin \Theta \right), \quad (2.4)$$

де $\bar{X} = (X_1, X_2)$ - вектор фазових координат АМР в області фазового простору місцевості $X \in \mathbb{R}^2$;

$\bar{u} = (u_1, u_2)$ - вектор керування АМР, $\bar{u} \in U = \{ |u_i| \leq 1, i=1,2 \}$;

$\Psi(x_1, x_2)$ - кут нахилу поверхні в точці місцевості, $\Psi \in [0, \frac{\pi}{2}]$;

$\Psi(x_1, x_2)$ - напрямок руху АМР, $\Psi \in [0, 2\pi]$;

$\Psi_{np}(x_1, x_2)$ - нормаль до лінії рівня в точці місцевості;

$\Theta = \Psi_{np} - \Psi$, $\Theta \in [0, 2\pi]$.

Щоб реалізувати обмежений ресурс керування рухом АМР, треба щоб виконувалось

$$K_1 \geq K + K_3, \quad (2.5)$$

$$\frac{K_1}{K_v} \geq \frac{K_2}{K_4}. \quad (2.6)$$

На підставі цієї математичної моделі сформульована задача оптимального керування рухом АМР на місцевості з такому вигляді:

визначити керування як функцію часу $u(t) = (u_1(t), u_2(t))$, що набуває значення в обмеженій області значень U , так, щоб привести АМР в певну цільову позицію на місцевості $X_c(t_1)$ в початкової позиції $X_H(t_0)$ при обраній математичній моделі (2.1)-(2.4), причому на всій траєкторії руху повинен мінімізуватися запроваджений критерій якості системи $F(u(t))$.

Критерієм якості системи можуть бути:

- відстань між початковою та цільовою позицією - задача пошуку короткої відстані:

$$F(u(t)) = \int_{t_0}^{t_1} dx(t) \rightarrow \min, \quad (2.7)$$

- а також час руху до цільової позиції - задача швидкодії:

$$F(u(t)) = \int_{t_0}^{t_1} dt \rightarrow \min. \quad (2.8)$$

Третя глава присвячена аналізу керування рухом АМР в просторі місцевості на підставі математичної моделі руху системи (2.1)-(2.4).

На першому кроці виконується операція примусової редукції нелінійної моделі (2.3), (2.4) до такого вигляду:

$$\dot{V} = p_1, \quad p_1 \in P_1(x_1, x_2), \quad (3.1)$$

$$\dot{\Psi} = p_2, \quad p_2 \in P_2(x_1, x_2). \quad (3.2)$$

Для цього використовується апарат диференціальних включень, який дозволяє визначити сукупність областей гарантованого керування рухом АМР в просторі місцевості, в яких забезпечується інваріантність керуючих сил p_1, p_2 від напрямку руху робота.

Показано, що необхідними умовами цього є:

$$K_1 \geq K_v \cos \Psi, \quad (3.3)$$

$$K_2 \geq K_f \cos \Psi. \quad (3.4)$$

Тоді допустимі області керуючих сил $P_1(x_1, x_2), P_2(x_1, x_2)$ будуть визначатися такими диференціальними включеннями:

1.

$$p_1 \in [p_1^H, p_1^E], \quad (3.5)$$

де

$$p_1^H = \max_{\theta \in [0, 2\pi]} \min_{|u_1| \leq 1} p_1 = -K_1 - K_3 V^2 - K_V + K_v \cos \Psi,$$

$$p_1^E = \min_{\theta \in [0, 2\pi]} \max_{|u_1| \leq 1} p_1 = K_1 - K_3 V^2 - K_V - K_v \cos \Psi;$$

2.

$$p_2 \in [p_2^H, p_2^E], \quad (3.6)$$

де

$$p_2^H = \max_{\theta \in [0, 2\pi]} \min_{|u_2| \leq 1} p_2 = -K_2 + \frac{K_4 V}{1 - V^2} + K_f \cos \Psi,$$

$$P_2^e = \min_{0 \leq \psi < 2\pi} \max_{|u_2| \leq 1} P_2 = K_2 - \frac{K_4 V}{1 - V^2} - K_4 \cos \psi.$$

Для того щоб планувати оптимальну траєкторію руху АМР, було припущено, що $V \geq 0$, тоді швидкість АМР в області гарантованого керування належить множині

$$V \in [0, V_2^{\max}], \quad (3.7)$$

де

$$V_2^{\max} = -\frac{K_4}{2(K_2 - K_4 \cos \psi)} + \sqrt{\frac{K_4^2}{4(K_2 - K_4 \cos \psi)^2} + 1}.$$

А кут нахилу поверхні місцевості в цих точках повинен належити множині

$$\psi \in [\arccos \frac{K_2}{K_4}, \frac{\pi}{2}]. \quad (3.8)$$

Позначимо області фазового простору місцевості X , в яких виконується (3.3), через Q_{P_1} , а ті, в яких виконується (3.4), позначимо через Q_{P_2} . Введено визначення.

Визначення 1. Областю цілком керованого стану АМР є точки місцевості, в яких виконується

$$Q_x^{uc} = Q_{P_1} \cap Q_{P_2}.$$

Визначення 2. Областю позитивно напівкерованого стану АМР є точки місцевості, в яких виконується

$$Q_x^{+nuc} = Q_{P_1} \cap \bar{Q}_{P_2},$$

де \bar{Q}_{P_2} - множина точок, де не виконується (3.4).

Визначення 3. Областю некерованого стану АМР є точки місцевості, в яких виконується

$$Q_x^{nuc} = \bar{Q}_{P_1} \cap \bar{Q}_{P_2},$$

де \bar{Q}_{P_1} - множина точок, де не виконується (3.3).

У загальному вигляді допустима область цілком керованого стану АМР Q_x^{uc} є невивуклою та не зв'язною, що визначається рельєфом місцевості та динамічними характеристиками АМР. Використовуючи область керованого стану, в дисертації введено визначення коректності постановки задачі керування АМР на місцевості.

Визначення 4 (задача із закріпленими кінцями).

Постановка задачі оптимального керування рухом АМР буде коректною, якщо початкова та кінцева точки $(X_H(t_0), X_K(t_1))$ належать допустимій області в просторі місцевості:

$$(x_n(t_0), x_k(t_1)) \in Q_x^{uc}, \quad (3.9)$$

коли

$$(v(t_0), v(t_1)) \in [0, v_2^{max}].$$

Визначення 5 (задача із рухомими кінцями).

Постановка задачі оптимального керування рухом АМР буде коректною, якщо початкова множина точок $M_0(x_n(t_0))$ і кінцева множина точок $M_1(x_k(t_1))$ мають непорожній перетин в допустимій області місцевості:

$$\begin{cases} M_0(x_n(t_0)) \cap Q_x^{uc} \neq \emptyset, \\ M_1(x_k(t_1)) \cap Q_x^{uc} \neq \emptyset, \end{cases} \quad (3.10)$$

коли в цих точках виконується

$$\begin{cases} V(M_0) \in [0, v_2^{max}], \\ V(M_1) \in [0, v_2^{max}], \end{cases}$$

Будуть справедливими наступні твердження.

Твердження 1. Умови коректності постановки задачі оптимального керування АМР (3.9), (3.10) є необхідними умовами для існування розв'язку задачі термінального керування АМР.

Твердження 2. При виконанні умов (3.9), (3.10) необхідною умовою існування розв'язку задачі термінального керування АМР є існування траєкторії руху АМР G , яка цілком лежить в допустимій області місцевості:

$$G \in Q_x^{uc} \subset X. \quad (3.11)$$

Твердження 3. Якщо виконуються умови (3.9), (3.10), (3.11), то серед усіх можливих траєкторій руху буде існувати оптимальна.

У четвертій главі описується синтез законів оптимального керування АМР та розглядаються алгоритми планування оптимальної траєкторії руху АМР, що розроблені для бортового комп'ютера.

На підставі визначених допустимих областей в роботі синтезовано оптимальні закони керування швидкістю та кермом АМР:

1. Керування швидкістю АМР:

$$u_1 = \frac{1}{k_1} (p_1 + k_3 v^2 + k v - k_v \cos \varphi \cos \theta), \quad (4.1)$$

де закон визначення P_1 побудовано у вигляді оптимального закону позиційного регулювання (рис. 1):

$$P_1 = \begin{cases} K_1 - K_v \cos \varphi - K_3 V_j^2 - K V_j, & V_{j-1} \leq V < V_{zag} < V_j, \\ 0, & V = V_{zag}, \\ -(K_1 - K_v \cos \varphi), & V > V_{zag}, \end{cases} \quad (4.2)$$

де V_j - позиції переключення швидкості, що визначаються інженерною реалізацією АМР (наприклад, у машині три ступеня переключення швидкості: 20, 40, 60 км/год), $j = \overline{0, 3}$; $V_0 = 0$;

V_{zag} - швидкість, яку повинен набрати АМР так, щоб забезпечити максимально допустимий розворот АМР у точці місцевості (у роботі встановлено, що $V_0 < V_{zag} \leq V_1$).

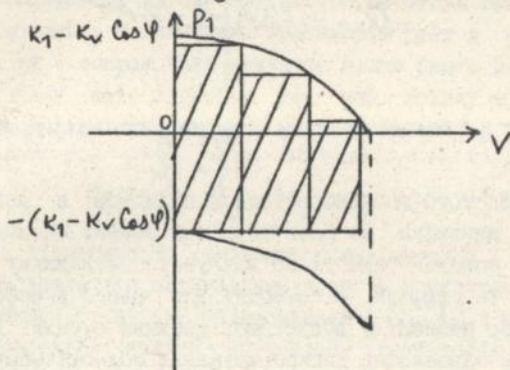


Рис. 1

2. Керування кермом АМР:

$$u_2 = \frac{1}{K_2} (P_2 + \text{Sign}(u_2) \left(\frac{K_4 V}{1 - V^2} + K_f \cos \varphi \sin \theta \right)), \quad (4.3)$$

де P_2 визначається в наступного рівняння оптимального регулятора (рис. 2):

$$P_2 = \text{Sign}(\psi_{zag} - \psi) a_j (K_2 - K_f \cos \varphi), \quad V_{j-1} \leq V < V_j, \quad (4.4)$$

де a_j - постійні, $0 < a_j < 1$, $a_{j-1} > a_j$, $j = \overline{0, 3}$;

$$V_j = - \frac{K_4}{2(K_2 - K_f \cos \varphi - |P_2|)} + \sqrt{\frac{K_4^2}{4(K_2 - K_f \cos \varphi - |P_2|)^2} + 1};$$

Ψ_{zag} - курс прямування АМР при введенні координат оптимальної траєкторії руху АМР $X^* = (x_1^*, x_2^*)$ в точці місцевості $X = (x_1, x_2)$ і визначається в рівняння $\Psi_{zag} = \arctg\left(\frac{x_2^* - x_2}{x_1^* - x_1}\right)$.

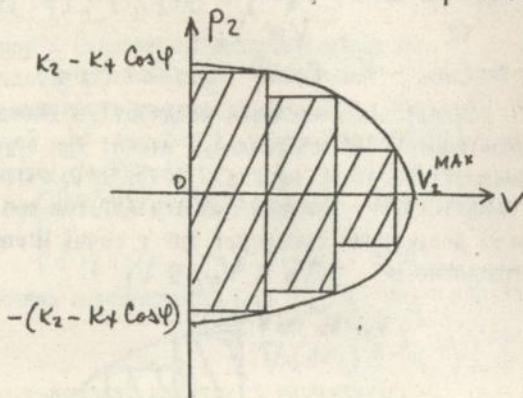


Рис. 2

Для того щоб скористатися підходом з позицій обернених задач динаміки до розв'язування задачі оптимального керування, АМР повинен самостійно планувати оптимальну траєкторію виходячи із знання місцевості. Для цього в роботі було введено оператор розподілу допустимої множини зусиль P_1 , якому відповідає однозначне дискретизування області керуючого стану АМР у просторі місцевості Q_x^{yc} .

Оператор дискретизування рівномірно розподіляє множину зусиль P_1 на q -підмножин таким чином:

$$P_1 \in [P_{1i}^n, P_{1i}^e] \subset [0, K_1], \quad i = \overline{1, q}, \quad (4.5)$$

де $P_{10}^n = K_1 - \frac{K_v}{K_4} K_2,$

$$P_{1i}^n = P_{10}^n + \frac{1}{i} \frac{K_v}{K_4} K_2, \quad P_{1i-1}^e = P_{1i}^n, \quad i = \overline{1, q},$$

що приводить до відповідного розподілу області керованого стану АМР у просторі місцевості.

І множина Q_x^{yc} буде належати сукупності таких областей:

$$Q_x^{yc} = \bigcup_{i=1}^q \{Q_{x_i}^{yc}\}, \quad (4.6)$$

де

$$\{Q_{x_i}^{yc}\} = \{x = (x_1, x_2), \varphi \in [\arccos \frac{K_1 - P_1^H}{K_v}, \arccos \frac{K_1 - P_1^E}{K_v}]\}, i = \overline{1, q}.$$

Тоді планування оптимальної траєкторії руху АМР буде полягати у пошуку потоку мінімальної вартості на орієнтованому графі, якщо область керуючого стану у вигляді (4.3) визначити як граф H_q з дискретною кількістю вузлів $\{Q_{x_i}^{yc}\}_{i=1}^q$, а точки перетину зв'язаних вузлів будуть виступати ребрами цього графа. Орієнтованість графа буде визначатися при введенні початкових умов $(x_H(t_0) \in Q_{x_e}^{yc}; x_K(t_1) \in Q_{x_m}^{yc})$.

Далі використовується алгоритм Дейкстри, що будує зростаючий граф-дерево можливих оптимальних траєкторій руху в кожний вузлик $\{Q_{x_i}^{yc}\}_{i=1}^q$, де i - крок, який визначає гілки цього дерева. У найгіршому випадку цей алгоритм дає час пошуку порядку $O(3n^2)$, де n - кількість множин, що знаходяться в такого співвідношення:

$$n = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{w_i} n_{ij}, \quad (4.7)$$

де w_i - кількість підмножин, що складають кожну множину $\{Q_{x_i}^{yc}\}$.

Для того щоб визначити оптимальний крок q дискретизування області керованого стану АМР підмножинами $\{Q_{x_i}^{yc}\}_{i=1}^q$ відповідно до цього розподілу знайти оптимальну траєкторію руху АМР, було запропоновано розглянути задачу планування як задачу ітераційного пошуку максимуму ресурсно-зваженої дискретної функції:

$$\exists(i) = - \frac{F(i) - F(i-1)}{K(i) - K(i-1)}, \quad (4.8)$$

$$\exists(0) = 0,$$

де i - шаг дискретизування області керованого стану Q_x^{yc} ; $F(i)$ - значення критерію якості побудованої оптимальної траєкторії руху за допомогою алгоритма Дейкстри на i -му кроці дискретизування;

$K(i)$ - загальна кількість підмножин $\{Q_{xj}^{xc}\}_{j=1}^i$ на i -му кроці розподілу Q_x^{xc} , що є опосередкованою ресурсною характеристикою системи і визначається в (4.7).

Загальний час ітераційного пошуку оптимальної траєкторії руху АМР, що зупиняється при визначенні максимуму функції $\mathcal{E}(i)$, має порядок $O(3q K^2(q))$, де q - оптимальний крок дискретизування області керованого стану АМР, що гарантує реальний час роботи алгоритмів пошуку, як було доведено на прикладах, які обчислювались на комп'ютері ІВМ АТ 386/387/25 МГц.

На рис. 3 показані графіки функції $\mathcal{E}(i)$ для прикладів, що наведені в додатку до роботи.

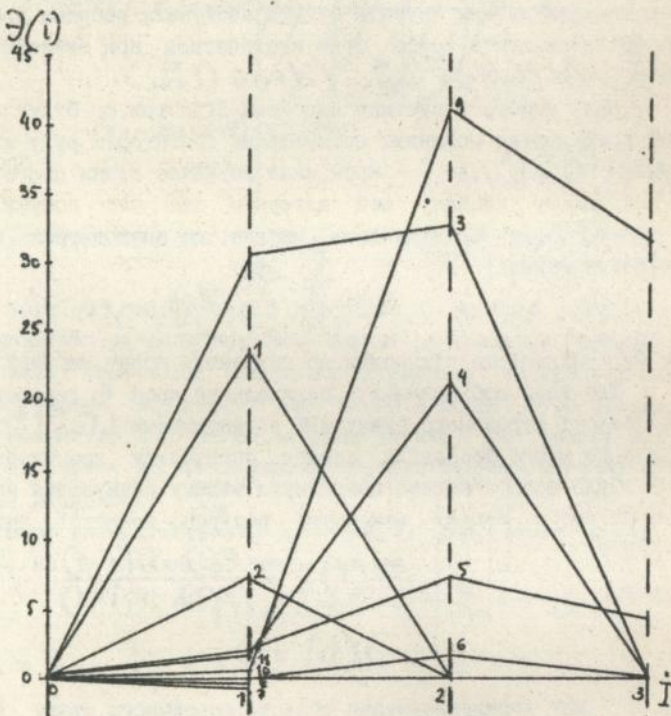


Рис. 3

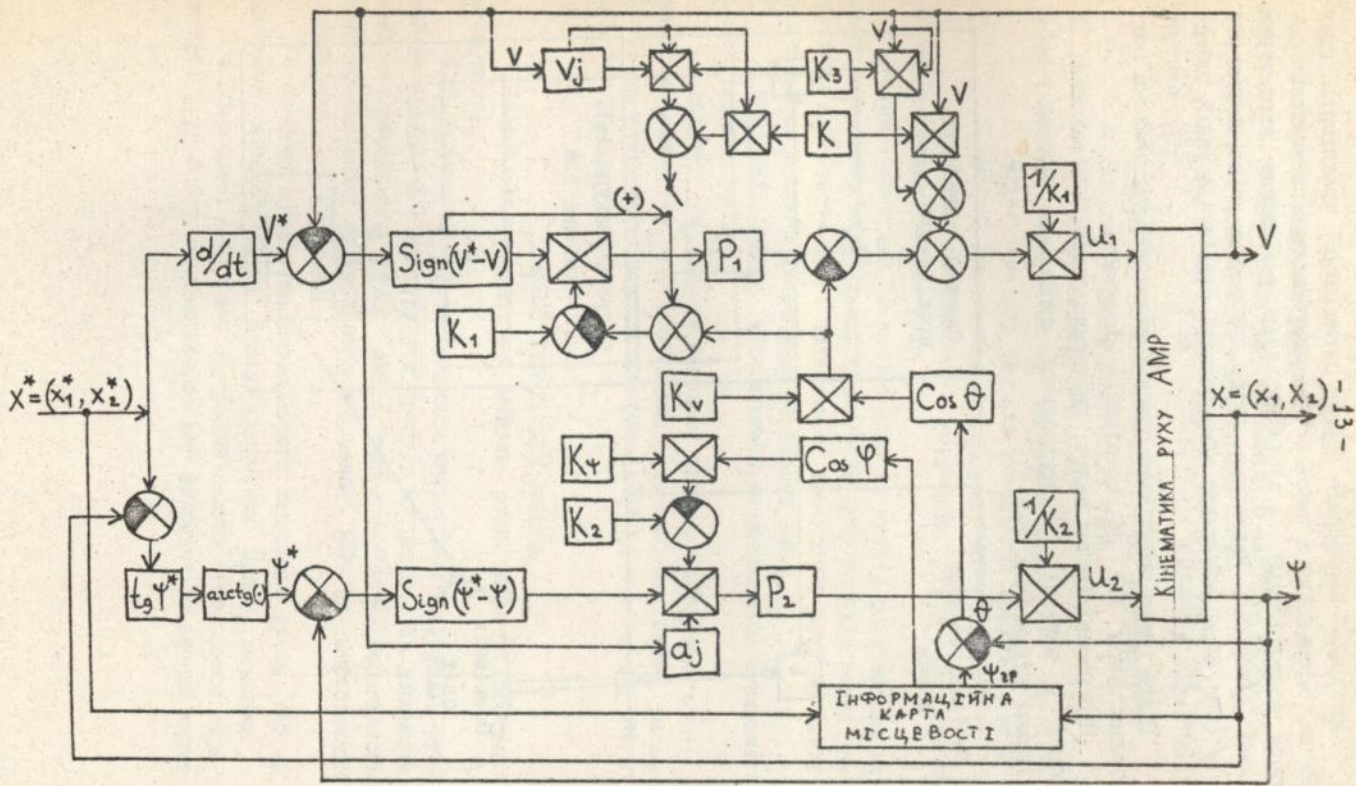


Рис. 4

На основі алгоритмів пошуку оптимальної траєкторії руху АМР на місцевості, а також згідно синтезованих оптимальних законів керування АМР (4.1), (4.2) була розроблена структурна схема алгоритма керування рухом АМР уздовж усієї траєкторії руху (рис. 4), що ефективно використовує підхід з позицій обернених задач динаміки.

П'ята глава присвячена опису інтелектуальної системи керування рухом АМР на пересіченій місцевості.

Програмне рішення задачі керування рухом АМР виконано в роботі у вигляді інтелектуальної системи, що містить у собі наступні підсистеми (рис. 5):

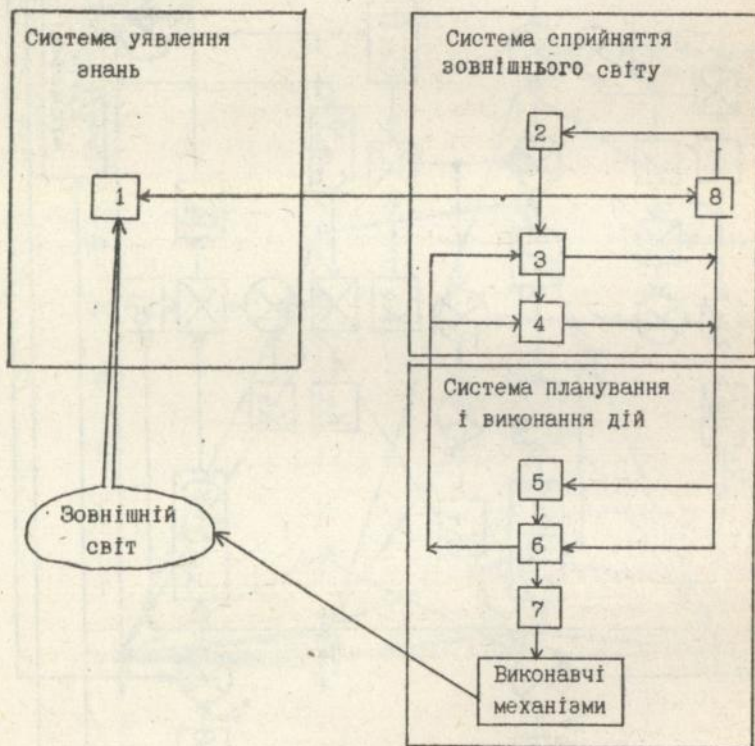


Рис. 5

- система уявлення знань:
 1. Модуль введення інформації з карти місцевості;
- система сприйняття зовнішнього світу:
 2. Модуль введення інформації про динамічні характеристики АМР;
 3. Модуль внутрішнього відображення місцевості;
 4. Модуль введення початкових умов;
 8. Модуль інтерфейсу системи;
- система планування і виконання дій:
 5. Модуль синтезу законів визначення керуючих зусиль;
 6. Модуль планування оптимальної траєкторії руху;
 7. Модуль оптимального керування рухом АМР уздовж запланованої траєкторії руху.

Кожна підсистема визначає один із кроків розв'язання задачі планування оптимальної траєкторії руху та здійснення керування АМР уздовж усієї оптимальної траєкторії руху за синтезованими оптимальними законами керування АМР.

У висновку роботи аналізуються результати, що отримані в дисертаційній роботі.

У додатку до роботи наведені приклади побудови оптимальних траєкторій руху робота для різнороманітних видів місцевості та типів АМР. Приклади обчислювалися на комп'ютері IBM AT 386/387/25 МГц.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ:

1. Розроблена математична модель руху АМР у просторі місцевості.
2. Проведена примусова редукція математичної моделі руху АМР, що дозволила структурувати простір місцевості за допомогою областей керованого стану АМР, а також визначити коректність постановки задачі оптимального керування АМР на пересіченій місцевості.
3. Синтезовані закони оптимального керування рухом АМР, що ефективно використовують схему обернених задач динаміки.
4. Розроблені ефективні алгоритми пошуку оптимальної траєкторії руху бортовим комп'ютером АМР виходячи із знання карти

місцевості, для чого були використані методи дискретної оптимізації та математичного програмування.

Б. Розроблена інтелектуальна система, що дозволяє АМР планувати свою оптимальну траєкторію руху на пересіченій місцевості, використовуючи інформацію геодезичної карти місцевості, а також керувати своїм рухом уздовж усієї запланованої траєкторії.

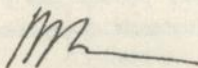
6. Практично доведена можливість створення роботів, що вирішують проблему планування оптимальної траєкторії руху АМР на місцевості та здійснення керування АМР уздовж усієї траєкторії в реальному часі.

Основні результати роботи опубліковано в таких роботах:

1. Волкович В. В. Композиционное знание о динамических объектах, находящихся в определенных отношениях //Кибернетика и вычисл. техника. -1991. -Вып. 92. -С. 94-98.

2. Волкович В. В., Павлов В. В. Анализ управления динамическим объектом в криволинейном пространстве //Автоматика. -1991. -№5. -С. 27-31.

3. Волкович В. В., Павлов В. В. Корректность постановки задачи оптимального управления для нелинейных систем //Автоматика. -1992. -№2. -С. 59-61.



Підп. до друку 05.01.94. Формат 60×84/16. Папір друк. №2. Офс. друк.
Ум.-друк. арк. 0,93. Ум. фарбо-відб. 1,05. Обл. вид. арк. 1,0. Тир. 100
прим. Зам. 7.

Редакційно-видавничий відділ з поліграфічною дільницею
Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова АН України
252207 Київ 207, проспект Академіка Глушкова, 40

AB 29.253