

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Цымбал А. М., канд. техн. наук, доц.  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ\*

mcdulcimer@kture.kharkov.ua

*В предлагаемой статье рассматриваются модели и метод адаптации стратегий функционирования интеллектуальной системы управления роботом. Модели исходят из рассмотрения процессов принятия решений как совокупностей актов взаимодействия объектов рабочего пространства робота, характеристик робототехнической системы, набора целевых состояний. Предложен метод адаптивного планирования стратегий функционирования мобильных роботов.*

**Ключевые слова:** робот, принятие решений, адаптация, планирование.

В настоящее время активно развиваются разработки робототехнических систем, направленные на ликвидацию чрезвычайных ситуаций (роботы, осуществляющие разведку, контроль, очистку территории), военные задачи, медицину и сферу обслуживания.

Разработка систем управления роботом, связанных с упомянутыми областями, должна учитывать динамику рабочего пространства, его возможную открытость и недетерминированность, мобильность объектов, составляющих окружение роботов, необходимость разработки систем принятия решений, способных гибко реагировать и адаптироваться в условиях сложного характера и свойств рабочего пространства.

Одной из практических задач разработки интеллектуальных систем управления (ИСУ) роботами является создание системы принятия решений, адаптируемой к изменениям рабочего пространства. Целью данной статьи является описание постановки задачи, описание моделей и метода адаптации процессов принятия решений в ИСУ роботами.

В общем случае задачу планирования стратегий для манипуляционных и мобильных роботизированных систем предлагается рассмотреть следующим образом:

а) существует субъект (субъекты) планирования стратегий в виде мобильного или манипуляционного робота, оснащенного интеллектуальной системой управления (ИСУ);

б) существуют объекты, применительно к которым принимаются решения, осуществляется реализация решений;

в) существует рабочее пространство (РП), включающее субъекты и объекты

планирования стратегий, также сторонние объекты, которые могут влиять на процесс планирования стратегий, имеющее определенный ландшафт (или без такового);

г) свойствами субъекта планирования стратегий (ИСУ робота) могут являться:

– наличие технических характеристик, позволяющих выполнять задания;

– возможность разработки плана решений в соответствии с текущим состоянием РП;

– возможность выполнения решений в соответствии с разработанным планом;

– возможность изменения плана в случае изменений РП;

– возможность изменений порядка выполнения решений в случае изменения плана;

д) интеллектуальная система управления исполнительного субъекта будет состоять из таких частей:

– блок накопления информации о РП (в простейшем случае – просто база данных, в более сложном – является связанной с системой сенсоров исполнительного субъекта);

– блок операторных схем, содержащий стандартизированные описания решения отдельных подзадач (иначе – база знаний ИСУ роботом);

– блок поиска решений, в котором на основе информации о цели отдельного шага планирования стратегий или на основе глобальной цели выдвигается гипотеза о планировании стратегий;

– блок планирования стратегий, который во взаимодействии с сенсорной системой должен осуществлять наблюдение (мониторинг)

за изменениями в РП системы и, таким образом, изменять (или адаптировать) план реализации решения;

- блок формулирования цели системы;
- блок проверки результатов работы ИСУ;
- блок формирования и исполнения движений (манипуляций).

Схематически перечисленные составляющие ИСУ показаны на рисунке 1.

Разработанная структура ИСУ воспринимает информацию о состоянии РП робота и модифицирует процесс планирования стратегий в соответствии с изменениями в РП, то есть обладает признаками адаптивной системы.

ИСУ при планировании стратегий характеризуется следующими множествами:

- множество характеристик ИСК  $X$ , как вектор состояний  $X = \{X^0, X^1, \dots, X^{n-1}\}$ , который в моменты времени  $t_0, \dots, t_{n-1}$  принимает значения  $X_0 = \{x_0^0, x_0^1, \dots, x_0^{n-1}\}$ ,  $X_1 = \{x_1^0, x_1^1, \dots, x_1^{n-1}\}, \dots$ ,  $X_{n-1} = \{x_{n-1}^0, x_{n-1}^1, \dots, x_{n-1}^{n-1}\}$ ;

- множество решений, которые принимаются системой планирования стратегий (СПС) интеллектуальной системы управления (ИСУ) в виде вектора  $\vec{D} = \{d_0, d_1, \dots, d_{m-1}\}$ , где  $m$  – количество решений на интервале времени  $t_0, \dots, t_{n-1}$ ;

- множество характеристик рабочего пространства  $S$ , которое также представляется как вектор состояний  $\vec{s} = \{s^0, s^1, \dots, s^{n-1}\}$  и в моменты времени  $t_0, \dots, t_{n-1}$  принимает значения  $S_0 = \{s_0^0, s_0^1, \dots, s_0^{n-1}\}$ ,  $S_1 = \{s_1^0, s_1^1, \dots, s_1^{n-1}\}, \dots$ ,  $S_{n-1} = \{s_{n-1}^0, s_{n-1}^1, \dots, s_{n-1}^{n-1}\}$ ;

- множество действий – вектор  $\vec{A} = \{a^0, a^1, \dots, a^{n-1}\}$ , который осуществляются робототехнической системой как реализация принятых решений  $\vec{D}_i$  и реализуются движениями или манипуляциями  $a_{mv} \subset A$ ,  $a_{mp} \subset A$ ;

целевое состояние  $Y$ , как состояние, совместимое с элементами множества  $X$ , которое достигается последовательным преобразованием состояний  $X_0 \rightarrow X_1 \rightarrow \dots \rightarrow X_{n-1} = Y$ .



Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной системы управления роботом

При этом, указанные множества представляют конкретные элементы ИСУ.

В частности, робототехническую систему (множество  $X$ ) с точки зрения решения задач

ИСУ предлагается описать в составе следующих элементов:

- манипулятор (описание движений отдельных сочленений манипулятора);
- шасси мобильного робота (получение информации от СУ, отсылка данных в СУ, осуществление движений);
- система управления (набор сигналов, который посылается или получается манипулятором);
- сенсорная система (датчики, которые обеспечивают отсылку сигналов о состоянии рабочего пространства (РП) в системе управления (СУ) роботом);
- система технического зрения (обеспечивает обзор (мониторинг) РП и отсылку сигналов у СУ робота);
- система связи (отсылка и получение сигналов от СУ робота, других роботов).

Описание множества решений (вектор  $\vec{D}$ )

предлагается у составе:

- решение о перемещении манипулятора (манипуляторов) на уровне отдельных операций (взять объект, переместить, положить, поменять объекты местами и т.д.), в том числе достижение целевой точки;
- решение о направлении движений шасси мобильного робота (направо, налево, прямо, назад и т.п.), изменении скоростей и ускорений;
- запросы датчиков и системы технического зрения;
- ожидаемый результат (целевое событие);
- предусловия принятия решений.

Описание множества объектов рабочего пространства  $S$ :

- объекты пространства (координаты объектов, направление и скорость движения, класс принадлежности объекта, техническое состояние, возможность использования во время исполнения решения);
- состояние пространства (характер местности, наличие путей перемещений и их состояние, препятствий и их изменений, осадком, освещенности и т.п.).

Описание множества  $Y$  целей ИСУ робота:

- размещение робота в точке пространства (с необходимой привязкой к объектам);
- операции (манипуляции) в точке пространства (с необходимыми привязками к объектам пространства или без них);
- полученные данные о состоянии пространства (при помощи сенсорной системы).

Примерами постановки задачи роботу являются:

*находиться\_в\_точке(x, y, z);  
провести\_операцию(взять\_объект(класс(г\_айка))).*

В ходе достижения цели функционирования робототехнической системы производятся преобразования характеристик ИСК и элементов множеств  $S, D, A$ :

$$x_1 = f_1(x_0, y, s_0, d_0, a_0) + \varepsilon_0, \quad \|x_1 - x_0\| \leq \varepsilon_0,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$x_k = f_k(x_{k-1}, y, s_{k-1}, d_{k-1}, a_{k-1}) + \varepsilon_k,$$

$$\|x_k - x_{k-1}\| \leq \varepsilon_k,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$y = f_n(x_{n-1}, y, s_{n-1}, d_{n-1}, a_{n-1}) + \varepsilon_n,$$

$$\|y - x_{n-1}\| \leq \varepsilon_n,$$

где  $f$  – функция переходов,  $\varepsilon$  – погрешность перехода.

Переходы характеризуются стоимостью  $c_i \in A, i = 1..n$  и длительностью  $t_i \in T, i = 1..n$ . Целью является нахождение такой последовательности переходов  $f_1, \dots, f_n$ , которая обеспечит переход системы из начального состояния  $X_0$  в целевое  $Y$ .

Условиями поиска являются:  $\sum_{i=1}^n t_i \rightarrow \min,$

$$\sum_{i=1}^n c_i \rightarrow \min, \quad \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \rightarrow \min.$$

Таким образом, критерием поиска последовательности переходов является минимизация временных, стоимостных затрат, минимизация погрешностей переходов.

Во время разработки ИСУ для мобильных и манипуляционных роботов важным этапом является выбор моделей планирования стратегий с учетом конкретных условий рабочего пространства, возможностей модели робота, характеристик его сенсорной системы и других показателей. Характер моделей определяет сущность методов планирования стратегий.

Метод адаптивного планирования стратегий является описанием совокупности приемов и операций, которые применяются в интеллектуальных системах управления роботами при решении задач практической робототехники. Опишем основные положения данного метода.

1. Метод предполагает получение информации о состоянии рабочего пространства робота при помощи сенсорной системы.

2. Цель системы формулируется как новое возможное состояние ИСУ.

3. Цель системы рассматривается в виде набора дискретных подцелей ИСУ.

4. Для достижения поставленной цели ИСУ определяет набор действий – план решения, который позволяет последовательно достигать подцели, общей цели системы.

5. При определении общей цели и отдельных целей ИСУ должна учитывать состояние самой ИСУ и состояние рабочего пространства.

6. Если влияние собственного состояния ИСУ и рабочего пространства не позволяет исполнять отдельные действия по реализации запланированных подцелей при достижении общей цели системы, план решения должен быть изменен (адаптирован) таким образом, чтобы обеспечить переход от текущего состояния ИСУ к целевому (общей цели).

7. Качество выбора плана достижения цели ИСУ должно оцениваться в соответствии с условиями принятия решений, текущего и последующего состояний ИСУ, рабочего пространства робота.

Планирование стратегий происходит в условиях как реального времени, так и вне его. Как правило, начальное решение принимается в условиях постановки задачи и с учетом начального состояния всех объектов, которые берут участие у процессе. При этом происходит поиск операторных процедур ИСУ, которые в наибольшей степени удовлетворяют начальным и текущим условиям принятия решений. Разработанный план будет соответствовать модели принятия решений, выбранной на начальном этапе.

На стадии исполнения решений происходит реализация предложенного плана. Она осуществляется в реальном времени и может ограничиваться длительностью других объектов

и факторами внутреннего характера (например, ограниченным зарядом аккумуляторных батарей). Отклонение условий эксплуатации робота от запланированных, возникновение внешних факторов, существенно влияющих на реализацию решений потребует адаптации принятого плана на уровне перестройки отдельных частей плана (при реализации ряда подзадач) либо перестройки всего плана решения поставленной задачи. Таким образом, метод адаптивного планирования стратегий должен учитывать изменение рабочего пространства и адаптировать планирование стратегий в соответствии с ними.

*\*Материалы статьи относятся к исследованиям, проводимым в рамках госбюджетной тематики Харьковского национального университета радиозлектроники.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цымбал А.М., Бронников А.И. Программное моделирование системы управления мобильным роботом / Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. материалов международной научно-технической конференции // Севастопольский национальный технический университет (Севастополь 6 – 10 сентября 2010 г.), Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. – С. 224 – 226.

2. Tsymbol A.M., Bronnikov A.I. Decision-making in Robotics and adaptive tasks / EWDTs'2012: Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium // Kharkov National University of Radio Electronics (Kharkov, Sept. 14-17, 2012), Kharkov: KhNURE, 2012. – P. 417 – 420.

3. Цымбал А.М., Бронников А.И. Моделирование адаптивного принятия решений в ИСУ роботом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4, С. 173-176.