

пользующимися другие, не вычислительные, а, например, ассоциативные и образные интеллектуальные механизмы, более отвечающие специфике Человеческого мышления, и для которых название Технический интеллект окажется неоправданно упрощающим.

Целесообразно также попытаться расширить Таблицу интеллекта введением в нее новых уровней интеллекта. В частности, целесообразно в классификации Естественного интеллекта выделить уровни *Интеллекта человека*, *Интеллекта коллектива*, *Интеллекта общества* и *Интеллекта Человечества*, имеющие, очевидно, возрастающие мощности, и рассмотреть их взаимоотношения с соответствующими уровнями Технического интеллекта. Доработка Таблицы нижними уровнями может позволить включить в нее интеллект животных. Последний вопрос, который здесь можно поставить — это возможность построения уровней Интеллекта, лежащих выше уровня Интеллекта-генератора теории для Естественного и Технического интеллекта. А если быть последовательным, этот вопрос нужно рассмотреть и для других столбцов-видов Интеллекта — Гуманитарного и Иррационального. Содержание, которое они могут нести, выходит за границы обсуждаемой темы.

Автор вполне отдаст себе отчет в ограниченности своей попытки отступить от конкретно-технических к общим вопросам обсуждаемой темы ввиду вероятной сложности, и поэтому хочет закончить эту заметку возвращением к ее эпиграфу. Вопросы, во всяком случае, мы должны себе задавать. К этому нас обязывает не только утилитарное требование развития современных технологий, но и жгучая загадка самого феномена Интеллекта Человека. Элементарный квант этого феномена — конкретный интеллект конкретного человека, вызывающе-явно присутствующий буквально в каждом из нас, является самым дразнящим вызовом, брошенным нам Природой.

Интеллектуальная система планирования производства

В. А. Геловани, К. Г. Перфильев

В работе описываются концептуальные основы, принципы функционирования и особенности реализации конкретной системы решения задач планирования производства во времени, основанной на сочетании методов искусственного интеллекта и имитационного моделирования.

1. МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ

За последние десять лет в литературе появилось множество публикаций, посвященных вопросам использования методов искусственного интеллекта при решении задач планирования. Одна из причин этого явления заключается в том, что традиционные подходы к решению задач планирования, основанные на использовании методов исследования операций и, в частности, различных методов оптимизации, не позволяют вообще или позволяют с учетом существенной потери в эффективности решить некоторые специальные классы задач. К таким задачам прежде всего следует отнести перераспределительные задачи, возникающие при решении проблемы назначения операций на выполняющим элементам производственной системы, например, для построения плана работы цеха.

Другой важной предпосылкой широкого внедрения методов искусственного интеллекта в планирование является весь накопленный практический опыт решения таких задач специалистами, выраженный в форме более чем десяти эмпирических правил построения плана, применяемых в различных комбинациях для достижения желаемых критериев производства [1].

Здесь уместно отметить, что первые попытки систематического применения эвристических методов автоматического поиска решения к задачам планирования операций во времени были предприняты несколько раньше и были связаны с решением диспетчерских задач управления сеансами радиосвязи и полетами самолетов. Однако разработанные в то время методы решения в большинстве своем не получили непосредственного развития в теории решения задач планирования промышленного производства, хотя между этими классами задач можно найти много общего.

Уже первые работы в области искусственного интеллекта по использованию эвристических процедур поиска решений показали практическую пригодность такого подхода [2]. Однако в этих работах, как правило, использовались типичные, наиболее изученные способы представления знаний о

прикладной области и соответствующие им методы поиска. Большинство работ основывалось на использовании производственных правил или формальных структур. Лишь немногие из этих работ касались решения одной из актуальных и трудно разрешимых типов задач планирования — планирования динамических операций во времени. Типичным примером таких работ могут служить статьи А. Виллы [3], в которых сделана попытка объединения аналитических методов оптимизации и эвристических алгоритмов поиска для решения задач управления производством на уровне цеха.

В настоящей статье описываются концептуальные основы, принципы функционирования и особенности реализации конкретной системы решения задач планирования производства во времени, основанной на совместном использовании методов искусственного интеллекта и имитационного моделирования.

Прежде чем приступить к подробному описанию этой системы, сделаем несколько существенных замечаний, касающихся понятий и принципов, с которыми будем подробно обсуждать в следующих разделах.

Хотя, как это следует из терминологии ("операция", "машина", "продукт" и т.д.), используемой в дальнейшем изложении, описываемая система предназначена непосредственно для решения задач планирования на нижнем уровне производства (уровень цеха), основные принципы, заложенные в ней, применимы и для других уровней. Поэтому привязку к выбранному уровню можно считать в значительной степени условной.

Поскольку исходная постановка задачи планирования предполагает получение после завершения построения плана информации о распределении производственных ресурсов во времени, большинство элементов описания производственной системы имеет динамические характеристики (или свойства). Каждая такая характеристика представляет собой временной ряд значений количества ресурса, определенный на всем интервале планирования. Например, для материальных продуктов запоминается динамика количества во времени.

Необходимой исходной информацией для системы планирования является модель производства, описывающая:

1. заданный интервал планирования,
2. все возможные технологические цепочки производства продуктов при выполнении соответствующих операций,
3. совокупность доступных машин и механизмов, обеспечивающих выполнение операций,
4. количественные динамические характеристики доступных ресурсов (как материальных, так и людских) на начало планового периода,
5. заказы на объем выпуска конечных продуктов в требуемые моменты времени.

Конечным результатом работы системы является план. Под планом здесь понимается информация, включающая:

- a) количественные динамические характеристики всех элементов произ-

водственной системы, определенные на всем интервале планирования; расписание выполнения технологических операций исполняющими элементами (машинами), учитывающее существующие ограничения в производственной системе, связанные, например, с ограниченностью численности обслуживающего персонала, сопровождающего выполнение операций, или ограниченностью мощности машин.

2. ОПИСАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Описание прикладной системы планирования состоит из совокупности объектов нескольких предопределенных классов.

Элементы всех классов имеют символичные имена, которые используются для обозначения необходимых взаимных ссылок объектов друг на друга при описании структуры производственной системы и для удобного отображения информации о процессе планирования или построенном плане при взаимодействии пользователя.

Продукты. Класс продуктов описывает задействованные в производственном процессе материальные ресурсы, включая продукты, выпуск которых в определенных количествах является конечной целью производства, полупродукты, необходимые количества которых определяются системой планирования при построении плана, и исходные продукты (или, условно, ресурсы), начальные количества которых являются входной информацией для построения плана. По своей природе объекты класса продуктов являются динамическими, то есть каждый объект-продукт имеет динамическую характеристику, которая интерпретируется как количество продукта в выбранных единицах измерения и определена в любой момент времени на всем интервале планирования.

Операции. Понятие операции является одним из самых важных элементов описания производственной системы. Фактически, весь производственный процесс определяется как множество операций, связанных между собой потоками продуктов. В описываемой системе планирования операция представляет собой неделимый производственный акт (действие), связанный с образованием одного множества продуктов в другое. Кроме очевидного распределения множеств входных (потребляемых) и выходных (выпускаемых) продуктов, каждый объект-операция описывает также динамические законы потребления-выпуска продуктов в процессе выполнения операции. В настоящей версии системы реализована возможность использования двух принципиально различных режимов потребления-выпуска: непрерывного и дискретного. В первом режиме количества продуктов, обрабатываемых в единицу времени определяются автоматически в зависимости от состояния среды, в которой выполняется операция. В частности, при определении этого состояния учитывается наличие сбалансированных количеств входных продуктов, наличие необходимой численности свободного обслуживающего персонала, наличие свободной мощности машины, на которой планируется выполнение операции. Во втором режиме предполагается, что

все необходимые для успешного выполнения операции количества входных продуктов потребляются за одну единицу времени, в первый момент выполнения операции, а выходные продукты образуются в последний момент выполнения производственной операции. В любом из режимов закон потребления-выпуска также определяется набором коэффициентов пропорциональности. Эти коэффициенты определяют балансовое соотношение количества продуктов в относительных единицах. Кроме указанной информации объект-операция может содержать дополнительные сведения, позволяющие положить ряд ограничений на планирование выполнения операции: перечень машин, на которых возможно выполнение данной операции, несовместимость операции с другими операциями при выполнении на одной и той же машине в одно и то же время, невозможность временного прерывания выполнения операции во времени по каким-либо причинам (например, отсутствие необходимой численности свободного обслуживающего персонала или недостаточной мощности машины) и др.

Машины. Объекты класса машин описывают исполнительные элементы производственной системы, на которых осуществляется выполнение операций. Именно одновременная обработка характеристик объектов-операций, объектов-машин и объектов-продуктов образует основу для создания описания производственного процесса. Динамическое состояние машины в каждый момент времени задается в виде временного ряда значений ее свободной, незанятой выполнением операций мощности (в долях единицы). Кроме того, элементы этого класса содержат информацию о потребности в обслуживающем персонале для выполнения операций на машине. Информация задается в виде списка ссылок на объекты другого класса — штата обслуживания.

Назначения. Объекты-назначения необходимы в описании производственной системы для задания возможных альтернатив назначения операций на машины. Важность введения этого класса обусловлена тем фактом, что в реальных производственных системах редко наблюдается взаимно однозначное соответствие между операциями и исполняющими элементами. Например, правило, одна и та же операция потенциально может быть выполнена на нескольких различных машинах, и некоторые машины оказываются пригодными для выполнения разных операций. Дополнительно здесь же указывается возможность указать сервисные операции, которые должны предшествовать завершению выполнения основной операции. Заметим, что время сервисных операций не входит во время основной операции.

Категории персонала. Класс категорий персонала призван описать динамику людских ресурсов в производственной системе. Каждый объект класса, также как и объекты-продукты, содержит динамическую характеристику, описывающую поведение численности специалистов данной категории во времени.

Штат обслуживания машин. Связь между объектами, машинами и категориями персонала осуществляется в системе через специальные объек-

тата. Введение для таких объектов специального класса объясняется необходимостью моделирования выполнения операций на машинах в ситуациях, когда ощущается конкуренция на отдельные категории персонала.

Сервисные операции. Под сервисными операциями здесь понимаются вспомогательные действия, связанные с подготовкой машин для выполнения производственной операции либо восстановлением состояния машины после ее выполнения. Естественно, ссылки на объекты этого класса, указываемые в соответствующих объектах-назначениях, могут присутствовать не во всех моделях производства, а лишь в тех, где становятся существенными задержки в выполнении основных операций, связанные с необходимостью проведения сервисного обслуживания. Каждый объект класса описывает закон выполнения сервисной операции, который определяет потребность в обслуживающем ее персонале и время выполнения.

Модели. Наличие класса моделей в системе расширяет возможности практического использования системы для планирования одновременно нескольких отдельных производственных систем. Кроме того, объединение отдельных описаний элементов производственной системы с помощью объекта-модели позволяет создавать библиотеки описаний операций, машин, продуктов и т.д. Помимо целей объединения, объект-модель служит также для указания информации, которая является общей для всей производственной системы, подлежащей планированию: интервал планирования, список заказов на конечную продукцию, включая объемы и сроки выпуска.

Информационное взаимодействие объектов описанных классов представлено на рис. 1.

Хотя достаточно узкая специализация описываемой системы планирования производства затрудняет проведение строгого деления составляющих ее архитектуры с точки зрения традиционного искусственного интеллекта, совокупность объектов, описывающих прикладную производственную систему (или системы) с некоторыми оговорками может рассматриваться как специализированная база фактов.

Дальнейшее изложение будет посвящено алгоритму поиска плана и средствам управления процессом планирования, т.е. аналогу базы правил. Такое сопоставление оказывается правомочным, поскольку в одной из версий системы планирования действительно предусмотрена реализация процедуры поиска плана на основе производственных правил.

3. Основная процедура построения плана

Глобальные стратегии поиска. Исходя из специфики рассматриваемого класса задач и традиционных методов искусственного интеллекта для поиска допустимого плана производства можно использовать одну из двух основных стратегий. Первая стратегия основывается на известном методе вывода, управляемого данными, а вторая — на методе вывода, управляемого целями.

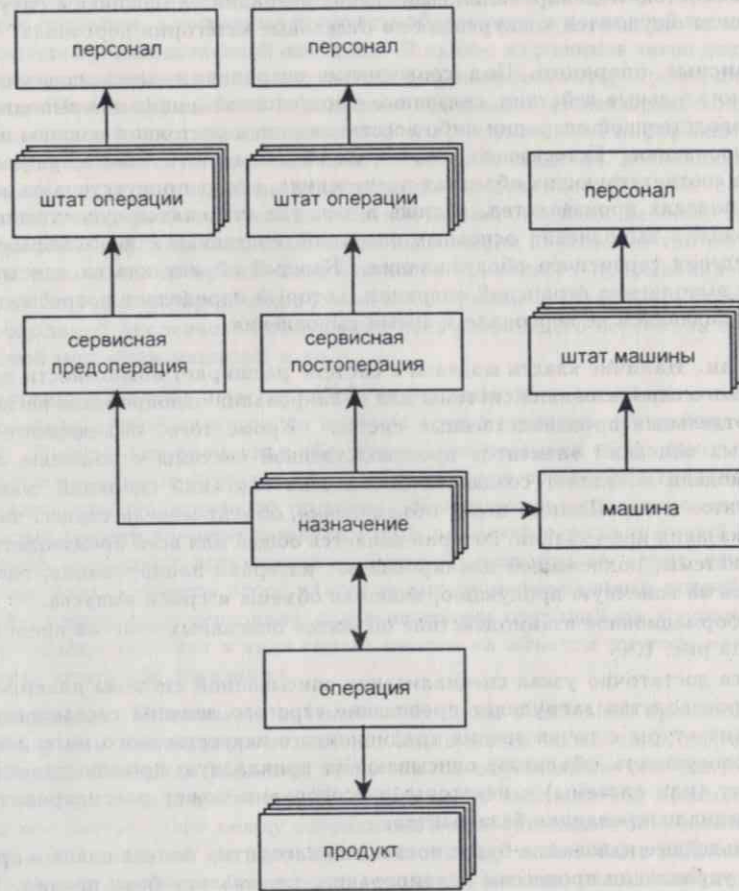


Рис. 1. Взаимодействие объектов описания.

В данной прикладной области указанные стратегии трансформируются в два возможных метода поиска плана производства: метод прямого планирования и метод обратного планирования. Под прямым и обратным планированием здесь понимается планирование в прямом и обратном времени. Однако в любом случае, следует отметить, нельзя считать метод поиска плана аналогом процедуры пошагового интегрирования системы конечного разностного соотношения, поскольку при реализации любого метода элементарным шагом в процедуре поиска является фиксация пары операция-машина, изменяющая весь временной контекст состояния планируемой про-

изводственной системы.

Каждый из упомянутых методов поиска имеет свои достоинства и недостатки в зависимости от специфики конкретной задачи планирования. В частности, первый метод оказывается эффективным при планировании непрерывных производственных систем, в которых наблюдается выраженная периодичность поступления исходных продуктов. Целью производства является их своевременная переработка до конечных продуктов. Но как показывает опыт, попытка использования этого метода для планирования от целей наталкивается на существенную трудность, связанную с необходимостью решения вспомогательной задачи расчета объемов производства полупродуктов, исходя из заказанных объемов конечной продукции, что для реальных систем со сложными взаимодействиями между операциями порой оказывается непростым. Второй метод планирования эффективен именно для варианта планирования от целей, поскольку в нем задача расчета объемов производства полупродуктов решается одновременно с построением расписания выполнения операций на машине, что, как оказывается, не только упрощает процедуру поиска, но и расширяет в некоторых случаях возможности системы планирования, когда в производственной системе имеются операции, способные выпускать одинаковые продукты (случай конкуренции на заказ).

В данной версии описываемой системы планирования в полном объеме реализован второй метод поиска плана.

В основу алгоритма поиска положен алгоритм поиска с возвратом в сложном пространстве состояний, функционально определяемом технологической схемой производства (операции и продукты) и производственными ограничениями (машины, персонал и т.д.). В итоге алгоритм поиска плана гарантирует нахождение допустимого плана производства (или установление факта отсутствия такого плана) за конечное время, по крайней мере за счет организации полного перебора вариантов. Практическое сокращение перебора вариантов, а также управление качеством плана в соответствии с задаваемыми критериями производства достигается с помощью использования механизма упорядочивания альтернатив назначений на основе задаваемых пользователем правил сравнения вариантов.

Этапы построения плана. Процедура поиска плана в системе планирования предусматривает несколько последовательно выполняемых этапов:

1. Структурный анализ производства.
2. Расчет необходимых объемов производства полупродуктов без учета фактора времени (необходим только для реализации первого метода поиска).
3. Построение расписания выполнения операций с учетом ограничений.

Предварительный структурный анализ производства позволяет резко уменьшить время поиска плана в производственных системах с большим количеством элементов. Суть его состоит в разбиении всей технологической схемы на независимые части. Две части технологической схемы производства считаются независимыми, если они не имеют общих элементов про-

изводственной системы (машин, операций, полу- и конечных продуктов и т.д.) за исключением исходных продуктов производства. Для каждой части схемы производства план строится отдельно, а на завершающем этапе общий план производства получается путем простого объединения.

Смысл и необходимость этапа расчета объемов производства полупродуктов обсуждались выше. Здесь лишь отметим, что его реализация основывается, в общем случае, на полуинтерактивной процедуре анализа графа производства от конечных продуктов к исходным. Необходимость в некоторых случаях подключения пользователя к процессу расчета обусловлена возможной неоднозначностью распределения заказов на объем выпуска полупродуктов между конкурирующими операциями.

Построение расписания выполнения операций является самой сложной и трудоемкой частью процедуры поиска плана. Опишем алгоритм построения расписания для случая использования второй глобальной стратегии поиска.

Предлагаемый алгоритм состоит в выполнении последовательности однотипных шагов. Каждый шаг начинается с анализа заказов на выпуск продуктов в требуемом объеме. В частности, в начале работы процедуры поиска множество таких заказов совпадает с множеством заказов на выпуск конечных продуктов. Из множества заказов в результате анализа технологической схемы производства формируется множество конкурирующих операций, способных произвести какие-либо из заказанных продуктов, а по последнему множеству — набор альтернативных назначений операций на машины, реализация каждого из которых способна обеспечить выполнение хотя бы одного заказа.

Набор альтернативных назначений представляет собой информацию для реализации возможной точки возврата в алгоритме поиска.

Далее для каждой из альтернатив назначения производится расчет волевых характеристик выполнения операции на машине (временное окно выполнения, загрузка мощности машины, изменения в динамике входных и выходных продуктов и т.д.) с учетом текущего контекста производственной системы. Полученные таким образом характеристики выполнения операции используются для сортировки набора альтернативных назначений с помощью определяемых пользователем правил упорядочивания, отражающих его представление о критериях производства. Затем наилучшая с точки зрения правил упорядочивания альтернатива назначения используется как текущая активная, а остальные сохраняются в памяти системы для реализации возможных возвратов алгоритма в данном контексте состояния производственного процесса.

Активизация альтернативы порождает новое состояние производственного процесса, которое, в частности, имеет измененное множество заказов на выпуск продуктов, поскольку в множество заказов на этом шаге включаются заказы на выпуск продуктов, являющихся входными для данной операции, а также исключаются или уменьшаются заказы на продукты, являющиеся выходными для нее. Далее происходит переход к следующему шагу алгоритма поиска.

В каком-либо шаге алгоритма может оказаться, что множество альтернативных назначений пусто. Если оставшиеся заказы на выпуск продуктов касаются лишь исходных продуктов производства и их объем в начале нового периода достаточен, решение задачи поиска плана найдено. В противном случае цепочка реализованных назначений признается ошибочной и происходит возврат к последней точке ветвления, в которой еще остались нерассмотренные альтернативы назначений. Если все альтернативы были рассмотрены, пользователю выдается информация, что решение задачи планирования не существует.

Легко видеть, что предложенный алгоритм построения расписания выполнения операций целиком основывается на традиционной схеме алгоритма поиска с возвратом. Трудность его реализации в данном случае заключается в сложности формирования множеств альтернатив.

4. Представление результатов поиска плана

В описываемой системе предложены три основных способа визуализации результатов построения плана производства. Один из них базируется на традиционном методе отображения расписания выполнения операций в виде диаграмм Ганта. Хотя для данной системы использование диаграмм Ганта, отображающих лишь временные окна выполнения операций, приводит к потере важной информации при отображении, наглядность этого способа трудно отрицать.

Второй способ позволяет пользователю получить информацию о каждом элементе производственной схемы в текстовом виде.

Наконец, третий способ используется для обычного отображения динамических характеристик элементов производства в виде графиков.

5. Перспективные направления развития системы

В настоящей работе мы отметили несколько перспективных направлений дальнейшего развития системы планирования:

Во-первых, при настоящей реализации системы считается, что время перемещения продуктов между машинами для выполнения операций пренебрежимо мало по сравнению с временем выполнения операций или включается в последнее. Однако, для некоторых типов производств такое предположение оказывается ошибочным. Кроме того, планирование транспортных операций имеет свои особенности и самостоятельную практическую ценность.

Во-вторых, практическая применимость системы сильно увеличилась, если бы при построении плана учитывались производственные ограничения, связанные с управлением запасами продуктов, задействованных на разных этапах производства.

В-третьих, некоторые другие расширения предусматривается включить в следующие версии системы планирования.

6. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ

Общее представление об архитектуре системы планирования производства дает рис. 2.

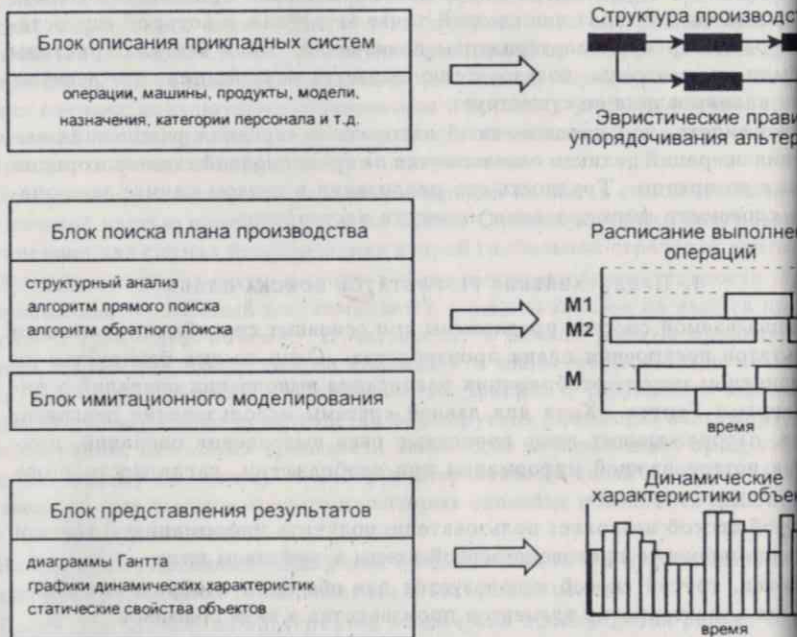


Рис. 2. Архитектура интеллектуальной системы планирования.

Описываемая система планирования программно реализована в виде нескольких версий. Все версии системы, кроме одной, реализованы на различных диалектах языка LISP (muLISP, Golden Common Lisp) и работают на персональных ЭВМ под управлением операционной системы MS-DOS или операционной оболочки MS Windows. Особенности реализации системы на языке LISP предполагают рассматривать указанные версии в качестве систем-прототипов.

Одна, последняя версия системы планирования находится в настоящее время на завершающей стадии разработки. Эта версия реализуется на языке C++ под управлением MS Windows. Данная программная реализация является замкнутой программной средой, в которой возможен ввод и вывод информации из текстовых файлов, содержащих описание элементов структуры прикладной производственной системы и правил упорядочивания альтернатив назначений. Описание оформляется на специальном языке, синтаксис которого сходен с синтаксисом языка C++.

Ниже приводится пример текста описания структуры прикладной производственной системы.

```

1 ROCHE {
od 0 : 30;
e TIGASON-25}
----- Resources ----- */
uct Vitamin-D { quantity 30 * 1000.0; }
uct Vitamin-E { quantity 30 * 1000.0; }
----- Other products ----- */
uct TIGASON-25%-SD { }
----- Personnel ----- */
nnel Personnel3 { quantity 30 * 7.0; }
----- Operations ----- */
ation Production-Of-TIGASON-25%-SD {
ts Vitamin-D : 1.0,
min-E : 1.0;
uts TIGASON-25%-SD : 2.0;
gments SD3-Production-Of-TIGASON-25%-SD;
rol indivisible, continuous;
mpatible any;
----- Machines ----- */
----- Machine SD3 ----- */
line SD3 {
ts Input_1, Input_2;
uts Output_1;
ing 1.0;
gment SD3-Production-Of-TIGASON-25%-SD {
line SD3;
ation Production-Of-TIGASON-25%-SD;
ts Vitamin-D : Input_1 : 0.3,
min-E : Input_2 : 0.3,
SON-25%-SD : Output_1 : 0.6;
f Personnel3 : needed 7.0;

```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Swalkar S.S., Iskander W. A survey of scheduling rules // Operation Research. — 1977. — V. 15. — P. 45-61.
- Wojcik A., Chen M. Expert systems for planning and scheduling manufacturing systems // European Journal of Operational Research. — 1988. — V. 34. — P. 113-130.
- Wojcik A. Hybrid knowledge-based/analytical approach to production management systems design

// In: Browne J. (Editor) Knowledge Based Production Management Systems. — Science Publishers B.V., 1989. — P. 133-152.

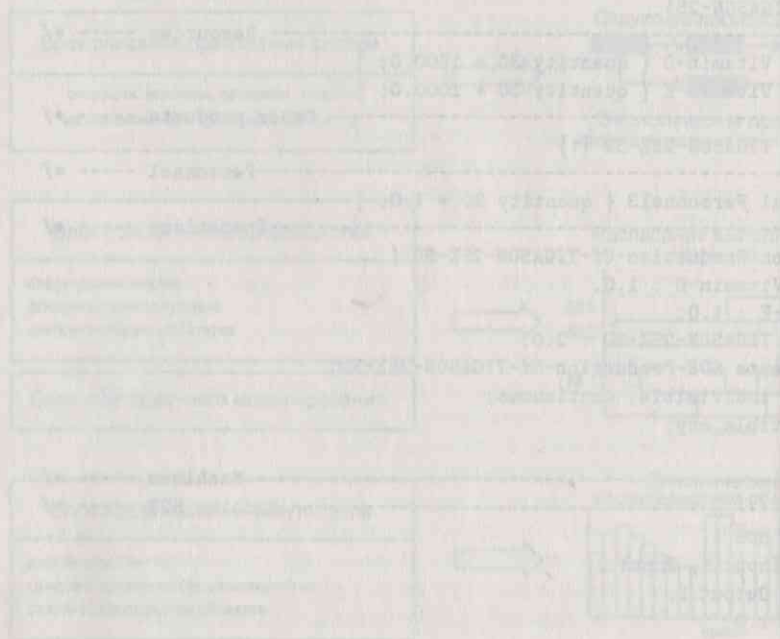


Рис. 1. Алгоритм распознавания образов.

Комбинаторно-логический подход к распознаванию образов

В.Б. Кудрявцев, С.В. Алешин

В сообщении дается краткое изложение основных понятий, результатов и методов по задаче распознавания дискретных образов.

ВВЕДЕНИЕ

В работе излагаются результаты по сравнительно новому направлению в теории распознавания образов, которое получило название комбинаторно-логического. Статья носит обзорный характер. Наряду с традиционными метрическим, вероятностным и алгебраическим подходами комбинаторно-логический сегодня является одним из главных в этой теории. Отмеченное направление развивалось в основном в России: Московском университете и в Академии наук. Оно началось с ключевой работы С.В. Яблонского по распознаванию неисправностей в технических системах, выполненной им в начале 50-х годов [1]. Одну из главных мыслей в ней составляла идея введения понятия теста, которая затем легла в основу главных процедур распознавания. Важнейшими добавлениями к этой идее явились учет важности параметров, определяющих состояние распознаваемой системы и введение функционалов, определяющих тип ее состояния. Впервые это было осуществлено А.Н. Дмитриевым, Ю.И. Журавлевым и Ф.П. Кренделевым [2] путем учета частоты встречаемости параметров в тестах и линейных функционалах для принятия решений, затем этот подход был расширен В.Б. Кудрявцевым [3] за счет рассмотрения тестовых "голосов" на "похожесть" состояния на эталонные признаковые описания и подсчета таких голосов при принятии решений, позже этот подход был распространен до учета множества так называемых опорных множеств, рассмотренных в [4]. Трудным вопросом, сопутствующим всем указанным построениям, оказался вопрос о сложности вычислений для принятия решений. Он связан с оценкой числа тестов и их построением. Решающий вклад здесь внесен А.Е. Андреевым [6]. Позже выяснилось, что надежность и скорость принятия решений при распознавании существенно улучшаются при использовании лишь "коротких" тестов, изучавшихся А.В. Кибкало [7]. Вычислительный аспект этих функционалов был аппроксимирован С.В. Алешинным и др. [5]. Комбинаторно-логические процедуры показали высокую эффективность при решении задач распознавания, особенно, когда описание