

# КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА COMPUTER GRAPHICS

УДК 004.3

**А. Б. Барский**, д-р техн. наук, проф., e-mail: arkbarsk@mail.ru,  
Московский государственный университет путей сообщения

## "Живое" моделирование и объемная экранизация

*Исследуются проблемы разработки реагирующих объектов "живого" моделирования для дополнительного, наглядного мониторинга сложных управляющих систем, служащего минимизации влияния "человеческого фактора". Возможно использование как робототехнических, так и информационных технологий. В основе средств реагирования используются логические нейронные сети. Компьютерная графика для "живого" моделирования должна учитывать возможность динамического управления объектами с помощью "мышц" и "костей". Объемный экран может быть построен на основе пакета прозрачных мониторов, реализующих срезы трехмерного изображения. Возможно применение декартовой, сферической и цилиндрической систем координат. Анализируется экспериментальное построение объемного изображения с помощью пакета пленок в декартовой системе координат. Обсуждается изображение в объемном экране, составленном из вложенных прозрачных цилиндров. Приведены принципиальные схемы мониторинга, отображающие процессы задания ситуации на рецепторах, возбуждения нейронов с помощью функции активации, формирования сценария действий объекта. Рассматривается возможность применения реагирующих объектов для публичной демонстрации прогноза погоды. С каждым прозрачным монитором связан управляющий процессор. Процессоры образуют вычислительную систему, работающую по технологии "Single Program — Multiple Data".*

**Ключевые слова:** "живое" моделирование, реагирующий объект, логическая нейронная сеть, прозрачный монитор, объемный экран

### Введение

Уходя от религиозно-философских напластований в область математической строгости ограничений, введем следующее определение:

*Живым назовем объект, адекватно реагирующий на поступающую информацию.*

Такое определение сужает, конкретизирует и формализует задачу построения реагирующих объектов, где реагирование проявляется эмоционально и действенно. Вместе с тем это определение является достаточно общим и не зависит от технологии изготовления объекта: "мясной", механической, электронной, программной и пр.

Адекватность реагирования обеспечивается обучением (самообучением) и соответствует целевым задачам "жизни", условиям существования и применения. Говоря строго математически, реагирование обеспечивает *оптимизацию* некоторой *целевой функции*: выживания, счастья, удовольствия, формирования новых знаний, предсказания, диагностики (мониторинга), предупреждения об опасности и т. д. Самый распространенный жизненный критерий основан на понятиях "хорошо — плохо".

Следует выделить две задачи моделирования "живого" объекта.

1. Построение алгоритмов распознавания ситуации и адекватного реагирования в соответствии с целью создания объекта.

2. Визуальное обеспечение объекта: он должен быть "видимым", т. е. реально существующим.

Основным средством решения первой задачи является логическая нейронная сеть [1—6], в наибольшей степени воспроизводящая принцип работы мозга. В динамике наблюдения за ситуацией логическая нейронная сеть способна вырабатывать решения, изменяющие движения, поведение или эмоциональное состояние объекта. Это служит наглядным средством предупреждения диспетчера или ЛППР — лица, принимающего решение, о состоянии управляющей системы или приближении нештатной ситуации. Очевидно, что обучение реагирующего объекта должно учитывать максимум диагностической информации.

Решение второй задачи могло бы быть ограничено должным развитием робототехники. Однако информационные технологии обеспечивают универсальность применения, неограниченное расширение диапазона действий объекта, возможность недорогого тиражирования и оперативность модификации. Это требует создания привлекательных объемных экранов, допускающих внешний обзор с различных ракурсов и обеспечивающих стереоэффект.

## 1. Основы компьютерной графики для реагирующих объектов

**1.1. Существующие подходы.** Основной задачей современной компьютерной графики, предназначенной для анимации, является отображение объемных объектов на плоском экране. Применяемые эффекты создают впечатление с ограниченного ракурса: решаются проблемы видимости и скрытости элементов изображения, демонстрации перспективы и освещения. Как правило, анимация использует заранее известные сцены, весьма ограничивая альтернативное развитие сюжета и практически не допускает динамического, оперативного вторжения в развитие сценария.

Непредсказуемость сцен, возникающая при имитации реакции моделируемого объекта на внешние воздействия, может потребовать огромного, практически нереализуемого, числа предполагаемых возможных сцен без какой-либо их интерполяции. Для ограниченного использования Л. Милютин в работе [3] проиллюстрировал такую возможность. Однако построение реального объекта в памяти компьютера требует задания ряда рычагов — "мышц" и "костей" [2], которые способны деформировать или видоизменять объект в соответствии с поступающими извне командами, использующими коэффициент сжатия, позволяют имитировать любое, в том числе непредсказуемое, движение объекта, а также его перемещение и вращение.

Известны два подхода к созданию динамически управляемого механизма анимационной компьютерной графики: скелетный и мышечный. Первый равносителен воздействию на отдельные кости скелета, заставляющие его двигаться. В работе [4] подробно рассмотрена возможность использования скелетного механизма. На основе указанных принципов автор разработал уникальную систему компьютерной графики для "живого" моделирования. Однако работа им была прервана, результаты оказались неопубликованными.

Мышечный механизм [2] основан на том, что все живое двигается, меняет положение, деформируется и выражает эмоции с помощью мышц, умеющих сокращаться и расслабляться. Применяя невидимые мышцы, расположенные вне объекта, можно легко имитировать угловые перемещения в суставах, свойственные скелету.

**1.2. Модель трехмерной памяти.** Назовем ячейку, занятую минимальным элементом объекта, точкой этого объекта. Точка должна содержать информацию о цвете (пиксель) и коэффициенте освещенности.

Пусть адресное пространство компьютера, отведенное для модели трехмерной памяти, при сквозной линейной адресации ячеек с нуля, определяется  $N$  разрядами. Адрес разбивается на три части (рис. 1).

Здесь  $x$ ,  $y$ ,  $z$  — координаты точки в трехмерной памяти.

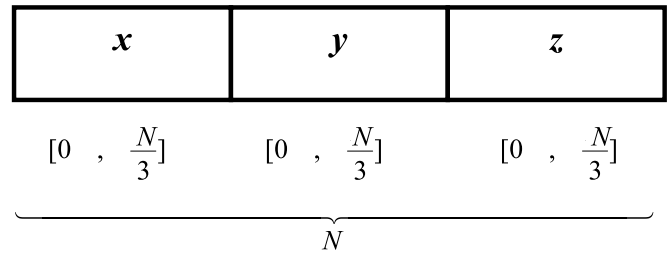


Рис. 1. Преобразование линейного адреса в трехмерный

Трехмерная память (в данном случае — кубическая) в виртуальной линейной памяти компьютера задается массивом  $M[0:N; 0:N; 0:N]$  переменных с индексами  $m[x, y, z]$ . Линейный адрес  $\langle m[x, y, z] \rangle$  точки объекта рассчитывается так:  $\langle m[x, y, z] \rangle = C + x + yN + zN^2$ , где  $C$  — базовый адрес массива.

Тогда задача имитации движения — деформации или перемещения объектов — превращается в задачу нахождения новых значений индексов для каждой переменной, являющейся точкой объекта.

### 1.3. Процедуры "мышечных" преобразований.

Пусть объект в трехмерном пространстве задан своей оболочкой. Каждый элемент оболочки является точкой. Оболочка формируется при создании объекта. В общем случае объект может быть заполнен значащей информацией и внутри, если его вид в разрезе интересует пользователя (например, в медицине).

Пользователем — разработчиком задаются "мышцы" (далее кавычки опустим) как рычаги управления деформацией объекта в *центральной системе координат*. Мышца задается координатами начала и конца, а также *точкой неподвижности*, относительно которой возможно ее сокращение. Точка неподвижности может совпадать с началом или концом мышцы. По умолчанию точка неподвижности является серединой мышцы. Мышца не обязательно связывает точки оболочки. В общем случае она может располагаться внутри и даже вне объекта, принадлежать ему и влияя на его деформацию. Мышцы объекта являются невидимыми, входящими в список мышц данного объекта и допускающими реакцию на приказы извне.

Взаимодействие мышцы с объектом осуществляется с учетом его свойств. Ведь сокращаясь, мышца должна увлекать точки объекта или только его оболочку, имитируя деформацию всего объекта. Для ограничения такой деформации (например, чтобы нижняя губа не потянула за собой верхнюю губу) используются *разрезы*.

Сокращение твердого тела определяется коэффициентом сжатия (растяжения) объекта.

Вязкое тело, внутри которого сокращается мышца, характеризуется "затуханием" значения смещения точки объекта с увеличением ее расстояния до мышцы.

Сокращение вязкой и упругой среды, такой как резина, губка, упитанные щеки и др., обычно сопровождается явлением, которое можно назвать попыткой сохранения объема в результате выпучивания. При сокращении мышцы это означает, что перенос клеток объекта вдоль мышцы обретает перпендикулярную составляющую, тем меньшую, чем больше расстояние до мышцы.

Для имитации вращательных движений используются шарниры — аналог суставов. Координаты шарнира задаются точной внутри объекта. Вводится мышца, связывающая лучи (элементы скелета), исходящие из центра шарнира. Сокращение мышцы должно вызывать видимость ходьбы, движения рук и т. д. Это требует таких деформаций объектов, при которых его клетки, облегающие эти лучи, или только клетки оболочки, несущие в себе данные лучи, сближаются вместе с лучами, не приводя к дополнительной деформации.

Взаимодействие многих объектов требует наличия центральной системы координат, в которой происходят все перемещения объектов относительно друг друга, и систем координат, связанных с каждым объектом — объектовых систем координат. Объект создается в его объектовой системе координат. Его движения "относительно себя" — сокращение мышц, повороты, вращение — удобнее наблюдать в связанной с ним объектовой системе координат. Таким образом, центральная система координат должна быть связана матрицами пересчета со многими объектовыми системами.

**1.4. Внешнее воздействие.** Необходимость внешнего воздействия на объект обусловлена не только взаимодействием различных объектов, но и созданием инструментов формирования, "ваяния" объекта. Идея такого ваяния заключается в следующем.

Первоначально формируется некоторая заготовка, имеющая наиболее близкую форму для желаемого объекта (например, шар, — для формирования головы). Приближая к заготовке объект-"инструмент", например молоток, необходимо потребовать, чтобы при угрозе прикосновения к объекту, ближайшие его клетки отступали, и оболочка, продавливаясь, принимала форму проникающего инструмента. Эта операция напоминает ковку или штамповку. Таким многократным воздействием с разных сторон можно добиться любой формы объекта.

Можно допустить не только вдавливание инструмента в объект, но и вытягивание близлежащей области, подобно нарыву. В этом случае после соприкосновения с объектом следует отводить инструмент от него. Близкая область оболочки должна вытягиваться вслед за инструментом.

Если не деформировать оболочку, а позволить инструменту проникать в объект, то подобное действие сравнимо с действием ножа. Так от объекта можно отсекал части для последующего уничтожения или создания новых объектов.

**1.5. Построение объектов.** Для построения объектов целесообразно воспользоваться тремя координатными проекциями, подобно *3D-MAX*. Сначала в одной из проекций рисуется пока неточный, предполагаемый разрез объекта. На других проекциях автоматически сформируются отрезки — боковые проекции этого разреза. На разрезе определяется точка для дальнейшей деформации объекта в двух других проекциях. Проекция этой точки высвечивается на двух других проекциях.

Подведя мышшь к одной из проекций точки, следует повести ее (мышшь) вверх или вниз, формируя выпуклость вслед за этим движением так, чтобы первоначально заданная плоская поверхность образовала выпуклость. Так сформируется объемное изображение. Если при этом придерживать клавишу *control* (или другим способом), плоская поверхность сохранится для замкнутости объема или для последующей аналогичной деформации в ту или другую сторону.

Повороты получившейся объемной фигуры позволяют выполнять указанным способом различные деформации.

**1.6. Командно-программное управление объектами.** Необходимо помнить, что объекты в трехмерной памяти создаются для их визуального восприятия. Система визуализации может базироваться на проецировании видимой поверхности всех объектов, включая фон, на плоскость  $z = z_{\max}$  в центральной системе координат. Эта плоскость и представляет экран. Значит, каждая прямая, исходящая из точки  $(x_i, y_i, z_{\max})$  и перпендикулярная экрану, продолжается (здесь рассматриваем только прозрачную среду) до первого пересечения с одним из объектов или с фоном. Полученная точка обеспечивает изображение в данной текущей точке экрана.

Для получения различных (томографических) срезов экран может формироваться и в других плоскостях вида  $z = a \geq 0$ .

Введение мышц, шарниров, объектовых систем координат позволяет программировать действия объектов и их взаимное расположение. Программа создается на базе командного языка, содержащего инструкции вида:

<сократить мышцу  $m$  с  $l = 0,8$ >;

<повернуть объект  $P$  по матрице преобразования  $S$ >;

<приблизить объект  $P$ >;

<перенести объект  $P$ >;

<показать срез  $z = 5$ > и т. д.

Таким образом можно планировать и исполнять сцены, основанные на имитации движения объектов, их мимики, преобразования и т. д.

При программировании поведения объектов учитывается длительность выполнения действий, их инерционность, предшествующие команды управления.

Все построения для трехмерной управляемой анимации в упрощенном варианте пригодны и для "плоской" анимации. Связанные с этим проблемы также рассмотрены в работе [3]. На рис. 2 (см. четвертую сторону обложки) показано возможное выделение мышц для некоторых простых движений как "плоского", так и объемного объекта. Вне объекта обозначены невидимые мышцы. На рис. 3 (см. четвертую сторону обложки) показан достаточный набор мышц для эмоциональных выражений на "плоском" лице.

## 2. Динамическое управление объектом с помощью логической нейронной сети

### 2.1. Мониторинг сложной системы управления.

Пусть объект в компьютерном или материальном воплощении наделен некоторым фоновым поведением, реализуемым программно. Такое поведение,

например, аналогично поведению зверя в клетке, нервно дефилирующего вдоль решетки. Целесообразно в программе использовать и элементы случайности на основе датчика случайных чисел (ДСЧ). Это может ввести разнообразие в фоновое поведение объекта: внезапный поворот головы, смена направления движения и т. д. Такое поведение уже само по себе является занимательным.

Однако представим себе, что фоновая программа предусматривает периодическое прерывание для переключения "внимания" объекта на внешнюю обстановку — на "картинку", циклически вводимую в его память с помощью видеоввода, или на векторы, формируемые на основе множества датчиков сложной системы отображения и управления гидроэлектростанцией. На рис. 4 представлена возможная схема мониторинга производственного процесса. Для однозначности выводов используются полуоткрытые интервалы.

Рекомендуемая функция активации нейрона выражается следующими формулами:

$$V := \frac{\sum_j \omega_j V_j}{\sum_j \omega_j};$$

$$V_i := \begin{cases} V, & \text{если } V \geq h, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Здесь  $V_i$  — искомое значение возбуждения  $i$ -го нейрона;  $V_j$  — значение возбуждения  $j$ -го нейрона (в данном случае — рецептора), связанного с  $i$ -м;  $\omega_j$  — вес этой связи. (Значение  $j$  "пробегает" по всем нейронам-рецепторам, связанным с данным, так, что значение  $V$ , в соответствии с известной формулой нахождения математического ожидания, определяет среднее значение сигнала, поступившего на  $i$ -й нейрон.)

Применение весов позволяет в разной степени оперативно учитывать и изменять в процессе эксплуатации влияние различных факторов или их значений на реакцию объекта.

Порог  $h$  выбирается экспериментально для подавления слабых возбуждений и упрощения дальнейшей обработки результатов при включении логической нейронной сети в длинные логические цепочки.

Рецепторы могут быть закреплены и за текущим расчетом надежности, и даже за характеристиками личного состава.

Вместо соответствия интервалам, как принято выше, рецепторы могут соответствовать конкретным значениям факторов. Это актуально, если система принятия решений реагирующего объ-

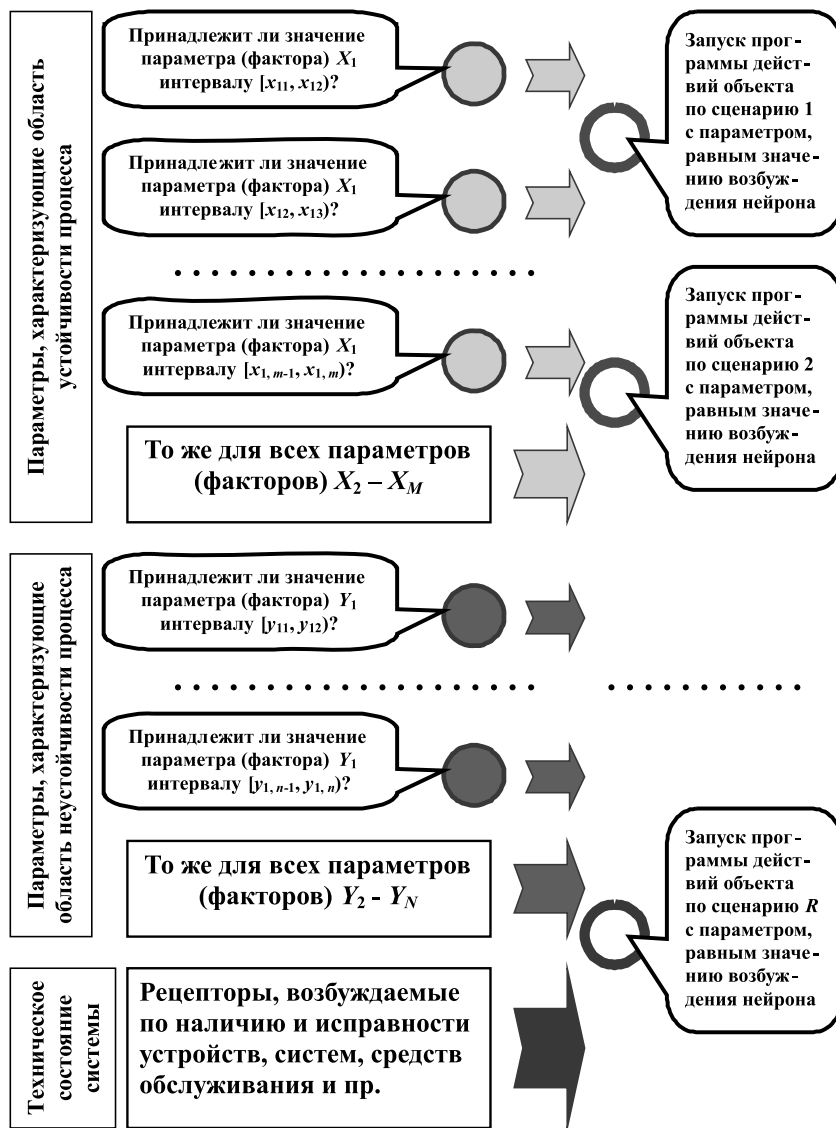


Рис. 4. Схема "живого" мониторинга производственного процесса

екта построена на основе экспериментальных данных на развиваемом множестве точек факторного пространства и использует данные разных типов (не только числа).

Каждый сценарий действий реагирующего объекта должен четко согласовываться с причиной, чтобы поведение объекта не вызывало противоречивых выводов. Например, один сценарий может предполагать помахивание правой передней лапой. Другой сценарий может использовать движение хвоста и т. д. Энергичность этих движений должна зависеть от значения возбуждения соответствующих нейронов, преобразованного в коэффициент сокращения мышц. Тогда одновременное проявление разных сценариев не вызовет у ЛПР недопонимания их причин.

Оператор, диспетчер или, в общем случае, ЛПР должны ознакомиться с инструкцией, чтобы не сомневаться в однозначности реакции объекта на то или иное событие.

В общем случае логическая нейронная сеть работает по нечетким данным: измеренные или предполагаемые значения факторов не обладают достаточной точностью, или ситуация соответствует "промежуточной" точке, за значениями компонент которой не закреплены рецепторы. Тогда возбуждение рецепторов каждого фактора в каждом цикле мониторинга формируется распределением "единицы" между двумя "близкими" рецепторами, обратно пропорционально "расстоянию" испытываемого значения до значений (или интервалов), соответствующих этим рецепторам.

Важно отметить особенность данного применения логической нейронной сети. При поиске действий реагирующего объекта необязательно находить максимально возбужденный нейрон. В мультипрограммном режиме, т. е. практически одновременно, выполняются все решения, на которые указывают нейроны, преодолевшие порог возбуждения. В этом заключается смысл использования значения возбуждения нейронов в качестве параметров. В этом же — непредсказуемость поведения и необходимость динамического управления объектом компьютерной графики.

**2.2. Объект туризма и развлечений.** В работе [6] обсуждается идея создания парка фантазмагорий — радости и ужасов, населенного объектами "живого" моделирования и представляющего значительную привлекательность для туризма и бизнеса. Особо интересно участие экскурсантов в "представлении". Рассмотрим особенности применения логической нейронной сети для построения "живого" объекта развлечений.

Циклически включается программа анализа "картинки", питающая рецепторный слой нейросети. При обзоре "картинки", например отображающей группу туристов, может проводиться подсчет различных оттенков цветов в каждом элементарном

квадрате, обнаружение резких цветовых границ, наличие линий, кругов определенного цвета и т. д. (Е. Вахромцев на защите дипломного проекта, используя видеовход компьютера, демонстрировал мордочку, улыбающуюся при показе красного яблока и принимающую грустное выражение при виде зеленого перца.)

Ограничиваясь только цветом, можно представить примерный алгоритм реакции объекта.

*"В квадрате  $i, j$  преобладает зеленый цвет"  $\wedge$  "отсутствуют резкие переходы в оттенках"  $\rightarrow$  "Запустить программу умиротворения";*

*"В квадрате  $i, j$  преобладает зеленый цвет"  $\wedge$  "наблюдаются резкие переходы в оттенках"  $\rightarrow$  "Запустить программу тоски по лесным далям";*

*"В квадрате  $i, j$  преобладает голубой цвет"  $\wedge$  "наблюдаются темные крапления"  $\rightarrow$  "Запустить программу приветствия";*

*"В квадрате  $i, j$  преобладает красный цвет"  $\rightarrow$  "Запустить программу повторного обзора квадрата"  $\wedge$  "Запустить программу гнева";*

*"В квадрате  $i, j$  обнаружен круг с преобладанием темного цвета"  $\rightarrow$  "Запустить программу приветствия";*

*"В квадрате  $i, j$  преобладает коричневый цвет"  $\rightarrow$  "Запустить программу презрения";*

*"В квадрате  $i, j$  преобладает желто-оранжевый цвет"  $\rightarrow$  "Запустить программу радостного возбуждения" и т. д.*

### 3. Объемная экранизация с помощью пакета прозрачных мониторов

**3.1. Прямоугольное экранное пространство.** Один из путей создания объемного экрана опирается на многочисленные сообщения о построении "прозрачного" монитора на основе нанотехнологий. Вне изображения монитор, представляющий собой твердую или мягкую пленку, остается прозрачным. Это наводит на мысль о возможности воспроизведения объема с помощью пакета таких пленок. Если на каждую пленку подавать видимый на ее уровне срез изображения, то представляется, что при достаточной плотности и толщине пакета, при большом количестве и малой толщине пленок, у зрителя может возникнуть эффект объемного изображения. При этом проектирование объемного изображения проводится в декартовой системе координат *Oxyz*, а зритель должен располагаться перед экраном.

На рис. 5 отображена попытка экспериментального воспроизведения объемного экрана с помощью бытовой полихлорвиниловой пленки. Рисунок назван "Всплывающая черепаха", так как недостаточная прозрачность пленки, уложенной в 18 слоев, не позволяет разглядеть концы лап на дне водоема. В то же время такое замутнение свидетельствует о наличии объема в данном эксперименте. К сожалению, при ручной работе видны некоторая нестыковка слоев, а также границы между послойным



Рис. 5. Всплывающая черепаха

разрезом бумажного изображения. Становятся очевидными задачи дальнейших исследований в области "прозрачных" мониторов: достижение максимальной прозрачности при минимальной тонкости пленок для возможности их сборки в достаточно "толстые" пакеты.

Пока же данную технологию можно использовать для сувениров.

Следует отметить, что экранное пространство образует среду, в которой действуют законы оптики. Например, не оказывается ли демонстрируемый объект погруженным в сосуд с жидкостью, подобно рыбки в аквариуме? Это также может ограничить ракурс при применении экрана на основе пакета плоских пленок. Однако это применение может вполне удовлетворять техническим требованиям к современному телевизору.

### 3.2. Сферические и цилиндрические экраны.

Даже при бытовом применении объемного экрана возникает желание кругового обзора с одинаковым качеством изображения. Возможность экранизации в сферической системе координат  $Or\varphi\theta$  рассмотрена в работах [5, 7]. Каждая точка характеризуется расстоянием  $r$  и двумя углами: азимутом  $\varphi$  и углом места  $\theta$ . Пересчет из декартовой системы выполняется по формулам

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}; \varphi = \arctg \frac{x}{z}; \theta = \arcsin \frac{y}{r}.$$

Объемный экран становится полусферой. Однако и сами экранные пленки должны быть сферическими. Вместо нарезки на  $\Delta z$  в декартовой системе координат, необходима нарезка на  $\Delta r$ . Центр полусферы также вырождается в сферическую пленку "на одну точку".

Применение сферических экранных пленок позволяет создавать экранные пространства не только для внешнего наблюдения, но и для "внутреннего" расположения зрителей.

Технология изготовления сферического экрана представляется весьма сложной. Во многих случаях не только недостаточен, но даже целесообразен лишь круговой обзор моделируемого объекта. В этом случае можно использовать цилиндрическую систему координат  $Or\varphi h$ . Пересчет в нее из декартовой системы проводится по формулам

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}; \varphi = \arctg \frac{x}{z}; h = y.$$

На рис. 6 (см. четвертую сторону обложки) показано примерное изображение кувшина (слева) в цилиндрическом объемном экране, составленном всего лишь из шести вложенных прозрачных мониторов. Попытка натурального воспроизведения с помощью пленки натолкнулась на столь высокое замутнение, что шейка кувшина погрузилась в туман. Другая технология изготовления, например, с помощью плотно вложенных хрустальных цилиндров с наклеенными срезами изображения на тончайшей бумаге, дорога и недоступна.

Для возможности кругового обзора цилиндры-мониторы должны быть двусторонними — для показа "обратной" стороны некоторых элементов. Для исключения искажений при наложении двух разных изображений каждый слой должен содержать изображение только с одной стороны. Это учтено на рисунке некоторым разворотом кувшина так, чтобы показать внутренний вид достаточно "толстой" ручки. На рисунке слева пронумерованы разрезы, справа пронумерованы соответствующие им слои — цилиндры экрана.

Следует предположить возможность предельного перехода изображения кувшина справа к изображению слева при "бесконечном" возрастании числа слоев объемного экрана. Достаточно большое число слоев должно обеспечить стереоэффект.

## 4. Вычислительные средства управления объемным экраном

Возникает проблема обеспечения высокой производительности вычислительных средств, управляющих работой объемного экрана. Ведь каждый слой управляется отдельным процессором. Процессоры работают синхронно (рис. 7), каждый обрабатывает свой срез изображения. То есть процес-

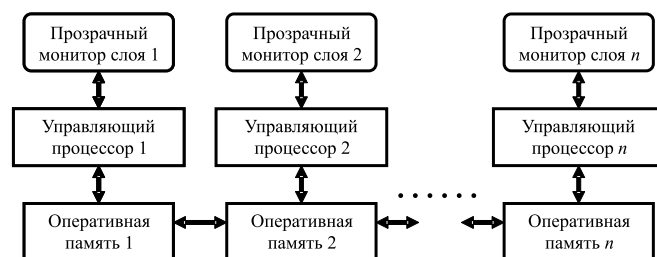


Рис. 7. SPMD-технология в основе ВС, управляющей объемным экраном

соры выполняют копии одной программы, независимо обрабатывая свои данные. Такая обработка в многопроцессорной вычислительной системе (ВС) соответствует *SPMD*-технологии (*Single Program — Multiple Data*) [7].

Смежные процессоры имеют каналы быстрого обмена для обеспечения преемственности данных при движении объекта.

### 5. Возможность применения реагирующего объекта для прогноза погоды

Работа реагирующего объекта, как и каждой управляющей системы, тактируется. Поведение объекта (например, танцора) делится на циклы, в течение которых он совершает действия и возвращается в некоторое состояние, адекватное ситуации. Поскольку ситуация динамически меняется, то и указанное состояние меняется. При программировании такое действие выражается термином "цикл в цикле".

Пусть визуальная, красивая и радостная система прогноза погоды, выставленная на центральной площади населенного пункта, реализована в виде робота (рис. 8, слева) или с помощью объемного цилиндрического экрана (на том же рисунке справа).

Периодически, скажем, через каждые полчаса, из Гидрометцентра поступают уточненные данные об ожидаемой погоде: температура, давление, влажность, направление и сила ветра, вероятность дождя, штормовое предупреждение и пр. С помощью логической нейронной сети объекту указываются его циклические действия, соответствующие сложившемуся вектору — ситуации. Например, при резкой смене ситуации он может даже на мгновение исчезнуть и появиться вновь в галошах и с зонтиком, он может вместе со срывающимся зонтиком поворачиваться и отклоняться, дрожать от холода и т. д. Цикл его действий может заканчиваться некоторым успокоением для данной ситуации и начинаться вновь. Так — до нового уточнения данных Гидрометцентра, по которым выполняется резкий или плавный переход к новым действиям.

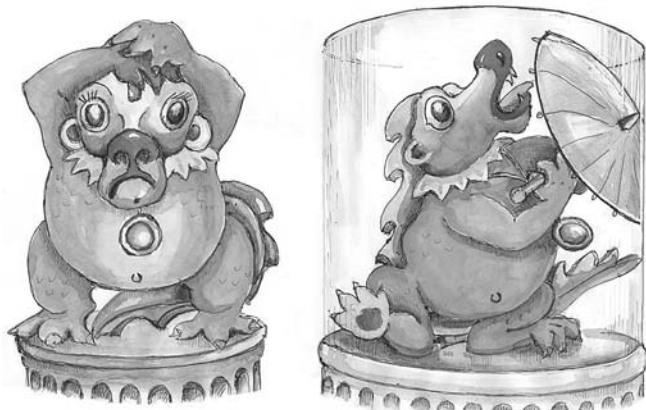


Рис. 8. Реагирующие объекты предупреждают об урагане с ливнем

Видны значительные возможности объемного экранирования по сравнению с возможностями робототехники. Ведь робот может просто свалиться с пьедестала при попытке совершить столь сложные движения.

Возникает вопрос об уточнении данных Гидрометцентра с требуемой частотой. Впечатляет та система дифференциальных и интегральных уравнений, которую необходимо оперативно решать.

Недавно в газете "Аргументы и факты" (№ 5 (1734), 2014, с. 45) директор Гидрометцентра Р. Вильфанд сообщил о недостаточной мощности используемых современных вычислительных средств.

Следует воспользоваться методом ассоциативных вычислений [8]. Для большого числа векторов — значений факторов факторного пространства — по точным алгоритмам рассчитывают векторы — результаты. Так для большого числа экспериментов создается база знаний (опытных), для активизации которой формируется логическая нейронная сеть. Рецепторный слой строится на основе использованных значений факторов. Рецепторы связываются с нейронами единственного выходного слоя, реализуя отношения вида *<известная ситуация> → <известное решение>*. Связи могут иметь веса в соответствии со значимостью фактора или его значения, определяемой опытом эксплуатации.

Выборка по логической нейронной сети проводится ассоциативно (голосованием) с помощью рассмотренной выше несложной пороговой функции активации. Результат определяется максимально возбуждившимся нейроном, однако он может получаться на основе усреднения значений возбуждения нескольких нейронов. Задание текущей ситуации, т. е. достоверность высказывания о принадлежности данных, на рецепторах для каждого фактора задается отдельно, распределением единицы между двумя "близкими" рецепторами, как было указано выше.

Напомним, что логическая нейронная сеть представляется матрицей следования. Она легко расширяется, уточняется, модифицируется. Это делается вне рабочего режима в автоматическом режиме самообучения, если существует обратная связь — оперативная оценка точности прогноза по текущему состоянию базы знаний. Таким образом, в рабочем режиме прогнозирование проводится с помощью "быстрых" ассоциативных вычислений по базе знаний, что может быть вполне достаточно для наглядного информирования населения.

### Заключение

Логические нейронные сети, использующие достоверность высказываний о принадлежности данных, представляют собой весьма несложный развиваемый аппарат, лежащий в основе "мозга" объекта "живого" моделирования.

Реагирующие объекты, дополняющие традиционные средства визуализации и мониторинга, спо-

собны наглядно и действенно предупреждать об опасном дрейфе параметров управляющего процесса, проводить грубую, первичную диагностику, существенно снижать влияние "человеческого фактора".

Объемная экранизация на основе пакета прозрачных мониторов является одним из важных средств воспроизведения трехмерных сцен и объектов.

Для динамического управления реагирующими объектами необходима разработка трехмерной компьютерной графики.

#### Список литературы

1. Барский А. Б. Логические нейронные сети и "живое" моделирование // Компьютеры в учебном процессе. 2005. № 11. С. 3—22.

2. Барский А. Б. Логические нейронные сети: методика построения и некоторые применения // Информационные технологии. Приложение. 2006. № 6. 32 с.

3. Барский А. Б., Милютин Л. Б., Тимофеев А. Е. Реагирующие объекты для систем интеллектуального отображения // Информационные технологии. 2007. № 2. С. 2—11.

4. Вахромцев Е. М. Применение методов "живого" моделирования для производственного мониторинга // Информационные технологии. 2010. № 7. С. 10—15.

5. Барский А. Б. Трехмерная экранизация компьютерных объектов "живого" моделирования // Информационные технологии. 2010. № 9. С. 2—6.

6. Барский А. Б. Нейронные сети логического вывода. Курс лекций. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 400 с.

7. Барский А. Б. Параллельные информационные технологии: учебное пособие. М.: ИНТУИТ; БИНОМ. Лаборатория знаний. 2007. 502 с.

8. Барский А. Б. Обучаемые и самообучающиеся системы распознавания, управления и принятия решений на логических нейронных сетях // Информационные технологии. 2015. Т. 21, № 10. С. 783—792.

A. B. Barsky, Professor, e-mail: arcbarsk@mail.ru  
Moscow State University of Railway Engineering

## "Live" Simulation and Volumetric Screening

*The problems of the development of reacting objects "live" simulation for additional, visual monitoring of complex control systems for minimize the impact of the "human" factor are researched. As robotics and so information technologies can be used. The basis of reacting resources used logical neural networks. Computer graphics for "live" simulation should take into account the possibility of dynamic management objects using the "muscle" and "bones". Volumetric screen may be based on transparent monitors package that realized layers of three-dimensional images. The use of Cartesian, spherical and cylindrical coordinate systems is perhaps. The experimental construction of three-dimensional image using a package of films in the Cartesian coordinate system is analyzed. The expected image on the screen of volume composed of nested transparent cylinders is discussed. The principality schemes of monitoring, displaying processes the job situation in the receptors, neuronal excitation by mean of he activation function, form action script object are implemented. The possibility of using reactive sites for the public display of the weather forecast is considered. Every transparent monitor is connected with control processor. Processors form a computer system that runs on technology "Single Program — Multiple Data".*

**Keywords:** "live" simulation, reacting object, logical neural network, transparent monitor, volumetric screen

#### References

1. Barskij A. B. Logicheskie nejronnye seti i "zhivoe" modelirovanie, *Komp'yutery v uchebnom processe*, 2005, no. 11, pp. 3—22.

2. Barskij A. B. Logicheskie nejronnye seti: metodika postroenija i nekotorye primeneniya, *Informacionnye tehnologii*, Prilozhenie, 2006, no. 6, 32 p.

3. Barskij A. B., Miljutin L. B., Timofeev A. E. Reagirujuscie ob'ekty dlja system intellektual'nogo otobrazhenija, *Informacionnye tehnologii*, 2007, no. 2, pp. 2—11.

4. Vahromcev E. M. Primenenie metodov "zhivogo" modelirovanija dlja proizvodstvennogo monitoringa, *Informacionnye tehnologii*, 2010, no. 7, pp. 10—15.

5. Barskij A. B. Tryohmernaja ekranizacija komp'yuternyh ob'ektov "zhivogo" modelirovanija, *Informacionnye tehnologii*, 2010, no. 9, pp. 2—6.

6. Barskij A. B. *Nejronnye seti logicheskogo vyvoda. Kurs lekcij*. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, 400 p.

7. Barskij A. B. *Parallelnye informacionnye tehnologii. Uchebnoe posobie*. Moscow, INTUIT; BINOM. Laboratorija znaniy. 2007. 502 p.

8. Barskij A. B. Obuchaemye i samoobuchajushhiesja sistemy raspoznavanija, upravlenija i prinjatija reshenij na logicheskikh nejronnyh setjah, *Informacionnye tehnologii*, 2015, vol. 21, no. 10, pp. 783—792.