

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*V. Pisarenko, J. Pisarenko,
C. Melkumyan, A. Koval*

THE COMPONENTS AND BASIC CONCEPT OF INTELLECTUAL MOBILE ROBOTS FOR MOUNTAIN RESCUE WORKS

The authors' concept of the mobile robot with artificial intelligence elements is considered. The algorithm for monitoring the entire procedure using the robot in term of the frames is shown.

Key words: intellectual robotics, co-al mine.

Наведено концепцію авторського мобільного робота з елементами штучного інтелекту. Вказано алгоритм усієї процедури моніторингу за допомогою робота в термінах фреймів.

Ключові слова: інтелектуальна робототехніка, шахта.

Приведена концепция авторского мобильного робота с элементами искусственного интеллекта. Указан алгоритм всей процедуры мониторинга с помощью робота в терминах фреймов.

Ключевые слова: интеллектуальная робототехника, шахта.

© В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко,
Е.Ю. Мелкумян, А.С. Коваль, 2010

УДК 004.896

В.Г. ПИСАРЕНКО, Ю.В. ПИСАРЕНКО,
Е.Ю. МЕЛКУМЯН, А.С. КОВАЛЬ

КОНЦЕПЦИЯ И БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Разработки, описанные в данной работе, предназначены для обеспечения работы робототехнических устройств в стесненных пространственных условиях шахтного забоя в процессе выполнения разведывательных функций непосредственно после аварии или при ремонтных работах в узком помещении инженерного сооружения [1–3].

Концепция и базовые компоненты мобильного робота с элементами искусственного интеллекта (ИИ) серии «Робот-горноспасатель» (ГОСИР) разработаны в Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины. Технические требования к ГОСИР сформированы сотрудниками Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины с учетом актуальной потребности повышения эффективности горноспасательных работ по результатам совещаний со специалистами НИИ горноспасательного дела, пожарной безопасности «Респиратор» и руководством шахты имени А.Ф. Засядько (г. Донецк), проходивших в 2009 – 2010 гг.

В этих условиях при разработке и создании ГОСИР ставятся шесть взаимосвязанных задач [4]:

1) сориентироваться роботу для

обследования новой конфигурации стесненного помещения, усложненной в результате недавней аварии с обвалом пород, для последующего проникновения вовнутрь этого помещения;

2) произвести мониторинг базовых элементов состава шахтной атмосферы (содержание метана (NH_4), углекислого газа (CO_2), угарного газа (CO), кислорода (CO_2), температуры, влажности, состава и концентрации угольной пыли) внутри помещения;

3) обследовать и распознать новую 3D конфигурацию помещения;

4) оперативно выполнить задачу, учитывая программное задание;

5) рассчитать оптимальную последовательность кинематических операций многозвенного манипулятора ГОСИР для целей последующего выполнения главной задачи;

6) решив проблемы 1 – 4, реализовать центральную часть заданной программы: найти и захватить манипулятором некоторый «главный объект» всей «сцены», указанный в маршрутном задании.

Примером заданной программы может быть поиск горняков (засыпанных обвалом пород во время работы), или выключение/включение определенного оборудования, восстановление разрушенных аварией коммуникаций для нормализации ситуации и т. п.

Алгоритм всей процедуры мониторинга с помощью разработанного робота ГОСИР в терминах фреймов.

Этап-1 (фрейм «Старт») – «прибыть в заданную зону, подлежащую обследованию (фрейм «Объект»)».

Этап-2 (фрейм «Осмотр») – активизация сенсоров предварительного анализа «Объекта».

Этап-3 (фрейм «Ситуация») – предварительное определение класса общей загрязненности шахтной атмосферы с точки зрения условий выполнения основного задания:

- степень запыленности атмосферы;
- сверхкритичность температуры атмосферы;
- преодолимость прохода в туннель.

Этап-4 (фрейм «Готовность») – автономное принятие решения об оптимальном задействовании N бортовых сенсоров.

Этап-5 (фрейм «Измерения») – активация соответствующих состоянию атмосферы сенсоров, по результатам выхода фрейма «Готовность».

Этап-6 (фрейм «Маршрут») – начало движения в пошаговом режиме с проведением цикла мониторинговых замеров с учетом функций, предусмотренных фреймами «Готовность» и «Измерение»; результаты замеров записываются в бортовой (N -канальный) файл «Мониторинг».

В процессе выполнения миссии происходит с заданной частотой проверка текущего состояния пары объектов «робот + внешняя среда» по следующим 4 критериям:

- 1) выявлено непреодолимое препятствие на пути (момент времени t_o);

- 2) исчерпан ресурс времени (к моменту времени t_i);
- 3) исчерпан ресурс энергообеспеченности (к моменту времени t_e);
- 4) поступила от удаленного оператора команда «Возврат в точку старта» (к моменту времени t_b).

Для момента времени $t_f \equiv \min(t_o, t_b, t_e, t_b)$ генерируется команда выполнять команду «Прекратить движение и мониторинг» (фрейм «Стоп»).

Базовые модули робота-разведчика ГОСИР, из которых формируется состав бортового комплекта для конкретной миссии:

1) гусеничное шасси с двигателями на пневмоприводах (для исключения электрооборудования, несущего риск электроискрения, что может инициировать взрыв метанопылеугольной смеси в атмосфере шахты);

2) набор бортовых сенсоров для контроля шахтной атмосферы, включая: газоанализаторы (на метан, углекислый газ, угарный газ), сенсоры угольной пыли, кислорода, температуры и влажности;

3) комплекс бесконтактных сенсоров для обследования и создания 3D модели обследуемого шахтного завала (видеокамера, комплекс лазерных дальномеров, ультразвуковые датчики, датчики касания, гироскопы);

4) бортовой навигационный комплекс, обеспечивающий роботу ГОСИР возможность двигаться автономно и в соответствии с поставленной программой, включающий трехосные гироскопы, микрофоны, датчики касания, металлоискатель, УЗ-датчики, датчик скорости, счетчик оборотов вала ведущих колес, приборный комплекс для контроля текущего состояния бортового оборудования;

5) бортовой радиотехнический комплекс связи, обеспечивающий радиосвязь с удаленным оператором для консультаций в нестандартных ситуациях;

б) бортовой манипулятор для выполнения в необходимых случаях работ по созданию узких технологических проходов или отверстий в завалах пород путем бурения минишурфов для последующего оказания помощи горнякам, застигнутых обвалом, включая передачу по подготовленным минишурфам медикаментов, компактных средств связи, продуктов питания, воды, пакетов индивидуального или коллективного спасения и другой экстренной помощи.

Данные замеров трехосных гироскопов предлагается интерполировать с помощью сплайнов для восстановления картины движения робота ГОСИР. Интерполяционный кубический сплайн дефекта-1 (или просто кубический сплайн) $S_{\Delta}(y; x)$ на каждом частичном интервале $[x_{j-1}, x_j]$, как известно [5], можно представить в виде:

$$S_{\Delta}(y; x) = M_{j-1} \frac{(x_j - x)^3}{6h_j} + M_j \frac{(x - x_{j-1})^3}{6h_j} + \left(y_{j-1} - \frac{M_{j-1}h_j^2}{6} \right) \frac{x_j - x}{h_j} + \left(y_j - \frac{M_j h_j^2}{6} \right) \frac{x - x_{j-1}}{h_j},$$

где вектор-столбец моментов $M = \{M_0, M_1, \dots, M_N\} \in R_N$ определяется как решение системы линейных уравнений:

$$\sum_{j=0}^M A_{ij} M_j = d_j, \quad i = \overline{0, N}, \quad A_{ij} \equiv A_{ij}(\lambda_0, \mu_N; N, \Delta),$$

где
$$d_j = \sum_{k=0}^N D_{ik} y_k = 6 \left[(y_{i+1} - y_i) h_{i+1}^{-1} - (y_i - y_{i-1}) h_i^{-1} \right] (h_i + h_{i+1})^{-1}$$

$i = \overline{1, N-1}$; $h_j = x_j - x_{j-1}$, матрица A имеет вид

$$[A_{ij}] = \begin{bmatrix} 2 & \lambda_0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & 2 & \lambda_1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & 2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2 & \lambda_{N-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \mu_{N-1} & 2 & \lambda_{N-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \mu_N & 2 \end{bmatrix},$$

где $\lambda_j = h_{j+1} (h_j + h_{j+1})^{-1}$; $\mu_j = h_j (h_j + h_{j+1})^{-1}$; $i = \overline{0, N}$.

Устройство для видеомониторинга внутренней поверхности туннеля.

Для видеомониторинга внутренней поверхности нерегулярного туннеля (квазицилиндра со случайной поверхностью), образованного обрушением пород в нем, предлагается использовать устройство, показанное на рис. 1.

Указанное устройство монтируется в качестве двух заключительных звеньев многозвенного манипулятора (рис. 1) и используется для пошагового изменения координаты X вдоль оси туннеля, причем после совершения очередного i -го шага поступательное продвижение головки (вдоль оси X) прекращается на период выполнения круговой съемки обследуемого туннеля на данном шаге.

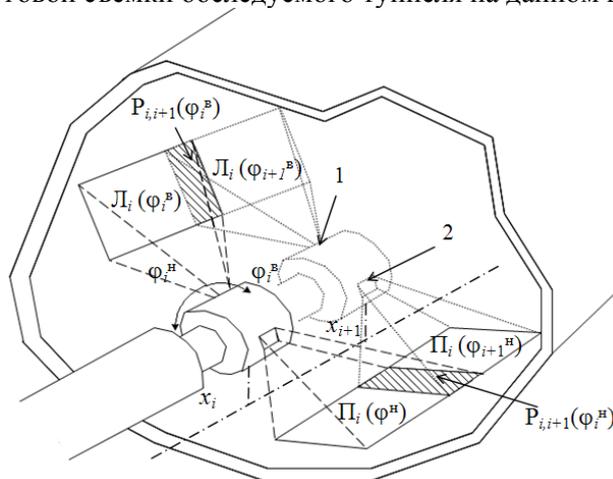


РИС. 1. Получение снимков устройством видеоголовки: 1– правый объектив; 2 – левый объектив; $Л_i / П_i$ – кадр, полученный видеоголовкой робота для координаты по оси x положения видеоголовки x_i , угла поворота $\varphi_i^B / \varphi_i^H$ (вверх/вниз), $\varphi_i^B = -\varphi_i^H$; $Л_{i+1} / П_{i+1}$ – кадр, полученный видеоголовкой робота для x – координаты положения видеоголовки x_{i+1} , угла поворота $\varphi_{i+1}^B / \varphi_{i+1}^H$ (вверх/вниз), $\varphi_{i+1}^B = -\varphi_{i+1}^H$; $P_{i,i+1}(\varphi_i^B)$ – зона перекрытия

Здесь показаны основные элементы видеоголовки, содержащие, в частности, два объектива (соответственно это также две видеокамеры, которые могут в зависимости от поставленной задачи выполнять видеосъемку либо фотографировать последовательные кадры через заданные равные промежутки времени τ). В процессе выполнения съемки поверхности обследуемого туннеля головка сканирует левое и правое поле сцены (i -й участок туннеля), причем поворот головки осуществляется вдоль оси параллельной касательной к оси данного туннеля на угол φ_i^B .

При этом правый объектив выполняет симметричное движение, состоящее в изменении угла φ по закону:

$$\begin{aligned} -190^\circ \leq \varphi_i^B \leq 190^\circ \\ -190^\circ \leq \varphi_i^H \leq 190^\circ \end{aligned}$$

В результате выполнения съемки текущего кадра:

$$\{J_i(\varphi_i^B); \Pi_i(\varphi_i^H) (\varphi_i^H = -\varphi_i^B)\}$$

и последующего шага

$$\{J_i(\varphi_{i+1}^B); \Pi_i(\varphi_{i+1}^H) (\varphi_{i+1}^H = -\varphi_{i+1}^B)\}$$

появляется возможность получения стереоизображения зоны перекрытия соответственно пары кадров (рис. 1):

$$\{J_i(\varphi_i^B), J_i(\varphi_{i+1}^B)\}.$$

На рис. 1 обозначена штриховкой $P_{i,i+1}(\varphi_i^B)$ зона перекрытия. Величина зоны перекрытия выбирается путем регулировки задаваемого шага Δx_i видеоголовки вдоль оси x .

По результатам обработки каждой стереопары из вышеуказанной процедуры строится 3D поверхность всех заштрихованных участков обследуемого туннеля. Манипулятор робота с помощью головок с объективами обследует поверхность шахтной выработки, получает ее пошаговое 3D изображение в виде цифрового файла.

В предельном случае вышеописанная процедура получения 3D поля поверхности трубопровода надлежащим выбором шага может быть обеспечена для всей обследованной поверхности кроме первого и последнего кадра, когда для первого кадра не будет перекрыта первая половина, а для последнего кадра – вторая.

Названный алгоритм получения снимков с помощью последовательных продвижений видеоголовки вдоль оси x и поворотов на углы $\varphi_i^H, \varphi_i^B, -\varphi_i^H, -\varphi_i^B$, результатов их распознавания и интерпретации позволяет получить, помимо исходного видеоизображения, также вид 3D поверхности обследуемого трубопровода или шахтного туннеля.

Данная технология [1] предусматривает фиксацию трех координат x_i, y_i, z_i центра масс видеоголовки и упомянутых 3D изображений последовательности областей перекрытия:

$$\{P_{i,i+1}(\varphi_i^B); P_{i,i+1}(\varphi_i^H)\}.$$

Работа робота ГОСИР с видеоголовкой включает следующие этапы:

- доставка в начальное положение ко входу туннеля;
- выбор режима исследования фото/видео;
- на i -м шаге получение пары снимков/кадров видеопотоков;
- передача по радиоантенне/кабелю;
- расчет угла $\Delta\gamma$ поворота видеоголовки, исходя из угла обзора камеры;
- поворот видеоголовки манипулятора на угол $\Delta\gamma$;
- задание оператором частоты снимков – с перекрытием/без перекрытия;
- уточнение мест с перекрытием для получения стереоизображения, изменение зума;
- построение 3D карты ландшафта по полученным снимкам

Замечание 1. Для альтернативной реализации съемки роботом сложной 3D поверхности обрушенного шахтного забоя 4 пунктирных линии, исходящих из вершин прямоугольных диафрагм для каждого из двух объективов на рис. 1, могут означать соответственно четыре луча лазерных дальномеров для съемки формы сложной 3D поверхности по методике авторов [4].

Результаты программной реализации имитационного моделирования функционирования робота с манипулятором для подбора его основных параметров (габариты, длина и количество звеньев манипулятора) в шахте показаны на рис. 2, 3.

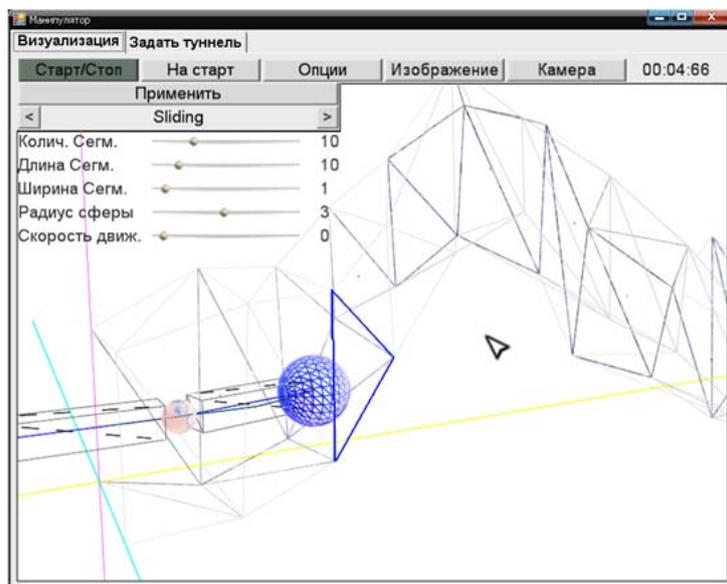


РИС. 2. Отображение плоскости, с которой состоялось пересечение конечного звена

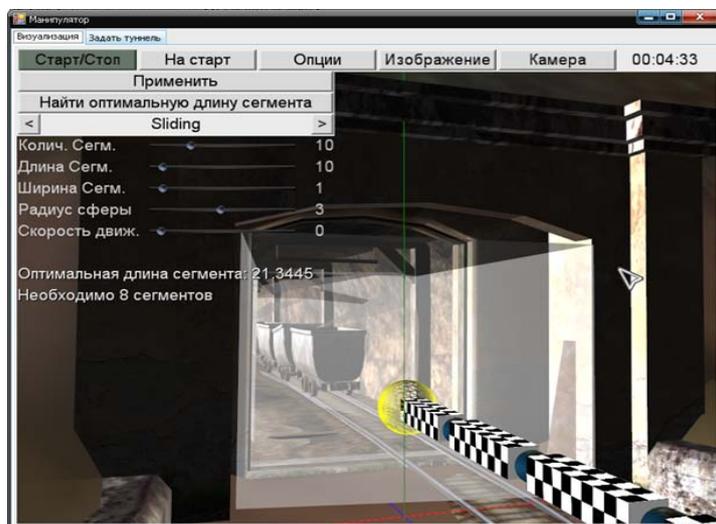


РИС. 3. Экранная форма программы расчета количества сегментов, длина отдельного сегмента

Выводы. Приведена концепция разработанного авторами мобильного робота с элементами искусственного интеллекта для горноспасательных работ с учетом результатов совещаний в 2009 – 2010 гг. авторов со специалистами НИИ горноспасательного дела, пожарной безопасности «Респиратор» и руководством шахты имени А.Ф. Засядько (г. Донецк).

В предлагаемой авторской концепции робот в автономном режиме производит мониторинг шахтного помещения и базовых элементов состава шахтной атмосферы (включая содержание метана, углекислого и угарного газа), измеряет температуру шахтной атмосферы и концентрацию угольной пыли).

Указан алгоритм всей процедуры мониторинга с помощью разработанного робота в терминах фреймов.

1. Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В., Мелкумян Е.Ю., Коваль А.С. Применение робототехники для обследования шахты после обвала // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 528 – 534.
2. Писаренко Ю.В. Віртуальне проектування інтелектуалізованих роботів для розвідки і нейтралізації небезпечних екологічних подій // Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. – К., 2005. – 20 с.
3. Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В. Вопросы виртуального проектирования систем, ориентированных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных состояний техносферы. Ч. 1 // УСИМ. – Киев. – 2005. – № 4. – С. 8–18.
4. Pisarenko V.G., Varava I.A., Pisarenko Ju.V., Procopchuck V.I. Information models for robotics system with intellectual sensor and self-organization // XI-th International Conf. “Knowledge – Dialogue – Solution (KDS)”. – Varna: FOI-Commerce. – 2005. – 2. – P. 427 – 432.
5. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолли Дж. Теория сплайнов и ее приложения. – М.: Мир, 1972. – 326 с.

Получено 15.10.2010