

ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНДУСТРИИ ВИДЕОИГР

УДК 004.946

ТИМЧУК Олег Сергеевич

аспирант, старший преподаватель кафедры Компьютерных технологий Донецкого национального университета.

Научные интересы: нечеткие логические системы первого и второго типа, адаптивные системы.

e-mail: o.s.timchuk@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время развлекательное интерактивное программное и аппаратное обеспечение для видеоигр является наиболее развивающимся в отрасли развлечений. Видеоигры составляют значительную долю СМИ и отрасли развлечений, к которой относят: Интернет, Интернет - рекламу, ТВ, телевизионную рекламу, музыку, киноиндустрию, видеоигры, журналы, газеты, радио, книгоиздание, издательский бизнес [1]. Новые формы развлечений, создаваемые индустрией видеоигр, ежегодно увеличивают мировой рынок игровых платформ и программного обеспечения, который по данным DFC Intelligence на начало 2012 г. оценивается в 65-70 млрд. дол. США [2]. Основными факторами стабильного ежегодного увеличения покупательского спроса являются [1-3]:

1) Развитие и регулярный выпуск аппаратного обеспечения (игровые консоли).

2) Развитие технологий беспроводной передачи данных и их применение в видеоиграх.

3) Использование разработчиками видеоигр возможностей современных графических, звуковых процессоров и информационных технологий визуализации данных, что позволяет создать интересную 3D игровую сцену.

4) Использование интерфейсов четвертого поколения (NUIs) для взаимодействия игрока-человека с

видеоигрой. NUI – сенсорный ввод, обработка жестов, функции упреждающего и многозначного отклика, реагирование на контекст или местоположение, создание сред с эффектом присутствия [4]. Примером NUI является сенсорный контроллер Kinect для игровой консоли Xbox 360, выпущенный компанией Microsoft в 2010 г.

5) Увеличение количества людей, использующих информационные технологии в повседневной жизни.

Перечисленные факторы относятся к экстенсивным факторам развития индустрии видеоигр, что не позволяет обеспечить стабильный рост покупательского спроса в ближайшем будущем. Для решения данной проблемы необходимо развивать информационные технологии, обеспечивающие построение интерактивного игрового процесса. Важными составляющими интерактивного игрового процесса являются:

1) Форма взаимодействия игрока – человека с видеоигрой.

2) Поведение компьютерных персонажей видеоигры (NPCs [5]) – пользователи видеоигр хотят, чтобы NPCs действовали подобно поведению человека. Для этого при организации взаимодействия игрока – человека с NPCs необходимо учитывать когнитивные характеристики игрока - человека. Однако существующие информационные технологии, применяемые для разработки видеоигр, не позволяют в полном объеме фиксировать и обрабатывать информацию такого рода.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

На современном этапе усилия разработчиков видеоигр сосредоточены как на развитии аппаратного, так и программного обеспечения для видеоигр. Анализ текущего состояния мирового рынка видеоигр и прогнозы развития индустрии видеоигр представлены в работах [1-3, 6]. Основным направлением развития программного обеспечения является разработка методов поведения NPCс [7]. В работах [7, 8] представлены основные подходы формирования поведения NPCс, основанные на методах теории вычислительного интеллекта. На сегодняшний день для построения поведения NPCс разработчики видеоигр все чаще используют адаптивные модели поведения NPCс [9-12]. Однако предлагаемые модели ограничены и не способны в полном объеме удовлетворить потребности игрока – человека (модели, как правило, частично адаптивные; игровой процесс развивается по схеме, заложенной разработчиками в древовидной структуре поведения NPCс). Актуальным является разработка новых моделей и методов поведения NPCс.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Выполнить анализ состояния индустрии видеоигр, и в частности, применение методов вычислительного интеллекта для формирования поведения NPCс. Выделить основные преимущества и недостатки существующих информационных технологий, применяемых для разработки видеоигр. Обосновать применение парадигмы развивающегося интеллекта [13, 14] в видеоиграх с целью повышения интересности игрового пространства.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

1. Рынок индустрии видеоигр. Основным критерием качества видеоигры является ее интересность. Повышение интересности видеоигры обеспечивается за счет развития форм взаимодействия игрока – человека с видеоигрой (рис. 1) (платформы, устройства ввода / вывода) и программных компонентов видеоигры. В основе видеоигры лежит платформа, на которую ориентирована игра. Различают следующие платформы [1, 15]: компьютер, игровая консоль, портативная игровая система и мобильные/WiFi телефоны/устройства.

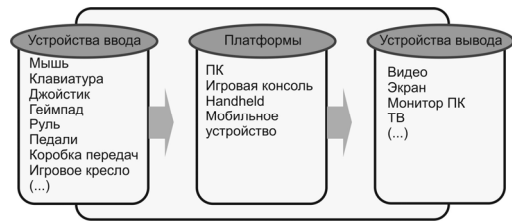


Рисунок 1 – Аппаратные компоненты видеоигры

Компьютерная видеоигра – видеоигра, в которой игрок-человек взаимодействует с ПК. Различные исследовательские центры по-разному оценивают мировой рынок компьютерных видеоигр. Это связано с высокой долей пиратской продукции и нелегальным использованием игрового контента. По данным исследований JRC – IPTS, 2010 г., лидерами в разработке компьютерных игр являются [1]:

- 1) The Sims. Объем продаж: 16 млн. единиц (издатель: Electronic Arts, США, 2000 г.).
- 2) The Sims 2. Объем продаж: 13 млн. единиц (издатель: Electronic Arts, США, 2004 г.).
- 3) StarCraft. Объем продаж: 11 млн. единиц (издатель: Blizzard Entertainment, США, 1998 г.).

Игровая консоль – специализированное электронное устройство для видеоигр (устройством вывода является телевизор или, реже, компьютерный монитор). По данным исследований JRC – IPTS [1] и GDR [3], продажа игровых консолей началась с 1977 года и за период 1977-2012 гг. количество проданных консолей превысило 664 млн. единиц. Рейтинг игровых консолей представлен в табл. 1 [1, 3, 15].

Таблица 1 –

Рейтинг игровых консолей

Консоль	Производитель	Рейтинг	Год выпуска
Xbox 360	Microsoft	37%	2005
PS 3	Sony	24,6%	2006
Wii	Nintendo	19,9%	2006
PC	NEC Corporation	8,1%	1994
NDS	Nintendo	7%	2004
PS 2	Sony	3,1%	2000
PSP	Sony	0,2%	2004
Others	-	0,1%	с 1977

Портативная игровая система (handheld) – легкое, компактное электронное устройство, предназначенное для видеоигр. От игровых консолей отличаются ком-

пактністю і мобільністю; ігрової контроллер, екран і звуковоспроизводящие елементи, як правило, являються здесь частію самого устроїства.

Мобільні/WiFi телефони/устроїства – устроїства, способні крім основного свого назначення, забезпечити ігрову платформу для відеоігри.

На сьогоднішній день світовий ринок ігрових платформ приблизительно розподілений наступним образом: комп'ютерні відеоігри – 5%; мобільні відеоігри – 42%; консолі і handhelds – 53%. Діаграма, що відображає тенденції світового ринку платформ для відеоігор за період 2004 – 2013 гг., представлена на рис. 2 [1, 3].

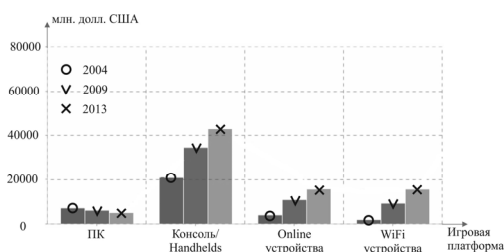


Рисунок 2 – Світовий ринок платформ відеоігор

Аналіз світового ринку платформ відеоігор показав, що ріст частки ринку консолей і handhelds пов'язаний з збільшенням цільової аудиторії, а також появою на ринку консолі Xbox 360 (Microsoft). Інтерактивний ігровий процес – основна причина підвищення інтересності відеоігор, орієнтованих на ігрову консоль. Ринок відеоігор, орієнтований на мобільні устроїства (online, WiFi), демонструє стабільне розвиток. На сьогоднішній день мобільні устроїства все частіше використовуються як ігрова платформа, замість свого цільового назначення. В 2004 г. відзначається різке падіння інтересу користувачів до відеоігор, орієнтованих на платформу ПК. Основними причинами падіння інтересу являються:

- 1) необхідність постійного оновлення апаратної частини ПК із-за високих системних вимог сучасних відеоігор;
- 2) розробники і видавці відеоігор в першу чергу орієнтуються на ігрові консолі, тому пропозицій для ігрових консолей значно більше, ніж для ПК.

В 2011 році обсяг продажів відеоігор для всіх ігрових платформ на світовому ринку перевищив 40 млрд.

долл. США [1, 3, 6]. Діаграма, що відображає тенденції світового ринку відеоігор для всіх типів ігрових платформ за період 2008-2012 гг., представлена на рис. 3.

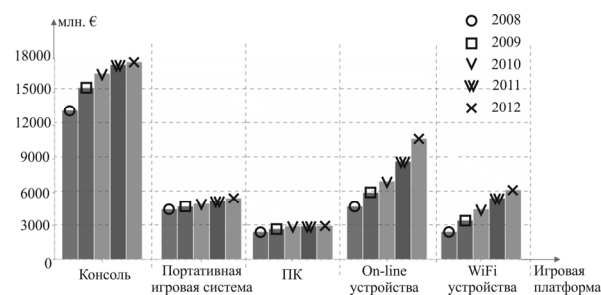


Рисунок 3 – Світовий ринок програмного забезпечення відеоігор

Згідно рис. 2 і рис. 3, перспективним напрямком є розробка відеоігор під ігрові консолі. Рейтинг провідних світових розробників відеоігор представлений в табл. 2 [6, 16].

Таблиця 2 –

Рейтинг світових розробників відеоігор

Производитель	Відеоігри
Nintendo (Японія) www.nintendo.com	Super-Mario, Brain Age
Electronic Arts (США) www.ea.com	The Lord of the Rings, The Sims 2, The Sims 3
Activision Blizzard (США) www.activisionblizzard.com	Diablo
Ubisoft (Франція) www.ubi.com	Rayman
Take – Two Interactive (США) www.take2games.com	L.A. Noire, Red Dead Redemption
Sony Computer Entertainment (Японія) www.scei.co.jp	Ape Escape, SingStar
Bethesda Softworks (США) www.bethsoft.com	RAGE, The Elder Scrolls V: Skyrim
THQ(США) www.thq.com	Warhammer 40,000: Dawn of War III, Warhammer 40,000: Dark Millennium Online
Square Enix (Японія) www.square-enix.com	HITMAN, Final Fantasy XI
Microsoft (США) www.microsoft.com	Age of Empires, Flight Simulator, Gears of War (PC)

Согласно табл. 2, центрами развития индустрии видеоигр являются США и Япония.

Индустрия видеоигр в Украине менее развита. Причинами этого являются:

1) нехватка подготовленных специалистов (ВУЗы не ведут подготовку специалистов в области разработки видеоигр, геймдизайна);

2) отсутствие инвестиций по причине нестабильного размытого налогового законодательства;

3) экономическая нестабильность национальной экономики Украины.

Существующие украинские студии (табл. 3) в основном занимаются разработкой видеоигр по заказу иностранных издателей [17].

Таблица 3 –

Украинские студии разработки видеоигр

Производитель	Видеоигры
GSC Game World www.gsc-game.com	Казаки: Европейские войны, Завоевание Америки, Александр, S.T.A.L.K.E.R.: Тень Чернобыля
4A Games www.4a-games.com	Metro 2033
Creoteam www.creoteam.com	Collapse
N-Game Studios www.ngsdev.com	Великие битвы: Курская Дуга, Великие битвы: Сталинград
Frogwares www.frogwares.com	Приключения Шерлока Холмса

По данным DFC Intelligence [2] к 2015 г. ожидается подъем потребительского спроса на видеоигры и игровые платформы до 115 млрд. дол. США. На рис. 4 представлена диаграмма роста мирового рынка видеоигр и игровых платформ [1-3, 15].

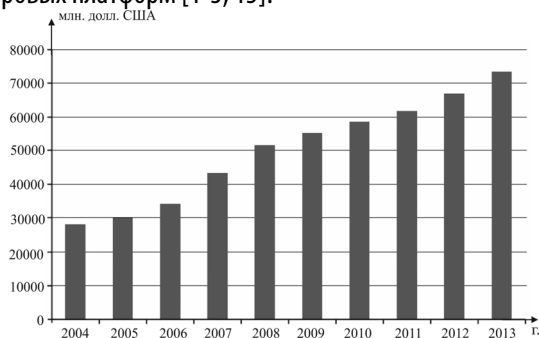


Рисунок 4 – Мировой рынок видеоигр и игровых платформ

Программное обеспечение видеоигры состоит из 3 уровней [18]:

1) 0-й уровень – организация взаимодействия видеоигры с платформой посредством API (Microsoft XNA Framework, Direct 3D, OpenGL, Kinect SDK, DirectX и др.);

2) 1-й уровень – ядро видеоигры (основные модули: звук, кинематика, графика, анимация, вычислительный интеллект, сетевое взаимодействие);

3) 2-й уровень – пользовательский (расширяет функциональность ядра видеоигры, уточняет элементы игрового пространства).

Ядро является центральным элементом программного обеспечения видеоигры. Разработчики создают ядро видеоигры самостоятельно, либо используют уже готовые решения – Game Engines. Game Engines позволяют значительно упростить и ускорить процесс разработки видеоигры. В табл. 4 представлены наиболее популярные Game Engines, предоставляющие широкий набор инструментов для разработчиков [19].

Таблица 4 –

Популярные Game Engines

Название	Производитель
Havok	Havok (Ирландия) http://www.havok.com
Source Engine	Valve Corporation (США) http://source.valvesoftware.com
Unreal Engine	Epic Games (США) http://www.unrealengine.com
Unity	Unity Technologies (США) http://unity3d.com
CryEngine	CRYTEK (Германия) http://crytek.com
RAGE	Rockstar San Diego (США) http://www.rockstargames.com
X-Ray	GSC Game World (Украина) http://www.stalker-game.com

Основные преимущества использования Game Engines:

1) Наличие визуальной интегрированной среды разработки.

2) Поддержка нескольких платформ (ПК, Xbox 360, PS 2, PS 3, PS P, Wii).

3) Поддержка нескольких операционных систем (Microsoft Windows, Linux, Mac OS X, Android).

4) Полная реализация основных модулей ядра видеоигры.

Основные недостатки существующих Game Engines:

1) Отсутствует возможность фиксации и обработки когнитивных характеристик игрока – человека.

2) Методы вычислительного интеллекта для реализации поведения NPCs применяются в ограниченном виде. Поведение NPCs, в основном, строится на базе деревьев поведения (Behavior Trees [20]).

2. Использование вычислительного интеллекта в видеоиграх. Основными причинами ограниченного применения методов вычислительного интеллекта в моделях поведения NPCs являются:

1) повышение вычислительной сложности алгоритма поведения NPCs;

2) применение стандартных методов вычислительного интеллекта может дать несколько отрицательных эффектов: поведение NPCs сведется к примитивным схемам; приведет к усложнению игрового процесса, что может быть не интересно игроку – человеку; игрок – человек рано или поздно поймет, что поведение NPCs проходит по определенному дереву;

3) увеличение стоимости разработки за счет привлечения специалистов в области вычислительного интеллекта.

Разработчики видеоигр для создания моделей поведения NPCs чаще всего применяют методы теории нейронных сетей, нечетких систем и эволюционных вычислений [8]. Существующие модели поведения NPCs ограничены и имеют следующие недостатки:

1) Модели, как правило, не адаптивные или частично адаптивные. Это не позволяет настраивать модели поведения NPCs в реальном режиме времени.

2) В нужном объеме не ведется учет когнитивных характеристик игрока-человека (выбор прототипа, стратегии, когнитивный стиль игрока, активный вид памяти игрока и т.д.).

3) Любая видеоигра обладает большим количеством источников неопределенности. Наибольшей неопределенностью обладают NPCs – так как являются объектами видеоигры с вымышленными свойствами и поведением. Однако в существующих моделях неопре-

деленные параметры рассматриваются как четкие или учитываются только с помощью теории нечетких множеств первого типа.

Таким образом, существующими методами преодолеть полностью трудности разработки моделей поведения NPCs не удалось. Актуальным является разработка других подходов, например, развивающегося интеллекта. Данный подход занимается моделированием функционирования мозга человека (адаптивное обучение, организация ассоциативной памяти, распознавание образов, формирование языка общения, формирование понятий, абстрактное мышление и т.д.) для создания саморазвивающихся, самообучаемых и адаптивных систем для приложений реального времени [13, 21]. Развивающийся интеллект является результатом взаимодействия традиционных моделей и методов теории вычислительного интеллекта [14]. Концептуальная модель развивающейся интеллектуальной системы представлена на рис. 5.



Рисунок 5 – Концептуальная модель развивающейся интеллектуальной системы

Развивающиеся интеллектуальные системы отличаются от традиционных интеллектуальных систем тем, что в процессе своего функционирования они изменяются с целью пожизненного обучения, адаптации и самоорганизации для того, чтобы адаптироваться к неизвестной и непредсказуемой окружающей среде [21]. Поэтому любая развивающаяся интеллектуальная система включает в себя модуль адаптации системы, который получает информацию как от объекта управления, так и от окружения. Модуль адаптации системы передает системе управления объектом либо новый закон управления, либо подстраивает параметры суще-

ствующего закона управления [14]. Изучением, анализом и решением адаптивных систем в видеоиграх занимаются ученые во многих странах мира [9-11]. Последние несколько лет специально для обсуждения проблемы развивающихся видеоигр проводится международная конференция IEEE Conference on Computational Intelligence and Games [22].

3. Опыт применения адаптивных систем в видеоиграх. Предопределенный сценарий развития игрового процесса может привести к предсказуемой игре, что понижает интересность видеоигры. В попытке придать игре индивидуальность часто применяют незначительные эвристики, которые зависят от выбора игрока - человека. Например, выполняется настройка уровня сложности, выбор временных ограничений или выбор сложности игры из доступных предопределенных стереотипов ("новичок", "любитель", "эксперт"). Такой дискретный подход часто оказывается не интересным для игроков (одни не знают, к какому профилю себя отнести, другие не согласны с предложенной классификацией) [12]. Основная причина ограниченного применения методов вычислительного интеллекта в видеоиграх – неопределенность многих параметров игрового пространства. Рассмотрим основные причины отсутствия значительной доли определенности в игровом пространстве:

1) Поведение игрока - человека изменяется со временем. Это приводит к тому, что предложенная модель организации игрового процесса становится неадекватной фактическому процессу, в результате чего игрок – человек теряет интерес к видеоигре.

2) Параметры модели поведения NPC рассчитываются для конкретной видеоигры. Поэтому интеграция уже готовой модели поведения NPC в другие видеоигры часто проблематична либо невозможна.

3) NPC являются существенно нелинейными, но с целью упрощения этапа разработки, моделируются как линейные. Однако в модель поведения NPC закладываются адаптивные алгоритмы, что приводит к потере качества модели.

Для решения перечисленных проблем в видеоиграх применяют адаптивные системы управления игровым процессом. Рассмотрим основные свойства адаптивных систем [12]:

- 1) система должна быть интеллектуальной (принимать решения);
- 2) система должна иметь возможность изменяться, развивать свою структуру и параметры;
- 3) механизм адаптации системы самостоятельно может изменяться (развиваться) со временем.
- 4) система должна быть автономной (действовать и развиваться самостоятельно);
- 5) система должна быть адекватной в аварийных ситуациях (перестройка структуры во время рутинных операций);

Адаптация в видеоиграх может быть определена как способность игровой системы принимать адекватные решения на измененные или изменяемые обстоятельства игрового пространства. В видеоиграх различают два типа адаптивности [9, 10]: offline и online.

Offline адаптивность используется перед началом игрового процесса (формирование уровня игры, формирование сценария игры). Online адаптивность – изменение поведения NPC в режиме реального времени. Базовая структура online адаптивной системы видеоигры представлена на рис. 6 [10].

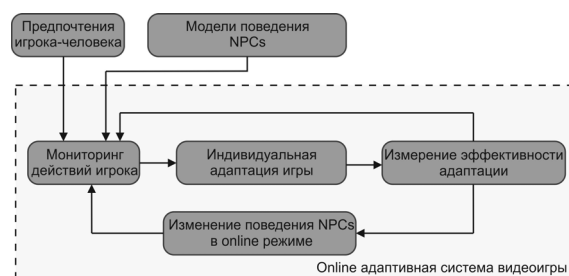
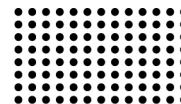
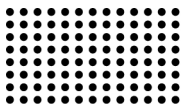


Рисунок 6 – Структурная схема online адаптивной системы видеоигры

Использование сложных сценариев развития игрового процесса, а также возможности современных игровых устройств вносят неопределенность в модели поведения NPC. В данной статье для построения системы поведения NPC предлагается использовать адаптивные нечеткие логические системы на базе нечетких множеств второго типа [23, 24]. Существующие нечеткие системы поведения NPC не учитывают индивидуальные (когнитивные) особенности игрока – человека. В результате этого, игровой процесс развивается по схеме, заложенной разработчиками в древовидной структуре поведения NPC. Использование предопреде-



ленной структуры связано с повышением вычислительной сложности построения новой структуры в режиме реального времени.

Вычислительная сложность нечетких логических систем зависит в основном только от активизированных нечетких правил. Также, проведенный анализ показал, что на каждом этапе игрового процесса нет необходимости строить новую систему правил для формирования поведения NPC. Новые данные могут обновлять или менять не обязательно всю структуру системы, а скорее ее часть (одно или несколько нечетких правил). Добавление новых правил во время игрового процесса может повлиять на то состояние NPC, которое не было покрыто правилами при создании системы поведения разработчиками. Каждые новые данные, полученные в online режиме, обладают дополнительным описанием свойств системы, и могут быть использованы для активизации существующего или создания нового правила.

В данной работе, при построении адаптивной нечеткой логической системы поведения NPC, предлагается использовать следующие данные: когнитивные характеристики игрока – человека; параметры интересности видеоигры.

Когнитивные характеристики игрока-человека в полном объеме позволяют извлечь NUIs.

Для получения данных о интересности видеоигры, вводят критерии интересности, которые позволяют оценить уровень интересности игры для конкретного игрока-человека. Интересность видеоигры определяется с помощью методов оценки интересности видеоигр [25, 26]. Однако, на сегодняшний день нет общеприня-

тых моделей и методов оценки интересности видеоигр. Большинство существующих подходов имеют интуитивный характер, без надлежащего понимания критериев, методов и инструментов, которые позволяют повысить интересность видеоигры, а разработанные математические модели применимы к играм определенного класса и жанра.

Актуальным является разработка методов оценки интересности видеоигр, основанных на оценивании новых форм взаимодействия игрока-человека с видеоигрой, например: жесты, эмоции, мимика лица, биометрические данные игрока-человека.

ВЫВОДЫ

Из анализа приоритетных направлений развития информационных технологий в индустрии видеоигр установлено, что рост потребительского спроса видеоигр связан с применением NUIs в контуре управления игровым процессом. Особенностью NUIs является возможность фиксации когнитивной информации игрока-человека и обработка такой информации с помощью современных информационных технологий (например, SDK Kinect). Так как когнитивные характеристики игрока-человека обладают неопределенностью различной природы, а современные методы управления поведением NPCs не позволяют выделять и обрабатывать неопределенность такого рода, то для управления поведением NPCs перспективным является использование адаптивных моделей на базе нечетких множеств второго типа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. G. De Prato. Born Digital /Grown Digital: Assessing the Future Competitiveness of the EU Video Games Software Industry /G. De Prato, C. Feijóo, D. Nepelski, M. Bogdanowicz, J.P. Simon. – Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2010. – 185 p.
2. DFC Intelligence. DFC Intelligence Forecasts Worldwide Video Game Market to Reach \$81 Billion by 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dfcint.com/wp/?p=312/>
3. Game Developer Research Reports. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gamedeveloperresearch.com/reports.html>.
4. Wigdor D. Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture (1st ed.) /D. Wigdor, D. Wixon. – Morgan Kaufmann, 2011. – 264 p.
5. Alex J. Champandard. AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors. – New Riders Games, 2003. – 721 p.
6. Stephen E. Siwek. Video Games in the 21st Century: the 2010 report. – Entertainment Software Association, 2010. – 28 p.
7. González-Calero P.A. Artificial Intelligence for Computer Games (1st ed.) /P.A. González-Calero, M.A. Gómez-Martín. – Springer, 2011. – 212 p.
8. Jie Jiang. The Application of AI for the Non Player Character in Computer Games /Jie Jiang, Yang Kuang, Haihui Shen //International Conference on Computational and Information Sciences (ICIS). – 21-23 Oct. 2011. – Pp.1049-1050.

9. Lopes R. Adaptivity Challenges in Games and Simulations: A Survey /R. Lopes, R. Bidarra //IEEE Transactions On Computational Intelligence and AI In Games. – 2011. – Vol. 3, No. 2. – P.85-99.
10. Charles D. Player-centred game design: Player modeling and adaptive digital games /D. Charles, A. Kerr, M. McNeill, M. McAlister, M. Black, J. Kücklich, A. Moore, K. Stringer //Digital Games Research Conference 2005, Vancouver, BC, Canada. – June 16-20, 2005. – Pp.285-298.
11. Magerko B. Adaptation in digital games /B. Magerko //IEEE Computer Magazine. – 2008. – Vol. 41, No. 6. – Pp.87-89.
12. Gabrys B. Do Smart Adaptive Systems Exist?: Best Practice for Selection and Combination of Intelligent Methods /Gabrys B., Leiviskä K., Strackeljan J., 1st ed. – Springer, 2005. – 380 p.
13. P. Angelov. Evolving Intelligent Systems: Methodology and Applications /P. Angelov, D. Filev, N. Kasabov. – Wiley-IEEE Press, 2010. – 416 p.
14. Kasabov N. Evolving Intelligent Systems: Methods, Learning & Applications /N. Kasabov, D. Filev //International Symposium on Evolving Fuzzy Systems. – Sept. 2006. – P.8-18.
15. From Pong to PlayStation 3. Video games through the years /A. Monaco //The IEEE news source the institute. – 2011. – P. 8-10.
16. Game Developer Reveals Top 20 Publishers, Debuts 2009 Research. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gamasutra.com/php-bin/news_index.php?story=25506.
17. Техника & технологии. Украинский рынок разработки видеоигр: потенциал огромен, но реализован слабо. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bagnet.org/news/tech/172412>.
18. Andreoli R. Interactive 3D environments by using videogame engines /R. Andreoli, R. De Chiara, U. Erra, V. Scarano //Proceedings of Ninth International Conference on Information Visualisation. – 6-8 July 2005. – Pp.515-520
19. 100 Highest Rated Engines. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.moddb.com/engines/rated>.
20. Alex J. Champandard. Understanding the Second-Generation of Behavior Trees – #AltDevConf. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aigamedev.com/insider/tutorial/second-generation-bt>.
21. Каргин А.А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы /А.А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
22. IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games Perth. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ieee-cig.org>.
23. Петренко Т.Г. Пакет библиотек и среда поддержки нечётких дискретных интервальных логических систем второго типа /Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук //Системы обработки информации. Сборник научных работ. – 2011. – №8 (98). – С.151-156.
24. Cognitive&Uncertainty Research Group. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dit2fls.com/projects>.
25. Sweetser P. GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games / P. Sweetser, P. Wyeth //ACM Computers in Entertainment. – 2005. – Vol. 3, No. 3. – Pp.1-24.
26. Browne C. Evolutionary Game Design /C. Browne, F. Maire //IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. – 2010. – Vol. 2, No. 1. – Pp.1-16.