

Снижение задержки видеопотока при пилотировании беспилотных аппаратов от первого лица через гибридную сеть связи

Е.А. Нестеров, АО «РЕШЕТНЁВ», генеральный директор, к.э.н.; office@iss-reshetnev.ru

А.А. Березкин, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, доцент, к.т.н.; berezkin.aa@sut.ru

УДК 004.7+004.738.2: 004.738.5

DOI: 10.34832/ELSV.2025.70.8.001

Аннотация. Высокая задержка остается критической проблемой в спутниковом сегменте гибридной сети связи, особенно в таких приложениях реального времени, как видеостриминг. В данной работе предлагается новый метод снижения задержки передачи видеопотока при реализации услуги пилотирования беспилотными аппаратами от первого лица (first person view, FPV) с использованием нейронных сетей. Метод основан на предсказании кадров видеопотока на стороне получателя и «выкалывании» кадров на стороне беспилотного аппарата. Предложенный метод оценивается с помощью числовых и натурных экспериментов. Вводится аналитическая модель для вычисления задержки в спутниковых каналах с учетом задержек передачи и времени обработки предсказаний. Результаты показывают значительное снижение задержки с минимальными потерями качества кадров. Даны практические рекомендации по внедрению предсказания кадров в реальные спутниковые сегменты гибридной сети связи.

Ключевые слова: спутниковая связь, снижение задержки, предсказание кадров видеопотока, передача данных, MJPEG, гибридные сети связи, пилотирование от первого лица, беспилотный аппарат.

Для цитирования: Нестеров, Е.А. Снижение задержки видеопотока при пилотировании беспилотных аппаратов от первого лица через гибридную сеть связи / Е.А. Нестеров, А.А. Березкин // Электросвязь. – 2025. – № 8. – С. 2-16.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время беспилотные аппараты (БПА) активно применяются в таких сферах, как строительство, чрезвычайные ситуации, экологический мониторинг, сбор данных в беспроводных сенсорных сетях [1, 2]. В случаях когда автономное выполнение задания затруднено, активно применяется пилотирование БПА от первого лица. При FPV-пилотировании БПА на основе видеопотока, который передаётся от БПА к оператору, принимаются решения по управлению БПА (рис. 1). От корректности данных решений зависит вероятность достижения цели задания. При пилотировании БПА необходимо точно идентифицировать БПА для управления [3]. БПА можно разделить на следующие типы: БЭК (безэкипажный катер), БПЛА (беспилотный летательный аппарат), МРК (мобильный роботизированный комплекс), БС (беспилотная система) общего назначения. На рис. 1 представлен фрагмент гибридной орбитально-наземной сети связи (ГОНСС) для управления БПА различного назначения, где наземный сегмент представлен в виде мобильной сети связи, а взаимодействие с БПА через космический сегмент осуществляется с помощью центральной станции спутниковой связи (ЦССС) через спутниковые группировки, находящиеся на низкой околоземной (НОО) и геостационарной (ГСО) орбитах.

Как известно, FPV-пилотирование БПА по радиоканалу имеет ограниченную дальность применения. При этом пилотирование через мобильные сети связи ограничено зоной покрытия такими сетями. Например, только около 20% территории Российской Федерации покрыто мобильными сетями связи. Согласно Стратегии развития отрасли связи до 2035 года, утверждённой постановлением Правительства РФ от 24 ноября 2023 г. №3339-р, ГОНСС смогут обеспечить возможность FPV-пилотирования на всей территории Российской Федерации. Системы спутниковой связи [4] являются основой современной телекоммуникации, обеспечивая глобальное соединение для различных приложений, включая видеостриминг [5], сети интернета вещей и дистанционное зондирование.

Каждый кадр видеопотока отражает некоторую ситуацию на некоторый момент времени. При этом корректность решений по управлению БПА зависит от соответствия ситуации, которая отражена на кадрах видеопотока, текущей ситуации. Несоответствие данных ситуаций возникает из-за задержки видеопотока. Большое время, необходимое для распространения сигнала в космическом сегменте ГОНСС, приводит к большим задержкам видеопотока.

Традиционные методы снижения задержки часто сосредотачиваются на оптимизации маршрутиза-