

успехи КОГНИТИВНЫХ НАУК

По материалам беседы с Борисом Митрофановичем Величковским

Технологии, внимательные к вниманию человека.

Как восприятие и зрительная память влияют на взаимодействие человека и современных технических устройств? Как люди, опираясь на ограниченные ресурсы своего внимания, воспринимают и познают бесконечно сложный и постоянно меняющийся окружающий мир? Эти несомненно очевидные и невероятные вопросы были подняты в беседе профессора Сергея Петровича Капицы с доктором психологических наук, профессором Борисом Митрофановичем Величковским, возглавляющим Институт психологии Дрезденского университета, экспертом Комиссии Европейского Союза в области новых и зарождающихся наук и технологий (*NEST – New and Emerging Sciences and Technologies*).

Зрительная память, узнавание и интерфейс

Компьютерная революция последних 15 лет, сделавшая возможным массовое использование информационных технологий, была обусловлена открытиями в области когнитивной психологии конца 70-х – начала 80-х гг. XX в. Тогда в ходе лабораторных исследований зрительной памяти человека было экспериментально установлено, что, в отличие от памяти на последовательности слов и цепочки абстрактных символов, зрительная память практически ничем не ограничена. Наглядным примером стал один из первых экспериментов, проведенный в 1977 г. на факультете психологии МГУ. Испытуемым, которые сразу после предъявления им последовательности из 7–8 цифр с трудом

могли ее воспроизвести, демонстрировали несколько тысяч цветных видовых слайдов, а неделю или месяц спустя они успешно узнавали свыше 90% этих изображений.

Эффект феноменально точного узнавания изображений лег в основу совершенно новых принципов взаимодействия человека и технических устройств. Сегодня трудно поверить, что лет 25 назад вычислительными приборами пользовались только специалисты, вводящие в компьютер соответствующие слова-команды в машинном коде. В наши дни работу на компьютере легко осваивают в игровом варианте даже маленькие дети. Однако сейчас мы все чаще сталкиваемся с ситуациями, когда привычные пользовательские графические интерфейсы оказываются недостаточными для оптимального взаимодействия человека и технических систем. Так, тенденция к уменьшению размеров различных устройств приводит к тому, что на их экранах становится крайне трудно разместить графическую информацию. Существуют критические размеры для таких экранов, скажем, 5–10 см, что слишком мало для отображения даже редуцированного графического интерфейса, а значит, и работы в Интернете или использования современного текстового редактора.

Кроме того, человеко-машинные интерфейсы пока еще совершенно аутистичны – они не учитывают знаний, ситуативных намерений и состояний человека, функционируя по однажды

заложенной в них жесткой программе. Соответственно, негибкими оказываются и формы взаимодействия человека с автоматическими системами. Следствием подобного отсутствия взаимопонимания становятся подчас трагические события. Так, пару лет назад в аэропорту Варшавы при заходе на посадку потерпел аварию немецкий пассажирский самолет. Причиной катастрофы стала, в частности, различная интерпретация пилотом и бортовым компьютером понятия «посадка»: поскольку самолет садился при сильном боковом ветре, пилот несколько накренил машину в сторону ветра, прикоснувшись к посадочной полосе левой группой колес. Когда он затем попытался погасить скорость, бортовой компьютер заявил: «Операция невозможна – мы находимся в воздухе». В дальнейшем расследование показало, что бортовая автоматическая система управления полетом (*Flight Management System*) интерпретировала посадку иначе, чем когнитивная система пилота, а именно как одновременное касание поверхности земли левой и правой группой колес!

Координация ресурсов внимания

Лет 10 назад исследователи приступили к поиску альтернативы графическому взаимодействию человека и компьютера, основанной на более глубоком изучении принципов коммуникации и процессов внимания. Как известно, одним из основных условий развития речи и становления интеллекта у ребенка ▶

методов можно объективно определить, какие слова ему незнакомы. Вместо того, чтобы вновь и вновь обращаться к словарю, как это делалось в течение столетий, адаптивный интерфейс автоматически зафиксирует затруднения на основании характерного для таких затруднений режима движений глаз и ненавязчиво подскажет на родном для читающего (или на любом заданном) языке нужное слово. Причем, что существенно, делается это только тогда, когда человеку реально нужна помощь, и, кстати, без какого-либо эксплицитного запроса с его стороны. Поэтому данные виды интерфейсов иногда называют некомандными, т.е. не требующими использования эксплицитных команд. И в этом, конечно, состоит большая разница между возникающими сегодня технологиями будущего и очень примитивными прошлыми достижениями в этой области.

Заглянуть в будущее: перспективы когнитивной науки

В основе технологий, базирующихся на локализации фокуса внимания, лежит глубокое понимание фундаментальных процессов обработки информации, управления вниманием и того, как эти процессы реализуются нашим мозгом. Печально, что в массовом сознании российской общественности психология все еще остается спекулятивной паранаучной дисциплиной, занимающейся чем-то вроде толкования сновидений и гадания на кофейной гуще. На самом деле в данной статье затронута лишь малая часть революционных изменений в практическом применении психологических и нейропсихологических знаний, которые прошли научную верификацию в рамках междисциплинарного подхода, получившего во всем мире название когнитивная наука.

Некогда, в классический период отечественной психологии, когнитивные исследования в СССР находились на высоком уровне. Затем наметилось отставание. Чтобы восстановить утраченные позиции и создать совместный



Рис. 7. Две различные ситуации изучения опасности в условиях Виртуальной Реальности (Институт психологии Дрезденского университета).

форум для представителей разных наук, исследующих познание и его эволюцию, интеллект, мышление, восприятие, сознание, представление и приобретение знаний, язык как средство познания и коммуникации, мозговые механизмы познания, эмоций и сложных форм поведения, в октябре 2004 г. запланировано проведение Первой российской конференции по когнитивной науке. К участию приглашаются психологи, лингвисты, нейрофизиологи, специалисты по искусственному интеллекту, нейроинформатике и компьютерной науке, философы, антропологи и другие ученые, интересующиеся подобными исследованиями. Когнитивная наука – одно из ведущих направлений прикладных и фундаментальных исследований XXI в., и создание подобного форума, безусловно, необходимо и закономерно, особенно в нашей стране, где работали Л.С. Выготский и А.Р. Лурия – предтечи когнитивной науки. В скором времени в области основанных на когнитивных

возможностях человека технологий произойдут разительные перемены: будет развиваться речевое взаимодействие с техническими устройствами; привычные компьютеры изменятся до неузнаваемости; интерфейсы станут трехмерными (голографическими), и в любом месте пространства люди смогут, манипулируя виртуальными объектами, получить доступ к накопленным человечеством знаниям и умениям. Но самое главное – человек научится лучше использовать ресурсы своего внимания вкупе с вычислительным потенциалом микропроцессоров новых поколений, что создаст условия для принципиально новых возможностей обработки информации. Действия человека и технических устройств, таких как мобильные роботы, будут координироваться примерно так же, как взаимодействует внимание матери и ребенка. Таким образом, мы выйдем на первую стадию реального симбиоза человека и созданных его разумом технологий. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- Величковский Б. М. и Шмидт К.-Д. (1977). Долговременная перцептивная память. Вестник МГУ (Серия 14: Психология), 1, 17–26.
- Leibowitz H. W. (1996). The symbiosis between basic and applied research. *American Psychologist*, 51(4), 366–370.
- Velichkovsky B. M., Pomplun M. & Rieser H. (1996). Attention and communication: Eye-movement-based research paradigms. In W. H. Zangemeister, S. Stiel & C. Freksa (Eds.), *Visual attention and cognition*. Amsterdam/New York: Elsevier Science Publisher.
- Velichkovsky B. M., Rotherf A., Kopf M., Dornhoefer S. M., & Joos M. (2002). Towards an express diagnostics for level of processing and hazard perception. *Transportation Research, Part F*, 5 (2), 145–156.

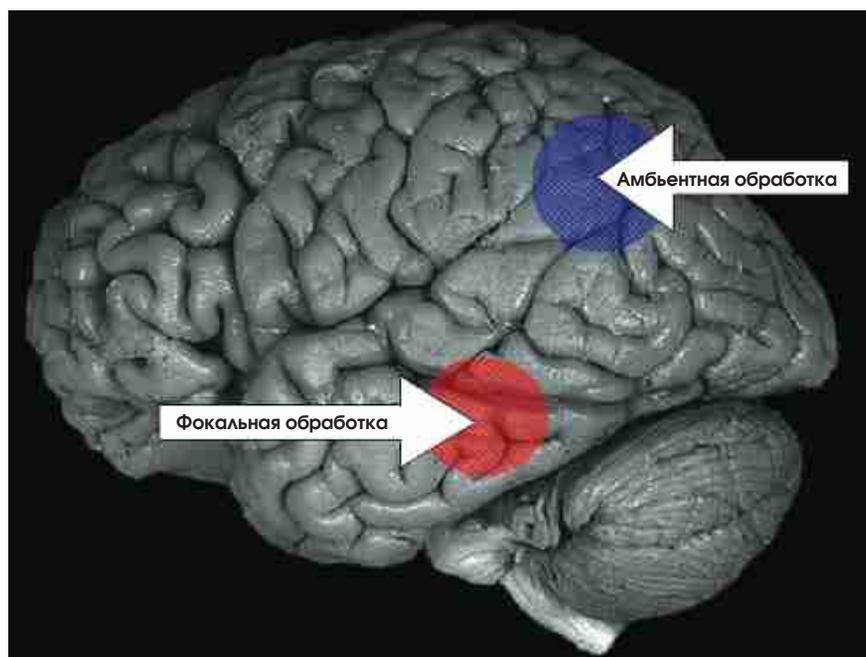


Рис. 1. Области коры больших полушарий, ответственные за амбьентную и фокальную обработку информации.

служит его взаимодействие с матерью, необходимое прежде всего для координации ресурсов внимания, овладения и управления им. Все формы практического взаимодействия людей имеют первоначально невербальную основу и связаны с восприятием ситуации «здесь и сейчас». Например, типичный диалог механиков, ремонтирующих автомобиль, не только далек от норм литературного языка, но и постоянно нарушает правила элементарной грамматики. В нем повторяются профессиональные жаргонизмы, он изобилует междометиями и словами-паразитами, в предложениях, которые может начинать один человек, а продолжать другой, часто отсутствуют подлежащее или сказуемое и т.д. Однако все это не мешает взаимопониманию, т.к. в основе совместной работы лежит координация ресурсов внимания. Она вырабатывается еще в первые месяцы жизни человека и основана прежде всего на учете направления взгляда партнера. Еще более сложная задача – совместная работа на расстоянии. Допустим, тем же механикам – эксперту и новичку – предстоит отремонтировать авиационный двигатель, но они находятся в разных городах.

Ясно, что одних только телефонных переговоров для успешного решения этой задачи будет недостаточно, поскольку требуется не только передать вербальную информацию, но и указать, какой предметный референт имеется в виду в данный момент. Для этого необходимо, во-первых, создать некое единое пространство (например, при помощи Интернета), т.е. дать возможность механикам видеть одну и ту же рабочую обстановку, правда, в одном случае она будет реальной, а в другом – виртуальной. Вторым важнейшим условием является поддержание состояния совместного внимания, которое может достигаться высвечиванием локуса внимания каждого из партнеров в рабочем пространстве. Иными словами, системы взаимодействия между человеком и техническими средствами должны научиться распознавать и учитывать психофизиологические характеристики человека, формы его внимания и направленность интересов на данном отрезке времени. Когда эти элементы игнорируются, даже новейшие достижения современной технической мысли оказываются бессильными. Примером могут служить видеоконференции,

используемые транснациональными корпорациями для проведения оперативных совещаний сотрудников, работающих в разных частях света. Характерная для графических интерфейсов технология «окон» не дает возможности отслеживать социальную динамику общения, кроме того, «говорящие головы» практически не могут взаимодействовать.

Эволюционные формы и уровни внимания

Что же такое внимание с точки зрения когнитивных исследований? В классической психологии внимание определяется как состояние моноидеизма сознания, когда некая идея полностью овладевает человеком и определяет его действия. Кроме координации ресурсов внимания существуют другие способы управления вниманием, основанные на привлечении или захвате внимания, позволяющем манипулировать человеком. Такими приемами пользуются фокусники, специалисты по рекламе, продавцы и... мелкие жулики. Для этого в процесс взаимодействия вводится какой-либо движущийся объект (так действуют наперсточники) или человек вовлекается в процесс коммуникации (всевозможные уличные лотереи). Внимание может привлекаться внешними раздражителями, что говорит о наличии в человеческом сознании механизмов, автоматически реагирующих на движение, перепады света и тени, смену цветов и звуков. Интенсивное внимание может, однако, иметь и совершенно иные проявления, например, когда мы перестаем замечать окружающее, погрузившись в решение важной научной или житейской проблемы.

На разных этапах эволюционного развития превалировал тот или иной тип внимания. Наиболее примитивной формой считается амбьентное (пространственное) внимание, которое, как известно из палеоневрологии, впервые возникло у древнейших рептилий, динозавров, и связано с локализацией объектов в пространстве. Оно работает в динамических условиях:

чем больше движущихся объектов, тем больше вероятность того, что будет доминировать именно эта форма внимания. Соответствующие механизмы с близкими функциями сохранились и у *Homo sapiens sapiens*. Возьмем, к примеру, спорт. При игре в теннис игрок мгновенно реагирует на мяч, движущийся со скоростью порядка 200 км/ч (т.е. около 60 м/сек.), причем делается это именно благодаря возможностям связанного с глобальной пространственной ориентацией и локализацией объектов амьентного внимания. Однако, действуя автоматически, теннисист вряд ли сможет что-нибудь сказать о характеристиках мяча, т.к. он не идентифицируется, а воспринимается как нечто движущееся. В этом и заключается секрет столь быстрой реакции, которая сопоставима со скоростью реакции насекомых. Напрашивается вывод, что в организме человека есть потенциал восприятия, заложенный еще на заре эволюции.

На более поздних этапах развития возникло так называемое фокальное (предметное) внимание, связанное с идентификацией отдельных предметов, что предполагает использование памяти и постепенно вовлекает более сложные формы социального познания. В конечном счете происходит формирование высшей формы внимания, чувствительной к вниманию другого человека (нечто подобное наблюдается у наших ближайших филогенетических «родственников» – шимпанзе подвида *Pan Paniscus*). Основное значение при этом имеет направление линии взгляда. Не случайно в кинематографе, например, есть такой прием: для того чтобы дать зрителю возможность выделить человека из толпы, все актеры должны смотреть мимо камеры, а герой – прямо в нее. И тогда наше внимание автоматически выделяет его среди множества статистов. Нечувствительность к вниманию другого и неспособность к столь естественному и очень важному для общения контакту «глава в глаза», кстати, является одним из клинических симптомов аутизма (это тяжелое

расстройство социального интеллекта получило широкую известность после фильма Дастина Хоффмана «Человек дождя»).

Следует подчеркнуть, что за каждую форму внимания отвечает своя группа мозговых механизмов. Так, амьентное внимание связано с подкорковыми структурами и заднетеменной частью коры, а фокальное – с ее нижневисочными и лобными областями (рис. 1). Современные нейропсихологические исследования показывают, что в височных долях мозга находятся нейроны, воспринимающие направление взгляда другого человека. Это проявляется уже в конце первого месяца жизни, когда младенца начинают привлекать в лицах окружающих прежде всего глаза. При этом для ребенка поначалу не имеет значения, сколько глаз у находящегося рядом существа и как они расположены – это доказали эксперименты, проводившиеся

с муляжами деформированных лиц. Таким образом, глаза являются как бы безусловным врожденным раздражителем, который в первую очередь выделяется и идентифицируется филогенетически новой подсистемой нашего фокального внимания.

Однако локализация объектов происходит значительно быстрее, чем их идентификация, т.е. амьентное внимание функционирует значительно быстрее, чем фокальное. Так, если для того, чтобы локализовать движущийся объект, мозгу требуется менее 1/10 сек., то для простейшей идентификации и семантической классификации необходимо минимум 1/4 секунды. Различить фазы амьентной и фокальной обработки информации можно на основании объективных признаков в характеристиках движений глаз. Это, в частности, позволило современной психологии с помощью приборов наглядно показать, как конкретный ▶

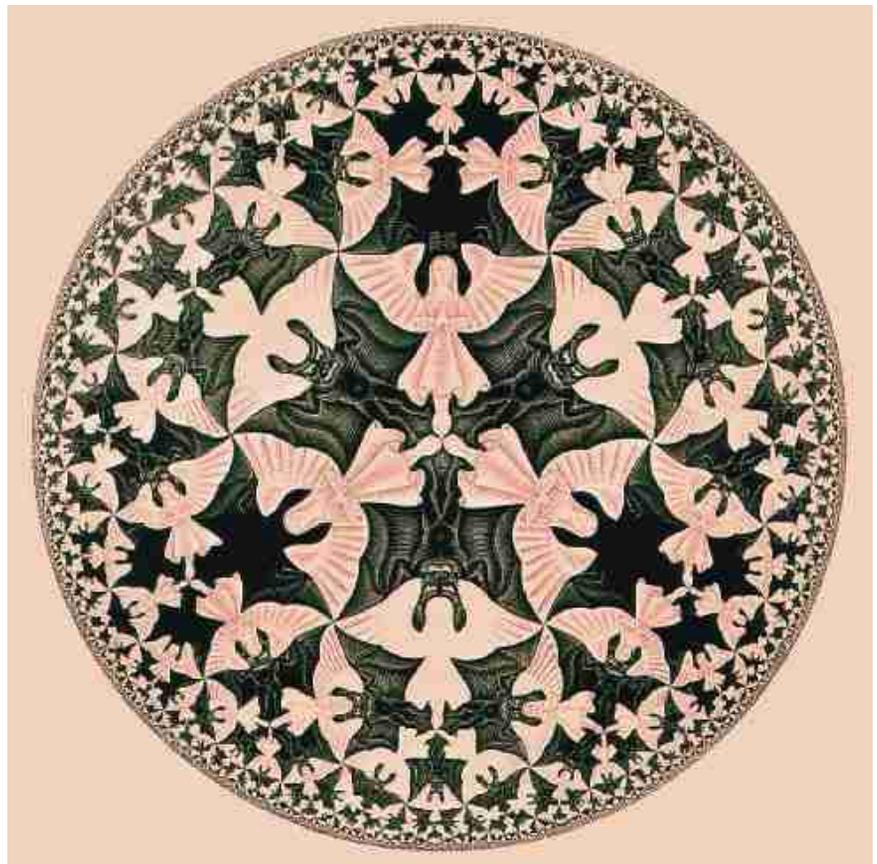


Рис. 2. «Граница круга IV» Морица Эшера.

человек воспринимает увиденное. Дело в том, что одно и то же изображение может восприниматься десятками различных способов, что создает ряд диагностических проблем в медицине. Кроме того, учет параметров движений глаз, характерных для амьентной и фокальной обработки информации, важен для повышения безопасности транспорта.

Скрытый «фактор-убийца»

Было бы ошибкой считать, что наличие двух механизмов, определяющих различные формы внимания, представляет лишь академический интерес. С этим связаны чрезвычайно важные явления, от которых в буквальном смысле зависит жизнь и смерть сотен тысяч людей. Так, на дорогах развитых государств ежегодно гибнет столько же людей, сколько в самых кровопролитных войнах. Очень важную роль при этом играет уровень освещенности: в сумерках жертв автокатастроф в четыре раза больше, чем при дневном свете. Однако ни одними правилами дорожного движения не предписывается сбрасывать скорость при снижении уровня освещенности.

Дело в том, что снижение уровня освещенности, стремительно ухудшая работу фокальной системы, практически не сказывается на возможностях амьентного зрения. Поскольку именно последнее отвечает за сенсорно-моторную координацию и ориентацию в пространстве, у человека совершенно не возникает ощущения, что в сумерках функциональные возможности управления автомобилем снижа-

ются. Однако идентификация объектов при этом резко затрудняется, не случайно свыше 25% водителей, совершивших в сумерках наезд на пешехода, утверждают, что на дороге вообще никого не было. Несколько меньшую роль в подобных ситуациях играют два других фактора: утомление водителя и лучшая адаптация к освещению пешехода по сравнению с водителем. Итак, существование двух форм внимания и зрительной обработки информации оказывается, как отметил еще в 80-х годах прошлого века известный американский исследователь зрительного восприятия Гершель Лейбовиц, настоящим «фактором-убийцей», и задача состоит в объективном и оперативном отслеживании переходов от фокального к амьентному восприятию ситуации и обратно. Осуществить это можно либо анализируя работу мозга, либо регистрируя движения глаз – например, признаком амьентного внимания являются высокоамплитудные саккады зрачка (исключительно быстрые баллистические скачки), сопровождаемые относительно непродолжительными зрительными фиксациями. Второе решение, значительно более технологичное, может быть реализовано уже сегодня и находит целый ряд самых неожиданных применений.

Интерпретация сложных образов и ландшафты внимания

В современной науке и практике все большее значение приобретает интерпретация сложных изображений. Так, методы магнитно-резонансной диаг-

ностики в медицине связаны с системами обработки информации, т.е. с интерпретацией наблюдаемых явлений как аппаратурой, так и врачом. Можно сказать, что к сложным физическим алгоритмам построения изображения добавляются малоизученные нейрофизиологические процессы его восприятия и интерпретации. При этом в медицинской радиологии до сих пор допускается большое количество ошибок. На основе одной и той же информации специалисты зачастую приходят к неодинаковым выводам, по-разному воспринимая и интерпретируя сложный зрительный образ. Казалось бы, нет никакой возможности определить, как именно они это делают. Проблемы восприятия можно проиллюстрировать с помощью одной из известных в истории изобразительного искусства «многозначных» картин, (рис. 2). На одном и том же рисунке один увидит ангелов, а другой чертей, и до сих пор это было сугубо личным делом каждого человека.

С выявлением различных форм зрительного внимания и их коррелятов в движениях глаз наблюдателя ситуация изменилась. Радикально усовершенствовались и методы регистрации движений глаз, которая может осуществляться сегодня бесконтактно, быстро и точно (рис. 3). Сам принцип заимствован из военных технологий, где он используется, например, для автономного наведения крылатых ракет на заданную цель. С помощью таких методов не составляет большого труда реконструировать динамику распределения различных форм внимания по поверхности изображения. Такие (трехмерные или, в случае объемных пространственных сцен, четырехмерные) распределения получили названия «ландшафтов внимания» (*Velichkovsky, Pomplun & Rieser, 1996*). Их можно использовать в качестве математических фильтров, отсекающих лишнюю информацию и подчеркивающих отличительные черты того, что на самом деле увидел в данном случае тот или иной человек.

Чтобы пояснить сказанное, рассмотрим два различных приема фильтрации

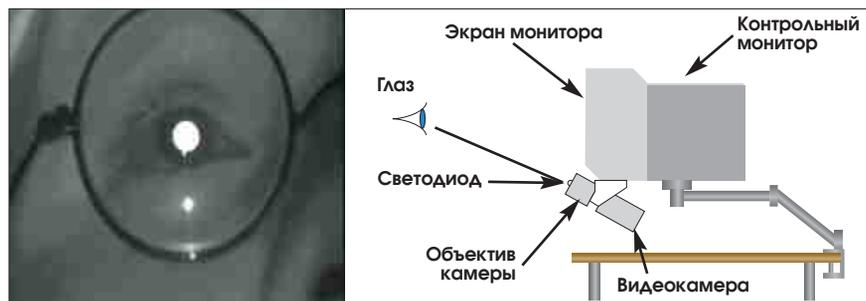


Рис. 3. Бесконтактный метод исследования движений глаз (слева – зрачки испытуемого в инфракрасном освещении).



Рис. 4. «Хлопковая биржа в Новом Орлеане» Эдгара Дега (Институт психологии Дрезденского университета).

сложных образов с целью реконструкции особенностей их субъективного восприятия. На рис. 4 и 5 показаны две известные картины (А) и их преобразования в терминах распределения амбиентного (В) и фокального (С) внимания. При этом в одном случае фильтрация используется для высветления, а в другом, напротив, для затемнения оказавшихся иррелевантными с точки зрения соответствующих мозговых механизмов частей картины. Можно осуществить и иные подходы к представлению подобных результатов (например, фильтровать изображение в терминах пространственных частот так, чтобы менялось разрешение деталей). Но в обоих случаях сохраняется общая стратегия обработки сложных изображений – метод ландшафтов внимания, ориентированный на динамику и характер внимания.

Интересно сравнить особенности восприятия и интерпретации одной и той же картины структурами амбиентного и фокального внимания. Первое из них как бы распределено в пространстве, выделяет скорее оптическую

«массу» групп объектов, чем отдельные осмысленные и узнаваемые элементы. Иначе обстоит дело с зонами фокального внимания. Более того, хорошо видно, что наше фокальное внимание прежде всего отслеживает фокальное внимание других людей. Так, на картине Яна Стина это в основном коммуникативные контакты «глаза в глаза», а у Дега – предметное и предметно-манипулятивное внимание (к газете и к растираемым пальцами волокнам хлопка).

Вернемся, однако, к перспективам объективизации процессов восприятия и интерпретации сложных изображений в медицине. Учитывая важность правильной диагностики, в сложных случаях врачу сегодня уже недостаточно поставить диагноз, ему приходится доказывать свою правоту. Внимательные к вниманию технологии помогут ему выяснить, что именно он увидел, например, на рентгеновском снимке, который другие специалисты могут интерпретировать совсем иначе. В таком случае о восприятии сложного изображения,

а значит, и о диагнозе можно будет аргументированно спорить. Можно представить себе даже появление своего рода базы данных с информацией о характере восприятия медицинской информации, к которой в случае необходимости можно будет обращаться для проверки обоснованности спорных диагностических выводов.

Внимание человека и технические системы

Итак, особенности внимания человека постепенно перемещаются в центр междисциплинарных исследований. Создаются первые системы, способные предугадать намерения и локализовать фокус внимания человека. В ряде научно-исследовательских центров сегодня разрабатываются концепции и системы, с одной стороны, включающие виртуальную реальность, а с другой, позволяющие эксплицитировать направленность внимания участников обсуждения. Фрагмент одной из таких систем, созданной психологами и информатиками фирмы *Daimler-Chrysler*, показана ▶



Рис. 5. «Сумасшедший мир» голландского художника Яна Стина с вариантами его амбиентного и фокального восприятия (Институт психологии Дрезденского университета).

на рис. 6. Оценка направленности внимания осуществляется пока в достаточно примитивной форме – путем отслеживания поворотов головы.

Дальнейшее развитие информационных технологий, вероятно, будет связано не только с передачей вербальной и графической информации, как в современном Интернете, но и будет основано на локализации фокуса внимания, причем делаться это будет за сотые доли секунды. Например, как можно задействовать автоматические системы для помощи человеку, управляющему машиной или самолетом, при необходимости срочно принять решение? Уже разработаны и практически используются первые технические устройства, учитывающие возможности человека в динамически меняющейся обстановке. Так, на американских штурмовиках палубного базирования установлены системы предотвращения опасного сближения с землей (*GCAS – Ground Collision Avoidance Systems*), постоянно фиксирующие изменения рельефа местности, определяющие параметры движения самолета и учитывающие время, которое необходимо летчику, чтобы

среагировать. Если на каком-то выраже возникает реальная опасность столкновения с землей, то система берет управление полетом самолета на себя и резко уводит самолет вверх. Конечно, это пример довольно жесткой формы взаимодействия человека и машины, но в ближайшие 20 лет технологии усовершенствуются. Уже существуют сенсорные датчики, позволяющие оценивать складывающуюся на дороге ситуацию с точки зрения ее потенциальной опасности. Если возникают посторонние объекты или пешеход начинает неожиданно перебежать дорогу перед автомобилем, соответствующие технические детекторные системы компьютерного зрения это зафиксируют. Что делать дальше с этой информацией? Должны ли технические системы менять направление движения автомобиля или останавливать его? Каждому известно, что нет ничего хуже, чем если кто-то начинает без серьезного повода вмешиваться в ваши действия! Поэтому системы технического зрения и интеллектуальной поддержки водителя должны не только воспринимать окружающую обстановку, но и оценивать восприятие

и возможные реакции самого водителя. Если опасность зафиксирована, но одновременно поступила информация, что сам водитель также увидел и верно оценил угрозу, то компьютеру лучше не вмешиваться в процесс управления. Но если датчики отметили, что внимание человека не было сфокусировано на опасной ситуации (что оно было амбьентным, а не фокальным), то система должна либо предупредить его, либо остановить автомобиль.

Несколько лет назад одна из ведущих немецких фирм создала устройство, не позволяющее водителю приближаться на опасное расстояние к автомобилю, идущему впереди. Компьютерная система учитывает сцепление колес с дорожным покрытием, видимость, скорость и устанавливает безопасную дистанцию, при этом педаль акселератора градуально становится более жесткой. Но в ряде ситуаций, например, когда водитель хочет совершить обгон, систему приходится временно отключать. При этом оказалось, что, однажды отключив систему, водитель почему-то не спешит включить ее снова. Исследователи начали поиски психологического решения возникшей проблемы. Задача состоит в том, чтобы навигационная система автомобиля могла регистрировать движение глаз и определять (не требуя от человека эксплицитных решений), как действовать в его интересах в той или иной ситуации: например, отключаться, как только возникает намерение обогнать, и включаться, как только водитель вновь возвращается в поток движения. Конечно, трудно пока прогнозировать, как такая система будет справляться с ситуациями на улицах Москвы или Рима, где обгон осуществляется и слева и справа, но в условиях упорядоченного немецкого движения она работает.

Тот же подход, использующий локализацию фокуса внимания и особенности движений глаз, может быть применен и в процессе обучения. Допустим, человек читает некоторый текст на иностранном языке, который знает хотя и сносно, но не в совершенстве. На основе психологических



Рис. 6. Видеоконференция в виртуальной реальности (Исследовательский центр фирмы *Daimler-Chrysler* в городе Ульм).