

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

М. А. Маколкина¹, В. А. Тельтевская¹,
В. А. Кулик¹, Р. В. Киричек¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация
Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

Информация о статье

УДК 004.725.5+004.031.6

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 04.04.16, принята к печати 06.05.16.

Ссылка для цитирования: Маколкина М. А., Тельтевская В. А., Кулик В. А., Киричек Р. В. Исследование взаимодействия приложений дополненной реальности и методов управления БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 2. С. 33–42.

Аннотация

Предмет исследования. Статья посвящена исследованию взаимодействия приложений дополненной реальности и методов управления беспилотными летательными аппаратами. **Метод.** Исследование проведено экспериментальным путем с использованием разработанного экспериментального стенда. В ходе эксперимента для управления БПЛА использовалось приложение дополненной реальности. **Основные результаты.** Была получены оценки качества обслуживания сети и субъективные оценки качества восприятия. Для определения взаимосвязи между качеством обслуживания сети связи и качеством восприятия использовался параметр Хёрста. **Практическая значимость.** Определены параметры обслуживания сети связи для обеспечения заданного качества восприятия при управлении БПЛА с помощью приложения дополненной реальности.

Ключевые слова

дополненная реальность, летающие сенсорные сети, беспилотные летательные аппараты, качество восприятия, параметр Хёрста.



STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN AUGMENTED REALITY APPLICATIONS AND CONTROL METHODS OF UAV

M. Makolkina¹, V. Teltevskaia¹, V. Kulik¹, R. Kirichek¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation
Corresponding author: kirichek@sut.ru

Article info

Article in Russian.

Received 04.04.16, accepted 06.05.16.

For citation: Makolkina M., Teltevskaia V., Kulik V., Kirichek R.: Study of the Interaction between Augmented Reality Applications and Control Methods of UAV // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 2. pp. 33–42 (in Russian).

Abstract

Research subject. The article is devoted to the study of the interaction between augmented reality applications and control methods of unmanned aerial vehicles. **Method.** The study was conducted experimentally using the developed experimental stand. In the experiment, the augmented reality application was used to control the UAV. **Core results.** Quality of Service of the network and a subjective assessment of experience were evaluated. To determine the relationship between quality of service of the network and quality of experience was used the Hurst exponent. **Practical relevance.** The parameters of the maintenance of the network to ensure a given quality of experience in the control of the UAV using the augmented reality app.

Keywords

augmented reality, flying sensor network, unmanned aerial vehicles, the quality of experience, the Hurst exponent.

Введение

Управление беспилотными летательными аппаратами – одна из важных задач, которые необходимо решить для широкого внедрения систем, использующих БПЛА. Летящие сенсорные сети используют БПЛА в качестве устройств для сбора данных с наземных сенсоров и их передачу на сервер для обработки. Такие сети можно использовать, например, в промышленном производстве или сельском хозяйстве для мониторинга процессов или в качестве маршрутизаторов [1, 2].

Различают ручное, автоматизированное и автоматическое управление БПЛА. При удаленном ручном управлении пилот ориентируется на изображение, передаваемое с камеры аппарата. Такое управление можно осуществлять с помощью технологий дополненной реальности (ДР) и тактильного интернета. Дополненная реальность представляет собой дополнение окружающего физического мира виртуальными данными с помощью специальных устройств отображения, например, очков [3]. Главной задачей тактильного интернета является передача по сети информации о воздействии на удаленный предмет и обратная передача ответной реакции этого предмета на воздействие с минимальными задержками [4].



Управляющий имеет возможность воздействовать на БПЛА через приложение дополненной реальности поворотами и наклонами головы, наблюдая изменение изображения с камеры в устройстве отображения ДР.

Решая задачу управления БПЛА с помощью приложений дополненной реальности, необходимо решить несколько подзадач:

- обеспечить передачу данных о повороте головы с устройства ДР на квадрокоптер;
- обеспечить передачу видеоизображения с камеры БПЛА на устройство ДР;
- оценить качество обслуживания по сети;
- оценить качество восприятия пользователя в дополненной реальности при управлении БПЛА.

Особенности передачи данных

Пилот может управлять движениями квадрокоптера или установленной на нем камеры посредством поворотов и наклонов головы. Так как подвеска камеры обеспечивает вращение только по вертикальной оси, то для обеспечения максимального обзора необходимо поворачивать сам беспилотный аппарат. В устройстве ДР, которое находится на голове у пилота, обеспечивается отображение видеопотока с камеры. Благодаря этому пилот может понять местоположение БПЛА и передать информацию о желаемом повороте камеры. Для этого должно быть обеспечено качественное отображение информации с камеры и своевременный отклик БПЛА и камеры на движения управляющего.

Необходимо обеспечить соответствие реакции квадрокоптера командам воздействия, например, при наклоне головы вниз камера также должна наклониться вниз с минимальной задержкой, не искажая восприятия пилота. Это обеспечивается при помощи датчиков на устройстве дополненной реальности, таких как гироскоп и акселерометр. Данные с датчиков об изменении положения головы будут передаваться на квадрокоптер, который в свою очередь однозначно распознает и передаст команду на специальные механизмы управления.

При передаче видеоизображения мы можем столкнуться с проблемой возникновения помех в канале передачи данных. На передачу видеоинформации влияют такие параметры качества обслуживания сети как потери и задержки [5]. Это в свою очередь влияет на качество восприятия пользователя и может вести за собой сбои в управлении БПЛА, т. к. при управлении пилот может владеть информацией о местоположении аппарата исходя из поступающей видеоинформации. В связи с этим, для исследования была выбрана модель сети (рис. 1), в которой устройство дополненной реальности обменивается данными с квадрокоптером с использованием технологии беспроводной передачи данных Wi-Fi IEEE 802.11n. Эта технология позволяет передавать большой объем информации с пропускной способностью до 150 Мбит/с¹, что и требуется для качественной передачи видеоинформации.

¹ IEEE 802.11-2012 IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.





Рис. 1. Модель сети для взаимодействия устройства ДР и БПЛА

В рамках данной статьи будет исследовано влияние качества обслуживания сети на качество восприятия пользователя в системе ДР при управлении БПЛА.

Постановка эксперимента

Цель: Исследование влияния качества восприятия в системах дополненной реальности на управление БПЛА с использованием лабораторного стенда.

Для данного исследования был разработан лабораторный стенд в лаборатории Интернета Вещей СПбГУТ [6, 7]. Аппаратный комплекс состоит из БПЛА (квадрокоптер 3D Robotics IRIS Plus) с камерой на борту. Через устройство беспроводного доступа квадрокоптер подключается к очкам ДР через Wi-Fi шлюз. Очки дополненной реальности Epson Moverio BT-200 представляют собой прозрачные бинокулярные видеоочки дополненной реальности. Они оснащены такими датчиками, как гироскоп и акселерометр, имеют возможность взаимодействовать через точку доступа Wi-Fi. Структурная схема стенда приведена на рис. 2.

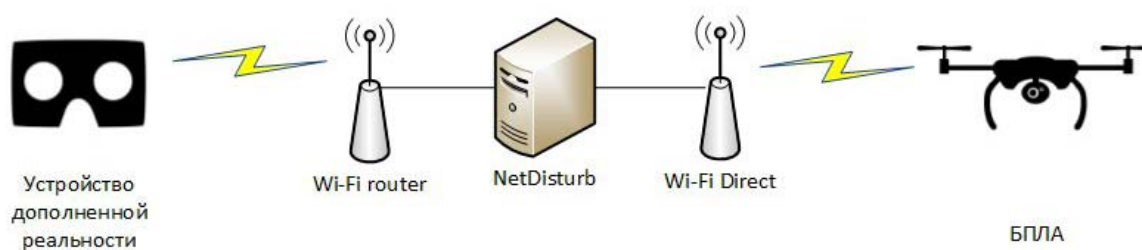


Рис. 2. Структура экспериментального стенда

Для сбора экспериментальных данных и внесения дополнительных помех в сеть между очками дополненной реальности и квадрокоптером был внедрен дополнительный сервер с установленным программным обеспечением NetDisturb. NetDisturb позволяет вносить в сеть между квадрокоптером и очками различные помехи, такие как задержки, потери, снижение пропускной способности [8]. Также было разработано ПО для перехвата и анализа трафика с целью оценить влияние показателей качества обслуживания сети на качество восприятия в очках дополненной реальности при управлении квадрокоптером.

Программное обеспечение, созданное для определения влияния качества обслуживания на качество восприятия в системах дополненной реальности, перехватывает трафик данных между квадрокоптером и очками ДР. На основе по-



лученных данных, а именно времени, когда был получен пакет и размера пакета производится расчет параметра Хёрста. Параметр Хёрста – это мера, используемая в анализе временных рядов [9]. Параметр будет уменьшаться в случае, если задержка между парой одинаковых изменений значений временного ряда увеличивается. В данном случае коэффициент отражает степень самоподобия трафика:

- при $0 < K_{\text{Хёрст}} < 0,5$ – временной ряд не самоподобный, антиперсистентный, для него более вероятно смена направления отклонения, высокие значения отклонения следуют за низкими и наоборот;
- при $K_{\text{Хёрст}} = 0,5$ – временной ряд случайный, следующее значение не зависит от предыдущих значений;
- при $K_{\text{Хёрст}} > 0,5$ – временной ряд самоподобный, персистентный.

Самоподобный трафик – это трафик, который выглядит одинаково при любых временных масштабах. Иначе говоря, вероятность того, что трафик на следующем шаге отклонится от среднего значения в том же направлении, что и на предыдущем шаге, велика настолько, насколько параметр Хёрста приближен к единице.

Для точного определения параметра Хёрста перехват пакетов будет осуществляться в течение одной минуты. Для временного ряда в одну минуту необходимо высчитать дисперсию – отклонение случайной величины от ее среднего значения в ряду.

$$M [(R / S)_t] \sim cn^H \text{ при } n \rightarrow \infty, \quad (1)$$

где $(R/S)_t$ – нормированная оценка ширины размаха, c – константа, n – размер исследуемого блока наблюдений, H – параметр Хёрста, т. е. степень самоподобия исследуемого процесса. Для заданного конечного временного ряда $X = X_1, X_2, \dots, X_n$ вычислим среднее значение m :

$$m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i.$$

Затем вычислим временной ряд отклонений от среднего Y :

$$Y_t = X_t - m, \quad t = 1, 2, \dots, n.$$

Вычислим ряд отклонений Z :

$$Z_t = \sum_{i=1}^t Y_i, \quad t = 1, 2, \dots, n.$$

Вычислим ряд размахов R :

$$R_t = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_t) - \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_t), \quad t = 1, 2, \dots, n.$$

Вычислим ряд стандартных отклонений S :

$$S_t = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (X_i - u)^2}, \quad t = 1, 2, \dots, n$$

где u – среднее значение величин ряда от X_1 до X_t .



Вычислим ряд нормированных размахов (R/S):

$$(R/S)_t = R_t / S_t, \quad t = 1, 2, \dots, n.$$

Усреднить ряд $(R/S)_t$ на областях $[X_1, X_t]$ при различных значениях t на интервале от 1 до n . Обычно берутся не все n точек, а некоторая достаточная совокупность, равномерно распределенная по всему интервалу от 1 до n .

Полученные усредненные значения $M[(R/S)_t]$ и соответствующие им длины блока усреднения t необходимо отметить в логарифмических осях. Полученные точки необходимо аппроксимировать линейной функцией, построенной с помощью метода наименьших квадратов. Угловым коэффициентом (тангенсом угла наклона к положительному направлению оси абсцисс) полученной линии будет в соответствии с формулой (1) являться оценка коэффициента Хёрста начального временного ряда.

В данном исследовании параметр Хёрста используется для определения взаимосвязи между качеством обслуживания и качеством восприятия в системах ДР при управлении БПЛА.

Описание хода эксперимента

Испытуемый в очках дополненной реальности, где отображается информация с камеры квадрокоптера поворачивает голову, направляя тем самым камеру, и субъективно оценивает отклик квадрокоптера и изменение изображения в очках на сделанные движения. Эксперимент проводится несколько раз, каждый из которых отображает влияние различных помех, таких как задержка, потери и уменьшение пропускной способности. Для верной субъективной оценки за эталон был взят эксперимент без внесения помех, т. е. максимально приближенный к идеальным условиям передачи данных.

Анализ результатов эксперимента

После проведения эксперимента без внесения помех был рассчитан параметр Хёрста. Он оказался равен 0,61. Это говорит о том, что трафик был самоподобным и эти результаты действительно можно брать за эталон при дальнейшей оценке качества восприятия, т. е. оценка этих результатов 5. Далее были проведены эксперименты с добавлением задержки. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Эксперимент с задержками

Задержки	Субъективная оценка	Значение параметра Хёрста
Без задержки	5	0,61
10–30 мс	4	0,60
50–150 мс	3	0,59
150–250 мс	2	0,56

Из таблицы 1 следует, что при задержках до 100 мс качество восприятия видео остается на удовлетворительном уровне, но при управлении с такой за-



держкой возникает ряд трудностей. Из-за запаздывания управляющий не знает, когда точно необходимо остановить движение, т. е. управление происходит наугад, команды передаются с опозданием, отклик возвращается с задержкой. В данном случае параметр Хёрста верно определяет взаимосвязь между качеством обслуживания и качеством восприятия в системах ДР – наибольшее значение соответствует наивысшей оценке испытуемого. Таким образом, при задержках выше 150 мс управление БПЛА с помощью приложения дополненной реальности осуществлять нельзя.

Следующие эксперименты проводились с добавлением потерь в канал связи между квадрокоптером и устройством ДР. В таблице 2 представлены результаты данного эксперимента.

Таблица 2.

Эксперимент с потерями

Потери	Субъективная оценка	Значение параметра Хёрста
Без потерь	5	0,61
0–1 %	4	0,61
0–3 %	3	0,60
0–5 %	2	0,59
0–7 %	2	0,53
0–9 %	1	0,47

Исходя из полученных результатов можно сказать, что потери существенно влияют на качество восприятия пользователя. Помимо трудностей с управлением, возникают также помехи в распознавании изображения на устройстве дополненной реальности. Качество восприятия видео стремительно падает при увеличении количества потерь, разобрать изображение становится трудно, кроме того из видеoinформации «выпадают» некоторые моменты времени, что оказывает негативное влияние на управление квадрокоптером.

Последний эксперимент был связан с ограничением пропускной способности.

Таблица 3.

Эксперимент с понижением пропускной способности

Пропускная способность	Субъективная оценка	Значение параметра Хёрста
Не ограничена	5	0,61
До 1700 кбит/с	5	0,61
До 1500 кбит/с	3	0,56
До 1000 кбит/с	2	0,55
До 500 кбит/с	1	0,49

По таблице 3 можно сделать вывод, что снижение пропускной способности критически влияет на качество восприятия пользователя в системах дополненной реальности. Также при снижении пропускной способности управление квадрокоптером существенно затрудняется, т. к. управляющий перестает вла-



деть информацией о каком-либо движении летательного аппарата. Все данные передаются с большими задержками, часть из них теряется, при наблюдении в устройстве дополненной реальности начинает кружиться голова.

Заключение

Для управления беспилотными летательными аппаратами можно использовать приложения дополненной реальности. Т.к. управление происходит в режиме реального времени, необходимо предъявить определенные требования к качеству обслуживания сети для обеспечения качественного и комфортного управления БПЛА. В данной статье было рассмотрено влияние качества обслуживания сети на качество восприятия пользователя в устройстве дополненной реальности при передаче видеоизображения с камеры летательного аппарата. По полученным результатам сделаем вывод, что в сети с минимальными задержками до 100 мс можно управлять квадрокоптером с помощью приложения дополненной реальности без потери качества восприятия и управления.

В дальнейшем, можно продолжить исследование в области влияния качества обслуживания сети на отклик квадрокоптера (тактильный интернет) при управлении с помощью приложений ДР, а также рассмотреть приложения ДР в качестве метода управления другими различными робототехническими системами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов: N15-07-09431a «Разработка принципов построения и методов самоорганизации для летающих сенсорных сетей» и N16-37-00209 «Разработка принципов интеграции технологии дополненной реальности и Интернета Вещей».

Литература

1. Вырелкин А. Д., Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В. Исследование возможности применения беспилотного летательного аппарата в качестве временного головного узла кластеров наземной сенсорной сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 1 (9). С. 27–34. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
2. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с. ISBN 978-5-86983-318-1.
3. Алексеева Д. Д., Маколкина М. А. Обзор технологии дополненной реальности // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 101–110. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>
4. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
5. Маколкина М. А. Взаимосвязь субъективных оценок качества восприятия видео и значений параметра Хёрста // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 1.1. С. 169–172. URL: <http://www.sbook.ru/suit/contents/140101ps.pdf>
6. Киричек Р. В., Владыко А. Г., Захаров М. В., Кучерявый А. Е. Модельные сети для Интернета Вещей и программируемых сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 3 (11). С. 17–26. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>
7. Kirichek, R., Vladyko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), 2016. PP. 76–79.
8. Kirichek R., Koucheryavy A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 348. pp. 485–494.



9. Маколкина М. А., Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В. Параметр Хёрста как средство выявления аномальных изменений при передаче видео трафика // II Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». СПб. : СПбГУТ, 2013. С. 158–162. URL: http://sut.ru/doci/nauka/sbornic_confsut_2013_no_copy.pdf

References

1. Vyrelkin, A. D., Koucheryavy, A. E., Prokopiev, A. V. Research Applications Unmanned Aerial Vehicles as a Temporary // Telecom IT. 2015. No. 1 (9). pp. 27–34. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
2. Koucheryavy, A. E., Prokopiev, A. V., Koucheryavy, E. A. Self-Organizing Networks. SPb. : Lubavich, 2011. 312 p. ISBN 978-5-86983-318-1.
3. Alekseeva, D. D. Makolkina, M. A. A Survey of Augmented Reality // Telecom IT. 2015. No. 2 (10). pp. 101–110. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>
4. Koucheryavy, A. E., Makolkina, M. A., Kirichek, R. V. Tactile Internet. Ultra Low Latency Communication Networks // Electrosvyaz'. 2016. No. 1. pp. 44–46.
5. Makolkina, M. A. Interrelationship of Subjective Perception of the Video Quality and Hurst Parameter // Sistemy upravleniya i informacionnye tehnologii. 2014. No. 1.1. pp. 169–172. URL: <http://www.sbook.ru/suit/contents/140101ps.pdf>
6. Kirichek, R. V., Vladyko, A. G., Zakharov, M. V., Koucheryavy A. E. Model Networks for Internet of Things and SDN // Telecom IT. 2015. No. 3 (11). pp. 17–26. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>
7. Kirichek, R., Vladyko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model networks for internet of things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2016. pp. 76–79.
8. Kirichek, R., Koucheryavy, A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 348. pp. 485–494.
9. Makolkina, M. A., Prokopiev, A. V., Koucheryavy, A. E. Hurst Parameter as a means to Identify Abnormal Changes in the Transmission of Traffic Video // II International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference: Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education. SPb: SPbSUT, 2013. pp. 158–162. URL: http://sut.ru/doci/nauka/sbornic_confsut_2013_no_copy.pdf

Маколкина

Мария Александровна

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, makolkina@list.ru

Тельтевская

Валерия Александровна

– магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, valeria-telt@yandex.ru

Кулик Вячеслав Андреевич

– ассистент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, vaklicr@gmail.com

Киричек Руслан Валентинович

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, kirichek@sut.ru

Makolkina Maria

– Ph.D., assistant professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, makolkina@list.ru

Teltevskaya Valeria

– undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, valeria-telt@yandex.ru

Kulik Vyacheslav

– assistant, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, vaklicr@gmail.com



Kirichek Ruslan

– Ph.D., assistant professor, SPbSUT, St. Petersburg,
193232, Russian Federation, kirichek@sut.ru

©СПбГУТ, 2016. ©Автор(ы) статьи, 2016. Ссылка на первоисточник обязательна
Неисключительные права на все материалы, опубликованные в настоящем журнале принадлежат СПбГУТ.
Воспроизведение, копирование, распространение возможно при наличии письменного разрешения от СПбГУТ.
По вопросам приобретения неисключительных прав и использования журнала обращайтесь itt@spbгут.ru.

