

КОРОТКИЙ ЗВІТ

про виконанні дослідження у 2015 р. за проектом «Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012-2016 рр.»

«Створення інтелектуальної лазерної системи стикування КА на активних оптичних маркерах та її лабораторне макетування» етап III «Розробка засобів розпізнавання активних оптичних маркерів заданої геометричної конфігурації»

1. Розробка алгоритмічних та програмних засобів розпізнавання маркерів заданої геометричної конфігурації з урахуванням вимог до координатних вимірів та до бортової апаратури

Запропоновано нову концепцію інтелектуальної лазерної системи стикування космічних апаратів з використанням активних маркерів [1, 2]. Розроблено алгоритмічні та програмні засоби розпізнавання маркерів заданої геометричної конфігурації з урахуванням вимог до координатних вимірів та до бортової апаратури. Проведено математичне моделювання розроблених алгоритмів та отримано оцінки можливих похибок.

Сформульовано вимоги до координатних вимірів та до бортової апаратури, зокрема, проведено аналіз можливостей сучасної навігаційної техніки. Інерційна навігація має автономну техніку, де вимірювання забезпечують акселерометри і гіроскопи, які використовуються для відстеження позиції і орієнтації об'єкта по відношенню до відомих початкових – точка, орієнтація і швидкість. Прилади інерційних вимірювань (ПІВ) зазвичай містять три ортогональні гіроскопи (вимірюють швидкість) і три ортогональні акселерометри, які вимірюють кутову швидкість і лінійне прискорення. Обробляючи сигнали від цих пристроїв, можна відстежувати положення й орієнтацію пристрою, як описано нижче.

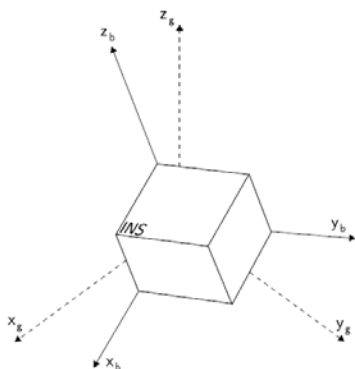


Рис.1 Системи відліку: глобальна (g) та КА (b)

Різницею між двома категоріями інерційних систем є система відліку, в якій працюють гіроскопи та акселерометри (Рис. 1).

У стабільних системах з платформами інерційні датчики встановлені на платформі, яка ізольована від будь-якого зовнішнього обертального руху. Іншими словами, платформа утримується з орієнтацією у глобальній системі координат.

Це досягається шляхом установки платформи з використанням карданного підвісу, що дозволяє свободу платформи по всіх трьох осях. Встановлені на платформі гіроскопи здатні виявити будь-які обертання платформи. Ці сигнали є оберненим зв'язком для сервомоторів, які обертають карданний підвіс для того, щоб скасувати такі повороти, отже, зберігаючи платформу у відповідності з глобальною системою координат.

Для відстеження орієнтації пристрою кути між сусідніми карданами можна відстежувати за допомогою датчиків кута. Для розрахунку положення пристрою сигнали від встановлених на платформу акселерометрів двічі інтегруються. При цьому слід відняти прискорення сили тяжіння з вертикального каналу перед виконанням інтеграції. Алгоритм інерційної навігації на стабільній платформі показаний на Рис.2.

У системах без платформ інерційні датчики встановлені жорстко на пристрій, а, отже, вихідні величини, вимірюються в системах відліку КА, а не в глобальній системі координат. Щоб відстежувати орієнтацію, сигнали від гіроскопів є "інтегрованими". Щоб відстежувати позицію, сигнали трьох акселерометрів будуть оброблені в глобальних координатах з використанням відомої орієнтації, як це визначено інтегруванням сигналів від гіроскопів.

Глобальні сигнали прискорення потім інтегруються так само, як в алгоритмі стабільної платформи.

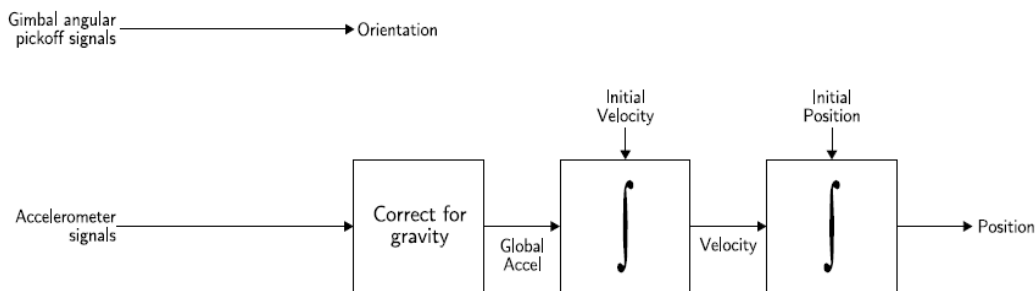


Рис.2. Алгоритм інерційної навігації на стабільній платформі

Стабільні платформи і системи без платформ діють на основі однакових базових принципів. Системи без платформ знижують механічну складність і, як правило, фізично менше, ніж системи без стабільних платформ. Ці переваги досягаються за рахунок збільшення обчислювальної складності. Оскільки вартість обчислень знизилася, то системи без платформ стали домінуючим типом інерційних навігаційних систем.

Космічні місії із застосуванням маневрів зі зближення та стикування вимагають визначення положення з високою точністю для точного контролю траєкторій. Крім околу Землі, в Сонячній системі великий вплив має відсутність штучних навігаційних засобів, таких як GPS або радіомаяки. На сьогоднішній день, роботизовані місії потребують інформації від інтегрованих вимірювань прискорення і швидкості обертання блоками ПІВ, яка доповнена інформацією щодо швидкості і позиції від стерео-камери з лазерними маяками. За відсутності навігаційних радіомаяків, найбільш прийнятним варіантом для підвищення точності навігації під час зближення та стикування є використання вимірювань стерео-камерами. Камери працюють практично в будь-якому навколишньому середовищі, є невеликими, легкими, і споживають мало енергії, а, отже, є ідеальними датчиками для застосування у космосі.

Лазерні маяки (активні маркери) не лише забезпечують кращу видимість при наявності фону в порівнянні зі звичайними світловими маяками, але і дозволяють автоматизувати процес управління рухом при одночасному підвищенні точності орієнтації і наведення без участі оператора.

Стерео-камери дозволяють переходити (при наявності відповідного комп'ютерного забезпечення) від 2-D зображень активних маркерів до інформації про 3-D позицію КА. Тому зникає необхідність мати додаткову апаратуру (типу лідар).

Для формування стерео-камери, друга камера монтується з відомим паралаксом від першої. Ми вважаємо відсутнім кутовий зсув від каркасу КА. Місце походження кадру другої камери знаходиться на перспективному центрі другої камери з вектором позиції. Зі стерео-камери, можна оцінити позиції маркерів і відстані до них. Ці два факти є основними перевагами стерео-камери над однією камерою.

Як і у випадку монокулярної камери для стерео-камери використання компонентів відстані, як вимірювань в точках маркерів, включає в себе нелінійну трансформацію для фундаментальних векторів камер, яка вводить кореляції між помилками на компонентах відстані. Тому для покращення роботи відеосистеми теж потрібен фільтр Калмана спеціального типу.

Крім того, треба мати на увазі той факт, що стерео-камери дають прийнятне визначення відстані до маркерів лише в обмеженому діапазоні. Ці значення залежать від паралаксу камер. Простий розв'язок цієї проблеми полягає у збільшенні паралаксу, але це має і негативний наслідок – додавання механічної складності сенсорам. Тому така

конфігурація відеосистеми є більш придатною та виграншою в ближній зоні всього процесу стикування.

Зауважимо, що монокулярне відеоспостереження маркерів, у свою чергу, може бути використане для визначення позиції КА за відсутності GPS. Коли GPS доступно, КА може використати точкові спостереження в навколишньому середовищі, щоб намітити, де ці відмітки знаходяться в 3D інерційному просторі. Далі багаторазові спостереження маркерів з різних точок зору дають змогу сформуванню хороше припущення для початкової позиції. Воно буде гарним стартом для ІНС в розробці точок, які не лежать на першому плані. Тому можна стверджувати, що не дивлячись на дрейф інерційних даних, коли GPS тимчасово недоступний, надійність навігації потребує лише поліпшеного відеоспостереження маркерів (фактично їх особливих точок).

2. Проаналізовано перспективи застосування лазерних локаційних технологій в орбітальних космічних апаратах.

Сучасні тенденції розвитку орбітальних космічних апаратів викликали необхідність розробки концепції та реалізації орбітального сервісу [3-5]. Створення подібного космічного апарату (транспортного космічного модуля (ТКМ) вимагає перегляду підходів до реалізації функцій орбітального маневрування, зближення та стикування з космічним апаратом (КА), що включає в себе розробку нових перспективних двигунів та систем визначення координат КА.

За виключенням Міжнародної космічної станції на сьогоднішній день переважна більшість орбітальних КА не обладнані засобами для кооперованого зближення. Тобто актуальним та важливим стає завдання вимірювання відносних координат некооперованих космічних об'єктів. Незважаючи на те, що на даний час існують методи вимірювання положення КА на низьких орбітах за допомогою GPS чи наземних локаційних станцій спостережень, існує потреба в системах, які б забезпечували пошук КА та вимірювання не тільки його координат, а й орієнтації. Особливо важливим є наявність таких систем на ТКМ для геостаціонарних орбіт та міжпланетних місій у майбутньому.

Розглянуто та проаналізовано переваги та недоліки різних схемних рішень систем пошуку та вимірювання координат і орієнтації. Найбільш розвинуті на сьогоднішній день радіолокаційні системи можуть добре працювати для пошуку КА в далекій зоні зближення, але мають проблеми при роботі на останньому етапі особливо з некооперованими об'єктами та визначенням їх орієнтації, що критично важливо для завдань орбітального сервісу.

Перспективні оптичні системи засновані на сучасних компактних субнаносекундних лазерах (які на відміну від використовуваних в далекомірах лазерних діодів мають значно більшу пікову потужність) крім значно менших масо-габаритних та енергоємних показників, мають ряд переваг саме при використанні їх в середній та ближній зонах зближення. Крім можливості вимірювання дальності, швидкості та кутових координат, перспективна лазерна локаційна система (ЛЛС) з модулем сканування може будувати тривимірне зображення КА для його ідентифікації та визначення орієнтації. При цьому в силу вузької полоси лазерного випромінювання може бути ефективно вирішена задача наявності засвічування (чи навпаки відсутності освітлення КА в зоні тіні). Також, запропонована ЛЛС може ефективно взаємодіяти з КА оснащеними перспективними активними оптичними маркерами.

Порівняльні характеристики ЛЛС дають змогу зробити висновок про перспективність розробки локаційних систем на основі сучасних імпульсних твердотільних лазерів з високою піковою потужністю в десятки МВт. ЛЛС в поєднанні з традиційними радіолокаційними засобами зможе підвищити ефективність пошуку та розпізнавання некооперованих космічних об'єктів для вирішення нових задач орбітального сервісу.

Висновки

1. Запропоновано нову концепцію інтелектуальної лазерної системи стикування космічних апаратів з використанням активних маркерів. Розроблено алгоритмічні та програмні засоби розпізнавання маркерів заданої геометричної конфігурації з урахуванням

вимог до координатних вимірів та до бортової апаратури. Проведено математичне моделювання розроблених алгоритмів та отримано оцінки можливих похибок.

2. Положення КА та його орієнтацію можна оцінити інтеграцією інформації з гіроскопа (ІНС) та одометрії (відеосистеми). Раніше використовували ЕКФ (розширений, нелінійний фільтр Калмана), щоб оцінити позицію та орієнтацію КА. В останніх дослідженнях, UKF(сигма-точковий фільтр Калмана) використовується для інтеграції даних з гіроскопа і одометра. Для того, щоб перевірити застосовність підходу, потрібні два набори експериментів. Задачею експериментів є вивчення цих підходів в оцінці систематичних і несистематичних помилок одометрії. Попередні оцінки показують, що за UKF положення і орієнтація робота точніше, ніж ЕКФ.

2. Точна система інерційної навігації з допомогою відеосистеми залежить від правильного калібрування відносної позиції камерою і ПІВ. Помилки калібрування вводять ухили в оцінці руху в цілому і зниження продуктивності навігації - іноді різко. Тим не менш, існуючі методи калібрування системи камера-ПІВ є важкими, вимагають багато часу і часто потребують додаткової складної апаратури. Ми формулюємо проблему калібрування відносної позиції системи камера-ПІВ в рамках фільтрації, і можемо запропонувати алгоритм калібрування, яка вимагає тільки плоского калібрування камери. Алгоритм буде використовувати UKF для оцінки позиції ПІВ в глобальній системі відліку, та перетворення 6 ступенів вільності між камерою і ПІВ.

3. Для отримання навігаційного рішення високого рівня від сенсорних даних низького рівня в режимі реального часу, треба мати масштабовану основу для гетерогенної системи з декількома датчиками у зв'язку з інтеграцією обладнання та програмного забезпечення.

4. Якщо підходити до питання з системної точки зору, треба аналізувати весь ланцюжок обробки для тісної інтеграції інерційних вимірювань і візуальних даних. Особлива увага повинна приділятися загальному моделюванню помилок. Надійні виміри невизначеності треба проводити по всьому ланцюжку обробки даних.

5. Система має бути спроектована так, щоб легко збільшувати кількість додаткових апаратних засобів або програмного забезпечення (приймачів GPS, магнітометрів або адаптивних фільтрів Калмана).

Публікації за темою НДР:

1. E.V. Martysh, V. O. Yatsenko, Spacecrafts automatic docking system with active infrared markers Bulletin of Taras Shevchenko National University. Ser.: Radio Physics & Electronics, № (2)20 pp. 29-32, 2013.
2. Тараненко В. Б., Лимаренко Р. А., Топольніков В. О., Яценко В. О., Мартиш Є. В., Меланченко О. Г. Створення інтелектуальної системи керування процесом стикування космічних апаратів на активних оптичних маркерах та її лабораторне макетування // Космічна наука і технологія. – 2015. – Т. 21. № 2 – С.53-55.
3. V. Yatsenko. Optical laser system for Spacecrafts automatic docking system. 7th International conference on advanced optoelectronics and lasers CAOL 2016.– Odessa. September 12-15, 2016.
4. V. Yatsenko “Approach and rendezvous with uncooperative space objects”. Proceeding 15th Ukrainian Conference on Space Research, p.128, 2015.
5. Р.А. Лимаренко, О.Г. Меланченко, В.Б. Тараненко «Перспективи застосування лазерних локаційних технологій в задачах визначення параметрів відносного руху космічних апаратів». Матеріали 15 Української конференції з космічних досліджень, с.109, 2015.