

Имитация компьютерным агентом непрерывного эмоционального коммуникативного поведения

Continuous simulation of emotional communicative behavior by a computer agent

Котов А. А. (kotov@harpia.ru)

Институт лингвистики РГГУ, Москва, Россия

Мы представляем архитектуру эмоционального компьютерного агента, который реагирует на входящие компоненты семантического представления и непрерывно демонстрирует разнообразные реакции: высказывания, жесты и коммуникативные действия — почёсывания, переминыя, изменения направления взгляда и т. д.

1. Введение

Традиционно лингвистическая система поддержания диалога описывается по аналогии с вычислительной машиной как система со входом и выходом, принимающая на вход высказывание пользователя и отвечающая сконструированным (или выбранным из базы) высказыванием. Если система ожидает ввода пользователя или если она занята обработкой ввода, то она никак не взаимодействует с пользователем; компьютер может обозначать эти ситуации мигающим курсором (при ожидании ввода пользователя) или курсором в виде часов (если система занята обработкой ввода). Таким образом, средства интерфейса для поддержания непрерывного взаимодействия с пользователем у традиционных компьютеров и лингвистических процессоров — достаточно ограничены.

Намного более жесткие требования к средствам взаимодействия с пользователем предъявляются при создании компьютерных агентов — трёхмерных анимированных персонажей (например, героев компьютерных игр) или перспективных бытовых роботов, взаимодействующих с человеком. Компьютерный агент должен постоянно выполнять разнообразные действия (почёсываться, переминыя, переводить взгляд) и при этом имитировать постоянно меняющиеся эмоциональные состояния.

Если агент взаимодействует с пользователем, то он должен комбинировать такие поведенческие реакции с речевым диалогом: одновременно говорить, жестикулировать, переводить взгляд и переминыя. В коммуникации значимыми элементами становятся достаточно простые поведенческие действия: если в обычной ситуации человек по-

чёсывается или облизывается, чтобы устранить соответствующее раздражение (зуд, сухость губ), то в коммуникации те же действия могут передавать адресату информацию о текущем состоянии адресанта — человек может почёсываться или облизываться, неявно обозначая своё смущение. Возможность передавать информацию в коммуникации сближает такие поведенческие действия с произвольными жестами. Совокупность высказываний, а также жестов, мимики и других действий, которые могут передавать адресату информацию о внутренних переживаниях или мыслях адресанта мы будем называть *коммуникативным поведением*.

В данной работе мы демонстрируем компьютерную модель, предназначенную для имитации разнообразного коммуникативного поведения при взаимодействии с пользователем. Эта модель реагирует на входящие смыслы или события, описанные в виде простых семантических деревьев, и на выходе анимирует трёхмерную виртуальную фигуру агента.

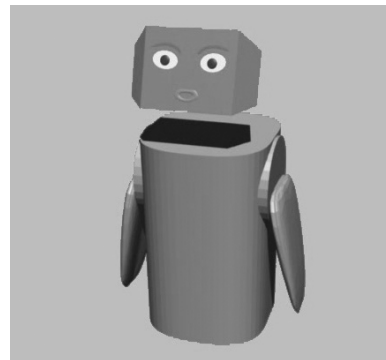


Рис. 1. Трёхмерный компьютерный агент

Для обработки входящего стимула модель использует множество параллельных альтернативных правил (сценариев), которые активизируются компонентами входа и порождают множество жестов, действий и высказываний — потенциальных кандидатов на исполнение агентом. В этой работе мы рассматриваем следующие задачи: (а) отбор жестов, действий и высказываний для выполнения, (б) выстраивание жестов и высказываний во времени (*сериализация* элементов коммуникативного поведения), и (в) исполнение выбранных жестов и действий во времени с помощью фигуры агента.

2. Трёхмерные анимированные компьютерные агенты

При анимировании трёхмерных фигур в компьютерных играх и некоторых типах интерфейсов большую важность представляет описание действий в состоянии покоя (*idle motions*). Если агент выполняет активные движения, то они отвлекают внимание зрителя, и мелкие действия оказываются не так важны, но в состоянии покоя полная обездвиженность или «зацикленность» движений агента выглядят неестественно или даже пугающе. Для создания правдоподобной анимации в этом случае требуется накладывать друг на друга действия трёх разных типов: (а) изменение позы, (б) повторяющиеся движения: дыхание и поддержание равновесия, (в) дополнительные действия и жесты: человек может трогать рукой волосы и лицо, класть руку в карман и т. д. [Egges, A., Visser et al., 2004]. Изменение позы — это переход между двумя относительно неподвижными позами; если расклассифицировать позы и описать для каждой пары поз разные переходы (отличающиеся выражаемой эмоцией), то трёхмерная фигура получит возможность выражать в состоянии покоя заданную эмоцию, например, переминаясь с ноги на ногу более эмоционально или более сдержано [Egges, Arjan, Paragiannakis et al., 2007]. Для управления такими внешними изменениями компьютерные агенты могут снабжаться алгоритмами, имитирующими динамику эмоций, как, например, агент Макс [Jung, Корр, 2003]. Макс «живёт» на экране в фойе Университета Билефельда и приветствует входящих людей: машет им рукой и представляется. Алгоритм управления эмоциями меняет состояние Макса в зависимости от окружающих событий. Например, отсутствие посетителей в течение длительного времени усиливает состояние «скуки», что проявляется в поведении: Макс уныло наклоняется вперёд, глубоко вздыхает, чешет голову, оглядывается, произносит *Никого!* и иногда даже уходит с экрана. Таким образом, внешнее событие меняет эмоциональное состояние, что проявляется в изменении набора жестов.

Сложные системы «эмоциональной динамики» позволяют агенту одновременно имитировать и выражать сразу несколько эмоций. Например, в рамках разработки агента Грета [Ochs, Niewiadomski et al., 2005] сделана попытка разделить испытываемую эмоцию (*elicited-emotion*) и выражаемую эмоцию (*expressed-emotion*). Грета совмещает выразительные средства этих двух эмоций при управлении мимикой, что со стороны выглядит как сложная эмоциональная экспрессия. Например, Грета может «испытывать отчаяние», при этом стараясь скрыть его с помощью внешнего проявления гнева.

Для указанных проектов сделаны расширения, где фигуры компьютерных агентов управляются традиционной системой поддержания диалога, которая принимает на вход высказывание от пользователя и передает для синтеза текст ответа, сопровождая его тэгами для управления интонацией и жестами. Если же входящего высказывания нет (система не находится в диалоге) — она выполняет движения, характерные для состояния бездействия.

3. Использование мультимодальных корпусов

Для имитации правдоподобного поведения в коммуникации мы в своей работе используем Русскоязычный эмоциональный корпус — REC [Котов, 2009]¹, где собраны видеофрагменты взаимодействия студентов с преподавателями на экзаменах, а также видеозаписи общения с клиентами в центре коммунальных платежей. Нас, прежде всего, интересуют случаи, когда человек демонстрирует разные (меняющиеся во времени) коммуникативные реакции на одно входящее событие. Такое поведение наиболее отчётливо можно наблюдать в «сильных» эмоциональных ситуациях, когда человек демонстрирует речевые реакции и сопровождает их отчётливыми эмоциональными жестами и действиями. Например, сначала ругается, потом выражает сожаление, пытается рационально решить проблему и т. д. Вместе с тем, аналогичное поведение характерно и для «слабых» эмоциональных ситуаций, когда человек использует в своём коммуникативном поведении слабовыраженные жесты или действия: чуть заметно кивает, сжимает губы, вздыхает, переводит взгляд. С помощью «слабых» жестов человек может продемонстрировать аналогичную эмоциональную динамику, последовательно проявляя скрытую агрессию, сожаление и размышления о рациональном решении.

Если пронаблюдать в корпусе и смоделировать сложные «слабые» и «сильные» реакции агента на входящий стимул, то это позволит анимировать сложное эмоциональное поведение агента в течение

¹ См. <http://www.harpia.ru/rec/>

ние нескольких секунд после поступления стимула (пока агент перебирает реакции на этот стимул). Если же постоянно поставлять на вход агента различные слабые стимулы и заставить агента демонстрировать сложные слабые реакции на эти стимулы (переключаясь между стимулами и между реакциями), то это позволит имитировать сложное поведение агента во времени. Агент будет почёсываться, облизываться, переминыться, рассматривать разные окружающие объекты, делать вид, что он о чём-то задумался, потом — что он что-то придумал и «принял решение» и т. д.

Одна из задач здесь состоит в том, чтобы собрать по корпусу и описать на некотором формальном языке используемые жесты и действия, а другая задача — описать и смоделировать параметры переключения между разными жестами.

4. Описание жестов и коммуникативных действий

Для описания жестов и действий в компьютерной модели мы используем язык BML (Behavior markup language) [Kopp, Krenn et al., 2006; Vilhjálmsdóttir, Cantelmo et al., 2007]. Альтернативами BML является используемый агентом Максом язык MURML [Kranstedt, Kopp et al., 2002], языки BEAT (Behavior Expression Animation Toolkit), APMML (Affective Presentation Markup Language), RRL (Rich Representation Language), VHML (Virtual Human Markup Language), а также несколько языков, предназначенных для описания объектов 3D-редакторов или элементов виртуальной реальности — такие языки менее пригодны для наших целей.

BML — это язык, основанный на XML. Он позволяет управлять отдельными элементами фигуры агента:

```
(1) <bml>
    <head id="h1" type="nod" amount="0.4"/>
    <face id="f1" type="eyebrows" amount="1.0"/>
</bml>
```

или перемещать взгляд агента, то есть выполнять действие, ориентированные относительно окружающих объектов, что мы используем в нашей системе:

```
(2) <bml>
    <gaze target="PERSON1"/>
    <speech> Hello! </speech>
</bml>
```

BML обладает системой точек синхронизации: для элементов жеста можно указывать фазы экскурсии, пика выполнения и рекурсии — и затем синхро-

низировать элементы жеста по этим фазам и точкам. Жест можно растягивать или сокращать во времени, смещать пик жеста, привязывая его к пикам других (сопутствующих) жестов, при этом благодаря точкам синхронизации различные элементы жеста выполняются слитно, и жест не «разваливается».

В настоящее время ведутся работы над спецификациями языков, занимающих более абстрактный уровень по отношению к BML — это язык разметки коммуникативных намерений Function Markup Language (FML) [Heylen, Kopp et al., 2008] и язык разметки эмоциональных состояний [Schröder, Devillers et al., 2007]. В нашем случае использование более высоких языков избыточно, поскольку функции имитации эмоциональных состояний и часть функций, относящихся к коммуникативным намерениям, уже успешно выполняются аппаратом сценариев.

5. Структура компонентов агента

Мы используем компьютерную модель, которая на входе принимает события в виде простых (двухуровневых) семантических деревьев и на выходе «анимирует» компьютерного персонажа. Семантическое дерево состоит из предиката и набора актанта, причём каждый из этих элементов является множеством из признаков с переменным значением [Котов, 2008]. Ранее мы использовали эту систему, чтобы приводить в движение двумерных агентов и имитировать сложные речевые реакции на входящий стимул [там же]. В данной реализации система дополнена жестовым поведением и с помощью BML анимирует уже трёхмерного персонажа, что позволяет исполнять более сложные жесты и действия, ориентированные в пространстве. В своём поведении трёхмерный агент ориентируется относительно трёх окружающих точек — это (а) лицо собеседника, (б) лицо присутствующего человека, которому агент может адресовать свои комментарии, и (в) объект действий агента, например, это может быть кнопка, которую агента просят нажать.

Система обладает следующей архитектурой (см. Рис. 2). В основе системы лежит менеджер реакций (аналогичный описанному в [Sloman, 2001]), который состоит из (а) блока входа, (б) набора сценариев для обработки входа и (в) блока выхода. В блоке выхода поддерживается трёхмерная модель окружения агента (направления на ключевые точки), а также набор семантических предикатов — двухуровневых семантических деревьев, которые описывают представление агента об окружающей ситуации. Мы передаём агенту на вход семантические деревья (1), рассчитывая, что в будущем задача извлечения семантических деревьев из текста сможет взять на себя парсер — в этом случае мы сможем передавать агенту фразы на естественном языке.

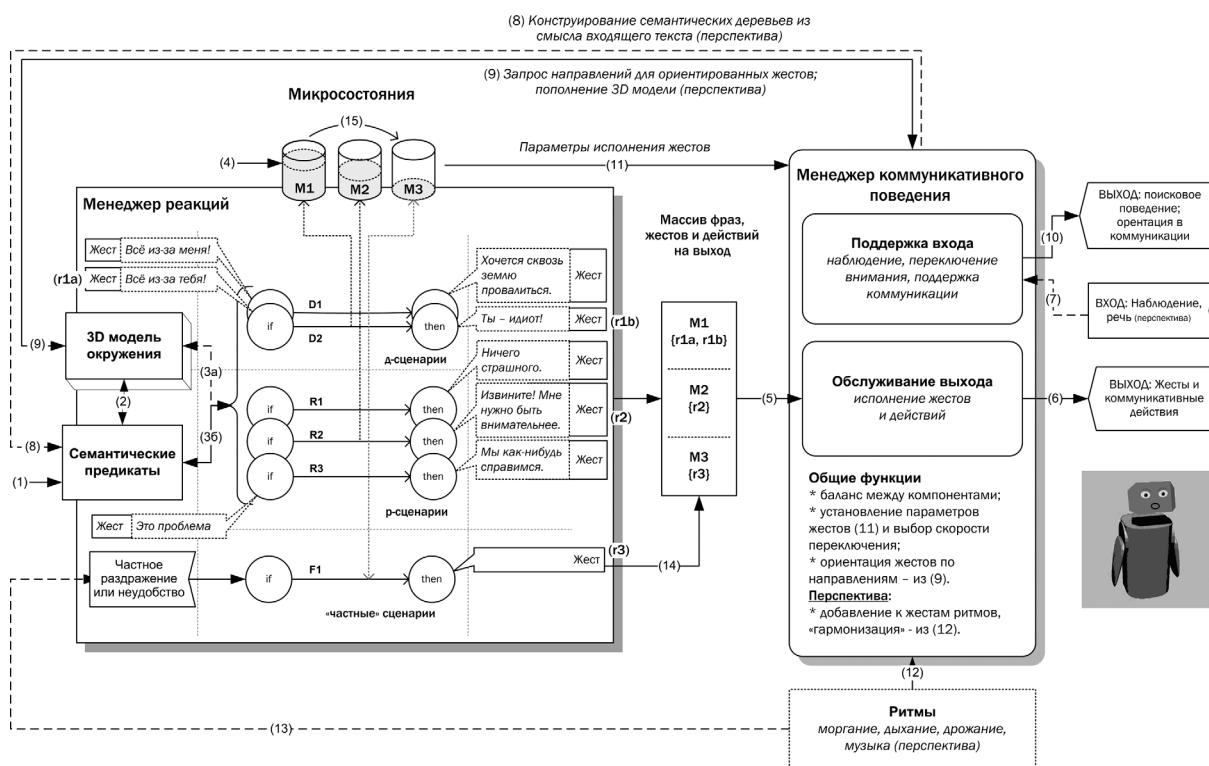


Рис. 2. Структура компонентов агента для выполнения жестового поведения (перспективные связи отмечены пунктиром)

Один и тот же объект окружающего мира может быть отмечен как референт в блоке семантических предикатов и как объект в 3D-модели окружения (2). Благодаря этому, агенту можно сообщать высказывания об определённом референте, и агент будет соотносить этот референт с точкой в пространстве, где расположен денотат. Это позволяет выполнять жесты и действия, ориентированные относительно окружающих объектов: например, если агенту сказать, что «он должен нажать кнопку», то он укажет рукой на кнопку и вопросительно посмотрит на собеседника.

Входящие семантические предикаты могут активизировать сценарии (3б), каждый из которых может передать на выход высказывание и/или жест, описанный на VML. Сценарий может содержать множество альтернативных высказываний и жестов, или, к примеру, только один жест. Смежные сценарии объединены в группы и обладают общим переменным весом — этот вес содержится в *микросостояниях* (на схеме — M1–M3). Микросостояния отражают короткие эмоциональные или коммуникативные состояния, например, это «переживание вины», «попытка извиниться», «попытка показать себя с лучшей» стороны и т. д. Меняя чувствительность микросостояний (4) можно менять «характер» или «настроение» агента, то есть те сценарии, которые будут преимущественно использоваться при обработке входа: в зависимости от настроек агент может вос-

принимать события преимущественно как позитивные или преимущественно как негативные и т. д. Жестовый и речевой выход, порождённый сценариями, записывается в очередь на исполнение и передаётся в менеджер коммуникативного поведения (5). При сериализации выхода в этой очереди учитываются веса микросостояний: сначала записывается и исполняется выход из наиболее активизированных микросостояний, при этом активизация микросостояний снижается, и к очереди начинают добавляться средства выражения менее активных микросостояний.

Менеджер коммуникативного поведения (МКП) исполняет жест с помощью фигуры агента (6) и управляет глазами, мимикой, руками, положением головы и тела. Для выполнения пространственно-ориентированных жестов МКП запрашивает данные о требуемых векторах у 3D-модели окружения (8). Выбранные в качестве ответов высказывания выводятся отдельно от жестов в текстовое окно на экране. На данном этапе мы пока не ставим задачу акустического синтеза речи и синхронизации между произнесением высказывания и исполнением жестов, как это сделано в системах, совмещающих в XML-разметке текст высказывания, просодию и жесты [Корп, Wachsmuth, 2004].

При имитации поведения в МКП требуется решать множество конфликтов, главный из которых — наличие разных функций у одного и того же органа. Глаза, руки и тело могут использоваться как для обеспечения выхода (исполнения жестов), так и для

обслуживания входа (наблюдения за окружающими объектами). Например, глаза могут использоваться для наблюдения (можно переводить глаза на интересный объект)² или для исполнения жеста (агент может закатывать глаза, или «бегать глазами», перемещая взгляд между окружающими объектами). Таким образом, за управление элементом «глаза» борются разные функции: задача исполнения порождённых жестов и действий (5 → 6) и задача наблюдения окружения, необходимость пополнения 3D-модели окружения (9 → 10 → 7).

По этой причине в структуре МКП выделяются два крупных блока: (а) блок обслуживания выхода — он исполняет жесты и действия, переданные из менеджера реакций и (б) блок поддержки входа — он переводит глаза на объект интереса или на собеседника (при этом агент вслед за глазами поворачивает тело и голову).

Эти блоки по очереди захватывают управление органами агента, причём баланс зависит от текущего эмоционального состояния агента (микросостояния): в некоторых ситуациях агент должен сдержанно проявлять свои жесты, но активно наблюдать за окружением, в других ситуациях — свободно и активно жестикулировать, не обращая внимания на присутствующих. Важны и параметры переключения между жестами внутри одного компонента: если в окружении агента присутствуют несколько объектов (референтов), то он может медленно переводить взгляд с одного объекта на другой или быстро бегать глазами между объектами. Действие «бегать глазами» используется для выражения беспокойства агента. Это действие состоит из множества частных действий вида «переместить взгляд на новый объект», причём МКП регулирует скорость переключения между этими частными действиями в зависимости от активного микросостояния (11) — в обычной ситуации агент «осматривается» (долго фиксируется на каждом объекте), а при беспокойстве — «бегает глазами» (кратко останавливает взгляд на каждом объекте). Сейчас в качестве такого параметра передаётся скорость переключения, но в дальнейшем мы планируем передавать параметры, влияющие на скорость и амплитуду исполнения жестов, что допускается спецификацией VML: агрессивное состояние должно увеличивать скорость исполнения жеста, «зажатое» состояние — сокращать амплитуду жеста, а расслабленное состояние — уменьшать скорость и увеличивать амплитуду.

Изменение параметров выполнения жеста важно для большинства действий агента. Например, поворот головы не имеет смысла описывать для каждого сценария отдельно с разными параметрами ис-

полнения. Поворот головы целесообразно описать в базе данных один раз и затем при исполнении накладывать на этот жест разные параметры в зависимости от текущей «эмоции» агента. То же самое относится и к частным жестам. Выразительные средства (высказывания и жесты) в базе данных связаны со сценариями отношением многие-ко-многим, то есть один жест или одно высказывание может вызываться разными сценариями (под действием разных микросостояний). Поэтому целесообразно описать каждый жест агента только один раз, а при вызове жеста из разных сценариев (микросостояний) накладывать на жест разные параметры исполнения.

В текущей версии системы МКП сглаживает переходы между смежными жестами из очереди на выполнение. Интересная перспективная задача состоит в том, чтобы выравнять пики исполнения жестов по времени в соответствии с различными ритмами. Для этого необходимо не только растягивать или сжимать каждый отдельный жест на основании данных от микросостояний (11), но и гармонизировать смежные жесты, заставляя агента двигаться в более быстром или более расслабленном темпе или ритме. В перспективе компонент ритмов может использоваться для гармонизацией действий агента с внешней музыкой и для управления физиологическими ритмами — дыханием и морганием, которые в материале корпуса часто используются для выражения эмоциональных состояний.

6. Имитация сложных случаев коммуникативного поведения

Разрабатываемая нами система имитации коммуникативных реакций отличается от аналогичных проектов тем, что она использует простые семантические структуры для входящих событий и для представлений агента об окружающей ситуации. Это позволяет имитировать интересные формы коммуникативного поведения, связанные со сложной обработкой входа или со сложным преобразованием выхода. В области входа — это поисковое поведение, когда агенту недостаточно имеющихся данных для активизации сценария и выполнения реакции. В области выхода — это замещающие жесты, когда, к примеру, почёсывание используется для выражения состояния смущения.

6.1. Имитация различных типов поискового поведения

В ситуации агрессивной тревоги агент должен быстро оглядывать окружающее пространство. То есть поведение агента должно вызываться изменением в микросостоянии. Если мы добавим акти-

² В нашем случае глаза агента не используются для наблюдения, но мы считаем важным сохранить указанное разделение функций для более правдоподобной имитации поведения.

визации микросостоянию, которое объединяет сценарии типа D2 (сценарии, ответственные за агрессивное коммуникативное поведение), то это приведёт сценарии типа D2 к частичной активизации. Полная их активизация заставила бы агента кричать *Всё из-за тебя! Ты — идиот!* и махать на оппонента. Частичная активизация заставляет агента искать подтверждение «своим страхам» и пытаться обнаружить в своём окружении виновника, который мог бы занять валентность агенса в частично активизированном сценарии D2. Для этого необходимо дополнить 3D-модель окружения на основе данных, получаемых со входа. Таким образом, активизация микросостояния (4) через соответствующие сценарии приводит к запросу 3D-модели (3а), которая, в свою очередь, запрашивает блок поддержки входа в МКП (9) и вызывает поисковое поведение (10). Агент оглядывается, ища в окружающем пространстве референты, соответствующие его страхам.

6.2. Имитация замещающих жестов

Почёсывание, поправление одежды и изменение позы часто выступают в корпусе как замещающие жесты, проявляющие внутреннее волнение [Котов, 2009]. По структуре механизм замещающих жестов подобен механизму иронии, где высказывание используется для выражения скрытого коммуникативного намерения, прямое выражение которого подавлено боязнью, правилами этикета или иными причинами [Грайс, 1985; Фрейд, 1991]. Для имитации такого частного случая иронии с помощью предлагаемой компьютерной модели мы использовали механизм эксплуатации микросостояний [Котов, 2009]. Входящая семантическая структура (1) может активизировать (3б) некоторый сценарий D2 и связанное с ним микросостояние M1 («агрессия, обвинения другого»), но для формирования выхода это микросостояние может обратиться (15) к другому микросостоянию M3 и связанным с ним сценариям. С помощью компьютерной системы мы имитировали случай, когда вход «тебя кто-то стукнул» вызывал неудовольствие агента (активизировал негативное микросостояние M1), но при этом для ответа агент самостоятельно выбирал сценарий с наибольшей активацией из позитивного микросостояния и использовал полученное высказывание иронично: «Агент (иронично): *Хорошо, что на меня кто-то обратил внимание!*» [там же]. Механизм почёсывания в качестве замещающей реакции обладает той же структурой, но вместо замещающего высказывания агент будет использовать замещающее действие или жест.

Для обогащения поведения агента мы добавили к менеджеру сценариев множество «частных» сценариев типа F1, которые ответственны за устранение частных неудобств (почёсывание, облизывание,

поправление одежды). В обычной ситуации каждый из этих сценариев активизируется своим стимулом (например, «у меня что-то чешется», «у меня пересохли губы»), но все эти сценарии объединены общим микросостоянием — его можно условно обозначить как «дискомфорт». Мы постоянно поставляем на вход агента множество частных раздражителей, обладающих сравнительно малым весом. Обычно агент начинает обрабатывать эти слабые стимулы в паузу, когда более сильные раздражители отсутствуют.

В ситуации замещающего действия активизированное микросостояние M1 начнёт эксплуатировать (15) микросостояние M3 «дискомфорт», и для выражения неудовольствия агент может «почесаться» или «облизнуться» в зависимости от тех слабых стимулов, которые присутствуют у него на входе (M3 → F1 → 14 → 5 → 6).

Преимущество нашего подхода в том, что в ситуации раздражения агент не будет выбирать между реакциями типа «почесаться» и «облизнуться» случайным образом — он будет выбирать конкретное действие в зависимости от поступившего слабого стимула: «облизываться», если «пересохли губы», «почесываться», если «чешется» и т. д. Каждое из этих действий описано в нашей системе только один раз, и при этом оно может использоваться как в своей прямой функции, так и в качестве замещающего жеста для различных микросостояний.

7. Заключение

Задача синтеза коммуникативного поведения обладает общими чертами с задачей конструирования речи. И в том и в другом случае порождённые нелинейные структуры — смысл предложения или множество разнообразных коммуникативных реакций — необходимо сериализовать и представить в виде линейной последовательности: текста или поведения. Кроме этого, различные коммуникативные реакции могут быть противопоставлены парадигматически, а при синтезе жестов и действий возникают синтагматические эффекты.

Однако между этими механизмами существует и существенное различие. При синтезе коммуникативного поведения основная роль отдаётся синтагматическому компоненту (МКП). МКП должен постоянно поддерживать правдоподобное поведение агента, используя коммуникативные реакции как материал. При синтезе поведения в «напряжённой ситуации», когда менеджер реакций порождает избыток средств выражения, мы должны пропускать лишние порождённые реакции, а в ситуации покоя, чтобы агент не простаивал, мы должны постоянно генерировать избыточное число возможных коммуникативных реакций (переминания, почёсывания, перемещения взгляда, интерес к окружа-

ющим объектам и т. д.) и заполнять ими поведение агента в реальном времени. С помощью МКП мы можем выражать эмоции и состояния агента не только с помощью отдельных жестов, но и отдавая приоритет наблюдению или экспрессии, меняя скорость переключения между отдельными объектами внимания.

Учёт компонентов семантики при выборе реакции также даёт преимущество системе синтеза

коммуникативного поведения. Агент соотносит референт с объектом в пространстве и может смотреть в сторону денотата, упомянутого в речи. Кроме того, «недостаток» элементов во входящем смысле может вызывать у агента поисковое поведение, а невозможность прямо выразить свою реакцию — может заставлять демонстрировать замещающие жесты, обогащая и делая более правдоподобным искусственное коммуникативное поведение.

Литература

1. *Грайс Г. П.* Логика и речевое общение // Новое в зарубежной лингвистике. Вып. 16. Лингвистическая прагматика. М., 1985. С. 217–237.
2. *Котов А. А.* Управление динамикой речевого поведения виртуальных компьютерных агентов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». Вып. 7 (14). М.: РГГУ, 2008. С. 241–247.
3. *Котов А. А.* Паттерны эмоциональных коммуникативных реакций: проблемы создания корпуса и перенос на компьютерных агентов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодн. Межд. конф. «Диалог 2009» (Бекасово, 27–31 мая 2009 г.). Вып 8 (15). М.: РГГУ, 2009. С. 211–218.
4. *Фрейд З.* Остроумие и его отношение к бессознательному // Фрейд З. «Я» и «Оно». Труды разных лет. Книга 2. Тбилиси: Мерани, 1991. С. 175–406.
5. *Egges A., Papagiannakis G., Magnenat-Thalmann N.* Presence and interaction in mixed reality environments // *The Visual Computer*. 2007. 23 (5). С. 317–333.
6. *Egges A., Visser R., Magnenat-Thalmann N.* Example-Based Idle Motion Synthesis in a Real-Time Application // *CARTECH Workshop*. Zermatt, Switzerland, 2004. P. 13–19.
7. *Heylen D., Kopp S., Marsella S.* et al. The Next Step towards a Function Markup Language // *Intelligent Virtual Agents*. 2008. P. 270–280.
8. *Jung B., Kopp S.* FlurMax: An Interactive Virtual Agent for Entertaining Visitors in a Hallway // *Intelligent Virtual Agents*. 2003. P. 23–26.
9. *Kopp S., Krenn B., Marsella S.* et al. Towards a Common Framework for Multimodal Generation: The Behavior Markup Language // *Intelligent Virtual Agents*. 2006. P. 205–217.
10. *Kopp S., Wachsmuth I.* Synthesizing multimodal utterances for conversational agents // *Computer animation and virtual worlds*. 2004. 15. P. 39–52.
11. *Kotov A. A.* Accounting for irony and emotional oscillation in computer architectures // *Proceedings of International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction ACII 2009*. — Amsterdam: IEEE, 2009. P. 506–511.
12. *Kranstedt A., Kopp S., Wachsmuth I.* MURML: A multimodal utterance representation markup language. Technical Report 2002/05, SFB 360 Situierte Kunstliche Kommunikatoren. Universitat Bielefeld, 2002.
13. *Ochs M., Niewiadomski R., Pelachaud C.* et al. Intelligent Expressions of Emotions // J. Tao, T. Tan, and R. W. Picard (Eds.) *ACII 2005, LNCS 3784*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. P. 707–714.
14. *Schröder M., Devillers L., Karpouzis K.* et al. What Should a Generic Emotion Markup Language Be Able to Represent? // *Affective Computing and Intelligent Interaction*. 2007. C. 440–451.
15. *Sloman A.* Beyond Shallow Models of Emotion // *Cognitive Processing*. 2001. 2 (1). P. 177–198.
16. *Vilhjálmsson H., Cantelmo N., Cassell J.* et al. The Behavior Markup Language: Recent Developments and Challenges // *Intelligent Virtual Agents*. 2007. P. 99–111.