



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P11-85-910

**В.Л.Пахомов**

**САПР "КЕНТАВР" НА ЭВМ ЭЛЕКТРОНИКА-60М**

**1985**

Эффективность разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры неразрывно связана с использованием систем автоматизации проектирования и производства (САПР) и определяется уровнем развития этих систем.

В настоящее время основным методом реализации соединений в электронной аппаратуре является печатный монтаж. Проблема автоматической трассировки печатного монтажа остается центральной в разработке САПР. Попытки достичь 100%-й трассировки за счет совершенствования алгоритмов при постоянно возрастающей сложности печатных схем и ограничениях на площадь и число слоев коммутации не дали ожидаемых результатов. Складывается парадоксальная ситуация, когда для автоматического проектирования сложной печатной платы (ПП) требуется не меньше времени и усилий, чем при ручном проектировании.

Казалось бы, естественным подходом к решению этой задачи должно быть воспроизведение на ЭВМ действий человека в процессе ручного проектирования, однако такой эвристический подход выводит в область проблем создания искусственного интеллекта. Процесс проектирования - типично творческий процесс. И решая задачу автоматизации проектирования, мы пытаемся, по-другому говоря, автоматизировать процесс творчества.

За последние годы выяснилось и получило математическое обоснование, что задача автоматической трассировки относится к классу NP - полных задач, т.е. задач, точное решение которых нельзя получить за разумное время<sup>/1/</sup>.

Подробный анализ использования и тенденций развития различных методов проектирования ПП, выполненный по зарубежным источникам<sup>/2/</sup>, убедительно показал быстрый рост числа интерактивных систем, отличающихся наиболее высокой производительностью, и сокращение использования как ручных, так и автоматических методов. Широкое распространение получили мини-машинные диалоговые комплексы автоматизации. Их преимущество состоит в доступности, малых габаритах, высокой надежности, при достаточно большой вычислительной мощности<sup>/3/</sup>. Такие САПР позволяют эффективно использовать опыт и творческую интуицию

Объединенный институт  
ядерных исследований  
ФИЯЦ АН УССР



человека в процессе разработки изделия. Средства САПР должны быть доступны инженеру, как оцифлограф. А это значит, что нужна персональная система на персональной ЭВМ.

С целью реализации данного подхода в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации была начата работа по созданию автоинтерактивной САПР "Контар" на базе микро-ЭВМ "Электроника-60М". Выбор ЭВМ этого класса объясняется их малой стоимостью, программной совместимостью с СМ ЭВМ (PDP-II) и широким распространением в лабораториях и странах-участницах Объединенного института ядерных исследований. А это, в свою очередь, позволяет использовать разработки других лабораторий и организаций стран-участниц по данной теме.

Опыт разработки и эксплуатации САПР "Траф" на БЭСМ-6/4/ позволяет сократить сроки создания новой системы благодаря применению отработанных методов и алгоритмов.

В настоящее время созданы два комплекса автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе микро-ЭВМ "Электроника-60М", "Электроника-60" и ДМК-1. Наименьший рабочий комплекс включает: микро-ЭВМ, терминал, устройства ввода-вывода перфокарты. Программное обеспечение САПР позволяет получать на таком комплексе управляющие перфокарты для следующих технологических автоматов:

- фотокоординатограф Минск-2005 и других устройств этой серии (2004, 2000). Используется кодировка по ГОСТ 13052-67,
- полуавтоматы АДМАР-2, АДМАР-3 (получение фотомасштабов, сверление),
- координато-сверильный станок ВП-910,
- вертикально-сверильный станок ОЛН-2,
- чертежный автомат Дигитграф ЕС-7054.

Эффективная структура данных приводит к тому, что внешняя память оказывается ненужной, вследствие чего время выполнения программы существенно сокращается благодаря исключению медленных операций обмена. В случае ненадежной работы устройств ввода/вывода перфокарты используется помехозащищенное кодирование данных в коде Хемминга<sup>/5/</sup>.

Следующим шагом было подключение указанных устройств к ЭВМ. Исключение промежуточных носителей информации, какими являются управляющие перфокарты, позволяет сократить длительность технологического цикла, повысить надежность выполнения операций, сократить расход перфокарты. При этом исключаются операции получения перфокарт, их проверки, хранения и поиска. Из-за огромного объема информации, требуемой для управления работой технологических автоматов, хранение перфокарт вырастает в самостоятельную проблему.

Так как все технологическое оборудование программно управляется от перфокарт, то для подключения к ЭВМ этого разнотипного оборудования

был разработан "перфокартный" интерфейс в стандарте<sup>/6/</sup>. Управляющая информация поступает непосредственно от ЭВМ, заменяя работу устройств ввода перфокарт самих технологических автоматов. Такое подключение позволяет не менять программного обеспечения и схем управления самого устройства, так как на вход устройства поступает та же информация, что и при работе от перфокарты.

Перед формированием программы работы устройств система выполняет оптимизацию движения исполнительного инструмента по рабочему полю при выполнении технологических операций. Для решения этой задачи применена модификация метода "ближайшего соседа"<sup>/7/</sup>, заключающаяся в том, что на каждом шаге алгоритма ищется точка ближайшая к двум независимо растущим ветвям пути (входная и выходная ветви), которые при подключении последней точки замыкаются, образуя искомым контур движения инструмента.

Повторного ввода данных при работе не требуется.

Характерной особенностью задач решаемых САПР является то, что как входная, так и выходная информация представлена в графическом виде - принципиальные схемы, монтажные схемы, фотомасштабы и т.п. Поэтому естественно желание не производить перевод этой информации в символьную форму, являющуюся наиболее распространенной при работе с ЭВМ. Схема, представленная на каком-либо языке кодирования, становится совершенно необозримой для человека.

Для реализации наглядного, графического редактирования печатных схем был разработан легкий, переносной пульт, включающий координатный рычаг (джойстик) пропорционального управления и функциональную клавиатуру. При отклонении рычага в ЭВМ поступает код направления отклонения, а угол (степень) отклонения рычага определяет скорость поступления этих кодов. Функциональная клавиатура служит для ввода команд редактирования.

Процесс графического редактирования происходит следующим образом. После вывода рисунка схемы на графопостроитель можно начать работу с редактором. При этом коды, поступающие в ЭВМ от блока координатного рычага, программно преобразуются в команды управления головкой графопостроителя, вызывая ее перемещение на соответствующую величину в требуемом направлении, что позволяет подводить перо (визир) к нужной точке рисунка схемы. Так как связь блока координатного рычага и графопостроителя осуществляется программно, это позволяет системе знать в каждый момент положение головки на рисунке схемы и выполнять команды редактирования, поступающие от функциональной клавиатуры.

Можно, наоборот, закрепить рисунок схемы, выполненный вручную на рабочем поле графопостроителя, и, используя координатный рычаг, ввести данные схемы в ЭВМ, т.е. оцифровать схему. Таким образом, любой графо-



построитель может использоваться как оцифровщик, точнее как совмещенный графопостроитель-оцифровщик с высокой разрешающей способностью.

Графическое редактирование схем полностью реализует принцип - что вижу, то и имею, существенно облегчающий освоение САПР пользователями.

"Кентавр" позволяет точно так же управлять любым подключенным к ЭВМ устройством (фотокоординатографы, сверлильные станки) от одного блока координатного рычага. Такое решение, кроме всего прочего, освобождает оператора от необходимости знать индивидуальные особенности пульта управления каждого устройства, т.е. унифицирует управление разнотипным оборудованием.

Работа с переносным пультом сопровождается звуковым сигналом при обработке каждой команды и отсутствии ошибок.

В своем полном комплекте САПР "Кентавр" может работать на двух-процессорном комплексе, обслуживая, кроме уже перечисленного, следующее оборудование:

- дисплей графический Tektronix - 4006,
- графопостроитель Tektronix - 4662,
- печать Д-100, (СМ 6325),
- цветной телевизионный монитор МС-6 RGB/SECAM.

Предусмотрена адаптация системы под различные наборы периферийного оборудования и объем оперативной памяти.

Разработка программ велась в операционной системе (ОС) RT - II (РАФОС-II). Для обеспечения максимальной независимости от ОС вся работа с ней включена в одну программу системы. Кроме этого в состав САПР входит собственная специализированная ОС, обеспечивающая ее работу в монопольном режиме, т.е. без использования какой-либо другой ОС. ОС "Кентавр" обеспечивает работу на любом комплексе оборудования, от минимального до максимального.

Печать Д-100 позволяет получать текстовую документацию в законченном виде на бумаге с краевой перфорацией или на обычных листах. Обеспечивая вывод русских, латинских (прописных и строчных) букв, цифр и специальных знаков (код КОИ-8) с модификациями по высоте, ширине и плотности символов и строк. Графический режим печати позволяет быстро получать контрольные рисунки проектируемых схем.

Цветной телевизионный монитор используется как видеографическая система для просмотра участков (окон) схемы и вывода текстовой информации. Изображение формируется из раstra 256x256 точек, в каждой из которых можно задавать один из восьми цветов. Наводка на нужную точку изображения осуществляется маркером, перемещение которого по экрану программно обеспечивается от того же блока координатного рычага. Сдвиг всего изображения (окна) на экране осуществляется аппаратно. Формирование новых участков изображения делается программно.

В САПР реализован разговорно-подобный язык общения, позволяющий, при замене словаря, работать с ней на любом языке. Стандартно, работа идет на русском языке. Словарь системы включает 24 слова, из которых образуется 40 приказов. Порядок слов в приказе произвольный. Слова можно сокращать. Буквы можно вводить как на русском, так и на латинском регистрах, лишь бы они правильно читались на экране терминала. Обеспечена возможность редактирования вводимой строки.

Взаимодействие с системой при работе за терминалом осуществляется тремя способами: выдача приказов, ввод данных, ответы на вопросы системы.

Входные данные (описание монтажной схемы) САПР "Кентавр" согласованы с выходными данными САПР "Граф" на БЭСМ-6. После автоматической трассировки печатной схемы на БЭСМ-6 можно получить данные на языке описания монтажных схем и все остальные операции делать на "Электронике-60М". Число используемых типов контактных площадок программно не ограничено. Примеры приказов системы:

- проверь ПЛ,
- выведи рисунок на Дигиграф,
- довод ПЛ с контролем на четность и т.д.

Возможность свободной замены входных и выходных устройств в каждом приказе увеличивает фактическое число приказов в несколько раз и повышает гибкость системы. Для выполнения конкретной работы можно заранее подготовить файл приказов для их дальнейшего автоматического выполнения (командный файл).

Автор выражает искреннюю благодарность Н.Н.Говоруно за поддержку этой работы, а также В.А.Горшкову, Л.П.Челнокову и Ю.Б.Семенову за полезные обсуждения.

#### Литература

1. Григорьев Д.Д. О задаче трассировки на графах. Записки научных семинаров Ленинградского отделения математического института. 1977, т.68, "Наука", Л., с.26-29.
2. Радиоэлектроника за рубежом. Вып. II, 1982.
3. Зарубежная радиоэлектроника. №7,8,9, 1979.
4. Пахомов В.Л. ОИЯИ, ПИ-12665, Дубна, 1979.
5. Пахомов В.Л., Черненко Н.В. ОИЯИ, ПИ-84-86I, Дубна, 1984.
6. Челноков Л.П. X International symposium on nuclear electronics. ZFK-433, Dresden, GDR, v.2, p.288.
7. Рейнгольд Э. и др. Комбинаторные алгоритмы. Мир, М., 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 декабря 1985 года.



Пахомов В.Л.  
САПР "Кентавр" на ЭВМ "Электроника-60М"

P11-85-910

Дано общее описание системы автоматизации производства печатных плат - "Кентавр", созданной на базе микро-ЭВМ "Электроника-60М". Программное обеспечение включает специализированную операционную систему, редактор монтажных схем и постпроцессор получения управляющих перфолент для технологических автоматов.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Pakhomov V.L.  
CAM System "Centaur" on "Electronika-60" Computer

P11-85-910

Computer aided manufacturing system for printed circuit boards - "Centaur" created on the base of "Electronika-60M" microcomputer is described. The software includes a specialized operating system, wiring layout editor, and postprocessors for producing control paper tapes for technological automatic devices.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985