

# ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

И.В. ГАРЯЧЕВСКАЯ, А.Я. КУЗЕМИН

При проектировании мобильного робота, оснащенного системой технического зрения, выбор методов обработки изображений и последовательности их применения является одной из основных задач. При этом большое значение имеет формализация аппаратного и программного обеспечения. Решается задача поиска оптимальных методов обработки изображений и оптимального алгоритма их использования.

In designing a mobile robot equipped with a technical vision system the choice of image processing methods and sequence of their use is one of the main problems. At that software and hardware formalization is of important significance. The paper solves the problem of searching optimum methods of image processing and optimum algorithm of their application.

## ВВЕДЕНИЕ

Мобильные роботы, оснащенные системой технического зрения (СТЗ), способны производить различные действия в самых сложных и неблагоприятных условиях окружающей среды, недоступных человеку, например, на атомных электростанциях. Кроме этого, возможно использование небольших разведывательных и исполнительных роботов при чрезвычайных ситуациях, таких, как захват заложников, взрывы зданий и т. д. Сроки, за которые необходимо произвести разработку мобильного робота, ограничены во времени, самым длительным процессом проектирования мобильного робота является разработка и отладка алгоритма обработки изображений в СТЗ. Это связано со сложностью обработки видеoinформации, даже незначительные изменения в среде действия робота, такие, как изменение освещенности, задымленность, и т. д., делают ранее разработанные методы обработки изображений непригодными. Выбор методов обработки изображений, последовательность их применения, тестирование, отладка и адаптация занимают много времени и требует дорогостоящих натурных испытаний. Сократить время, требуемое на создание объекта (СТЗ) и стоимость разработки, может система автоматизированного проектирования.

Автоматизация проектирования невозможна без моделирования. В настоящее время машинное моделирование – единственный способ анализа сложных систем (к которым можно, в частности, отнести и разрабатываемую в [1, 2] систему автоматизированного проектирования системы технического зрения подвижного робота). Моделирование используется при проектировании, создании, внедрении, эксплуатации систем, а также на различных уровнях их изучения – начиная от анализа работы элементов и кончая исследованием систем в целом в их взаимодействии с окружающей средой.

Из описанных в [1] методов будет формироваться алгоритм обработки изображений. Методы при реализации системы будут классифицированы и разбиты на группы.

Использование готовых результатов, накопленных в ходе работы, позволяет также сократить время разработки, при этом используется оценка решений по заданным критериям.

Целью проводимого исследования является разработка средств проектирования и моделирования аппаратных и программных средств управления мобильным роботом, оснащенным СТЗ.

## 1. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование является полезным инструментом на всех этапах создания системы автоматизированного проектирования. Для моделирования СТЗ задачи проектирования алгоритма разбиваются на два класса: задача анализа и задача синтеза.

Решение задачи анализа означает получение информации о свойствах модулей системы и их характеристик в зависимости от определяющих параметров, критериев и структуры системы. Задача синтеза состоит в нахождении определяющих параметров и структуры системы по набору требуемых свойств. Обычно эти задачи решаются совместно, т. к. задачи синтеза, как более сложные, решаются с использованием задач анализа.

Применительно к задаче моделирования алгоритма необходимо из набора методов синтезировать последовательности (алгоритмы), проанализировать их и выбрать наилучший (рис. 1).

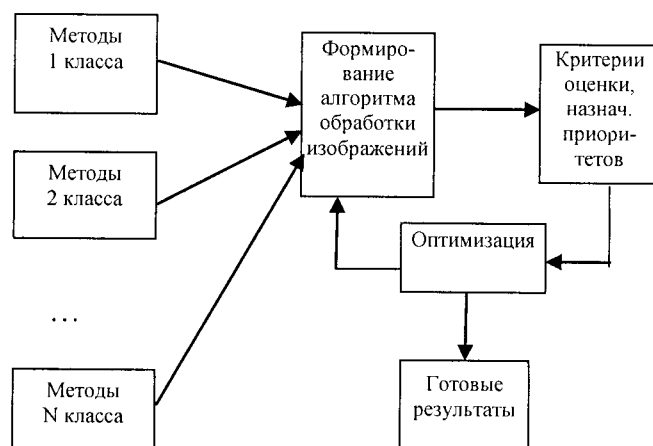


Рис. 1. Структурная схема синтеза и анализа алгоритма

Класс задач принятия решений описывается множеством однотипных ситуаций, в условиях которых предстоит произвести выбор. Так, для проектирования алгоритма обработки изображений в СТЗ задача выбора описывается множеством методов цифровой обработки изображений. Условия конкретной задачи характеризуются множеством решений (алгоритмов работы), которые могут быть приняты в конкретной ситуации. Процесс выбора необходим, так как различные цепочки могут удовлетворять поставленной задаче, иметь необходимую скорость обработки и включать в себя все необходимые стадии обработки, однако состоять из разных методов. Ситуацию, описанную в терминах определяемых ею возможных решений, называют предъявлением.

Подмножество возможных в данной ситуации решений, каждое из которых является «хорошим» решением соответствующей задачи класса, называют выбором.

Функция выбора – это многозначное отображение, определяющее зависимость выбора наиболее «хорошей» цепочки из множества разработанных от предъявления.

Обозначим через  $G$  множество в принципе возможных решений для всех задач класса, все разработанные цепочки, через  $X \subseteq G$  – множество в принципе возможных решений для конкретной задачи  $X$  класса (для конкретной ситуации  $X$ ), а через  $C(X) \subseteq X$  – множество приемлемых решений задачи  $X$ . Отображение  $C(X) \subseteq X$  представляет собой функцию выбора. Таким образом, функция выбора определяет концепцию выбора.

Пусть множество  $G$  представляет собой (конечное или бесконечное) множество альтернатив, а  $\beta$  – семейство некоторых подмножеств множества  $G$ . Пара  $(G, \beta)$  называется обстановкой, а элемент  $X$  семейства  $\beta$  – предъявлением.

Выбор в обстановке  $(G, \beta)$  сопоставляет предъявлению  $X \in \beta$  его подмножества  $C(X) \subseteq X$  – множество альтернатив  $x \in X$ , отобранных (лицом, принимающим решение, или посредством некоторого механизма выбора) в предъявлении  $X$ . Отображение  $C(X) \subseteq X$  называется функцией выбора. Если  $\beta \subset 2^G$ , функция выбора называется частичной, если  $\beta = 2^G$ , функция выбора – полная. Функция выбора может быть задана таблицей, набором свойств (аксиом), механизмом выбора, или гибридным путем (таблицей значений на ограниченном числе опорных предъявлений и свойствами или механизмом выбора для интерполяции таблицы).

Функции выбора могут представлять различные механизмы принятия решений, являющиеся одним из этапов процесса моделирования.

На этом этапе разработчик дает окончательный ответ, какой должен быть алгоритм обработки изображений в системе технического зрения и с какими параметрами. Данный этап полностью основан на мыслительной деятельности человека. Т. е. необходимо

выбрать лучший вариант алгоритма системы из нескольких существующих, который максимально будет удовлетворять тем или иным условиям.

Этап принятия решения можно описать следующим образом. Пусть имеется несколько технических решений (ТР) – несколько разработанных цепочек из имеющихся методов. Разработчик сравнивает их и затем выбирает из них два наиболее подходящих, на его взгляд, варианта, например, имеющих наиболее близкое значение времени, затраченного на обработку, к допустимому времени. Далее он должен назначить приоритеты для показателей качества цепочек. Это означает, что показателям качества приписываются числовые показатели, которые позволяют упорядочить показатели качества и определить их важность, т. е. какой показатель является наиболее и какой наименее важным. К показателям качества можно отнести: скорость реализации каждого метода; качество обработки, например, значение коэффициента сигнал-шум; точность локализации для модулей выделения объекта, целостность контура и его ширину для модулей выделения контуров и т. д. Такое упорядочение показателей облегчает процедуру сравнения и выбора того или иного варианта.

Если числовой показатель обозначить  $U_i$  то  $\sum_{i=1}^n U_i = 1$ , где  $n$  – количество показателей качества.

Следующим шагом является назначение условий. Разработчик определяет, каким условиям должен соответствовать тот или иной показатель качества, т. е. необходимо установить предел допустимых значений.

Например, чтобы из нескольких показателей скорости обработки выбрать один, обозначим его  $K_i$ , он не должен превышать ранее заданного значения  $K_o$ .

Шаг назначения условий также упрощает процесс выбора необходимого варианта.

После того как определена важность каждого показателя качества, определены условия их отбора, происходит сам процесс выбора того или иного технического решения, который условно можно разделить на два этапа. Разработчик «пропускает» все множество рассматриваемых альтернатив параллельно через каждый частный критерий. Таким образом, он получает множество подмножеств частных ответов. На следующем шаге разработчик «пропускает» множество подмножеств частных ответов через совокупный критерий предпочтения и получает решение.

Итак, решение принято. Разработчику остается оценить его соответствие первоначальной постановке задачи, поскольку в процессе упрощения при разработке модели он мог далеко отойти от исходной задачи и полученное решение в таком случае не является для нее ответом.

Если по какой-либо причине выбор не состоялся, то вводится новое техническое решение и процесс повторяется.

Таким образом, можно предположить, что процесс принятия решения содержит следующие интеллектуальные процедуры:

- 1) сравнение;
- 2) назначение приоритетов;
- 3) назначение условий;
- 4) выбор ТР;
- 5) оценка соответствия первоначальной постановке задачи;
- 6) введение нового ТР.

Учитывая все вышеизложенное, можно составить таблицу операций, входящих в процесс принятия решения, и алгоритм процедуры (табл. 1).

Таблица 1

| Обозначение | Название операции                                    |
|-------------|------------------------------------------------------|
| $Y_1$       | Сравнение                                            |
| $Y_2$       | Назначение приоритетов                               |
| $Y_3$       | Назначение условий                                   |
| $Y_4$       | Выбор ТР                                             |
| $Y_5$       | Оценка соответствия первоначальной постановке задачи |
| $Y_6$       | Введение ТР                                          |

Расширенную регулярную схему алгоритма (РРСА) для процедуры принятия решения можно представить в следующем виде:

$$R = (Y_1 \dots Y_n, x_1 \dots x_m, 0, 1),$$

где  $Y_i, i = \overline{1, n}$  – операторы РРСА;  $x_\beta, \beta = \overline{1, m}$  – условия РРСА; 0, 1 – нулевой и единичный элементы В.

На алгебре  $U$  определены следующие основные операции:

1.  $Y_i \cdot Y_j$  – композиция (умножение) операторов, заключающееся в последовательном выполнении программ.

2.  ${}_x(Y_i \vee Y_j)$  – дизъюнкция операторов, что эквивалентно конструкции if  $x$  then  $Y_i$  else  $Y_j$ .

3.  ${}_x\{Y_i\}$  – итерация, что эквивалентно конструкции while  $\bar{x}$  do  $Y_i$ .

Запишем необходимые логические условия для составления формального описания алгоритма.

1.  $x_0$  – условие готовности; 1 – готово, 0 – нет.

2.  $x_1$  – условие поступления информации; 1 – есть, 0 – нет.

3.  $x_2$  – условие выбора; 1 – выбор сделан, 0 – нет.

4.  $x_3$  – условие введения ТР; 1 – вводится, 0 – нет.

Составим формальное описание алгоритма процедуры принятия решения.

Составим РРСА.

$$R = {}_{x_1}Y_1 \cdot {}_{x_0}Y_2 \cdot Y_3 \cdot Y_4 \cdot {}_{x_2}Y_6 \cdot {}_{x_2}\{Y_5\} \cdot {}_{x_3}Y_1 \cdot {}_{x_3}\{Y_2\}.$$

На этапе синтеза считается, что качество функционирования алгоритма для СТЗ задается критерием  $K(\bar{x})$ , который нужно минимизировать:

$$K(\bar{x}) \rightarrow \min_{x \in X}.$$

Под  $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  понимается множество допустимых значений изменяемых параметров (факторов).

Множество допустимых вариаций параметров  $x_i$  определяется совокупностью ограничений в виде равенств и неравенств  $A_1(\bar{x}) = 0$  и  $A_2(\bar{x}) \leq 0$ .

Для решения задачи оптимального синтеза критерия качества предлагается использовать метод покоординатного поиска с обучением [3].

Для повышения скорости сходимости метода покоординатного обучения вводятся вероятностные оценки влияния факторов на показатель качества системы.

Вероятность вариации любого  $i$ -го фактора будет формироваться из трех компонентов:

$$P_i = \gamma_1 P_i^{(1)} + \gamma_2 P_i^{(2)} + \gamma_3 P_i^{(3)}, \quad \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 1,$$

где  $P_i^{(1)}$  – вероятность, формируемая на основании оценки глобального влияния факторов;  $P_i^{(2)}$  – вероятность, формируемая на основании учета величины удачного приращения критерия качества;  $P_i^{(3)}$  – вероятность, полученная на основании учета только достоверности улучшения качества;  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – коэффициенты влияния этих вероятностей.

В настоящее время понятие самоорганизации не имеет достаточно четкого определения. В технике самоорганизующимися считаются системы, основанные на биологических принципах. Характерная особенность таких систем – непрерывная приспособляемость к изменяющимся внешним и внутренним условиям и непрерывное совершенствование функционирования при неизменных условиях с учетом прошлого опыта. Приведенные свойства являются типичными для самоорганизующихся систем.

Можно считать, что самоорганизующейся системой можно назвать систему, обладающую всеми признаками самоорганизации или некоторыми из них.

Чтобы получить оптимальный вариант алгоритма обработки изображения для СТЗ, необходимо оптимизировать по совокупности параметров функцию, характеризующую систему, применяя метод адаптации.

В нашем случае адаптация – это процесс изменения параметров и структуры алгоритма СТЗ на основе накапливаемой информации в процессе поиска оптимального решения, т. е. в соответствии с алгоритмами адаптации и самообучения в памяти откладываются сведения, которые могут быть использованы на последующем этапе.

Для отыскания оптимума предлагается проводить покоординатный поиск с обучением из различных начальных значений области  $X$  допустимых вариаций факторов.

Рассмотрим алгоритм покоординатного обучения. Пусть вероятность вариации  $i$ -го фактора на  $n$ -м шаге поиска является определенной функцией параметра «памяти»

$$P_i^n = P(\omega_i^n), \quad i = \overline{1, m},$$

такой, что

$$0 \leq P(\omega_i^n) \leq 1, \sum_i^m P(\omega_i^n) = 1.$$

Вероятность  $P_i^n = P(\omega_i^n)$  зависит от успеха при варьировании  $i$ -й координаты на  $n$ -м шаге. При успешном варьировании по данной переменной вероятность последующего варьирования этой переменной должна повышаться.

Поэтому  $P_i^n(\omega)$  выбирается монотонно неубывающей функцией. Примером зависимости  $P_i^n = P_i^n(\omega)$  может быть следующее выражение:

$$P_i^n(\omega) = \begin{cases} C_1 & \cdot \omega \leq -1 + 2C_1; \\ \frac{1}{2}(1 + \omega) \cdot 2C_1 - 1 & \cdot -1 < \omega < 1 - 2C_1; \\ 1 - C_1 & \cdot \omega \geq 1 - 2C_1, \end{cases}$$

где постоянная  $0 < C_1 < \frac{1}{n}$  введена для того, чтобы случайный поиск не вырождался в детерминированный поиск по одной координате.

Рекуррентное вычисление параметра памяти на каждом  $n$ -м шаге проводится по формуле:

$$\omega_i^{n+1} = \omega_i^n - \delta \operatorname{sign} \Delta K_i^n,$$

где  $\Delta K_i^n$  – приращение критерия стоимости на  $n$ -м шаге, когда варьруем  $i$ -ю координату;  $\delta$  – «шаг по памяти»; ( $\delta > 0$ ) – величина, определяющая скорость обучения. Чем больше  $\delta$ , тем быстрее обучается система поиска.

При удачных вариациях по  $i$ -му фактору (при минимизации, когда  $K < 0$ ) параметр памяти увеличивается и вероятность варьирования  $i$ -го фактора, как следует из зависимости  $P_i^n(\omega)$ , возрастает. Тем самым осуществляется процесс обучения по координатному спуску. Этот алгоритм известен как обобщенный алгоритм покоординатного обучения Буша-Мостеллера.

Рассмотрим вопрос выбора «шага по памяти». Пусть  $T_0$  – среднее количество экспериментов для достоверной оценки параметров. Тогда  $\delta$  можно оце-

нивать как  $\delta \approx \frac{1}{T_0}$ .

Чтобы на последующих этапах проводить оптимизацию алгоритма обработки изображений для СТЗ методом покоординатного обучения с учетом дисперсии и величины приращения функции качества, необходимо провести некоторое количество экспериментов  $n$ , после которых можно оценивать дисперсию и величину приращения функции стоимости с минимальной погрешностью.

Число экспериментов  $n$  на этапе анализа можно определить из выражения:

$$\hat{\Delta} - t_{\gamma}^n \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n_0}} < \Delta < \hat{\Delta} + t_{\gamma}^n \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{n_0}},$$

где  $t_{\gamma}^n$  – квантиль распределения Стьюдента по  $n_0 - 1$  степеням свободы.

Так как существует оптимальное значение дисперсии, оценки дисперсий критерия скорости обработки при варьировании факторов  $n_{opt}$  определяются при  $\hat{\sigma}^2 = \hat{\sigma}_{opt}^2$ . По некоторым оценкам  $n = 5 \dots 10$ .

Для того чтобы иметь возможность согласовывать различные методы обработки изображений (математические модели), с которыми имеет дело разработчик в процессе решения задач проектирования алгоритма обработки изображения в СТЗ, а также для обеспечения единого формализма при решении этих задач, было введено понятие дискретной системы (ДС).

Дискретной системой называется объект, в котором можно выделить следующие составные части: входные каналы  $x_1, \dots, x_d$ , выходные каналы  $Y_1, \dots, Y_c$ , компоненты  $K_1, \dots, K_p$  и схему взаимодействия  $W$  компонентов входных и выходных каналов (рис. 2).

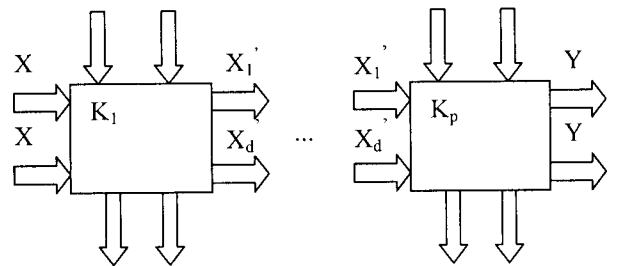


Рис. 2. Взаимодействие компонентов между собой

Схема взаимодействия  $\Omega$  представляет собой следующие отображения:

$$\varphi_i: x_1 \times \dots \times x_d \times K_1 \times \dots \times K_p \rightarrow Y_i;$$

$$1 \leq i \leq p;$$

$$\psi_j: x_1 \times \dots \times x_d \times K_1 \times \dots \times K_p \rightarrow Y_j;$$

$$1 \leq j \leq c.$$

Под задачей синтеза в соответствии с проведенным анализом будем понимать построение системы  $\mathfrak{N}'$ , реализующей  $\mathfrak{N}$  с заданными ограничениями, т. е. нахождения отображений

$$1) \chi: x_1 \times \dots \times x_d \rightarrow x'_1 \times \dots \times x'_d;$$

$$2) \xi: K_1 \times \dots \times K_p \rightarrow K'_1 \times \dots \times K'_p;$$

$$3) \eta: K'_1 \times \dots \times K'_p \rightarrow K_1 \times \dots \times K_p;$$

$$4) \upsilon: Y'_1 \times \dots \times Y'_c \rightarrow Y_1 \times \dots \times Y_c$$

таких, что следующая диаграмма будет коммутативна:

$$\begin{array}{ccc} x_1 \times \dots \times x_d \times K_1 \times \dots \times K_p & \xrightarrow{\Omega} & K_1 \times \dots \times K_p \times Y_1 \times \dots \times Y_c \\ \downarrow \chi & & \downarrow \xi \\ x'_1 \times \dots \times x'_d \times K'_1 \times \dots \times K'_p & \xrightarrow{\Omega'} & K'_1 \times \dots \times K'_p \times Y'_1 \times \dots \times Y'_c \\ & & \uparrow \eta \quad \uparrow \upsilon \end{array}$$

Тогда задачу синтеза структуры можно интегрировать как поиск совокупности компонентов  $\{K'_p\}$  и

способов их соединения  $\{x'_d\}, \{Y'_c\}$  и взаимодействия  $\Omega^1$  по известному алгоритму, задаваемому перечнем операторов  $\{K_p\}$ , способу их взаимодействия  $\Omega$  и соединения друг с другом  $\{x_d\}$  и  $\{Y_c\}$ , обеспечивающих выполнение требуемых показателей качества.

Из вышеизложенного следует, что важной задачей является выбор способа задания исходной дискретной системы (алгоритма), обеспечивающей единый формализм исходного описания и описания результата синтеза (структуры), позволяющего проводить тождественные преобразования на каждом этапе с целью минимизации числа компонентов...

Указанный аппарат основывается на понятии систем алгоритмических алгебр (САА) и является основой теории программных логик, составляющих одно из направлений развития теоретического программирования.

САА состоит из пары алгебр —  $H_o$  и  $H_u$ , называемых алгеброй операторов и алгеброй условий соответственно. Одна из разновидностей САА называется РСА (регулярные схемы алгоритма) и представляет собой систему:

$$H_o = (Z_1, \dots, Z_p, e, \emptyset, \alpha_g, 1, 0),$$

где  $Z_i, i \in [1:p]$ , — операторы РСА, причем  $Z_i \in H_o$ ;  $e$  — тождественный и  $\emptyset$  — пустой (неопределенный) операторы, т. е. единичный и нулевой операторы алгебры  $H_o$ ;  $\alpha_1, \dots, \alpha_g$  — условия РСА,  $\alpha_j \in H_o$ ;  $1, 0$  — единичный и нулевой элементы алгебры  $H_o$ .

На алгебре  $H_o$  определены следующие основные операции:

1.  $Z_i \cdot Z_j$  — композиция операторов, заключающаяся в последовательном их применении.

2.  ${}_a(Z_i \vee Z_j)$  — дизъюнкция операторов, что эквивалентно конструкции *if*  $\alpha$  *then*  $Z_i$  *else*  $Z_j$ ;

3.  ${}_a\{Z_i\}$  —  $\alpha$  — итерация, эквивалентная конструкции *while*  $\bar{\alpha}$  *do*  $Z_i$ .

Для САА предложена операция недетерминированной дизъюнкции операторов

$$(m)(P \vee Q) = (m)P \vee (m)Q,$$

где  $P, Q$  — операторы, а  $m$  — недетерминированное условие, результат применения которой недетерминирован. Для РСА можно предложить недетерминированную  $\alpha$ -дизъюнкцию и  $\alpha$ -итерацию, значение которых определяется как:

$${}_a(Z_i \vee Z_j) = {}_a(\emptyset \vee \emptyset) = \emptyset, \quad Z_i, Z_j \in H_o,$$

если  $\alpha$  — неопределимо и, соответственно,  ${}_a\{Z_i\} = {}_a\{\emptyset\}$ .

Для описания параллельных процессов можно предложить операцию  $\alpha$ -конъюнкции  $[Z_i \vee Z_j]^\omega$ , означающую одновременное выполнение операторов  $Z_i$  и  $Z_j$ ,  $\omega$  — синхронизатор, показывающий, что выполнение следующего блока РСА может быть начато только

по завершении выполнения самого длительного оператора из пары  $(Z_i, Z_j)$ .

На алгебре  $H_u$  определена сигнатура булевых операций на наборе  $0, 1$ . Доказано, что недетерминированная РСА достаточна для описания структурных программ без использования дополнительных средств.

В конкретной РСА связи между  $Z_i \in H_o$  и условия  $\alpha \in H_u$  задаются на наборе  $0, 1$ , т. е. существует возможность указания наличия (отсутствия) условия активации оператора. Источник условий активации того или иного оператора не рассматривается, и его структура и структура активирующих связей считаются определенными.

Для решения задачи синтеза необходимо указание вида связи между операторами РСА, раскрытие структуры управляющего устройства и указание связи его с операторами. Это откроет возможность для формального определения топологии связей в ЭСАР и позволит минимизировать аппаратные затраты.

Разнообразные связи в ЭСАР (например, линии управления, шины обмена данными, адресами и т. п.) можно интерпретировать через множество отношений.

Для практического применения важна интерпретация понятия отношения  $r \in H_r$ . В общем случае подмножество  $\mathfrak{R} \subseteq R^n$  называется  $n$ -местным отношением. Говорят, что  $b_1, \dots, b_n$  находятся в отношении  $R$ , если  $(b_1, \dots, b_n) \in \mathfrak{R}$ .

Одноместное отношение — это просто подмножество  $R$ . Такие отношения называют признаками. Свойства одноместных отношений — это свойства подмножеств  $R$ .

Рассмотрим основные признаки каналов передачи информации, которые можно представить как одноместные отношения. Основным признаком предлагается считать разрядность ( $r_p$ ) каналов передачи информации. Следующим основным признаком следует считать электрические параметры канала, т. е. на передачу таких сигналов — ТТЛ, МОП и т. д. он рассчитан ( $r_s$ ). Из анализа существующих ДССУ к наиболее важным параметрам каналов связи следует отнести и нагрузочную способность канала ( $r_n$ ).

Очевидно, что рассмотренные одноместные отношения не исчерпывают всех свойств каналов передачи информации и относятся к свойствам дискретных каналов связи. Для аналоговой техники возможно введение других отношений — по форме сигналов, по частоте и т. д.

Кроме того, очевидно, что каждое из перечисленных отношений есть множество  $r_p \in \mathfrak{R}_p$  (где  $r_1, r_2, \dots$ , — отношение, характеризующее одно-, двух- и т. д. разрядные каналы передачи информации),  $r_s \in \mathfrak{R}_s$ ,  $r_n \in \mathfrak{R}_n$ , причем:

$$\mathfrak{R}_p \cap \mathfrak{R}_s = \emptyset;$$

$$\mathfrak{R}_p \cap \mathfrak{R}_n = \emptyset;$$

$$\mathfrak{R}_s \cap \mathfrak{R}_n = \emptyset,$$

т. е. эти отношения являются независимыми.

В дальнейшем вместо композиций отношений  $r_p, r_z, r_n$  будем записывать один символ  $r$  с индексами  $i, j, z, \dots$ , каждый из которых будет представлять один из элементов множеств  $r_i \in \mathfrak{R}_p$ ,  $r_j \in \mathfrak{R}_z$ ,  $r_z \in \mathfrak{R}_n$ , и т. д. Согласованными каналами передачи информации в этом случае будут каналы, в которых будут согласованы все соответствующие отношения  $r \in \mathfrak{R}_r$ , при условии, что каналы связаны друг с другом (активированы).

Наряду с согласованием по виду  $r \in H_r$ , необходимо проводить согласования по структуре связи. Одним из способов такого согласования является введение дополнительных операторов.

Другим способом согласования каналов по разрядности является также декомпозиция каналов и операторов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные средства моделирования и проектирования были использованы при разработке автоматизированной системы проектирования программных и аппаратных средств управления мобильных роботов, оснащенных СТЗ.

Для создания языка моделирования системы технического зрения подвижного робота предлагается объединить модифицированные дискретные описания на формальном уровне и неформальные интеллектуальные процедуры путем использования на уровне принятия решения человеческого интеллекта. Адекватным средством описания процедуры принятия решения можно считать расширенную регулярную схему алгоритма (РРСА). На этапе неформального проектирования для повышения скорости сходимости метода покоординатного обучения вводятся вероятностные оценки влияния факторов на показатель качества системы.

Чтобы получить приемлемый вариант алгоритма обработки изображения, оптимизацию необходимо проводить с использованием принципов адаптации и самоорганизации. Эти принципы заложены в методе покоординатного поиска с обучением.

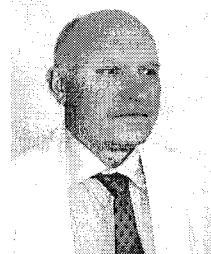
Дальнейшие исследования будут направлены на расширение возможностей системы, разработку базы данных готовых проектных решений и осуществление выбора наилучшего проектного решения с использованием принципов лингвистического моделирования.

**Литература:** 1. Горячевская И.В., Куземин А.Я. Автоматизация процесса разработки и отладка алгоритмов обработки изображений для СТЗ // Искусственный интеллект. — 2004. — № 2. — С. 269–273. 2. Горячевская И.В., Куземин А.Я., Кравцов К.А. Автоматизированная система для проектирования СТЗ мобильного робота // Искусственный интеллект. — 2004. — № 2. — С. 274–278. 3. Куземин А.Я. Интеллектуальная технология разработки экспертной системы для инвестиционной деятельности // Искусственный интеллект. — 2000. — № 2.

Поступила в редколлегию 06.09.2004



**Гарячевская Ирина Васильевна**, аспирант кафедры информатики, инженер ИВЦ ХНУРЭ. Область научных интересов: распознавание образов, обработка изображений.



**Куземин Александр Яковлевич**, канд. техн. наук, проф. кафедры информатики, заведующий информационно-маркетинговым отделом (ИМО) ХНУРЭ. Область научных интересов: разработка информационно-аналитических систем, интернет-технологии.