

УДК 004.5

UDC 004.5

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ
МАРКЕРНОГО ТРЕКИНГА НА МАССОВЫХ
МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ****ISSUES IN IMPLEMENTING MARKER BASED
TRACKING ON MASS MOBILE DEVICES**Кравцов Алексей Александрович
аспирантKravtsov Alexey Alexandrovich
postgraduate student

Лойко Валерий Иванович
заслуженный деятель науки РФ,
д.т.н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia
Россия, Краснодар

Loiko Valery Ivanovich
Honoured Science Worker of Russian Federation,
Dr.Sci.Tech., professor

Трекинг является обширной областью исследований. Совершенствованием трекинга занимаются исследователи в различных сферах, связанных с навигацией, робототехникой, а также в системах виртуального окружения (виртуальной реальности). Однако, по сравнению с последними, к трекингу, для дополненной реальности, предъявляются более серьезные требования. В частности, необходим более высокий уровень точности, увеличенная дальность действия, а также работа с более широким многообразием входных данных. Немаловажным является и то, что для реализации технологии дополненной реальности обычно необходим трекинг в режиме реального времени, что также усложняет поставленную задачу. Для корректной визуализации объектов в трехмерном пространстве, необходим трекинг с шестью степенями свободы: три значения позиции (x, y, z) и три угла (поворот вокруг соответствующих осей) для определения ориентации. Для решения этой задачи применяются различные подходы и типы сенсоров. В данной статье будет рассмотрена краткая история развития трекинга и проанализированы современные подходы для реализации процесса трекинга на массовых мобильных устройствах. Также будут рассмотрены особенности реализации оптического трекинга, основанного на маркерах, для работы с моделями большого размера с применением набора средств разработки Qualcomm Vuforia

Tracking is a vast field of research associated with navigation, robotics, and virtual environments (virtual reality). Tracking for augmented reality requires higher level of precision, increased range of action, as well as work with a wider variety of input data. It is important that augmented reality technology requires tracking in real time, which also complicates the task. Correct visualization of objects in three-dimensional space requires six degrees of freedom tracking: three position values (x, y, z) and three angles (rotation around the respective axes) to determine the orientation. To solve this problem, different approaches and sensor types are being used. In this article, we present a brief history of the development of tracking technology and analyze the current approaches to implement the process of tracking on mass mobile devices such as smartphones and tablet computers. We also describe some issues in implementing optical marker based tracking for visualization of large scale models

Ключевые слова: ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ,
ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ,
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ, ТРЕКИНГ

Keywords: USER INTERFACE, AUGMENTED
REALITY, VISUALIZATION, TRACKING

Введение

Трекинг – это сложный процесс, связанный с отслеживанием положения наблюдателя относительно окружающей обстановки. Он

является одной из важнейших составляющих в реализации технологии дополненной реальности [16].

В данной статье будет рассмотрена краткая история развития трекинга и проанализированы современные подходы для реализации процесса трекинга на массовых мобильных устройствах. Также будут рассмотрены особенности реализации оптического трекинга, основанного на маркерах, для работы с моделями большого размера с применением набора средств разработки Qualcomm Vuforia.

Развитие технологий трекинга

Трекинг является обширной областью исследований. Совершенствованием трекинга занимаются исследователи в различных сферах, связанных с навигацией, робототехникой, а также в системах виртуального окружения (виртуальной реальности). Однако по сравнению с последними к трекингу для дополненной реальности предъявляются более серьезные требования. В частности, необходим более высокий уровень точности, увеличенная дальность действия, а также работа с более широким многообразием входных данных [9]. Немаловажным является и то, что для реализации технологии дополненной реальности обычно необходим трекинг в режиме реального времени, что также усложняет поставленную задачу.

Для корректной визуализации объектов в трехмерном пространстве, необходим трекинг с шестью степенями свободы: три значения позиции (x , y , z) и три угла (поворот вокруг соответствующих осей) для определения ориентации. Для решения этой задачи применяются различные подходы и типы сенсоров.

В 1968 году Сазерленд при создании первого головного дисплея опробовал два вида трекинга: механический и ультразвуковой [12]. В

первом варианте дисплей был механически соединён с потолком, что, естественно, несло такие недостатки, как громоздкость и малую мобильность. При ультразвуковом трекинге были применены 3 передатчика, находящиеся на шлеме, и 4 приемника, расположенные по углам от пользователя. Данный способ трекинга находит свое применение до сих пор [13].

Около 10 лет спустя Фредериком Раабом и коллегами впервые были применены магнитные трекеры, измеряющие расстояние внутри электромагнитных полей [10]. Данные приборы также применяются и сегодня и оказали большое влияние на исследования в области виртуальной и дополненной реальности [13].

Для широкого внедрения технологии дополненной реальности требуется корректная работа трекинга на распространённых потребительских устройствах [3]. На настоящий момент для таких устройств характерен ограниченный вычислительный ресурс, экономия энергии и наличие чаще всего только одной RGB-камеры. Это ограничивает круг возможных подходов, применимых для реализации трекинга.

В этой связи стоит выделить оптический вид трекинга. Он получил большое развитие в исследованиях [16]. Оптический трекинг обладает потенциалом широкого применения на потребительском рынке, так как для его работы достаточно одной камеры без каких-либо специальных дополнительных внешних устройств.

Обычно когда говорится об оптическом трекинге, речь идет о системе дополненной реальности, в которой используется камера, и изображение, поступающее с камеры, используется как в качестве изображения объективной реальности, так и для обработки в целях трекинга. И в данном случае осуществляется отслеживание положения непосредственно камеры как наблюдателя.

В 1996 году был представлен маркер для отслеживания в виде двухмерного штрих-кода [11], который стал очень широко применяться в работах по дополненной реальности. Это была одна из первых маркерных систем, позволявшая осуществлять трекинг с шестью степенями свободы с помощью камеры.

После выхода в 1999 году библиотеки для трекинга ARToolKit [7], выпущенной с открытым исходным кодом по лицензии GPL, такого рода маркеры стали ещё более популярными и применяются до сих пор.

Однако несмотря на все преимущества, такие как быстрота распознавания, простота создания и распространённость, система со штрих-кодами имеет и недостатки. Так, трекинг перестаёт функционировать при закрытии даже небольшой области маркера. Это отражается также на малом угле поворота относительно камеры. В некоторых случаях имеет значение и эстетический аспект: возможны сложности во вписывании чёрно-белого штрих-кода в дизайн, например, упаковки товара.

Предлагались также и другие системы маркеров, не получившие распространения в подобной степени.

В целом трекинг на основе маркеров предоставляет баланс между доступностью для массового потребителя и функциональными возможностями.

Современные подходы для реализации процесса трекинга на массовых мобильных устройствах

Важно отметить, что по состоянию на сегодняшний день разработки в области трекинга достигли того уровня, когда имеется возможность очень точного отслеживания позиции и движений человека, однако, как правило, это достигается использованием множества специальных средств,

будь то трекеры движения, специальные отражатели или определенное количество особо расположенных камер. В данной статье рассматривается применение технологии дополненной реальности на массовом рынке, с использованием средств, доступных рядовому потребителю. Вследствие этого, многие существующие и успешно используемые по специальным назначениям подходы трекинга не могут быть применены.

Существует несколько возможных подходов к реализации трекинга на массовых мобильных устройствах.

При одном из практикуемых подходов функционал трекинга как таковой не реализуется. В данном случае составляется некий коллаж из изображений объектов (напр., предметов интерьера). При этом фоном может выступать как видеопоток с камеры, так и статичное изображение.

К плюсам можно отнести то, что от пользователя не требуется особых предварительных действий для работы с ПО.

Однако выходное изображение получается низко реалистичным в следствие несоответствия ракурса объекта с реальным окружением. У пользователя вызовет большие сложности подстройка масштаба в соответствие с реальным. Как следствие, будет отсутствовать правильное восприятие габаритов объекта. Также, так как чаще всего используется обычное двухмерное изображение, нет возможности осмотреть объект со всех сторон под разными ракурсами. В следствие этого реализованные таким образом приложения не удовлетворяют одному из основных принципов дополненной реальности: работе в трехмерном пространстве. Данные аспекты уменьшает потребительскую ценность подобного подхода.

Вторым применяемым подходом является имплементация трекинга на основе датчиков ускорения и положения устройства. Такой способ позволяет реализовать трекинг с трём степенями свободы: наклон устройства по трём осям. Однако в этом случае отсутствуют данные о

смещении устройства в пространстве. Это означает, что расстояние от камеры до объекта остается неизвестным. На практике это влечет отображение объекта в некорректном масштабе, что является серьёзным недостатком. При перемещении по горизонтали, объект также перемещается, как бы прикреплённый к камере. Но даже если пользователь не изменяет позицию, присутствует неточность в ракурсе объекта, связанная с высотой, на которой находится устройство: она определяется либо приблизительно, исходя из человеческого роста, либо статично задаётся вручную.

Третьим реализуемым на массовых мобильных устройствах подходом является оптический трекинг. Он является наиболее функциональным по сравнению с предыдущими вариантами, так как предоставляет трекинг с шестью степенями свободы, что позволяет реализовать полноценную дополненную реальность и наиболее точно вписать виртуальный объект в реальное окружение с соблюдением корректного масштаба и ракурса. Для удовлетворительного функционирования оптического трекинга достаточно одной камеры, которой оснащается большинство современных массовых мобильных устройств. Алгоритмы оптического трекинга, основанного на маркерах, хорошо оптимизированы для работы на мобильных устройствах, позволяя добиться интерактивной частоты смены кадров [15]. Главным минусом является то, что в большинстве реализаций для работы необходим дополнительный внешний маркер для отслеживания.

Существуют также различные подходы, при которых осуществляется трекинг, так называемых, естественных точек без использования внешнего маркера. Однако к их недостаткам относятся высокие требования к производительности аппаратуры: на мобильных устройствах возможна работа только не в реальном времени. В качестве альтернативы могут быть использованы заранее известные трёхмерные модели объектов.

Наиболее продвинутые алгоритмы, работающие по технологии одновременной навигации и составления карты (Simultaneous localization and mapping – SLAM) позволяют работать в реальном времени без маркера, строя трёхмерную модель окружения непосредственно в процессе трекинга. Однако корректное отображение масштаба возможно только в результате ручного ввода либо также с помощью заранее известного маркера определённого размера.

Каждый из изложенных подходов имеет определенные преимущества и недостатки. Однако наиболее применимым для массовых мобильных устройств в настоящий момент является оптический трекинг на основе маркеров, как наиболее функциональный.

Выбор средства для реализации оптического трекинга, основанного на маркерах

За прошедшее десятилетие различными организациями и научным сообществом было создано несколько библиотек компьютерного зрения. Наиболее известной и развитой является OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library) [8]. Она реализована на языках C/C++ и также разрабатывается для других языков. OpenCV распространяется на условиях лицензии BSD и может свободно использоваться в академических и коммерческих целях.

Также существуют фреймворки с набором модулей по обработке и анализу изображений, видеопотока, поиска шаблонов и объектов, классификаторами и другими функциями. К ним относятся AForge.NET, VXL, Integrating Vision Toolkit, ViSP и многие другие [1].

В качестве движка для трекинга был выбран набор средств разработки Qualcomm Vuforia [14]. Данная разработка основывается на алгоритмах одной из ведущих научных организаций по разработкам в

области дополненной реальности: «Лаборатории имени Кристиана Доплера по ручной дополненной реальности» (Christian Doppler Laboratory on Handheld Augmented Reality) [4]. Важной особенностью является то, что данное средство изначально разрабатывалось для работы на мобильных устройствах.

К плюсам Vuforia могут быть отнесены:

- поддержка различных типов маркеров,
- характеристики трекинга на уровне коммерческих аналогов,
- удобство использования,
- крупное сообщество разработчиков,
- отличная интеграция с игровым движком Unity,
- бесплатное распространение.

Использование Vuforia заметно сокращает время разработки. При этом авторами постоянно вносятся исправления и улучшения. Данное решение зарекомендовало себя как надёжное и эффективное [6].

По состоянию на 2015 год компанией Qualcomm были изменены условия использования Vuforia. Бесплатное использование доступно только в случае отображения логотипа Vuforia в правом нижнем углу экрана. Этот факт не перечёркивает остальные достоинства данной разработки, однако оказывает негативное влияние на её конкурентоспособность.

Особенности реализации оптического трекинга, основанного на маркерах, для работы с моделями большого размера

Дистанция распознавания маркера

В случае применения технологии дополненной реальности для визуализации объектов относительно больших размеров, таких как

предметы мебели [2], необходимо увеличивать масштабы работы. Во многих игровых и развлекательных приложениях речь идет о масштабе стола. В данной работе следует говорить об увеличении масштаба как минимум до средних размеров комнаты.

Для реализации этих целей необходимо обеспечить корректное функционирование трекинга на большой дистанции.

Разработчики программного обеспечения для трекинга Vuforia заявляют, что соотношение максимальной дистанции для распознавания и корректной работы маркера к его размеру должно быть приблизительно 10 к 1 [5]. Соответственно, для определения необходимого размера маркера возможно использовать формулу: $s=10c$, где s – дистанция, c – диагональ маркера (рис. 1).

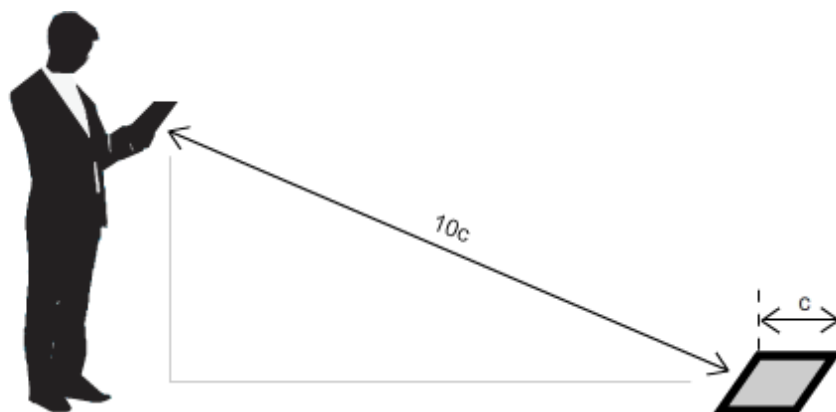


Рисунок 1 – Соотношение размера маркера и дистанции распознавания

Однако обязательно необходимо учитывать, что эта величина приблизительная и зависит от многих факторов, таких как:

- условия освещения при работе приложения,
- чувствительность сенсора камеры устройства,
- режим фокусировки камеры,
- рисунок маркера,
- угол наклона камеры.

Минимизация пользовательских действий

Во многих исследованиях применяются подходы, при которых перед корректным функционированием трекинга необходим подготовительный этап. Обычно он заключается в том, чтобы заранее ввести какую-либо информацию об окружающей обстановке (помещении) в систему. Это могут быть трехмерные модели помещения либо отдельных объектов, информация об освещении либо другие данные. И хотя некоторые разработчики применяют данные подходы в определенных случаях, опыт показывает, что для потребителей необходим минимум первоначальных настроек, особенно когда они не знакомы с технологией и не знают, какие преимущества она несет.

Таким образом, варианты с применением нескольких маркеров, прикрепленных специальным образом к полу и стенам, были отброшены. Несомненным преимуществом при использовании данных подходов является увеличение количества ракурсов, при которых в поле зрения камеры попадают маркеры. Однако было заключено, что для пользователя процесс изготовления и прикрепления к стенам нескольких маркеров будет слишком трудоёмок, что может значительно повлиять на конверсию приложений с подобным подходом.

В целях минимизации действий пользователя, необходимых для начала работы с приложением, наиболее традиционным является подход, при котором используется один маркер, расположенный горизонтально на полу.

Был выбран стандартный размер маркера, соответствующий формату А4 для удобства печати на простом принтере (чёрно-белом либо цветном).

При диагонали маркера 364 мм, примерное расстояние распознавание равно 3640 мм, что достаточно для масштабов средней

комнаты. Однако в следствие сложных условий освещения и большого угла наклона маркера относительно камеры, расстояние может уменьшаться.

Помимо простоты изготовления маркера, к преимуществам данного решения относится мобильность. То есть пользователь имеет возможность оперативно переменить место для работы: например, перейти другое помещение.

При выбранном методе трекинга, взаимодействие будет выглядеть следующим образом:

- 1) пользователь кладёт изображение-маркер на горизонтальную поверхность пола;
- 2) пользователь наводит камеру устройства на маркер;
- 3) при успешном распознавании маркера на планшете отображается окружающая обстановка с внедрённым виртуальным объектом.

Тип маркера

Выбранный компонент для трекинга предоставляет возможность работы с маркерами двух типов, подходящих под сформулированные требования: фрейм-маркеры (framemarkers) и маркеры на основе трекинга особенностей изображения (feature tracking).

Фрейм-маркеры (пример на рис. 2) представляют собой квадратное изображение обрамлённое чёрно-белой рамкой с закодированным числом (от 0 до 511). Внутри рамки может быть размещено любое изображение. Преимуществами данного типа маркеров являются высокая скорость и дистанция распознавания. Однако основным недостатком является то, что попадание маркера в поле видимости камеры не полностью (например, небольшая область перекрыта чем-либо) приводит к невозможности

распознавания. Также трекинг может функционировать некорректно при угле наклона маркера относительно камеры более 10° .



Рисунок 2 – Фрейм-маркер

Маркеры на основе трекинга особенностей изображения (пример на рис. 3) показывают меньшую дистанцию работы, но остаются распознаваемы даже при видимой области 50% и меньше. Для увеличения дальности распознавания маркеры такого типа должны содержать хорошо различимые из далека участки.

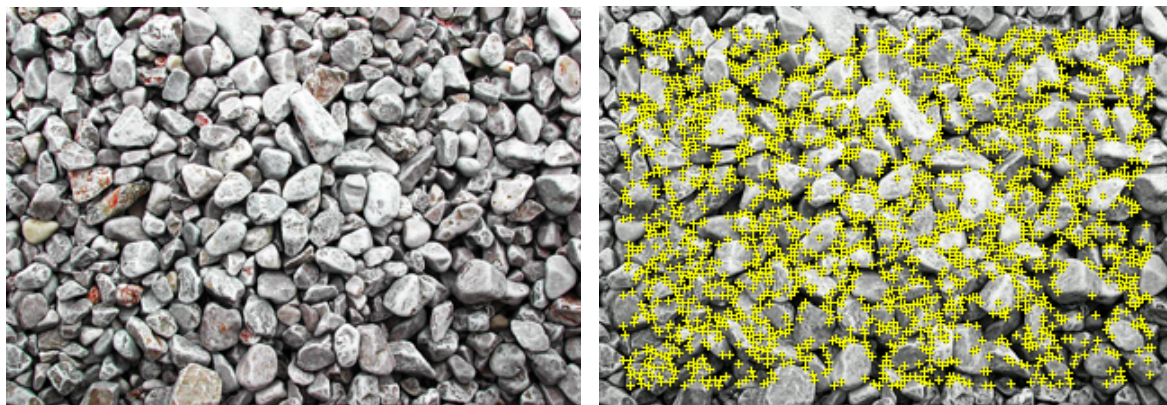


Рисунок 3 – Маркер на основе трекинга особенностей изображения

Заключение

В данной статье была рассмотрена краткая история развития трекинга и проанализированы современные подходы для реализации процесса трекинга на массовых мобильных устройствах. В настоящий момент наиболее применимым при реализации технологии дополненной

реальности на массовых мобильных устройствах является оптический трекинг на основе маркеров, как наиболее функциональный.

Также были рассмотрены особенности реализации оптического трекинга, основанного на маркерах, для работы с моделями большого размера с применением набора средств разработки Qualcomm Vuforia. Оптимальным для применения является маркер на основе трекинга особенностей изображения, соответствующий по размерам формату A4.

Список литературы

1. Благовещенский И. А., Демьянков Н. А. Технологии и алгоритмы для создания дополненной реальности //Моделирование и анализ информационных систем. – 2013. – Т. 20. – №. 2. – С. 129-138.
2. Кравцов А.А. Использование технологии дополненной реальности для визуализации виртуального объекта в реальном интерьере / А.А. Кравцов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №10(084). С. 724 – 733. – IDA [article ID]: 0841210054. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/54.pdf>
3. Кравцов А.А. Совершенствование пользовательского интерфейса визуализации трехмерных объектов при помощи технологии дополненной реальности / А.А. Кравцов, В.И. Лойко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №06(100). С. 1408 – 1420. – IDA [article ID]: 1001406091. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/91.pdf>
4. Handheld Augmented Reality [Электронный ресурс] // Christian Doppler Laboratory on Handheld Augmented Reality [Официальный сайт]. URL: <http://handheldar.icg.tugraz.at/> (дата обращения: 20.06.2015).
5. How should I define the sizes of my targets [Электронный ресурс] //Qualcomm Vuforia Developer Portal [Официальный сайт]. URL: <https://developer.vuforia.com/forum/faq/technical-how-should-i-define-sizes-my-targets> (дата обращения: 17.03.2015).
6. Ibañez A. S., Figueras J. P. Vuforia v1. 5 SDK: Analysis and evaluation of capabilities : дис. – Master Thesis, Universitat Politecnica De Catalunya, 2013.
7. Kato H., Billinghurst M. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system //Augmented Reality, 1999.(IWAR'99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on. – IEEE, 1999. – С. 85-94.
8. Open C. V., Garage W. Open Computer Vision Library [Электронный ресурс] //URL: <http://opencv.org/about.html> – (дата обращения: 27.12.2013).
9. R. Azuma, “A Survey of Augmented Reality,” Presence: Teleoperators and Virtual Environments. vol. 6, no. 4, Aug. 1997, pp. 355-385.
10. Raab F. H. et al. Magnetic position and orientation tracking system //Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on. – 1979. – №. 5. – С. 709-718.

11. Rekimoto J. Augmented Reality using the 2D matrix code //Interactive Systems and Software IV. Kindaikagaku-sha. – 1996. – С. 199-208.
12. Sutherland I. E. A head-mounted three dimensional display //Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I. – ACM, 1968. – С. 757-764.
13. Van Krevelen D. W. F., Poelman R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations //International Journal of Virtual Reality. – 2010. – Т. 9. – №. 2. – С. 1.
14. Vuforia Developer Portal [Электронный ресурс] // Vuforia SDK [Официальный сайт]. URL: <http://developer.vuforia.com> (дата обращения: 27.12.2014).
15. Wagner D. et al. Pose tracking from natural features on mobile phones //Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. – IEEE Computer Society, 2008. – С. 125-134.
16. Zhou F., Duh H. B. L., Billinghurst M. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR //Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. – IEEE Computer Society, 2008. – С. 193-202.

References

1. Blagoveshhenskij I. A., Dem'jankov N. A. Tehnologii i algoritmy dlja sozdaniya dopolnennoj real'nosti //Modelirovanie i analiz informacionnyh sistem. – 2013. – Т. 20. – №. 2. – С. 129-138.
2. Kravtsov A.A. Ispol'zovanie tehnologii dopolnennoj real'nosti dlja vizualizacii virtual'nogo ob#ekta v real'nom inter'ere / A.A. Kravtsov // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №10(084). С. 724 – 733. – IDA [article ID]: 0841210054. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/54.pdf>
3. Kravtsov A.A. Sovershenstvovanie pol'zovatel'skogo interfejsa vizualizacii trehmernyh ob#ektov pri pomoshhi tehnologii dopolnennoj real'nosti / A.A. Kravtsov, V.I. Lojko // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №06(100). С. 1408 – 1420. – IDA [article ID]: 1001406091. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/91.pdf>
4. Handheld Augmented Reality [Jelektronnyj resurs] // Christian Doppler Laboratory on Handheld Augmented Reality [Официальный сайт]. URL: <http://handheldar.icg.tugraz.at/> (дата обращения: 20.06.2015).
5. How should I define the sizes of my targets [Jelektronnyj resurs] //Qualcomm Vuforia Developer Portal [Официальный сайт]. URL: <https://developer.vuforia.com/forum/faq/technical-how-should-i-define-sizes-my-targets> (дата обращения: 17.03.2015).
6. Ibañez A. S., Figueras J. P. Vuforia v1. 5 SDK: Analysis and evaluation of capabilities : dis. – Master Thesis, Universitat Politecnica De Catalunya, 2013.
7. Kato H., Billinghurst M. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system //Augmented Reality, 1999.(IWAR'99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on. – IEEE, 1999. – С. 85-94.
8. Open C. V., Garage W. Open Computer Vision Library [Jelektronnyj resurs] //URL: <http://opencv.org/about.html> – (дата обращения: 27.12.2013).

9. R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments. vol. 6, no. 4, Aug. 1997, pp. 355-385.
10. Raab F. H. et al. Magnetic position and orientation tracking system //Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on. – 1979. – №. 5. – S. 709-718.
11. Rekimoto J. Augmented Reality using the 2D matrix code //Interactive Systems and Software IV. Kindaikagaku-sha. – 1996. – S. 199-208.
12. Sutherland I. E. A head-mounted three dimensional display //Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I. – ACM, 1968. – S. 757-764.
13. Van Krevelen D. W. F., Poelman R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations //International Journal of Virtual Reality. – 2010. – T. 9. – №. 2. – S. 1.
14. Vuforia Developer Portal [Jelektronnyj resurs] // Vuforia SDK [Ofic. sajt]. URL: <http://developer.vuforia.com> (data obrashhenija: 27.12.2014).
15. Wagner D. et al. Pose tracking from natural features on mobile phones //Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. – IEEE Computer Society, 2008. – S. 125-134.
16. Zhou F., Duh H. B. L., Billinghurst M. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR //Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. – IEEE Computer Society, 2008. – S. 193-202.