

УДК 528.02

EDN [EJVQWK](#)



К вопросу организации обмена информацией для устойчивости спутниковых геодезических сетей

Р.Б. Ковалев¹, Д.И. Ковалев^{2,3*}, Т.П. Черкасова³, В.А. Подоплелова^{2,4}

¹АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева, Железногорск, Россия

²Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

³Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия

⁴Сочинский государственный университет, Сочи, Россия

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Аннотация. В статье с учетом обзора структурных элементов геодезических сетей различных типов рассматривается перспективный метод использования мобильных пунктов мониторинга и управления для спутниковых геодезических сетей. Данный метод обеспечивает повышение надежности и устойчивости орбитальной группировки. При его реализации уделяется особое внимание вопросам геодезической привязки антенн мобильных пунктов мониторинга и управления и эффективной организации обмена данными. Рассмотрены методы обмена данными. Приведены характеристики временной организации связи с абонентами и варианты организации обмена. Рекомендован предпочтительный вариант обмена. Отмечается, что перспективной задачей является всесторонний анализ алгоритмов решения задач управления с целью учета потока данных большой информативной емкости. В статье отмечается, что вопросы создания инструментальных средств для разработки программного обеспечения мобильных пунктов мониторинга и управления для спутниковых геодезических сетей остаются открытыми и требуют дальнейших исследований и решений

Ключевые слова: спутниковая геодезическая сеть, мобильный пункт, обмен данными, метод, управление.

On the organization of information exchange for the stability of satellite geodetic networks

R.B. Kovalev¹, D.I. Kovalev^{2,3*}, T.P. Cherkasova³, V.A. Podoplelova^{2,4}

¹JSC «ISS – Reshetnev Company», Zheleznogorsk, Russia

²Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

³Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia

⁴Sochi State University, Sochi, Russia

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Abstract. In the article, taking into account the review of the structural elements of geodetic networks of various types, a promising method of using mobile monitoring and control stations for satellite geodetic networks is considered. This method provides an increase in the reliability and stability of the orbital constellation. During its implementation, special attention is paid to the issues of geodetic referencing of antennas of mobile monitoring and control points and the effective organization of data exchange. Methods of data exchange are considered. The characteristics of the temporary organization of communication with subscribers and options for organizing the exchange are given. Preferred exchange option recommended. It is noted that a promising task is a comprehensive analysis of algorithms for solving control problems in order to take into account the data flow of large informative capacity. The authors note that the issues of creating tools for developing software for mobile monitoring and control points for satellite geodetic networks remain open and require further research and solutions.

Keywords: satellite geodetic network, mobile point, data exchange, method, control.

1. Введение

Обзор работы [1] позволяет охарактеризовать существующую структуру Государственной геодезической сети (ГГС) России. ГГС объединяет в одно целое следующие сети астрономо-геодезические пункты космической геодезической сети (АГП КГС) на территории бывшего СССР; доплеровскую геодезическую сеть (ДГС); астрономо-геодезическую сеть (АГС) 1 и 2 классов; геодезические сети сгущения (ГСС) 3 и 4 классов.

Пункты указанных компонентов структуры ГГС, как правило, совмещены или имеют между собой надежные геодезические связи [1-4]. Космическая геодезическая сеть предназначена для задания общеземной геоцентрической системы координат [5]. Доплеровская геодезическая сеть предназначена для распространения общеземной системы координат на территории стран СНГ [6]. Астрономо-геодезическая сеть предназначена для задания референционной системы координат и доведения общеземной системы координат до потребителей [7-9].

Для повышения надежности и устойчивости орбитальной группировки космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС уделяется особое внимание вопросу геодезической привязки антенн мобильных пунктов мониторинга и управления. Определение и прогноз параметров движения навигационного космического аппарата (НКА) осуществляет Баллистический центр (БЦ) системы на основе результатов траекторных измерений дальности и радиальной скорости НКА, поступающих от сети наземных радиотехнических командно-измерительных станций (КИС). Как правило, модернизации наземного комплекса управления (НКУ) заключается в повышении точностных характеристик командных систем, создании сети беззапросных измерительных систем, улучшения инфраструктуры НКУ и эффективной организации обмена данными.

Отметим, что для функционирования СРНС ГЛОНАСС используются штатные измерительные средства НКУ. Эти измерительные средства позволяют решать задачи управления навигационной системой. В настоящее время парк штатных измерительных средств НКУ ГЛОНАСС достаточно широк: радиотехнические дальномерные системы и квантово-оптические системы. Для осуществления функций контроля и управления при помощи этих измерительных систем необходимо выполнить их геодезическую

привязку к соответствующей системе координат с относительно небольшой погрешностью [10-12].

2. Методы организации обмена данными

Процесс организации обмена информации между НКУ и абонентами сети, включая мобильные пункты мониторинга и управления, базируется на использовании в различных сочетаниях типов, видов и режимов обмена с учетом требуемых временных соотношений и приоритетов данных [13-14].

Тип обмена характеризует временную организацию связи с абонентами, вид обмена – способ управления процедурой обмена, режим обмена – последовательность опроса абонентов с соответствующей скоростью.

Отметим три варианта организации обмена [13]: синхронный, асинхронный и смешанный (синхронно-асинхронный). В случае синхронного обмена используется жесткая пространственно-временная организация связи с абонентами. Это предусматривает или постоянную готовность абонентов к обмену, или выполнение соотношения

$$t_{подг} \leq t_{опер} ,$$

где $t_{подг}$ - время подготовки абонента к обмену; $t_{опер}$ - длительность элементарной операции обмена в данном режиме.

Такая операция обмена не требует выработки специальных подготовительных команд, запоминания входных сигналов, согласования данных по скорости их поступления, то есть является простейшей. Время одного кадра связи центра с абонентами $T_{кад}$ определяется выражением

$$T_{кад} = t_{подг} + \frac{I Ni}{Q V} ,$$

где I – число передаваемых в кадре слов информации; Ni – разрядность передаваемой информации; Q – число одновременно передаваемых слов; V – скорость передачи цифровых данных.

Прием информации при синхронном методе осуществляется на интерфейсной стороне и поэтому при больших объемах данных нецелесообразен из-за необходимости большого объема интерфейсной аппаратуры.

Асинхронный обмен предусматривает прерывание вычислений или хода основной программы при управлении от центра и учет приоритетов данных. В порядке поступления запросов от программы и с учетом приоритета возможен случайный выбор абонента. Применяется несколько вариантов приоритетного обслуживания:

- циклическое с последовательным опросом абонентов (динамический приоритет);
- без прерывания текущего обслуживания (относительный приоритет);
- с прерыванием текущего обслуживания (абсолютный приоритет).

Для этих способов приоритетного обслуживания справедливы следующие выражения, характеризующие максимальное время обслуживания.

Для циклического приоритетного обслуживания:

$$T_{oc} = \sum_{i=1}^{Ma} Ni T_{vv},$$

где T_{oc} – время циклического приоритетного обслуживания; Ni – число слов при обмене; Ma – число обслуживаемых абонентов; T_{vv} – время ввода-вывода информации при приостановке основных вычислений.

Для времени обслуживания при относительных приоритетах имеем:

$$T_{oo} = Nm T_{vv} + \sum_{i=1}^P Ni T_{vv},$$

где T_{oo} – время обслуживания при относительных приоритетах; Nm – число слов в текущей заявке на обслуживание; Ni – число слов при обмене; P – число обслуживаемых заявок с более высоким приоритетом; T_{vv} – время ввода-вывода информации при приостановке основных вычислений.

Время обслуживания при абсолютных приоритетах определим по выражению:

$$T_{oa} = T_{vv} + \sum_{i=1}^K Ni T_{vv},$$

где T_{oa} – время обслуживания при абсолютных приоритетах; Ni – число слов при обмене; K – общее число слов при обмене; T_{vv} – время ввода-вывода информации при приостановке основных вычислений.

Сравнение выражений для времени различных вариантов приоритетного обслуживания показывает, что с точки зрения увеличения пропускной способности выполнение обмена с абсолютным приоритетом нежелательно, так как при любом

обмене осуществляются приостановки программы и процесс обмена в целом, что нежелательно.

Поэтому наибольшее распространение получило использование относительных приоритетов. В этом случае обеспечивается приемлемое время обслуживания, а сами приоритеты могут быть изменены программным способом при необходимости. В качестве примера отметим, приведенную в [13] расстановку относительных приоритетов различных категорий данных в центре управления полетом гражданской авиации.

Смешанный (синхронно-асинхронный) тип обмена предполагает либо организацию с частью абонентов синхронного обмена, а с другой частью – асинхронного, либо изменение указанных типов обмена в процессе решения задачи. Этот тип обмена, с одной стороны, предоставляет дополнительные возможности организации обмена, но, с другой стороны, имеет ограничения по пропускной способности, связанные с жесткой временной синхронизацией опроса абонентов.

Развитая организация процесса обмена информацией предполагает наличие двух видов обмена: программно-управляемого и группового. При программно-управляемом обмене происходит обмен словом или байтом (частью слова) между абонентами и системой и памятью канала под действием управляющих команд. При этом команда может вырабатываться либо самими каналом, либо управляющей ЭВМ независимо от функциональной принадлежности памяти. Такой вид обмена не требует обязательного использования канала и не приводит к большим временным затратам центрального процессора системы. Однако указанный вид обмена не пригоден для больших массивов данных, так как при этом центральный процессор будет полностью загружен выполнение только команд обмена.

Групповой обмен осуществляется между абонентами системы и памятью канала при обязательном использовании дополнительной системы обмена информацией. На весь период обмена приостанавливаются другие операции, что определяется значением признаков команды или нескольких команд, организующих обмен. Групповой обмен более эффективен при передаче больших массивов информации через канал, так как это позволяет существенно или полностью разгрузить центральный процессор системы. Следует отметить, что при любом виде обмена он может быть инициирован как со стороны абонентов системы, так и со стороны канала обмена или НКУ.

3. Надежность программных средств и устойчивость спутниковых геодезических систем

Рассмотрим современные требования по устойчивости и надежности программных средств мобильных пунктов мониторинга и управления для спутниковых геодезических сетей. Программные средства должны осуществлять контроль входной и выходной информации при любых типах и видах обмена информации и оставаться работоспособными во всех случаях ее некорректности, а также не допускать несанкционированных действий пользователя и сбоев в своей работе или разрушения программного комплекса, его компонент и изменения данных при некорректных действиях пользователя [15].

Важное значение имеют требования к пользовательскому и программному интерфейсу. Пользовательский интерфейс программных средств должен строиться на основе сценарного диалога в терминах технологических операций автоматизируемой работы.

Средства комплекса должны предоставлять пользователю однородный интерфейс при работе с аналогичными объектами в различных компонентах с использованием всего современного арсенала средств: меню, ключей, шаблонного и структурного ввода, контекстной помощи и т.п.

Программный интерфейс компонент среды программирования должен обеспечивать стандартное обращение к программному средству из других программных средств и стандартный доступ к информационным объектам этого средства в архиве разработки, обеспечивая возможность независимого развития отдельных программных средств.

Требования к эксплуатационным характеристикам заключаются в следующем. Все инструментальные средства должны функционировать на стандартной ПЭВМ и обеспечивать на данном оборудовании требуемую степень интерактивности в работе программиста. Средства должны разрабатываться как сетевые и функционировать в качестве средства коллективного доступа.

Ниже рассмотрены специфические черты каждого программного средства.

3.1. Система управления архивом разработки и сопровождения

Архив разработки и сопровождения содержит все необходимые и возникающие на этапах разработки и сопровождения компоненты объектов разработки. Объектом разработки, хранимым в архиве, является проект программы, включающий в себя хронологические версии описания программы, текста программы и банка тестов программы, результаты измерений программы и ее историю.

Система управления архивом должна поддерживать удобный и взаимосвязанный процесс добавления, изменения и удаления компонентов архива разработки и сопровождения, хронологическую многоверсионность и логическую многовариантность хранимых информационных объектов и их компонентов и автоматическое предоставление компонентов объекта одного варианта или версии.

Система управления архивом должна обеспечивать удобную организацию технологических запросов, возможность изменения и увеличения их списка и стандартный интерфейс для доступа к объектам разработки и их компонентам для всех технологических средств.

3.2. Интегрирующая оболочка

Программируемая на заданную технологию разработки интегрирующая оболочка должна обеспечивать на основе программируемых сценариев интеграцию всех разрабатываемых средств в единую технологическую линию в виде последовательности технологических кадров автоматизируемой деятельности.

3.3. Требования к набору манипуляторов

Все входные данные и результаты работы манипуляторов должны помещаться в архив разработки и сопровождения и поступать к другим компонентам через систему управления архивом разработки и сопровождения.

3.4. Средства повышения надежности и эффективности программ

Выделим класс средств (С1-С4), образующих совокупность инструментов для повышения эффективности и надежности программного обеспечения, без которых невозможно получение в процессе разработки требуемого результата в необходимые

сроки и, следовательно, невозможно устойчивое функционирование средств мобильных пунктов мониторинга и управления для спутниковых геодезических сетей.

Средства (С1) должны контролировать соблюдение системных соглашений всех уровней - языковых, программных и проектных, вытекающих из принятой технологии разработки и спецификаций на объект разработки, и осуществлять поиск типовых ошибок программиста.

Средства (С2) должны осуществлять измерение и проблемно-ориентированную визуализацию результатов измерений каждого объекта, поступающего на вход или порождаемого системой манипуляторов. Для осуществления динамических измерений в соответствующих манипуляторах должны быть предусмотрены обращения к средствам системы измерения. В средствах должны быть реализованы следующие классы измерений:

- измерения сложности проекта и программы для прогноза и уточнения технико-экономических показателей, сравнения с аналогами и т.п.;
- измерения технологических и эксплуатационных характеристик программы как объекта архива разработки и ресурса объекта разработки (память, время, строки);
- измерения программы как объекта технологического процесса для планирования технологических операций (например, тестирования);
- измерения программы как объекта технологического процесса на соответствие критериям завершенности технологических операций (например, отлаженности);
- измерения программы как сложного объекта с целью улучшения его внутренней организации.

В составе средств измерения должна присутствовать система моделей, позволяющая формировать оценки для проведения анализа и уточнения спецификаций, анализировать их программную реализуемость, технико-экономическую обоснованность и возможности оптимизации программ и ПО системы в целом.

Средства (С3) предназначены для автоматизации создания (из имеющихся в архиве универсальных программных компонентов) программ для конкретного мобильного пункта мониторинга и управления и должны обеспечивать автоматическую и автоматически корректную редукцию универсальных программ до вариантов конкретного применения с учетом архитектуры ПО конкретного пункта (без проведения

тестирования и отладки) с целью обеспечения эффективности использования ресурсов - памяти и времени. Настройка средств специализации должна производиться в терминах объекта разработки.

Средства (С4) должны обеспечивать эффективную управляемую оптимизацию программ с точки зрения ресурсов памяти и времени. Критерии и пропорции оптимизации должны быть настраиваемыми через проблемно-ориентированный интерфейс.

Следует отметить, что вопрос создания инструментальных средств и этапа автоматизации процессов определения требований (построения спецификаций), автоматизации генерации на основе этих требований программ и тестов в рассмотренной технологии разработки программных средств мобильных пунктов мониторинга и управления для спутниковых геодезических сетей остается открытым и требует дальнейших исследований и решений.

3. Заключение

Работы исследователей, рассмотренные в статье, показали, что разработанные методики геодезических работ по привязке траекторных станций слежения ИСЗ обеспечивают необходимую точность, однако могут быть усовершенствованы в процессе экспериментальных работ. Необходимо повышать точность согласования координат станций, полученных с помощью разных методик (разными средствами обработки), и выявлять причины расхождения. Важным моментом является повышение эффективности организации обмена данными. Рассмотрение основных видов обмена данными позволяет утверждать, что с одинаковым успехом они могут быть реализованы в системе, однако предпочтителен групповой обмен, так как при этом происходит передача больших массивов информации. Перспективной задачей является всесторонний анализ алгоритмов решения задач управления с целью учета потока данных большой информативной емкости. При рассмотрении современных требований по устойчивости и надежности программных средств мобильных пунктов мониторинга и управления для спутниковых геодезических сетей следует отметить, что вопросы создания инструментальных средств остаются открытыми и требуют дальнейших исследований и решений.

Список литературы

1. Кафтан, В.И. Системы координат и системы отсчета в геодезии, геоинформатике и навигации / В.И. Кафтан // Геопрофи. – 2008. – № 3. – С. 60-63.
2. Ковалев, И.В. Обзор III Международной конференции MIST: Aerospace-III-2020: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации / И.В. Ковалев, Н.А. Тестоедов, А.А. Ворошилова // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(1). – С. 1-9. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-1-9>
3. Ковалев, И.В. Развитие региональной технологической платформы "Информационно-телекоммуникационные и космические технологии для инновационного развития Сибири" / И.В. Ковалев, Ю.Ю. Логинов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2012. – № 2(42). – С. 168-173.
4. Зенюткин, Н.В. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов / Н.В. Зенюткин, Д.И. Ковалев, Е.В. Туев, Е.В. Туева // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(1). – С. 10-22. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22>
5. Карцан, И.Н. Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели / И.Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(2). – С. 64-71. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-64-71>
6. Kovalev, I.V. Optimization problems when realizing the spacecrafts control / I.V. Kovalev // Advances in Modeling and Analysis C. – 1998. – Т. 52. – № 2. – С. 63-70.
7. Kartsan, I.N. Specialized software for the adaptive nulling unit of a hybrid reflector antenna / I.N. Kartsan, A.E. Goncharov, P.V. Zelenkov, I.V. Kovalev, V.N. Tyapkin, D.D. Dmitriev // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 155(1). – P. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/155/1/012018
8. Ковалев, И.В. К проблеме выбора структуры автоматизированной системы управления летательными аппаратами / И.В. Ковалев, Ю.А. Нургалева,

- С.Н. Гриценко, А.В. Усачев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2009. – № 3(24). – С. 105-110.
9. Kartsan, I.N. Electromagnetic compatibility of ground system of near navigation, based on the use of GNSS and pseudolites / I.N. Kartsan, I.V. Kovalev, D.D. Dmitriev, A.V. Sokolovskii, V.N. Ratushnyak, A.B. Gladyshev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 255. – P. 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/255/1/012010
10. Kovalev, I. Optimization models for reliability of telecommunication software systems / I. Kovalev, A. Popov, Ju. Shipovalov // Advances in Modeling and Analysis B: Signals, Information, Data, Patterns. – 2000. – Т. 43. – № 3-4. – С. 41-46.
11. Saramud, M.V. Multi-version approach to improve the reliability of processing data of the earth remote sensing in the real-time / M.V. Saramud, I.V. Kovalev, V.V. Losev, M.O. Petrosyan, D.I. Kovalev // E3S Web of Conferences. 2018 Regional Problems of Earth Remote Sensing – RPERS - 2018. – 2019. – С. 01005. DOI: 10.1051/e3sconf/20197501005
12. Карцан, И.Н. Проблемы анализа и синтеза структур сложных систем сетевого взаимодействия наземных пунктов управления космическими аппаратами / И.Н. Карцан, И.В. Ковалев, С.В. Ефремова // Решетневские чтения. – 2017. – Т. 1. – С. 390-391.
13. Пронин, Е.Г. Проектирование бортовых систем обмена информации / Е.Г. Пронин, О.В. Могуева. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
14. Кудашев, Е.Б. Распределенная геоинформационная инфраструктура спутниковых данных / Е.Б. Кудашев, А.Н. Филонов // Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13. – № 6. – С. 79-90.
15. Колташев, А.А. Гарантирование качества разработки и сопровождения программного обеспечения спутников связи и навигации / А.А. Колташев // Материалы 11-й Междунар. науч. конф. "Системный анализ, управление и навигация". – М: Изд-во МАИ, 2006. – 146-147 с.