

УДК 62-503.5

Сбое- и отказоустойчивая система управления орбитальной группировкой космических аппаратов

Ашарина Ирина Владимировна^(*)

asharinairina@mail.ru

SPIN-код: 1002-9349

Гришин Вячеслав Юрьевич

grishin@se.zgrad.ru

Орлов Алексей Валерьевич

submicron@se.zgrad.ru

АО «НИИ «Субмикрон», Москва, Россия

Аннотация. Описана графовая модель орбитальной группировки (ОГ) космических аппаратов (КА). Определены особенности необслуживаемых информационно-управляющих систем (ИУС) космического базирования. Рассмотрены вопросы повышения сроков активного существования ОГ КА путем обеспечения сбое- и отказоустойчивости ИУС такой группировкой. Представлен способ организации работы ИУС ОГ КА при отсутствии прямой радиовидимости между каждой парой КА посредством использования КА-ретрансляторов. Представлены достаточные структурные условия достижения системного ВИС.

Ключевые слова: информационно-управляющая система, сбое- и отказоустойчивость системы, резервирование, орбитальная группировка, космический аппарат, надежность

Введение. Тенденции развития космической отрасли предполагают, что состояние космической деятельности является одним из основных факторов, определяющих уровень развития и влияния России в современном мире [1]. Для ОГ малых и средних КА, а также для долговременных орбитальных станций использование необслуживаемой высоконадежной управляющей системы, разработанной в соответствии с принципами построения реконфигурируемых сбое- и отказоустойчивых распределенных информационно-управляющих систем является одним из способов обеспечения их надежного функционирования.

Сложная структура современных ОГ КА и их систем управления предполагает необходимость использования модели неисправности «враждебного» («византийского») вида, т. е. такая, при которой неисправный элемент (цифровая вычислительная машина — ЦВМ) может вести себя произвольно и неодинаково по отношению к другим элементам системы [2, 3].

Особенности необслуживаемых ИУС космического базирования: 1) работа в условиях агрессивной среды, 2) отсутствие регламентных и ремонтных работ, 3) высокая стоимость разработки и запуска ОГ КА, 4) распределенность системы, 5) большой срок активного существования, 5) высокие требования по надежности, 6) организация ИУС как пиринговой системы, основанной на равнозначности всех бортовых вычислителей КА [4].

Структурные требования к ОГ КА, обеспечивающие достижение в ней взаимного информационного согласования (ВИС). Достаточными

условиями достижения ВИС в ОГ КА, моделью которой является неполный граф (основные вершины — КА, выполняющие целевую задачу, неосновные вершины — КА-ретрансляторы, ребра — каналы связи), являются: 1) наличие в графовой модели ОГ КА подграфа полного или гомеоморфного полному с количеством основных вершин не менее $3\mu + 1$ (μ — сбое- и отказоустойчивость ОГ КА), 2) для каждой неосновной вершины существуют исходящие из нее непересекающиеся пути не менее чем к $2\mu + 1$ основным вершинам, 3) для каждой неосновной вершины существуют входящие пути не менее чем от $2\mu + 1$ основных вершин [5].

Алгоритм системного ВИС для неполносвязных систем обеспечивает сбое- и отказоустойчивость работы ИУС ОГ КА и состоит из следующих шагов. 1) посылка согласуемых значений каждой из неосновных вершин модели ОГ КА не менее чем в $2\mu + 1$ его основных ЦВМ, 2) внутрикомплексное ВИС — завершается вычислением вектора согласованных значений системы (ВСЗС) в каждой ЦВМ, 3) посылка ВСЗС в каждую из неосновных ЦВМ не менее чем из $2\mu + 1$ основных ЦВМ.

Заключение. Предлагаемая структура ОГ КА, определяемые ею особенности ИУС и алгоритм ВИС направлены на 1) повышение живучести сбое- и отказоустойчивости ОГ КА за счет распределенности ИУС, обеспечивающей более длинную траекторию самоуправляемой деградации, 2) обеспечение достоверности результатов выполняемых целевых задач, 3) отказ от жесткого требования полносвязности системы, практически недостижимого для систем космического базирования.

Список источников

- [1] Основные положения Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом Российской Федерации от 19 апреля 2013 г. № Пр-906.
- [2] Pease M., Shostak R., Lamport L. Reaching agreement in the presence of faults. J. ACM, 1980, vol. 27, no. 2, pp. 228–234.
- [3] Lamport L., Shostak R., Pease M. The byzantine generals problem. ACM Transactions on Programming Languages and Systems, 1982, vol. 4, no. 3, pp. 382–401.
- [4] Ашарина И.В., Гришин В.Ю., Сиренко В.Г. Отказоустойчивые системы управления перспективными группировками космических аппаратов как основа построения сетецентрических систем. Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2023, т. 194, № 3, с. 17–23.
- [5] Ашарина И.В., Лобанов А.В. Выделение комплексов, обеспечивающих достаточные структурные условия системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах. Автоматика и телемеханика, 2014, № 6, с. 115–131.