

$$s'_{i+1} = s_i + e_i + a_i, \text{ если } s_i + e_i + a_i < m_i,$$

$$s'_{i+1} = s_i + e_i - m_i + a_i \text{ если } s_i + e_i + a_i \geq m_i,$$

$$a_i = 0, \text{ если } s'_i \geq s_i,$$

$$a_i = 1, \text{ если } s'_i < s_i,$$

является оператором перемешанного полного перебора.

Предложенный простой принцип организации перемешанного перебора успешно применялся автором в генераторе задач по математике. В общем случае речь может идти о создании более мощных универсальных средств описания различных типов данных вместе с системой реализации оператора перемешанного полного перебора для этих типов. Такие специальные типы данных можно встраивать как в системы логического программирования типа "Пролог", так и в обычные алгоритмические языки.

#### Литература

1. МИЛПАС Дж. Реляционный язык "Пролог" и его применение. М.: Наука, 1990. - 463 с.

#### ПРОБЛЕМА ПОЛНОТЫ СИСТЕМЫ ОПЕРАЦИЙ РАМ-МАШИН

Соловьёв В.Д., Казань

В [1] поставлена проблема полноты системы машинных команд, полноты в том смысле, что с помощью этой системы могут быть вычислены любые эффективные функции. Проблема полноты изучалась для различных программных средств, однако все они обладали общим ограничением, характерным для теории схем программ: программные переменные отделяются от счетчиков. Это ограничение не выполняется для такой популярной модели вычислений, как РАМ-машины [2]. В РАМ-машинах программные переменные можно использовать в качестве счетчиков, и за счет этого возможна косвенная адресация. Следующее определение формализует понятие РАМ-машин на языке теории схем программ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1. Схема программ с массивами, равенством и косвенной адресацией в сигнатуре  $L$  - это конечный ориентированный граф, вершины которого помечены инструкциями. Инструкции могут иметь вид:  $\text{старт}(x)$ ;  $x := f(y)$ ;  $x := y$ ;  $x = ?$ ,  $p(x)?$ ,  $A[i] := x$ ;  $A[x] := y$ ;  $x := A[i]$ ;  $y := A[x]$ ;  $i := i + 1$ ;  $i := i - 1$ ;  $i = 0?$ ,  $\text{стоп}(x)$ ;  $\text{стоп}(\text{true})$ ;  $\text{стоп}(\text{false})$ ; где  $f, p \in L$ . Обозначим этот класс схем программ - РАМ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2. Система  $L = \{f_1, \dots, f_n, p_1, \dots, p_m\}$  общерекурсивных функций и предикатов называется полной, если  $[L]_{\text{РАМ}}$  - ее замыкание относительно класса РАМ - совпадает с множеством всех частично рекурсивных функций и предикатов.

**ТЕОРЕМА 1.** Система  $L$  полна  $\leftrightarrow (\forall x, y)(\exists t \text{ - терм в } L) (\tau(x) = y)$ .

Условие полноты в теореме 1 является самым слабым из возможных условий полноты, оно абсолютно необходимо для любых программных средств. Тем самым теорема 1 означает, что РАМ-машины (или косвенная адресация) являются очень сильным программным средством, позволяющим, так сказать, дойти в проблеме полноты до конца, до самого слабого условия полноты.

Множество  $Q$  одноместных общерекурсивных функций и предикатов вместе с классом РАМ, рассматриваемым как средство замыкания на  $Q$ , образуют функциональную систему  $(Q, \text{РАМ})$ . Если  $[S]_{\text{РАМ}} = S$ , то  $S$  называется замкнутым классом.

Опишем все конечно-порожденные замкнутые классы в  $(Q, \text{РАМ})$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.** Предпорядок  $\leq$  назовем эффективно конечным, определяемым набором вычислимых функций  $L = \{f_1, \dots, f_n\}$ , если  $(\forall x, y)(x \leq y) \leftrightarrow (\exists t \text{ - терм в } L)(\tau(y) = x)$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.** Для произвольного множества  $M \subseteq N$  множество предикатов  $R$  назовем  $M$ -ограниченно конечным, если существует конечный набор предикатов  $P = \{p_1, \dots, p_m\}$ , такой что  $R = \{p \mid p/M \text{ является булевой комбинацией предикатов из } P\}$ , где  $p/M$  обозначает ограничение предиката  $p$  на множество  $M$ .

**ТЕОРЕМА 2.**  $\mathcal{C}$  - конечно-порожденный замкнутый класс тогда и только тогда, когда для некоторого эффективно конечного порядка  $\leq$ , для некоторых  $M$  и  $M$ -ограниченно конечного множества предикатов  $R$  имеем:  $F = \{f \mid (\forall x, y)(x = f(y) \rightarrow x \leq y)\}$ ,  $M = \{x \mid (\forall f \in F)(f(x) = x)\}$  и  $\mathcal{C} = F \cup R$ .

### Литература

1. ЕРШОВ А.П., ЛЯПУНОВ А.А. О формализации понятия программы /Кибернетика. - 1967. - №5. - С. 40-57.
2. АХО А., ХОПКРОФТ Дж., УЛЬМАН Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. - М.: Мир, 1979.

### РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ЯЗЫКЕ ПРОФ

Соловьёв И.П., Санкт-Петербург

В работе демонстрируется применение в логическом программировании языка "Проф" ("ПРОлог" с функциями) [2] - расширения "Пролога" семантически близкими "Рефалу" рекурсивными функциями, предназначенного для создания развитых систем спецификаций с помощью текстовых образцов древовидной формы. Программа на языке "Проф" дополнительно содержит определения функций, функ -