

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБМЕНА ДАНЫМИ В СЕТЕВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

С.В. Павлова, Ю.П. Богачук, С.В. Мельников,  
А.Ю. Господарчук

*Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины*

Рассмотрены подходы к организации надежного канала обмена данными в сетевых системах для управления удаленным динамическим объектом в реальном масштабе времени. Проанализировано влияние сетевых задержек в различных архитектурах распределенной системы управления летательным аппаратом при решении задачи расхождения. Учет указанных рекомендаций по организации передачи информации в распределенных сетевых структурах позволяет достичь существенного улучшения качества процесса управления удаленным динамическим объектом.

**Ключевые слова:** сеть, сетевой протокол, удаленное управление, обмен данными, прямая коррекция ошибок, распределенная система управления, управление летательным аппаратом, управление скоростными циклами.

Розглянуто підходи до організації надійного каналу обміну даними в мережевих системах для управління віддаленим динамічним об'єктом в реальному масштабі часу. Проаналізовано вплив мережевих затримок в різних архітектурах розподіленої системи управління літальним апаратом при вирішенні задачі розходження. Врахування вказаних рекомендацій з організації передачі інформації в розподілених мережевих структурах дозволяє досягти суттєвого покращення якості процесу керування віддаленим динамічним об'єктом.

**Ключові слова:** мережа, мережевий протокол, віддалене керування, обмін даними, пряма корекція помилок, розподілена система керування, керування літальним апаратом, керування швидкісними циклами.

### ВВЕДЕНИЕ

Существующие в настоящее время системы связи, навигации, наблюдения, организации воздушного движения (ОВД), имеющие локальную зону действия, несмотря на большие поля распределенных источников радионавигационной информации связи и наблюдения, ограничены в повышении безопасности и эффективности использования авиации в отдельных зонах воздушного пространства земного шара. Именно по этой причине перспективным средством дальнейшего расширения использования воздушного пространства и обеспечения безопасности полетов в зонах земного шара, недоступных для оснащения традиционными средствами, является внедрение спутниковой системы связи, навигации и наблюдения.

Потребность в кардинальном усовершенствовании систем связи (Communication), навигации (Navigation), наблюдения (Surveillance), управления (Air Traffic Control) и организации воздушного движения (Air Traffic Management) — CNS/ATC/ATM — многократно рассматривалась Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) [1].

Традиционная сеть авиационной электросвязи (АТН) объединяет спутниковую, ДКМВ, МВ, ДМВ подсети обмена данными, а также подсети передачи данных режима S вторичной радиолокации и шлюзов наземной сети. В настоящее время становится очевидным, что традиционный подход, при котором для каждого типа услуг строится отдельная сеть, исчерпал себя. Альтернативой этому подходу является организация мультисервисных сетей. Мультисервисная сеть представляет собой телекоммуникационную структуру, которая позволяет оказывать пользователям разнообразные услуги связи, различающиеся как по качественным, так и по количественным характеристикам. Именно такое решение позволит отказаться от многочисленных дублирующих друг друга сетей.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

В основе функционирования современных вычислительных сетей лежат методы пакетной передачи и коммутации, которые реализованы на основе преобразования любого вида информации в цифровые последовательности с последующим разделением этой последовательности на пакеты, снабженные всей необходимой информацией для их идентификации, маршрутизации, коррекции ошибок. Такой подход позволяет в едином информационном русле передавать все виды информации, использовать для передачи информации различные пути и различные средства, применять универсальные средства коммутации, инвариантные относительно всех видов информации. В этом контексте вычислительная среда может рассматриваться как некоторая универсальная среда для распространения информации.

Далее будет проанализирована возможность использования существующих сетевых протоколов и каналов связи для организации удаленного управления пилотируемыми и беспилотными летательными аппаратами. Авторы не затрагивают общие принципы организации удаленного управления, рассмотренные ранее [2].

В качестве примера практической задачи удаленного управления подвижным объектом исследовалась задача траекторного управления движением летательного аппарата (ЛА).

**Цель работы** — проанализировать возможность использования существующих сетевых протоколов и каналов с целью выработки рекомендаций по организации передачи информации в распределенных сетевых структурах и оценить влияние сетевых задержек на качество удаленного управления подвижным объектом на примере задачи управления траекторным движением ЛА.

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ЗАДЕРЖЕК И ПОТЕРЬ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОКАНАЛОВ

Сетевая модель OSI (Open Systems Interconnection basic reference model — базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем) выделяет семь уровней, на которых могут строиться и работать сетевые протоколы: прикладной, представительский, сеансовый, транспортный, сетевой, канальный и физический. Задержки передачи данных в канале связи могут иметь различную природу в зависимости от типа канала связи и возникать на разных уровнях.

Для радиоканалов передачи данных характерны задержки, вызванные помехами передачи данных в протоколах физического и канального уровня. Причинами помех могут являться: индустриальные объекты (высоковольтные линии электропередач, трансформаторные подстанции, электросварочное оборудование и др.); атмосферные шумы, вызванные грозowymi разрядами; интерференционные помехи, связанные с проблемой распределения частот; помехи, связанные с отголосками сигналов соседних частот; шумы, возникающие при наличии вторичных ретрансляторов (например, металлический лом, балки, контуры). Дополнительную сложность вызывает организация радиоканала для движущегося объекта. Радиоволны дециметрового диапазона, наиболее часто используемые для передачи данных, например в мобильной связи, распространяются преимущественно по прямой (слабо огибают препятствия), но при этом могут часто отражаться от различных препятствий и поверхности Земли. В таком случае говорят о многолучевом распространении сигнала. Результатом многолучевого распространения является более быстрое затухание радиосигнала, а также искажения, вызванные взаимной интерференцией отдельных лучей.

При анализе затухания уровня принимаемого радиосигнала выделяют две составляющие: быструю и медленную. Медленные замирания подчиняются логарифмически нормальному закону распределения. Интенсивность медленных флуктуаций не превышает 5–10 дБ. Быстрые замирания — результат многолучевого распространения радиосигнала. Они описываются релеевским законом распределения. Можно сказать, что затухание радиосигнала в канале связи является медленным замиранием (вследствие изменения среднего уровня сигнала при перемещении приемника сигнала), на которое накладываются быстрые замирания вследствие многолучевого распространения сигнала.

В качестве способа снижения уровня помех в радиоканале передачи данных может рассматриваться использование направленных секторных антенн с узкими диаграммами направленности. Для борьбы с быстрым затуханием и межсимвольной интерференцией вследствие многолучевого распространения может использоваться помехоустойчивое канальное кодирование — блочное и сверточное кодирование, а также перемежение.

Также для передачи данных в радиоканале может совместно использоваться несколько радиосигналов, различающихся (разнесенных) по какому-либо параметру или координате. При этом параметры выбираются

таким образом, чтобы снизить до минимума вероятность одновременного замирания всех сигналов.

### **ЗАДЕРЖКИ И ПОТЕРИ ДАННЫХ В СЕТЯХ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ**

Рассматривая работу коммуникационных протоколов на сетевом уровне, следует анализировать задержки, возникающие в процессе передачи информационных пакетов по сети. Существенными видами задержек являются задержка узловой обработки, задержка ожидания, задержка передачи и задержка распространения.

Задержки узловой обработки связаны с работой маршрутизатора. Время задержки ожидания зависит от числа пакетов, находящихся в очереди маршрутизатора и может значительно варьироваться от маршрутизатора к маршрутизатору в процессе прохождения пакета по пути от отправителя к получателю.

Задержка передачи — это суммарное время, требуемое для передачи маршрутизатором пакета по линии связи. Это время пропорционально скорости передачи по линии связи и размера пакета и не зависит от длины линии связи. Задержки передачи могут быть самым существенным видом задержек для низкоскоростных модемных соединений.

Задержка распространения — это время, требуемое на передачу бита информации по линии связи. Это время прямо пропорционально длине линии связи и зависит от физических свойств передающей среды. В современных оптоволоконных сетях скорость распространения сигнала близка к скорости света. Задержка распространения существенна для спутниковых линий связи и может превышать все остальные виды задержек.

Задержка ожидания — наиболее сложный вид задержки, к тому же это единственный вид задержки, который может иметь разные значения для разных пакетов. Можно выделить три основных фактора, влияющие на величину задержки ожидания: частоту получения пакетов, скорость передачи выходной линии связи и закон распределения получаемых пакетов во времени.

Для передачи данных реального времени в локальных и глобальных вычислительных сетях (например, при управлении динамическими процессами в реальном времени), как правило, используется протокол RTP — Real Time Protocol. RTP протокол обеспечивает упорядочивание и обработку пакетов в случае ненадежных соединений, в частности реализует процедуры восстановления цифрового потока в приемном устройстве, используя нумерацию пакетов и временные метки, определяющие начало декодирования пакетов данных.

Для расчета вероятностно-временных характеристик мультисервисных сетей, удобно разделить генерируемый различными услугами трафик на два типа: синхронный трафик, требующий передачи данных между абонентами в реальном времени (например, телеметрия, информационные и управляющие сигналы, телефония, видео- и радиолокационная информация); асинхронный трафик, не требующий реального времени (электронная почта, передача файлов).

Асинхронный и синхронный виды трафика существенно отличаются и еще в одном важном отношении — чувствительности к потере пакетов. Асинхронный трафик очень чувствителен к таким потерям. Потеря же одного замера данных не очень заметно сказывается на качестве воспроизводимого сигнала, так как инерционный характер физических процессов приводит к тому, что два последовательных замера незначительно отличаются друг от друга, поэтому воспроизводящему устройству не составляет труда восстановить, хотя и приблизительно, потерянную информацию.

Для уменьшения сетевых задержек применяется приоритетная обработка пакетов синхронного трафика. Однако даже при приоритетной обработке пакеты синхронного трафика могут задерживаться в коммуникационных устройствах, так как в них можно реализовать только алгоритмы обработки с относительными приоритетами, а не с абсолютными. При этом в сегментах разделяемых сред высокоприоритетный пакет должен ждать не только завершения передачи низкоприоритетного пакета, но и освобождения разделяемой среды. В некоторых новых протоколах предусмотрен механизм приоритетного предоставления доступа к среде. Приоритетное предоставление доступа к разделяемой среде намного уменьшает задержки доставки пакетов к узлу назначения.

Международный союз электросвязи рекомендовал при построении мультисервисных сетей использовать концепцию широкополосной цифровой сети с интеграцией служб, представляющую собой сеть пакетной коммутации по виртуальным каналам. Процедура организации виртуального канала включает в себя установление соединения. Сети с установлением соединения имеют один недостаток — устройства не могут просто передавать пакеты, они обязательно должны сначала установить соединение. Однако такие сети имеют и ряд преимуществ, в частности, могут гарантировать данному соединению определенную часть полосы пропускания. Сети без установления соединения, в которых устройства просто передают пакеты по мере их получения, не могут гарантировать полосу пропускания.

Основными параметрами, влияющими на качество предоставляемого обслуживания, являются: задержка при передаче пакетов, вариация этой задержки и уровень потерь пакетов.

Для передачи трафиков асинхронного типа выгоднее всего использовать пакеты большой длины, т.к. в этом случае передается меньше служебной информации, что повышает коэффициент использования канала связи. Единственное, что ограничивает максимальные размеры пакета, это наличие ошибок в канале связи. Для передачи трафиков синхронного типа использовать пакеты больших размеров нельзя вследствие того, что время передачи пакета прямо пропорционально его длине, а это увеличивает задержки при передаче трафиков синхронного типа.

Количество промежуточных узлов в сети существенным образом влияет на задержку в передаче трафиков синхронного типа абонентами. Передача же трафиков асинхронного типа с большим количеством промежуточных узлов (что характерно для глобальных сетей) не оказывает существенного влияния на качество предоставляемых услуг.

При передаче по сети данных реального времени типичные диапазоны задержек составляют: кодирование — 20–45 мс; задержка процессов при входе в сеть — 15–25 мс; доступ к сети — 1–8 мс; задержка на передачу по сети — 20–200 мс; выход из сети — 1–8 мс; задержка процессов при выходе из сети — 15–25 мс; компенсирующий буфер — 20–225 мс; декомпрессия — 15 мс. А общая типичная задержка передачи данных составляет 100–550 мс.

Процент потерянных пакетов может значительно меняться со временем для одного и того же канала связи. Если в качестве транспортного протокола используется TCP, то, в случае потери пакета, он должен будет послать его через сеть заново. Но для того, чтобы принять решение о повторной посылке, нужно дождаться уведомления от приемной стороны, что очередной пакет не получен. И тут на первый план выходит такой параметр сети, как задержка сигнала. Чем она больше, тем дольше передающая сторона будет в неведении и тем медленнее будет происходить передача информации. Показано [3], что основная потеря в скорости передачи в канале с типовой для WAN задержкой 50–100 мс, происходит при еще вполне, казалось бы, незначительном проценте потерь: 1–2 %.

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ПАКЕТОВ**

Одним из возможных методов борьбы с проблемой потерь пакетов является использование технологий Forward Error Correction (FEC), суть которых состоит в использовании специальных методов кодирования с добавлением избыточной (дополнительной) информации. Такое кодирование позволяет исправлять некоторые ошибки и восстанавливать небольшие фрагменты потерянной информации. Проблема в том, что подобные технологии применяются, как правило, только на физическом уровне канала передачи данных и не могут устранить потери информации, связанные с перегрузками в сети, динамическими перестроениями топологии и т.д. Компанией Silver Peak предложено [3] использовать технологию FEC на канальном уровне, создавая виртуальный канал между двумя устройствами, в котором поддерживается и адаптивно подстраивается некоторое количество избыточных пакетов. Избыточный пакет позволяет восстановить потерянный регулярный пакет в приемном устройстве.

В [3] рассмотрен вопрос эффективности применения FEC для устранения потерь пакетов. Показано, что даже незначительный процент избыточности (1:10 FEC и 1:5 FEC) значительно увеличивает скорость передачи данных в канале при заданном проценте вероятности потери пакетов в канале. При этом при вероятности потери пакета 2 % и менее скорость передачи данных увеличивается в несколько раз (например, при передаче файлов большой длины по сети с типичным процентом потерь пакетов 0,1 % может быть достигнуто 15-кратное увеличение скорости передачи за счет использования технологии FEC).

Другим перспективным решением, направленным на борьбу с потерей пакетов, является новый экспериментальный сетевой протокол QUIC (Quick UDP Internet Connection, быстрое интернет-соединение через UDP), разрабатываемый компанией Google [4]. Протокол поддерживает набор

уплотненных соединений через UDP, обеспечивая при этом безопасность на уровне SSL/TLS. QUIC предполагает оценку пропускной способности для предотвращения перегрузок, после чего будет задан темп передачи пакетов для уменьшения вероятности потери пакетов. Протокол также использует встроенные в пакеты коды коррекции, которые должны позволить восстанавливать пакеты, пришедшие с ошибками, без потребности инициировать повторную передачу пакетов. Заложенные в пакеты криптографические блоки содержат необходимые инструменты, предусматривающие вероятность потери пакета при передаче.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕТЕВЫХ ЗАДЕРЖЕК НА ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Для исследования влияния стандартных сетевых задержек на практические задачи удаленного управления подвижными объектами была выбрана задача траекторного управления движением летательного аппарата (ЛА). Исследовалось совместное движение двух ЛА, каждый из которых выполнял собственное полетное задание (движение по заданному маршруту с переменным профилем полета по высоте). При этом для предотвращения столкновений и опасных сближений в воздухе моделировалась работа система TCAS II [5].

В процессе моделирования при отсутствии угроз столкновения управление высотой полета, боковым движением и скоростью полета ЛА, реализующее полетное задание (т.е. движение по заданному маршруту с переменным профилем полета по высоте) выполняется автопилотом. Во время моделирования совместного движения ЛА модель системы TCAS II контролирует расстояние между ЛА, скорость сближения, относительную высоту и относительную вертикальную скорость. В случае определения угрозы опасного сближения модель системы TCAS II формирует команды скорости набора высоты или скорости снижения.

Структурная организация системы управления ЛА, обеспечивает, благодаря присущим ей свойствам активности и функционального гомеостаза, последовательное решение одноцелевых задач при условии существования полностью управляемых состояний системы.

Современный уровень развития сетевых технологий позволяет использовать компьютерные сети с пакетной передачей информации для реализации распределенных в пространстве интегрированных навигационных систем интеллектуального управления ЛА. В этом случае система управления ЛА находится вдалеке от летательного аппарата, обмен данными между летательным аппаратом и системой управления осуществляется по сетям WAN. В такой схеме сети WAN также используются для получения информации о встречных ЛА, погодных условиях и пр.

Основными параметрами, влияющими на качество работы такой распределенной в навигационной компьютерной сети системы управления ЛА, являются величина задержки, смещающая во времени пакеты данных при передаче их в систему управления ЛА, и величина задержки, смещающая

во времени пакеты команд управления при передаче их на ЛА. Влияние этих задержек особенно сказывается на тех процессах управления воздушным движением, у которых необходимое время дискретизации данных процесса управления ЛА меньше задержек передачи пакетов в компьютерной сети.

Была предложена инвариантная к временным задержкам структурная организация распределенной в сети системы управления ЛА [6], позволяющая значительно повысить качество и устойчивость работы распределенной в навигационной компьютерной сети системы управления ЛА в широком диапазоне задержек передачи пакетов данных. При этом распределенная вычислительная среда включает в себя моделирующий комплекс, который, в свою очередь, содержит модели управляемого летательного аппарата, его бортовой системы управления и внешней среды. Второй важной частью распределенной вычислительной среды является модуль выработки траекторий и алгоритмов управления.

В процессе моделирования анализ характера совместного движения ЛА основывается на численном решении во временной области систем дифференциальных уравнений, описывающих движение летательных аппаратов при заданных начальных условиях с частотой дискретизации данных 50 мс. Задержка пакетов данных в навигационной компьютерной сети при передаче их в систему управления ЛА варьировалась в диапазоне 50–550 мс. Задержка пакетов команд управления при передаче их от системы управления на ЛА во время моделирования также варьировалась в диапазоне 50–550 мс, т.е. суммарная задержка передачи пакетов данных и пакетов команд варьировалась в диапазоне 100–1100 мс.

В процессе моделирования исследовалась работа трех систем управления ЛА: первая — тестовая (локально расположенная без передачи пакетов по компьютерной сети) система управления ЛА; вторая — распределенная в компьютерной сети система управления ЛА аналогичная тестовой, но с задержками передачи пакетов данных и пакетов команд управления по сети; третья — инвариантная к временным задержкам передачи пакетов данных распределенная в компьютерной сети система управления ЛА.

Работа каждой из трех систем управления движением ЛА исследовалась в широком спектре начальных условий для выполнения задач управления движением ЛА в различных видах потенциально опасных ситуаций: движение ЛА на встречных или попутных уровнях по одной трассе; движение ЛА с пересечением встречных или попутных уровней; движение ЛА с набором высоты в одном направлении; движение ЛА со снижением высоты в одном направлении; движение ЛА с набором высоты на встречных курсах; движение ЛА со снижением высоты на встречных курсах; движение ЛА со снижением и набором высоты на пересекающихся курсах.

По результатам моделирования проводилось сравнение качества работы второй и третьей распределенных систем управления ЛА с первой тестовой локальной системой управления ЛА. Для оценки качества работы второй и третьей распределенных систем управления ЛА использовались максимальные абсолютные значения отклонений оцениваемых параметров от аналогичных параметров первой тестовой локальной системой управления ЛА в каждой исследуемой задаче управления движением ЛА. Полученные

результаты экспериментов усреднялись по всей серии исследуемых задач управления движением ЛА. Оценка качества работы второй и третьей распределенных систем управления ЛА производилась по координатам, скоростям и ускорениям.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные по результатам экспериментальных исследований значения ошибок работы по координатам, скоростям и ускорениям второй и третьей распределенных систем управления ЛА показаны на рис. 1–3.

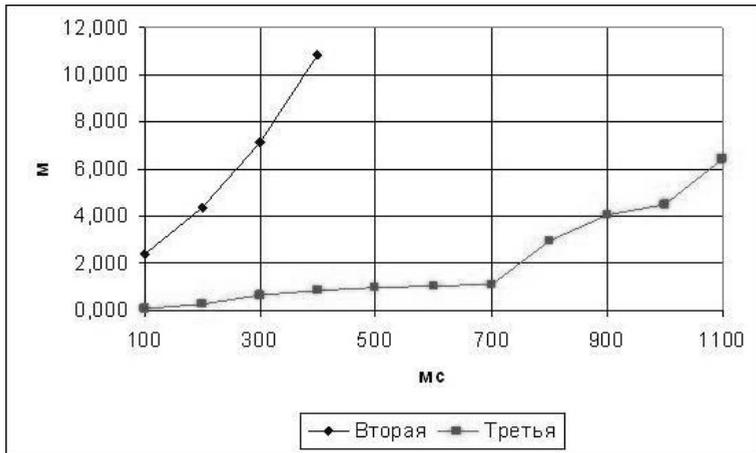


Рис. 1. Величины ошибок работы системы управления ЛА по координатам (м)

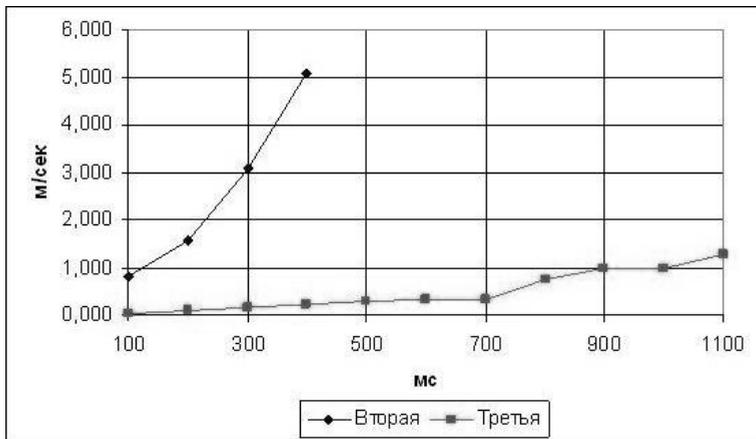


Рис. 2. Величины ошибок работы системы управления ЛА по скорости (м/сек)

Результаты проведенных исследований показали, что качество работы второй, распределенной в компьютерной сети системы управления ЛА, неудовлетворительно даже при наличии суммарных задержек передачи пакетов данных и пакетов команд в пределах 200–300 мс, а при суммарных задержках передачи пакетов данных и пакетов команд, больших 400 мс, эта система управления не достигает целей управления.

В тоже время результаты исследований работы третьей инвариантной к временным задержкам передачи информации распределенной системы

управления ЛА показали, что эта система обеспечивает качество управления сопоставимое с качеством работы тестовой локальной системы управления ЛА при наличии наиболее типичных для реальных сетей суммарных сетевых задержек передачи пакетов данных и пакетов команд в диапазоне 100–700 мс.

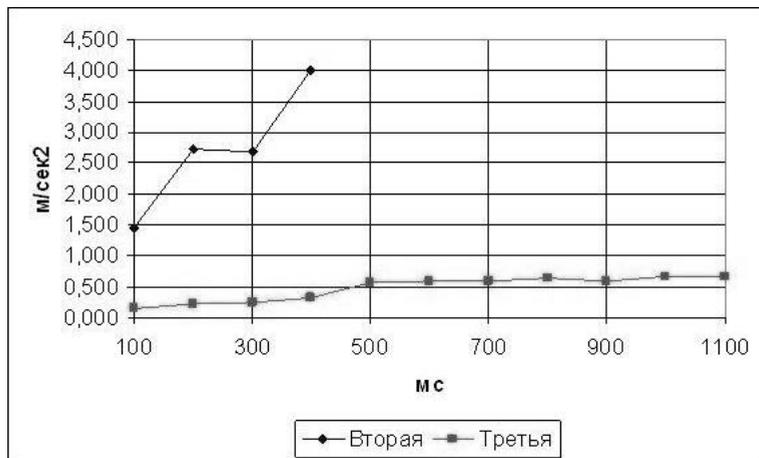


Рис. 3. Величины ошибок работы системы управления ЛА по ускорению (м/сек за сек)

Кроме того, третья инвариантная к сетевым задержкам передачи пакетов данных и пакетов команд распределенная система управления ЛА позволила при незначительном снижении качества все же достигнуть целей управления движением ЛА по заданному маршруту с переменным профилем полета по высоте и предотвратить опасные сближения ЛА для всего спектра начальных условий движения ЛА в расширенном диапазоне задержек передачи пакетов данных и пакетов команд в пределах 700–1 100 мс.

## Выводы

Для эффективного функционирования систем управления с распределенными информационными и исполнительными ресурсами в разнородных навигационных сетях и при использовании системных средств, удаленных относительно объекта управления, требуется комплексное целостное рассмотрение всех элементов процессов управления и учет следующих рекомендаций: распределение управляющей информации по значимости относительно целей управления и допустимых задержек при ее передаче; определение спецификации протоколов передачи данных для различных типов информации; определение целесообразности использования различных каналов и маршрутов передачи информации; установка приоритетов значимости данных и последовательности их передачи в структурах передачи информации; создание структур, обеспечивающих дублирование или избыточность передаваемых данных при организации трафика передаваемой информации; определение структуры распределения частей системы и объекта управления в зависимости от возможных интервалов задержек сигналов управления.

Как показано в приведенных ранее данных комплексное использование указанных рекомендаций позволяет на порядок повысить эффективность передачи управляющей информации в распределенных сетевых структурах (например, при передаче файлов большой длины по сети с типичным процентом потерь пакетов 0,1 % может быть достигнуто 15-кратное увеличение скорости передачи за счет использования технологии FEC).

Кроме учета общесистемных требований при передаче информации могут быть использованы и дополнительные возможности организации управляющих структур, которые учитывают разработанные способы для управления скоростными динамическими процессами и структуры распределения средств управления на объекте и системе управления, что позволяет дополнительно в разы улучшить управление динамическим объектом.

Одновременное применение разработанных способов управления скоростными динамическими процессами и применение предлагаемых рекомендаций по организации передачи информации в распределенных сетевых структурах позволяет достичь существенного улучшения качества процесса управления удаленным динамическим объектом.

1. Doc 9750-AN/963, 2013–2028 Global Air Navigation Plan. — International Civil Aviation Organization, 2013. — 128 p.
2. Мельников С.В. Закономерности организации сложных эргатических систем и построение структуры комплексов удаленного управления динамическими объектами / С.В. Мельников // Кибернетика и вычисл. техника. — 2012. — № 168. — С. 70–79.
3. Taking Forward Error Correction (FEC) To The Next Level. Silver Peak [Official website]. White Paper. Available at: [https://www.silver-peak.com/sites/default/files/infectr/silver-peak\\_wp\\_fec.pdf](https://www.silver-peak.com/sites/default/files/infectr/silver-peak_wp_fec.pdf) (accessed 4 June 2014).
4. QUIC: Design Document and Specification Rational. Google Documents [Official website]. Available at: [https://docs.google.com/document/d/1RNHkx\\_VvKWyWg6Lr8SZ-saqsQx7rFV-ev2jRFUoVD34/edit](https://docs.google.com/document/d/1RNHkx_VvKWyWg6Lr8SZ-saqsQx7rFV-ev2jRFUoVD34/edit) (accessed 4 June 2014).
5. Airworthiness and Operational Approval of Traffic Alert and Collision Avoidance Systems (TCAS II) and Mode S Transponders. — U.S. Dept. of Transport. Federal Aviation Administration, 2002. — 51 p.
6. Способ и устройство для компьютерных сетей управления скоростными циклами прикладных процессов: пат. 83118 Украина: МПК (2006), H04L 12/66, G05B 15/02, G05B 17/00 / В.В. Павлов, С.В. Павлова, Ю.П. Богачук; Заявлено 08.09.2006; Опубл. 10.06.2008 // Промислова власність. — 2008. — № 11.

Получено 05.06.2014