

4.9 Програмні засоби та алгоритми системи керування режимами наносупутника Національного технічного університету України «КПІ» – PolyITAN-1

Актуальність. В останнє десятиліття проглядається тенденція до запуску малих космічних апаратів (КА), до яких відносять наносупутники. Традиційно такі супутники використовуються для навчання та відпрацювання нових технологій, однак сфера їх застосування постійно розширюється.

До класу наносупутників (НС) відносяться малогабаритні космічні апарати, що використовують сучасну надмініатюрну мікропотужну електронну базу. Першим українським наносупутником у числі 33-х супутників інших країн, запущених 19.06.2014 ракетою «Дніпро» (РС-20 – «САТАНА», Україна) з пускової бази РВСН «Ясний» (Оренбурзька обл., Російська Федерація), є наносупутник PolyITAN-1 розробки Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту» (НТУУ «КПІ»). Наносупутник PolyITAN-1 розроблявся у рамках міжнародної програми, що використовує уніфікований конструктив QB-50 (стандарт «CubeSat», зокрема:

- габарити PolyITAN-1 -100x100x100 мм;
- маса – 1 кг, у тому числі, вага приемо-передавача – 0.27 кг із споживаною в режимі передачі потужністю 2.6 Вт;
- висота траєкторії - 660 км;
- нахил орбіти – приполярний;
- живлення - від сонячних елементів, встановлених на зовнішніх поверхнях куба;
- термін безперервної роботи – декілька років.

Основними функціями корисного навантаження НС PolyITAN-1с:

- дослідження теплового режиму роботи елементів супутника;
- дослідження в умовах космічного вакууму точності, енергоефективності та довговічності датчиків Сонця і сонячних батарей, розроблених НТУУ «КПІ»;
- дослідження радіаційної стійкості різних матеріалів в умовах космічного вакууму.

Більшість подібних супутників розроблено за стандартом «CubeSat», який накладає обмеження на розміри і масу супутника: його корпус – алюмінієвий куб з розмірами $10 \times 10 \times 10$ см, загальна маса якого не повинна перевищувати 1 кг. Через ці та інші обмеження, постійне ручне керування супутником з наземної станції неможливе, тому керування такими КА відбувається в

автоматичному або напівавтоматичному режимі.

Автоматичне керування КА здійснюється за допомогою системи прийняття рішень, яка на основі оцінки поточного стану борта переводить КА в той чи інший режим. Для виконання КА програми польоту використовують циклограми. Циклограма – це точний розклад команд керування та зміни режимів роботи підсистем КА.

В сучасних КА для опису циклограми оператором наземної станції керування використовують скриптові мови. Однак, інтерпретація скриптів є дуже ресурсоемною задачею, а обчислювальні потужності наносупутника обмежені через його розміри. Звідси виникає потреба в трансляції циклограми в байт-код.

Метою роботи є розробка програмних засобів та алгоритму системи керування режимами наносупутника НТУУ «КПІ» – PolyITAN-1.

Викладення основного матеріалу. В наносупутнику PolyITAN-1 циклограма використовується для керування корисним навантаженням, в якості якого виступає підсистема навігації (ПН) і підсистема орієнтації стабілізації (ПОС). Кожна з підсистем має власний набір команд і налаштувань і відповідно власну циклограму.

Циклограма наносупутника має структуру, яка приведена на рисунку 4.15.

Режим роботи циклограми	Момент часу початку роботи циклограми	Команди циклограми
-------------------------	---------------------------------------	--------------------

Рис. 4.15. Структура циклограми

Режим роботи циклограми задає режим відпрацювання команд циклограми: повторити N разів або виконувати команди циклічно, доки виконання не буде перервано. Момент часу в який починає працювати циклограма задається у форматі UNIX. Команда циклограми задає режим в який має перейти підсистема супутника. Кожна команда супроводжується моментом часу її видачі – кількістю секунд, які пройшли від старту циклограми.

Підсистема навігації має наступні команди:

- Off – підсистема вимкнена;
- OnGPS – увімкнення модуля GPS, який автоматично фіксує траєкторію руху N разів з інтервалом dt_min секунд, після чого

модуль GPS вимикається (де N та dt_min задаються в налаштуваннях підсистеми);

- OnCalc – розрахунок орбіти по раніше зафіксованій траєкторії;
- OnGPSCalc – увімкнення модуля GPS, який автоматично фіксує траєкторію руху N разів з інтервалом dt_min секунд, після чого модуль GPS вимикається і виконується розрахунок орбіти;
- OnCalcSS – розрахунок часу сеансу зв'язку.

Підсистема орієнтації стабілізації має наступні команди:

- Off – підсистема вимкнена;
- OnBrake – вмикання вимірів і розрахунків кутової швидкості наносупутника за допомогою магнітометрів, а також гасіння кутової швидкості до необхідного значення модуля кутової швидкості w_min [град / с], заданого в налаштуваннях;
- OnMeas – вмикання тільки вимірів;
- OnMeasCalc – вмикання вимірів і розрахунків орієнтації супутника;
- OnMeasCalcControl – вмикання вимірів і розрахунків орієнтації супутника, і керування орієнтацією.

Отже, програмна системи повинна реалізовувати наступні функції: створення циклограми для обраної підсистеми НС;

- збереження циклограми в файл і відтворення з файлу;
- трансляція циклограми в байт-код;
- запис байт-коду у внутрішні регістри прототипу системи обробки даних (СОД) за допомогою протоколу Modbus, з метою тестування виконання циклограми на Землі;
- читання байт-коду з внутрішніх регістрів прототипу СОД і відтворення циклограми;
- збереження байт-коду в базі-даних сеансів зв'язку з наносупутником для подальшого запису циклограми на борт супутника під час проведення сеансу зв'язку.

Вхідною інформацією може бути файл зі створеною раніше циклограмою або байт-код с БД сеансу зв'язку.

Вихідна інформація: файл з циклограмою; байт-код циклограми; пакет-запит Modbus на читування або на запис у внутрішні регістри прототипу СОД.

Засоби програмної реалізації. З метою формалізації представлення циклограми для користувача було проведено аналіз двох основних форматів представлення даних: XML та JSON. Обидва формати є текстовими і легко сприймаються людиною. Формат XML, на відміну від формату JSON, дозволяє задати жорстку структуру документа. Саме тому для представлення циклограми наносупутника НТУУ «КПІ» було віддано перевагу XML формату.

Для задання структури документа XML використовують так звану схему, яка описує структуру документа. Для опису схеми циклограми було обрано мову XSD.

Для реалізації програмної системи і всіх модулів (інтерпретатор на C), які з нею взаємодіють, була обрана платформа .NET та мова C# з двох обставин:

1) інші підсистеми наземної станції керування вже були реалізовані на цій мові та платформі, а тому для інтеграції усіх підсистем в програмний комплекс доцільно використовувати однакові засоби програмної реалізації;

2) .NET Framework має в своєму складі багато потужних бібліотек для вирішення практично усіх задач, що виникають.

Програмна система складається з трьох основних модулів:

- 1) ПЗ автоматизації створення циклограм;
- 2) транслятор циклограм;
- 3) модуль взаємодії робочої станції з прототипом СОД – Modbus-майстер.

Modbus-майстер.

Схема взаємодії основних модулів наведена на рисунку 4.16.

Програма система використовує файли конфігурації для збереження підсистем наносупутника, їх режимів та налаштувань. Додаткові файли конфігурації використовуються для збереження налаштувань програми, зокрема, налаштувань СОМ-порта.

Використання файлів конфігурації для опису систем наносупутника та їх режимів, і параметрів обґрунтовано тим, що:

- при розробці конфігурація НС може змінюватись, таким чином при необхідності ми можемо змінити файли конфігурації, не вдаючись до змін у програмному коді;
- можливість повторного використання розробленої системи для наступних розробок наносупутників оснований на PolyITAN-1.

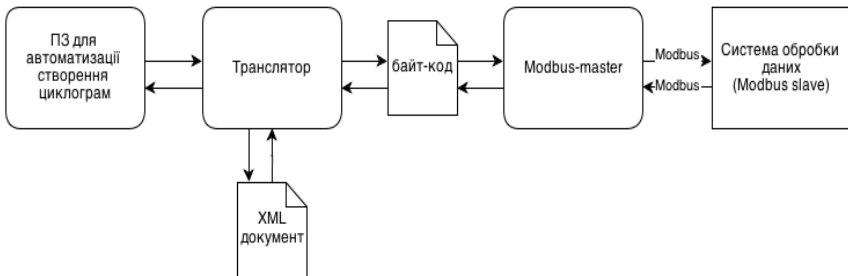


Рис. 4.16. Схема взаємодії основних модулів

XML-документ з циклограмою формується відповідно до створеної циклограми. При відтворенні XML-документа з циклограмою документ перевіряється на допустимість елементів, які в ньому зустрічаються за допомогою XSD схеми. Також перевіряється допустимість значень параметрів. У разі виникнення помилки завантаження документу переривається і користувачу відображається рядок, позиція в рядку і текст помилки.

Генерація байт-коду циклограми відбувається наступним чином: режим роботи циклограми кодується двома байтами; момент часу початку роботи циклограми передається у форматі UNIX, як відомо кодується чотирма байтами; кожна команда циклограми кодується чотирма байтами, один з яких кодує режим, а три інших час видачі команди в секундах, відносно часу початку роботи циклограми.

Програмне забезпечення призначене для проведення сеансу зв'язку, вичитує байт-код циклограми з бази даних і перезаписує циклограму на борту супутника. Підсистема виконання циклограми на борту наносупутника НТУУ «КПІ» інтерпретує байт-код і забезпечує його виконання. Також є можливість вичитування байт-коду циклограми з борта супутника, подальше його збереження в базу даних і декодування розробленою системою. Для перевірки цілісності вичитаних з борта даних, байт-код супроводжується контрольною сумою CRC32.

Модельні дослідження системи стабілізації та орієнтації наносупутника. Одна з найважливіших підсистем управління польотом супутника є система стабілізації і орієнтації (ССО). Завданням управління ССО є:

- гасіння обертання супутника після відділення від ракети і/або після маневру наведення на ціль – задача «tumbling»;
- наведення оптичної осі супутника на ціль – задача «taxing».

Відмітимо специфічні вимоги, що пред'являються до ССО наносупутника:

- мінімальне можливе споживання енергії для управління;
- мінімально можлива вага актюаторів-органів управління ССО.

Виходячи з цих вимог, був запропонований варіант рішення завдань ССО тільки за допомогою актюаторів-струмових котушок, що взаємодіють з магнітним полем Землі. Конструктивно котушки намотуються на 3-х взаємноперпендикулярних гранях – по ребрах сотопанелей «кубика» НС.

Відсутність гиродинів в ССО вимагає прецизійного зниження кутової швидкості обертання НС в режимі «tumbling» – аж до

0.006 град/с, і зберіганні такої низької швидкості обертання після закінчення «рулежки»-»taxing».

Оскільки цей тип ССО відноситься до простих безплатформених (безопорних), виникає взаємовплив струму управління однієї котушки на параметри-змінні усіх трьох координатних осей – проблема багатозв'язкової стабілізації.

Серйозною проблемою є втрата керованості актюаторів НС при колінеарному розташуванні поточного вектору кутової швидкості $-\omega(t)$, і поточного вектору $\mathbf{B}(t)$ індукції магнітного поля Землі (МПЗ)^{62,63}.

$$|(\omega(t) * \mathbf{B}(t)) / (|\omega(t)| * |\mathbf{B}(t)|)| \equiv |\cos\beta| \rightarrow 1, \quad (4.10)$$

(*орт-вектор кутової швидкості 'лягає' на орт-вектор індукції МПЗ, β – кут між цими двома векторами*).

Це явище виникає незалежно від розташування і кількості котушок управління при будь-якій спробі зменшити модуль вектору кутової швидкості.

Окрім проблеми виникнення «білого шуму» в каналах датчиків, яку традиційно вирішують (у тому числі в НС PolyITAN-1) за допомогою фільтру Калмана, додатковою проблемою є наявність:

– «дрейфу нуля» в каналах виміру поточної кутової швидкості із-за впливу зміни температурного режиму під час переходу термінатора;

– значного «кольорового» шуму в каналах магнітометра, обумовлених неоднорідностями МПЗ із-за впливу «сонячного вітру» і компактних магнітних аномалій Землі.

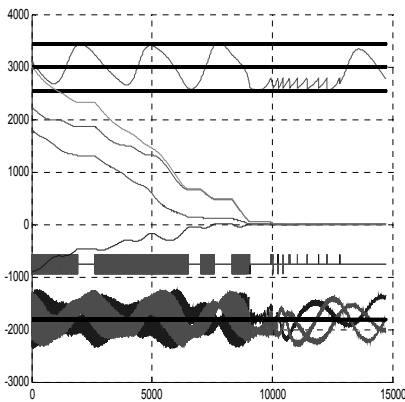
Як показали наземні випробування, на відміну від мікросупутника, де відчутний вплив струмів бортової апаратури на показання магнітометра, в НС PolyITAN-1 він досить малий. Окрім короткотермінової роботи передавача. В цей час магнітометр вимикається. Крім того, управління струмом котушок ССО і опитування магнітометра рознесені у часі – пів-такта управління працює магнітометр, пів-такта – котушки-актюатори.

Розглянемо дослідження-моделювання роботи двох

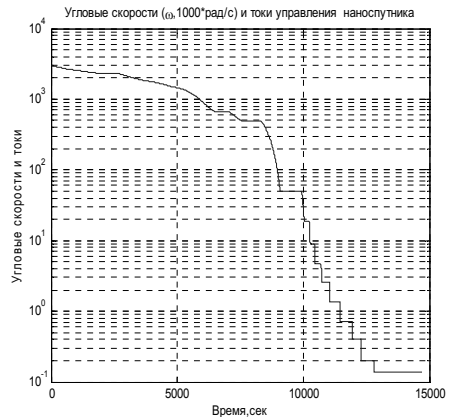
62 Kalman R.E. (1960). "A new approach to linear filtering and prediction problems". Journal of Basic Engineering 82 (1): P. 35–45.

63 Летные испытания алгоритмов управления ориентацией микроспутника "Чибис-М" /Д.С.Иванов [и др.]. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2012. №58. 32с. [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://library/keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-58> www.keldysh.ru/papers/2012/prep2012_58.pdf

алгоритмів задачі «tumbling». Перший алгоритм – «tumbling-exact (точний)» використовує математичну модель об'єкту управління. Exact-алгоритм забезпечує монотонне зниження кутової швидкості НС до надзвичайно низького рівня – 0.006 град/с. Результати моделювання по алгоритму «tumbling-exact» (рис. 4.17) слугують верхньою оцінкою ефективності для грубого завадостійкого робочого алгоритму – «tumbling-robust (грубий)».



параметри демпфування кутової швидкості



модуль кутової швидкості

Рис. 4.17. Моделювання демпфування кутової швидкості наносупутника

Грубий алгоритм не використовує в явному виді модель об'єкту управління і орієнтується тільки на зворотний зв'язок – показники бортових датчиків. Грубий алгоритм забезпечує роботу в умовах перешкод типу «дрейф нуля датчиків» та «кольоровий шум». Більше того, вдалося відмовитися від використання 3-координатного вимірника кутових швидкостей, як найбільш нестійкого, в сенсі точності вимірів, датчика. У складі устаткування він залишений тільки як індикатор: «кутова швидкість вище 1.8 рад / с», «кутова швидкість в межах 1.8...0.1 рад/с», «кутова швидкість нижче 0.1 рад / с».

Висновки. Розроблено програмну систему для автоматизації створення і трансляції циклограм наносупутника. Програмне забезпечення вирішує наступні задачі: створення циклограми; перевірка правильності створеної циклограми; збереження ци-

клограми в XML-документ; трансляція циклограми в байт-код; збереження байт-коду в БД сеансів зв'язку; запис байт-коду у внутрішній реєстрі прототипу системи обробки даних.

Програмна система інтегрується в програмний комплекс наземної станції керування.

Приведені модельні дослідження головної функціональної системи стабілізації та орієнтування (ССО).

Наносупуник PolyITAN-1 було успішно виведено на орбіту 19 червня 2014 року і вже в серпні місяці було розпочато проведення перших експериментів з корисним навантаженням з використанням циклограм.

4.10 Інформаційно-організаційні передумови підвищення ефективності слідчих дій

Актуальність. Існує багато прикладів, коли в успішних компаніях під впливом зовнішніх та внутрішніх чинників виникали проблеми, що впливали на динаміку просування до мети компанії.

Дефініція поняття «слідчі дії» у даному контексті тлумачиться як «розпитування, дізнання про кого, або що-небудь», що проводиться системними аналітиками з метою **розв'язку проблемної ситуації складної цілеспрямованої соціально-економічної системи на відміну від розслідування обставин, пов'язаних із злочином**», яке проводиться органами юстиції⁶⁴. Відмінність також полягає у тому, що розслідування кримінальних злочинів, скоєних під контролем свідомості злочинців, це визначена процесуальними законами діяльність посадових осіб, а слідчі дії при розв'язку проблемних ситуацій виконується відповідно до методології розв'язання проблем системного аналізу⁶⁵.

Постановка проблеми. Відомо, що системні дослідження застосовуються для розв'язання проблем, що пов'язані з діяльністю людей у складних цілеспрямованих системах. Проблеми виникають тоді, коли є розходження між метою системи та дійсним її станом, тобто це абстрактна категорія, що відображає усвідомлення людьми мотивів своєї діяльності. Проблеми породжуються та розв'язуються людьми, а тому поняття «проблема» має людські риси сприйняття.

64 Словник української мови. Том 9.- К.: “Наукова думка”, 1978.

65 Карпец И. И. Сыск (Записки начальника уголовного розыска). / И. И. Карпец / – М.: Наука, 1994. 352 с.