

Днепровский Е. В., ст. науч. сотрудник; Ероховец В. К., зав. лабораторией;  
Липень В. Ю., ст. науч. сотрудник; Ткаченко В. В., ст. науч. сотрудник  
ОИПИ НАН Беларуси

## СИСТЕМНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ СРЕДСТВ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ

The problem of optimal solution choice at the stage of creation of conceptual models for graphic image output systems are considered.

**Введение.** Графический документ (ГД) является одним из важнейших элементов современных информационных технологий. Анализ системных закономерностей таких технологий, в релевантной к графическому документу части, дает возможность связать отдельные фрагменты данных и сведения о проводимых процедурах обработки информации в единую концептуальную модель системы документирования. Такая концепт-модель (предпроектное решение) может строиться не только на базе технологий-аналогов, но и на основе гипотетических инвариантных технологий, впитавших весь предыдущий научно-технический опыт в данной области.

**1. Свойства графического изображения.** Графическое изображение на носителе записи – графический документ является конечным продуктом процедур вывода ГИ из ЭВМ. Качество этого продукта, временные и стоимостные затраты на его получение являются определяющими показателями эффективности системы вывода. Основная системная функция графического изображения в ГД заключается в том, что оно является информационным посредником в технологическом процессе обработки информации.

Графическое изображение в ГД можно рассматривать как сложную систему, обладающую устойчивой для рассматриваемого класса изображений совокупностью функций и инвариантной структурной организацией. Графическое изображение, как объект анализа и познания, представляет собой высокоорганизованную физическую систему с целостным множеством взаимодействующих компонентов, обладающих внутренними и внешними связями, систему, описываемую множеством моделей, устанавливающих соответствие между ее внутренними свойствами, свойствами создаваемых технологий и средствами формирования и вывода ГД, позволяющую рационально подходить к решению задач различных уровней, в том числе к определению критериев эффективности, к обеспечению их качества.

Математической моделью, отражающей множественный характер связей системы "изображение" с каждой из систем окружающей среды, может служить мультиграф  $W(Z, V)$ , множеству вершин которого соответствует рассматриваемая система  $Z_{из}$  и взаимодействующие с ней (прямо и/или опосредовано через другие системы) системы окружающей среды  $Z_i$ , а множеству дуг – связи и отношения между  $Z_{из}$  и  $Z_i$ . В рассматриваемом мультиграфе, построенном на реальном наборе связей  $V$ , каждую пару вершин  $Z_{из}$  и  $Z_i$ , как правило, связывает не одна, а несколько дуг.

В обобщенном виде "графический документ", как система, может быть представлен набором следующих характеристик:

$$D_{гд} = \langle H, F, S, U \rangle,$$

где  $H$  – связи системы  $D_{гд}$  с окружающей средой;  $F$  – набор выполняемых функций;  $S$  – структурные свойства  $D_{гд}$ ;  $U$  – совокупности свойств, обуславливающих качество и эффективность  $D_{гд}$ .

Связь системы "графическое изображение" документа с окружающей средой определяется либо человеко-машинной технологией обработки информации, и тогда мы должны рассматривать информационные характеристики системы через призму потребностей и информационных характеристик человека как получателя информации, либо технологией

получения изображений для последующего автоматизированного производства другого, производного продукта (в радиоэлектронике, полиграфии).

Оценка качества получаемого изображения является одним из важнейших условий при определении эффективности создаваемой системы. Свойствам графической информации присущи общие свойства информации: ГИ должна быть предъявлена ее потребителю в полном объеме, без ощутимых потерь качества (без искажений, выходящих за рамки допусков), в заданные сроки (минимум временных затрат на ее формирование и вывод), при определенных, допустимых стоимостных расходах.

Раскрытие свойств графического изображения способствует учет принципов, используемых при построении графической модели объекта обработки в информационной технологии. Одним из основных принципов следует признать принцип подобия, отражающий одно из универсальных свойств графической модели отображаемого объекта [1]. Модель  $M$ , построенная с использованием этого принципа, связана с объектом  $A$  через критерий подобия  $C$ , т. е.

$$M = CA,$$

где  $C$  – множество частных отношений:

$$C = \{ C_1, C_j, \dots, C_n \},$$

повышающих степень достоверности модели (образное, геометрическое, размерное, условно-физическое, статистическое подобие).

Общность модели и объекта проявляется в форме изоморфизма [1], который заключается в том, что каждому представленному элементу реального (или синтезируемого, проектируемого) объекта  $V_{mn}$  ставится в соответствие элемент изображения  $I_{mn} : V_{mn} \rightarrow I_{mn}$  и, наоборот,  $I_{mn} \rightarrow V_{mn}$  (т. е. используется принцип обратимости).

Принцип абстрагирования является другим важным принципом моделирования, используемым при синтезе графических изображений. При этом выделяется главное, существенное в объекте, отвлеченное от побочных второстепенных свойств, структур и отношений. Наиболее характерным видом абстракции в инженерной графике, ориентированной на построение чертежей, схем, топографических карт, является обобщенная абстракция, при которой в графический язык закладываются свойства и структуры, присущие множеству родственных (по формальным признакам) объектов. Графика, в отличие от реалистических изображений, в наибольшей мере использует этот принцип. Наивысшая степень абстракции достижима в узко-проблемном применении (в электронике, схемотехнике, топологии). Таким образом, выводимая из ЭВМ графическая информация (на носителе записи) представляется наблюдателю либо передается другой рецепторной, воспринимающей изображение, технологической системе в виде совокупности линейных, площадных и дискретных элементов, зачастую, например на чертежах, частично наложенных друг на друга, пересекающихся, находящихся в сложных метрических и семантических отношениях, сопровождаемых множеством условных знаков и обозначений, указывающих, например, на физическую реализацию изображаемого объекта и другие технологические особенности.

По отношению к зрению человека, а также по отношению к технологическим, аппаратным, рецепторным системам изображение выступает в виде некоторого пространственно-упорядоченного на плоскости информационного представления, образованного массивами оптически неоднородных его элементов, заполняющих информационное поле изображения. Таким образом, неподвижное изображение на документе ( $J$ ) характеризуется пространственными координатами его элементов ( $x, y$ ), спектральным составом ( $\lambda$ ) и коэффициентом поглощения/отражения ( $k$ ), т. е. в символьном выражении

$$J = f(x, y, \lambda, k).$$

Это выражение может быть расширено данными о размерах и форме элементарной составляющей изображения (пикселя), о цветовой насыщенности и т. п. его атрибутах. Функ-

ция  $f(x, y, \lambda, k)$  задается на ограниченном участке  $S$  плоскости изображения – поле изображения. Поле изображения представляет собой прямоугольник с размерами сторон  $X$  и  $Y$ .

Чем полнее информация на изображении согласована с условиями ее восприятия, тем легче и точнее будет происходить информационный обмен. Информационное согласование призвано связать информационную структуру изображения с информационной стороной ее рецепции. При этом должны учитываться не только спектральные особенности элементов изображения, но и спектральные характеристики освещающего источника света при рецепции этого изображения, а также свойства носителя записи.

Многообразие способов машинного воспроизведения сложных изображений приводит к различной степени распознаваемости ГИ и различному удобству восприятия ее при одних и тех же исходных данных, подаваемых на вход системы вывода ГИ. Распознавание получателем изображения мелких элементов ГИ, однозначность и скорость их чтения при одной и той же плотности расположения линий изображения будут различными при разном контрасте изображения. Так, мелкие локализованные элементы изображения могут наблюдаться с приемлемой разборчивостью при пониженном контрасте, если обладают достаточно резкими границами.

Применительно ко многим классам технологий информационный аспект свойств изображения ГД является определяющим, при этом информативность ГИ (в ГД) предусматривает полноту информации и способность выражать весь набор сведений об объекте, так как только в таком случае ГИ (и ГД) соответствует своему целевому назначению. При этом акцент ставится на качество передачи информации потребителю. Основой проявления качества является достижение наивысших показателей точности, определяемых свойствами, заложенными в исходной (математической) модели изображения.

Здесь математическая модель изображения объекта принимается как идеальная, и в дальнейшем качество реального изображения определяется через отклонение от заданных этой моделью свойств:

$$Q_i = G_p - G_{ид}$$

либо через показатель точности:

$$Q = 1 / (G_p - G_{ид}).$$

Точность выступает как условие для обеспечения в производстве и сохранения в эксплуатации требований к вектору выходных параметров графического документа как изделия.

В рамках информационного подхода возможен квалитометрический подход, рассматривающий технологические свойства и качество изображения не только с точки зрения передачи информации, но и с более широких потребительских позиций, связанных с принимаемой технологией использования изображений (ГД) (см. выше группы пользовательских требований В, С и D), – габариты, удобство обращения, хранения, защищенность от внешних воздействий и т. п.

Оценку потребительских свойств ГД обычно связывают с его экономическими показателями и, наконец, с временными затратами. Таким образом, общую схему возникновения погрешностей изображения, определяющих его качество, можно представить в виде системы, перерабатывающей информацию, на вход которой поступает ГИ с множеством  $B_i$  охватываемых его свойств либо множеством  $R_i$  параметров этих свойств. Качество  $Q$  выходной информации задается полями допусков  $\Delta_{mi}$  на погрешности каждого из параметров  $m_i$ . В результате функционирования системы графического вывода возникают поля рассеивания погрешностей параметров  $M_i$ , обусловленные неидеальностью этой системы.

Качество графического изображения  $Q$ , выраженное через его точностные параметры  $P_{ги}$ , можно выразить в виде кортежа частных показателей точности:  $P_p$  – размерная точность (размерные погрешности, искажение размеров изображения и/или его элементов);  $P_\phi$  – точность воспроизведения (искажение) формы (деформация всего изображения в % от

размера рабочего поля изображения) либо линейные искажения – отклонение участка линии от своей точной (теоретической) ориентации, отнесенное к общей длине линии (либо на единицу длины) и выраженное в %;  $P_n$  – точность относительного положения элементов изображения, точность стыковки элементов графики, нарушение связности элементов (так же как и  $P_{\phi}$ , обуславливает топологические помехи при чтении);  $P_r$  – градационная точность (градационные искажения, отклонения от нормированных величин уровня черного и белого (уровня серого для полутоновых изображений));  $P_{\lambda}$  – спектральные искажения при воспроизведении цветных изображений.

Ограничения на показатели точности, допустимые искажения устанавливаются в зависимости от назначения выводимого графического изображения, допустимой позиционной свободы его элементов.

Для анализа источников пространственно-неоднородных погрешностей изображения, входящего в состав документа, необходимо провести декомпозицию всей системы обработки и вывода ГИ на составляющие ее модули, располагая их в технологическую цепочку, при этом исследуют всю последовательность преобразованной информации: от цифровой модели изображения до реального изображения на носителе информации, передаваемого пользователю.

**2. Функционально-структурная декомпозиция системы документирования.** Анализ элементарных модулей – преобразователей системы дает возможность проследить связи между показателями качества выводимых изображений и производительностью каждого технологического звена. Функционально-структурный (ФС) портрет системы вывода изображения графического документа помогает наглядно представить сложные внутрисистемные явления, связанные с пространственно-временными преобразователями потоков информации. Функционально-структурная схема системы облегчает составление алгоритма исследований и решения задач, исключает случайные наборы уравнений, претендующих на описание поведения рассматриваемой системы вывода графического документа и ее технико-экономических показателей. Кроме того, ФС схема как модель системы позволяет рационально осуществлять дальнейшее ее расчленение на подсистемы с учетом силы связи в местах соединения. На основе ФС модели можно еще на предпроектной стадии создания системы осуществлять эксперименты (например, с помощью моделирования ее рабочих процессов на уровне элементов, блоков и системы в целом). Ценность результатов таких подходов высока за счет отражения сущности отдельных явлений и их взаимосвязей.

Системный и в первую очередь системно-структурный анализ технических средств графического вывода, входящих в информационную технологию, направлен на составление возможно полного и упорядоченного описания объекта данного класса. Система при этом поэтапно и периодически расчленяется на составные элементы, которые анализируются с учетом только сопрягаемых подсистем и элементов.

Процедуры согласования пространственно-временных и, в конечном звене технологической цепочки, энергетических соотношений в сечениях информационных потоков являются определяющими при создании новой технологии. Эти процедуры осуществляют после выработки критериев качества выходного изображения. Можно отметить, что качество выводимых изображений по любому разумному критерию будет тем выше, чем меньше шаг принимаемой пространственной и временной дискретизации. Однако по мере их уменьшения возрастают сложность и стоимость аппаратуры при заданных размерах изображений и длительность их формирования. Таким образом, задача оптимизации упомянутых параметров сводится к поиску компромисса между качеством выходных изображений и технологическими ограничениями на аппаратуру.

Если процедуры и способы пространственно-временного согласования при прохождении графической информации в ЭВМ и специальных электронных "графических" блоках осуществляются, в основном, за счет эффективных алгоритмов и программ, в которых могут быть предусмотрены параллельно-последовательные, конвейерные и т. п. способы и

приемы обработки, то на завершающих этапах вывода изображения приходится принимать во внимание физические ограничения. Эта группа ограничений учитывает фундаментальные физические законы в приложении к конкретной аппаратуре и достижимые значения параметров процессов регистрации (например, чувствительность выбранного носителя записи, пространственно-временные, спектрально-энергетические разрешения и другие параметры материалов).

В рамках перечисленных ограничений у разработчика есть некоторая свобода выбора структуры системы, состава аппаратуры, схемных, конструктивных и технологических решений. Эта свобода используется для обеспечения наивысшего качества аппаратуры и в конечном счете вырабатываемого продукта с точки зрения приведенных выше потребительских требований (групп А, В, С, D...).

**3. Проблемы выбора оптимальных решений на предпроектных стадиях синтеза систем вывода ГД.** Можно выделить три способа оптимизации систем вывода графической информации: интуитивный, эвристический и математический. При эвристической оптимизации предполагается задание некоторого качественного критерия свойств (качества) аппаратуры, но не предполагается использование формализованных методов максимизации критерия. Вычислительная техника широко используется для расчета заданных вариантов системы, но выбор направления поиска оптимальных решений остается за разработчиком аппаратуры.

Для алгоритмизации структурного синтеза используются идеи перебора законченных структур, последовательного наращивания структуры, выделение варианта из обобщенной структуры, трансформации описаний различных аспектов, а также блочно-иерархический подход с представлением возможных структур проектируемой системы в виде И – ИЛИ-дерева [2].

Чаще мы рассматриваем не отдельную, конкретную систему вывода ГИ (для которой используют обычно И-дерево с иерархией от верхушки – системы в целом через  $n$  ярусов промежуточных вершин к листьям – базовым элементам), а некоторый класс систем. В таком случае каждый ярус состоит либо из вершин ИЛИ, либо из вершин И. В И – ИЛИ-дереве полезно выделять кусты, состоящие из одной вершины И и всех смежных с ней вершин ИЛИ из соседнего нижнего яруса.

В наиболее общем И – ИЛИ-дереве вершины первого яруса соответствуют различным альтернативным назначениям систем. Каждому целевому назначению соответствуют вершины яруса, отображающие свойства (функции) системы. Вершины последующих ярусов служат для отображения блочно-иерархической структуры систем, т. е. типов и составных частей систем, подсистем и т. д. вплоть до базовых элементов.

Для поиска и анализа допустимых вариантов систем вывода ГИ (ГД) возможно использование приемов морфологического анализа, впервые примененного Ф. Цвикки. Суть метода состоит в прохождении и систематическом исследовании всех мыслимых вариантов решения проблемы, вытекающих из закономерностей строения (и поведения) изучаемого и проектируемого объекта (его морфологии). При этом синтезируются как оригинальные, необычные варианты, так и известные, т. е. решается одна из главных задач метода – генерирование всех альтернатив решения проблемы [3].

Классическая схема проведения такого исследования предусматривает выполнение работ в 5 следующих друг за другом этапов.

1. Дается точная формулировка проблемы.
2. Определяются основные параметры (признаки свойства)  $P_i$ , от которых зависит эффективность проектируемой системы.
3. Каждому параметру  $P_i$  ставится в соответствие ряд его значений  $P_{i1} P_{i2} P_{i3} P_{in}$ , каждое из которых гарантирует наличие параметра (свойства)  $P_i$  исследуемой системы (объекта). Все значения параметров  $P_{ij}$  построчно сводятся в таблицу. (Цвикки назвал подобную таблицу морфологическим ящиком.) Если теперь в каждой строке таблицы зафиксировать

по одному из значений параметров, то полученный набор значений будет представлять один из возможных вариантов решения исходной проблемы. Очевидно, общее число вариантов решения, содержащихся в морфологическом ящике, равно

$$N = n_1 n_2 \dots n_m = \prod_{i=1}^m n_i.$$

4. На этом этапе определяем функциональную ценность всех полученных решений (число последних достаточно велико).

5. На заключительном этапе из морфологического ящика выбирается оптимальный или наиболее желательный вариант решения проблемы.

Способами уменьшения числа перебираемых вариантов могут быть агрегатирование параметров и предварительное отбрасывание заведомо плохих вариантов. Возможно автоматическое (программное) отбрасывание недопустимых вариантов.

Проблема отбора приоритетных, критически важных предпроектных решений является одной из научных проблем формирования стратегии поиска оптимальных систем. Приходится выстраивать определенный перечень приоритетов и считать его в целом главным критерием при разработке перспективного устройства. К сожалению, продуктивность такого подхода невысока и приходится переходить на путь сравнительного анализа при весьма значительном числе ограничений.

На практике возможно использование более прагматичных подходов и процедур отбора технических решений, в основу которых принимают следующие критерии:

1. Наличие такой разработки (в завершённом виде).
2. Доступность для использования имеющейся разработки (в готовом виде) или ее компонентов.
3. Наличие необходимого научно-производственного и экономического потенциала для практической реализации предлагаемого (выбранного) варианта разработки.
4. Соотношение стоимостей приобретения готового устройства и собственной разработки.

Приведенный набор критериев представляет собой граф, последовательное прохождение по которому дает возможность вырабатывать более или менее однозначное проектное решение (т. е. осуществлять процедуру просеивания возможных решений). Достаточно часто эта процедура носит субъективный оттенок либо имеет конъюнктурный характер.

Для реализации упомянутых "прагматичных" подходов в идеале желательно иметь единое информационное пространство ("поле решений"), охватывающее все ранее реализованные, апробированные и предложенные решения в рассматриваемой области знаний (например, за счет международной кооперации). Эффективность использования такого банка данных будет тем выше, чем больше будет использовано источников его наполнения [4]. Проработка юридических вопросов, касающихся авторских прав, должна придать такому глобальному подходу свое решение.

Нелимитируемость вычислительных технологий при создании нового продукта в будущем отразится и на технологии принятия предпроектных решений – через частные решения к электронному виртуальному макету системы, который и будет использован для поиска и принятия оптимальных решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт А.М. Образ, пространство: карта и информация. — М.: Мысль, 1986.
2. Смирнов М.Б., Бенедиктович В.И. Генерирование допустимых вариантов в задачах морфологического анализа. — Препринт, ИТК АНБ, 1987.
3. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. — М.: Машиностроение, 1988.
4. Аверченко В.И., Казаков В.С., Казаков П.В. Методология интеллектуального проектирования технических систем на основе имитационных моделей // Техника машиностроения. № 3(37), 2002. — 116—121 с.