

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы
Березкина Александра Александровича

«Разработка и исследование комплекса моделей и методов по уменьшению задержки информационных потоков при взаимодействии с беспилотными системами в гибридных орбитально-наземных сетях связи»
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность исследования определяется необходимостью применения беспилотных систем за пределами зоны прямой радиовидимости с использованием гибридных сетей связи, включающих наземные и спутниковые сегменты. FPV-взаимодействие основано на передаче оператору видеопотока и доставке команд управления в обратном направлении. Задержка этих потоков, потери данных и снижение качества восстановленного видеопотока ограничивают своевременность действий оператора. Для спутниковых каналов указанные ограничения усиливаются задержкой распространения и дефицитом пропускной способности. Поэтому разработка методов построения и оценки системы информационного обмена, уменьшающих влияние этих факторов, имеет существенное научное и прикладное значение.

Целью работы является уменьшение задержки информационных потоков при FPV-взаимодействии оператора с беспилотной системой в гибридной орбитально-наземной сети связи. Поставленная цель достигается совместным применением методов выбора архитектуры, моделирования каналов, обработки видеопотока и команд управления, а также многокритериальной оценки эффективности информационного обмена.

К основным результатам исследования относятся:

1. метод обоснования архитектуры системы информационного обмена для взаимодействия оператора с беспилотными системами на фрагменте гибридной орбитально-наземной сети связи, позволяющий учесть структуру гибридных орбитально-наземных сетей связи, в состав которых входит спутниковый сегмент, состоящий из спутниковых группировок космических аппаратов на геостационарной и низкой околоземной орбитах;
2. модели каналов информационного обмена беспилотных систем фрагмента гибридной орбитально-наземной сети связи, позволяющие установить зависимость между параметрами каналов информационного обмена и показателями эффективности их функционирования;
3. комплекс методов по уменьшению задержки передачи кадров FPV-видеопотока беспилотных систем на основе нейросетевого сжатия, позволяющий уменьшить задержку передачи цифрового FPV-видеопотока и требования к пропускной способности каналов информационного обмена фрагмента гибридной орбитально-наземной сети связи;
4. метод уменьшения задержки передачи FPV-видеопотока беспилотных систем на основе предсказания будущих кадров нейросетевой предсказательной моделью, позволяющий уменьшить задержку передачи цифрового FPV-

видеопотока с использованием нейросетевых видеокодеков в каналах информационного обмена фрагмента гибридной орбитально-наземной сети связи;

5. метод адаптивного сжатия команд взаимодействия оператора с беспилотными системами на основе нейросетевых автокодировщиков и помехоустойчивых кодов, позволяющий уменьшить требования к пропускной способности канала информационного обмена;

6. комплексная методика оценки эффективности функционирования системы информационного обмена при взаимодействии оператора с беспилотными системами на фрагменте гибридной орбитально-наземной сети связи, позволяющая оценить вероятность попадания значений показателей эффективности каналов информационного обмена в область заданных требований, и на основе ее оценки обосновать параметры системы информационного обмена.

Научная новизна результатов связана с учетом взаимного влияния характеристик видеопотока, команд управления и каналов разных сегментов гибридной сети. Получены зависимости вероятности достижения цели функционирования беспилотной системы от перцептивного качества восстановленного видеопотока, определены условия эффективного применения метода предсказания будущих кадров и обосновано использование контрольных карт Шухарта для высокодинамичного процесса изменения интенсивности видеокадров.

Практическая значимость работы подтверждается созданием протокола FPV-STVP, нейросетевых видеокодеков и программных средств передачи и восстановления кадров. Испытания проведены в сети 4G/LTE и спутниковых каналах с использованием космических аппаратов «Ямал-601» и «Благовест». По сравнению со стандартными видеокодеками задержка передачи видеопотока HD качества в геостационарном сегменте уменьшена в среднем на 78% при сокращении требуемой пропускной способности канала связи на 40%, а в сети 4G/LTE – на 20 % при сокращении пропускной способности канала связи на 53%. Предсказание кадров обеспечивает алгоритмическую компенсацию влияния задержки от 40 до 120 мс в зависимости от динамики видеоряда.

Автореферат отражает структуру и основные результаты диссертации. Вместе с тем по его содержанию имеются следующие замечания:

1. Метод предсказания будущих кадров уменьшает воспринимаемое оператором влияние задержки, но не сокращает физическое время прохождения сигнала по сети. В автореферате следовало яснее разграничить сетевую задержку и величину ее алгоритмической компенсации, а также указать порядок контроля достоверности прогноза при резком изменении сцены или траектории движения беспилотной системы.

2. В формуле (5), описывающей многомерную оценку плотности вероятности по методу Парзена–Розенблатта, не все индексы и параметры сглаживания определены непосредственно после выражения. Кроме того, для

компоненты DISTs приведено обозначение h_{PSNR} , хотя PSNR не входит в рассматриваемый вектор показателей, что требует редакционного уточнения.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертация Березкина Александра Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для страны в целом и для отрасли связи в частности. Диссертация соответствует критериям, установленным в п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв подготовил доктор технических наук, профессор, профессор Кафедры телекоммуникационных систем, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

29.09.2026

 Султанов Альберт Ханович

Докторская диссертация защищена по специальностям 05.13.01 – «Управление в технических системах» и 05.13.16 – «Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях»

Я, Султанов Альберт Ханович, даю согласие на обработку и включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой докторской диссертации Березкина А.А.

 Султанов А.Х.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Кафедра телекоммуникационных систем, 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32
Телефон: +7-903-310-0070, Электронная почта: sultanov.ah@mail.ru

