|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** | | | | | |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01 | | | | | |
| Факультет | |  | И |  | Информационные и управляющие системы |
|  | |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра | |  | И9 |  | Систем управления и компьютерных технологий |
|  | |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина | |  | Проектирование ЦС на ПЛИС | | |

НИР в семестре.

|  |
| --- |
| Обзор литературы по тематике диссертации. Выделение |
| предметной области. |
|  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | И9М41 |
| Федоров Е.С. | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | |
| Попов А. М. | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | | |  |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 2019 г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc3226362)

[1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ 5](#_Toc3226363)

[1.1 Описание предметной области 5](#_Toc3226364)

[1.2 Постановка задачи 9](#_Toc3226365)

[1.3 Основные понятия синхронизации ИСЗ 10](#_Toc3226366)

[1.4 Основные положения управления ИСЗ 13](#_Toc3226367)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 21](#_Toc3226368)

ВВЕДЕНИЕ

В представленной выпускной квалификационной работе исследуются алгоритмы синхронизации полета группировки спутников на орбите Земли.

Много лет назад полет в космос считался чем-то немыслимым для многих ученых. Впервые теорию действительного метода преодоления притяжения Земли разработал К. Э. Циолковский. Начиная с этого момента, в космос отправлены тысячи искусственных спутников более чем семьюдесятью странам.

С первых запусков спутники расширили свою область применения. Помимо задач по предоставлению услуг связи и телевидения, в настоящий момент спутники используются во многих исследовательских целях. К самым значимым применениям спутников можно отнести зондирование поверхности Земли. Спутники позволяют метеорологам следить за погодой и аномалиями, предоставляются навигационные услуги, а также позволяют обеспечивать безопасность, контроль над вооружением, шпионаж.

Спутники зондирования позволяют предсказать погодные явления, дают информацию о землетрясениях, извержениях вулканов, состоянии океанов, загрязнении и пожарах в лесах. Существует класс спутников, который позволяет изучать просторы космоса. На таких аппаратах устанавливаются телескопы, благодаря которым ученые могут делать новые открытия неизведанной вселенной.

Актуальность задач по синхронизации полета нескольких спутников подтверждается резким увеличением интенсивности запусков спутниковых формация представителями различных государств, а также множеством задач, которые позволяют решать такие группировки.

Целью настоящей работы является исследование и разработка алгоритма синхронизации полета спутников на орбите Земли. В работе получена нелинейная модель объекта управления. Чтобы получить эту модель был спроектирован ПД- регулятор, а также адаптивный регулятор.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

* провести анализ предметной области;
* провести анализ информационных источников;
* сформулировать постановку задачи;
* построить нелинейные модели относительного движения;
* получить алгоритм управления;
* смоделировать систему управления;
* произвести анализ полученных результатов;

В первой части описана предметная область, история развития искусственных спутников, применение мультиагентных систем управления.

Во второй части получены модели относительного движения для синхронизации движения спутников.

В третьей части представлена разработка систем управления.

В четвертой части показано моделирование системы и анализ предложенных методов управления.

Модель реализована в среде Simulink MATLAB 2017а.

1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ
   1. Описание предметной области

В типовой задаче управления спутником, подразумевается поддержание относительного положения и изменение движения летающих космических аппаратов. Ориентация подразумевает под собой изменения траектории на орбите. Существуют различные подходы к управлению летающих аппаратов.

Прогресс в зондировании, телекоммуникациях и вычислительной технике привили к тому, что начали разрабатывать автономные системы, которые должны функционировать в неопределенной среде. Развитие таких систем привело к появлению мультиагентных систем. Мультиагентые системы подразумевают под собой совокупность объединенных между собой одиночных агентов, которые работают совместно для достижения общей цели. Мультиагенты предусматриваются для того, чтобы помочь выполнить задачи, которые не могли быть завершены с отдельными агентами, действуя в одиночку. Было выявлено, что при выполнении задачи несколькими агентами, который могут взаимодействовать между собой, есть вероятность достижения более высокого показателя надежности и успеха. Для осуществления взаимодействия нужно было решить проблему координации между агентами.

Эту проблемы позволил решить контроль синхронизации. Используя перекрестные связи, границы управления синхронизацией можно разработать таким образом, чтобы агенты выполняли свои собственные задачи при синхронизации движения и поддержания относительной координации между ними. Управление синхронизацией позволяет решать задачи поставленные перед группой в целом.

В начале 21 века самой развиваемой и внедряемой разработкой стала распределенная система Formation Flying (летающая формация), которая осуществлялась на базе миниатюрных спутников. Космическое сообщество определяет понятие «формация», как отслеживание и поддержание необходимого положения или ориентации между группой космических спутников. К примерам формации можно отнести спутники TanDEM-Х, которые запущены с целью составления топографических карт поверхности Земли, или же система телескопов XЕUS.

Для осуществления большинства задач, которые ставят перед современными спутниками нужно использовать систему, осуществляющую автоматическое реагирования на изменения внешней среды. Получается, что система управления должна быть автономной и самоорганизующейся. Агенты в такой системе, должны принимать решения и взаимодействовать друг с другом. При использовании мультиагентов можно получить такие преимущества как, прямое взаимодействие между агентами, а также перераспределение задач между агентами. Благодаря этому возможной становится обработка событий, которые были не запланированы.

Основным и нaиболее рaспрострaненным aлгоритмом синхронизaции является синхронизaция в скользящем режиме. Этот способ чaсто используется для линеaризaции прямолинейных регуляторов. Физический смысл скользящего режимa: нa линии переключения реле должно переключaтся, поэтому физически скользящий режим зaключaется в бесконечно быстрых переключениях реле, происходящих с бесконечно большой чaстотой и вызывaющих бесконечно мaлые изменения выходной величины.

Такие алгоритмы работают с использованием радиоканалов, а также информации с используемых датчиков. Спутник-лидер знает собственные координаты в пространстве, а также движется с некоторой скоростью. Он является ведущим, а все остальные спутники следуют за ним. Для удержания корректной траектории, спутникам-последователям главный спутник передает информацию о собственном местоположении и текущей скорости через радиоканал. Спутник-последователь получает эту информацию. Данные основного спутника и собственные параметры местоположения поступают на вход в алгоритм управления. Алгоритм управления анализирует траекторию и рассчитывает текущее отклонение. В случае если отклонение является допустимым, то корректировка не производится, когда отклонение выходит за пределы допустимых значений, то алгоритм управления вносит коррективы в параметры движения спутника, для возвращения к необходимому значению допустимого отклонения [1].

Проанализировав данные ПрО, сгруппируем их в таблице 1.

Таблица 1 – Основные знания предметной области

|  |  |
| --- | --- |
| Типы знаний предметной области | Описание знаний |
| Данные | Параметры управления;  Данные с датчиков;  Вектор выходной информации. |
| Функции | Открытие канала связи;  Обмен данными по каналу связи;  Анализ отклонения;  Изменение параметров движения. |
| Место обработки | Вычислительная система спутника-последователя. |
| Объекты взаимодействия | Спутник-лидер;  Спутник-последователь. |
| Процессы | Синхронизация по параметрам движения. |
| Цели | Обеспечение движения спутника-последователя с отклонением, не превышающим допустимый. |

Для наглядного представления алгоритма работы при реализации его на практике, рассмотрим диаграмму классов, построенную посредствам проекта ИС на языке UML в среде Rational Rose, которая представлена на рисунке 1.

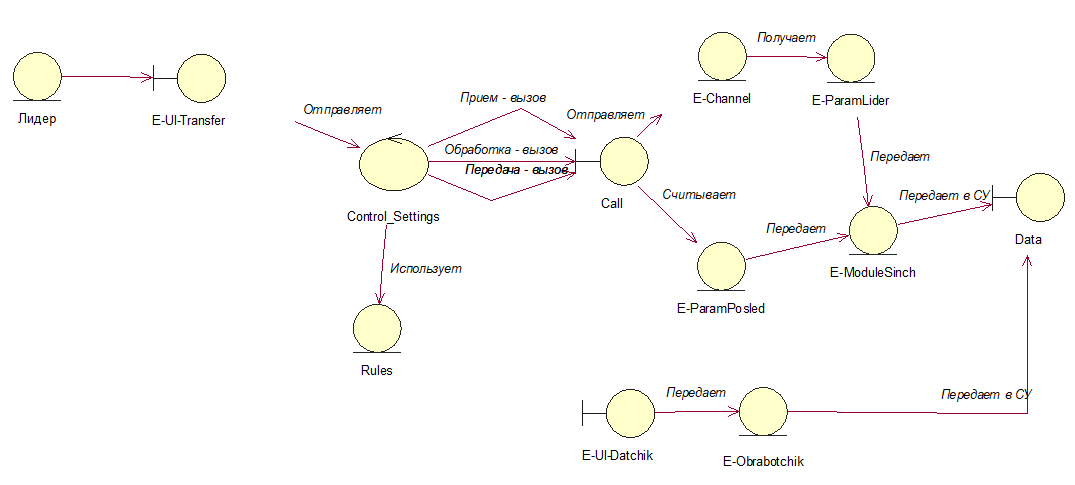


Рисунок 1 – Диаграмма классов

Отобразим назначение классов в таблице 2, которая приведена ниже.

Таблица 2 – назначение классов по слоям.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Наименования слоя | Необходимые высказывания |
| Слой представления | | |
| 1 | E-UI-Transfer | Граничный класс, отвечающий за передачу последователю параметров лидера. |
| 2 | E-UI-Datchik | Граничный класс, отвечающий за получение данных с датчиков последователя. |
| 3 | Rules | Класс хранения, содержащий данные о методах взаимодействия. |
| 4 | Control\_Settings | Управляющий класс, отвечающий за управление работой спутников по средствам вызова методов. |
| Слой предметной области | | |
| 5 | Call | Граничный класс, отвечающий за взаимодействие с классами слоя предметной области. |
| 6 | E-Connect | Класс хранения параметров коммутации. |
| 7 | E-ParamLider | Класс хранения параметров лидера. |

Продолжение таблицы 2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 8 | E-ParamPosled | Класс хранения параметров движения последователя. |
| 9 | E-ModuleSinh | Класс хранения методов синхронизации полета. |
| Слой источника данных | | |
| 10 | Data | Граничный класс, отвечающий за поставку данных из алгоритма синхронизации последователю. |

Как видно из диаграммы классов спутник-последователь получает от лидера по каналу связи данные об его местоположении и скорости движения. Сам же последователь получает с датчиков свои данные, которые проходят через модуль обработки и поступают на вход алгоритма синхронизации. Алгоритм производит вычисления и анализирует необходима ли корректировка параметров последователя, для соблюдения ошибки относительного положения. В случае когда это необходимо, модуль синхронизации рассчитывает новые параметры движения и передает их в СУ.

* 1. Постановка задачи

В данной выпускной квалификационной работе необходимо разработать систему управления синхронизацией спутников лидер-последователь на орбите Земли. Орбита лидера принимается круговой, а угловая скорость постоянной. Спутники рассматриваются как материальные точки. Ориентация спутников не учитывается. Управление применяется в трех взаимно перпендикулярных направлениях независимо друг от друга. Нужно исследовать систему управления относительным положением спутника-последователя. Также надо учесть требования по точности управления и возможных внешних возмущениях, которые влияют на процесс функционирования и изменение параметров модели объекта управления. Установившаяся ошибка относительного положения не более 0,4м.

Для реализации поставленной задачи в ходе выполнения работы будут реализованы следующие задачи:

* получение нелинейной модели движения;
* синтез алгоритма управления;
* моделирование системы управления;
* сравнение полученных моделей управления.
  1. Основные понятия синхронизации ИСЗ

Самый первый полет искусственного спутника Земли был произведен 4 октября 1957 г. в СССР. Позже 2 января 1959 г., впервые была запущена космическая ракета, которая вышла из поля притяжения нашей планеты и стала спутником Солнца. Орбиту ракеты как спутника Солнца можно увидеть на рисунке 2.

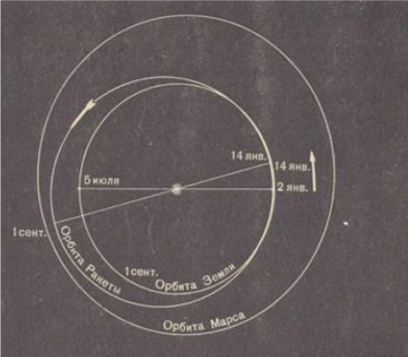


Рисунок 2 – Орбита первой космической ракеты

Первые спутники были небольших размеров, так как существовало ограничение по подъему ракет-носителей. Масса первых спутников была очень маленькой и изменялась в пределах десятков килограммов. Со временем ракетные установки становились совершеннее, а задачи спутников сложнее и обширнее, что привело к появлению летательных аппаратов больших размеров [2]. Но не для всех задач подходят спутники больших размеров. В некоторых случаях группа малых спутников может выполнить задачи, непосильные одному большому. Так сейчас существую группировки спутников состоящих из нескольких десятков аппаратов, которые обеспечивают мобильной сетью Iridium или Globalstar гражданское население, а также могу быть использованы для военных контактов [3]. В основном такие спутники запускают на низкие околоземные орбиты, но также в определенных ситуациях их запускают и на геостационарные орбиты, для каких-либо стратегических назначений, например для отслеживания чрезвычайных ситуация в военной сфере или же для обнаружения эпидемий.

Формации спутников – это группы спутников, которые находятся на близких расстояниях и выполняют единую задачу. Особенностью является возможность осуществлять одну поставленную задачу сообща, всеми участниками формации. У реализации мультиагентных систем есть несколько плюсов, это решение новых, ранее невозможных, задач, а также повышение надежности группы. Так, если говорить о втором преимуществе, то при выходе из строя одного спутника решение задачи не будет остановлено, следовательно, в случае нештатной ситуации не будет потеряно время, которое отводилось на ее решение.

Относительное движения ИСЗ обычно описывают уравнением Клохесси-Вилтшира-Хилла. В нем не учитываются внешние возмущения, которые могут также влиять на движение космического аппарата, но даже несмотря на это принимается, что периодические движения неустойчивы и космические аппараты будут изменять свое положение относительно друг друга. Для решения этой проблемы, нужно разрабатывать такие СУ, которые могут обеспечить заданное относительно движение [4]. Как мы выяснили выше, существуют внешние воздействия, такие как атмосферное сопротивление или солнечное давление, их наличие и изменение также должна учитывать такая СУ.

Развивающиеся адаптивные технологии спутников создают ранее недоступные возможности для науки. Не для всех задач и миссий подходят существующие алгоритмы управления, так, зачастую, формирование таких миссий очень дорогостоящее занятие. Можно наблюдать множество миссий, что были отменены или же изменены, относительно изначальных планов. Но так или иначе, такие спутники запускают, так как только благодаря совместной работе группировки возможно решение некоторых задач. Например, существует миссия NasаGrаce. В рамках программы, спутники производят исследование влияния Солнца на магнитное поле Земли. Орбиты спутников заданы таким образом, чтобы измерять любые малейшие изменений влияния Солнца. В составе группы содержится шесть спутников, которые взаимодействуют между собой, делая измерения трехмерных полей на высоте 119000 км.

При запуске космических аппаратов очень важной составляющей является выбор НУ, которые задают необходимое поведение на старте. Важно выбрать подходящие НУ, которые будут уменьшать вероятность расхождения между спутниками. К сожалению, редко удается спрогнозировать какие факторы возмущения будут оказывать существенное воздействие. При этом важно учесть возможные факторы и постараться минимизировать ошибку. Для любой корректировки неизбежно поведут за собой потерю топлива, которое необходимо для работы двигателей и задания ускорения и поведенческих особенностей летательного аппарата. Ошибки в относительном расстоянии при внешнем воздействии, связаны с погрешностью оценки местоположения каждого спутника, которые возникают из-за сопротивления.

Уравнение сопротивления связано с коэффициентом баллистики , которое определяет площадь поперечного сечения. Неточная или неверная оценка повлечет за собой возникновение ошибки для всех последующих траекторий и их изменений. Уравнение сопротивления

(1.1)

где CD – коэффициент сопротивления, p – плотность атмосферы, лежащий параллельно вектору скорости к атмосфере, – скорость относительно к атмосфере, m – масса [5].

Как уже было рассмотрено выше, в уравнении сопротивления - является коэффициентом B, тогда уравнение сопротивления примет следующий вид:

(1.2)

* 1. Основные положения управления ИСЗ

В нашей работе производится рассмотрение группы спутников, объединенных для выполнения задачи. Для управления группой разрабатываются необходимые микроконтроллеры и алгоритмы, обеспечивающие верную координацию. Предполагается несколько подходов в решении таких задач, а точнее, распределенный и централизованный подход. Распределенный подразумевает под собой возможность обмениваться данными между соседними спутниками. Данный подход отграничен тем, что спутник может обмениваться только со своими соседями, а значит ограничен в расстоянии. Такой подход хорош тем, что на разных спутниках-соседях могут быть установлены различные датчики, а за счет взаимодействия между собой каждый из низ будет получать всю необходимую информацию целиком. Еще один подход – централизованный подход, который предусматривает наличие одного общего головного агента, обеспечивающего все взаимодействия и имеющего доступ к данным каждого из других агентов. В таких случаях центральный агент является более совершенной моделью, которая является хабом для коммутации и все основные взаимодействия происходят через него [6].

Группировки спутников часто состоят из малых спутников, называемых кубсатами. Полезная нагрузка на спутники определяется задачей, которая поставлена перед миссией. Зачастую малые спутники запускаются для экспериментов, небольших студенческих объединений, такие спутники не имеют на своем борту огромного количества оборудования, поэтому могут достигать массы всего в 1-2 кг. В данный момент развиваются технологии и производят более сложные малые спутники. Время работы таких спутников очень невелико. Зачастую питание осуществляется за счет обычных батарей питания, а в более сложные устанавливают солнечные панели, что значительно увеличивает срок службы такого спутника.

Для более крупных спутниковых аппаратов применяются более сложные системы, где используются топливные системы и окислители. Системы двигателей позволяют управлять орбитой спутника и скоростью его движения. Так геостационарные спутники имеют куда большие размеры и способны просуществовать в открытом космосе 15 и более лет.

Существует несколько фаз в конце жизни геостационарного спутника, когда топливо на исходе. Обычно вначале, когда топливо подходит к низкой отметке, спутник совершает действия, чтобы перевести его положение, когда эксцентриситет перестает быть главное проблемой. Далее осуществляется более редкая корректировка положения, для экономии топлива. При этом на Земле необходимо подстраиваться под такие спутники и отслеживать их положение [7].

При синхронизации полета, существует спутник-лидер, занимающий заданную орбиту, а также последователь, который производит управление своим движением относительно положения лидера. Это позволяет все время последователям контролировать свое движение и не отдаляться от лидера. При таком подходе последователи тратят больше топлива, чем лидер, но для экономии адаптивные алгоритмы могут менять относительно положение лидера в целях равномерного расхода. В формации с лидером во главе, может быть большое количество последователей.

На рисунке 3 показаны варианты взаимодействия спутников в формации, осуществляющих зондирование Земли с целью сбора информации о поверхности и составления карты рельефа местности.

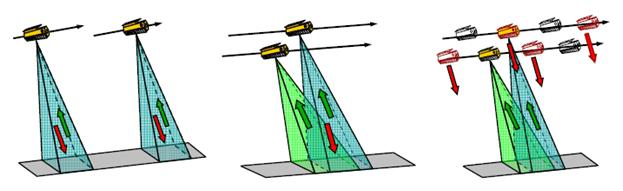


Рисунок 3 – Формации спутников зондирования

В группировках спутников важной задачей является возможность взаимодействия, сотрудничества по обмену информацией для осуществления синхронизации работы. Между агентами должны быть открыты каналы связи, которые представляют собой ребра в топологии вида граф, а непосредственно сами агенты- спутники являются узлами. Для динамической системы важно понимать, что ребра имеют ограничения по дальности коммутации.

Мультиагентные системы позволяют решать более обширные задачи, так если один агент не имеет оборудования для решения конкретной задачи, то может найтись другой агент, который сможет ее решить. Еще один вариант взаимодействия заключается в решении простых подзадач агентами по отдельности. После завершения поставленных подзадач они объединяются в одну общую задачу. Таким образом, на основании всех собранных данных, решается проблема путем взаимодействия отдельных агентов системы. Варианты взаимодействия могут быть различны, либо решение проблемы в параллельном режиме, либо в асинхронном режиме. Взаимодействие агентов, динамика конкретного агента, правила коллективного управления, необходимы для успешного решения поставленной цели перед группой агентов. Отсутствие какого-то из этих компонентов не позволит взаимодействовать группе, как целому [8]. Конфигурация систем мультиагентов представлена на рисунке 4.

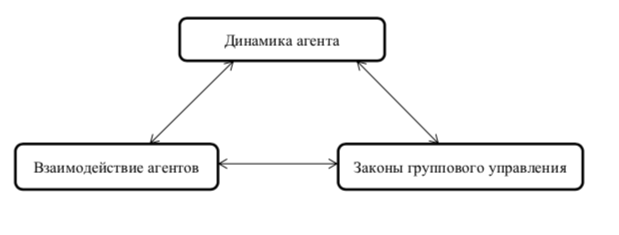


Рисунок 4 – Конфигурация взаимодействия мультиагентов

Любые агенты подразумевают под собой ряд характеристик к которым относят автономность, координирование, социальность, реактивность, проактивность и другие. Под автономностью понимают самостоятельное существование и решение допустимых задач, вне зависимости от других. Координирование и социальность необходимы для общения с другими агентами, получения от них информации, отправления им запросов и решения совместными усилиями групповых задач. Проактивность — это характеристика, описывающая поведение агента и осуществление действий, направленных на достижение целей. Реактивность позволяет агенту реагировать на внешнюю среди, приспосабливаться к ней и реагировать на ее изменения. Для осуществления реализации поставленных совместных целей группе, они должны обладать возможностью получать информацию извне, обрабатывать ее, передавать ее другому агенту, принимать решение о выполнении действия. Основными задачами агента являются решения о выборе конкретного действия для совершения, а также выбора времени совершения этого действия. Любой агент может решать и задачи высокой сложности, осуществляя коммуникацию с соседями, координируя их поведение и обеспечивая собственное поведение. Совместная работы может улучшить эффективность решения поставленной задачи, снизить затраты и увеличить время автономности группировки агентов в целом.

Восприятие окружающей обстановки обычно производится сенсорами, которые получают определенные воздействия от окружающей среды. Оборудование и алгоритмы на борту агента осуществляют восприятие этой информации и ее обработку. На основании принятого решения производятся действия, которые меняют поведение агента, могут повлиять на поведение других агентов формации, и обязательно скажутся на состоянии окружающей среды. Так например при увеличении скорости, для противодействия какому-то внешнему фактору, спутник столкнется с увеличением сопротивления. Связь агента с окружающей средой показа на рисунке 5.

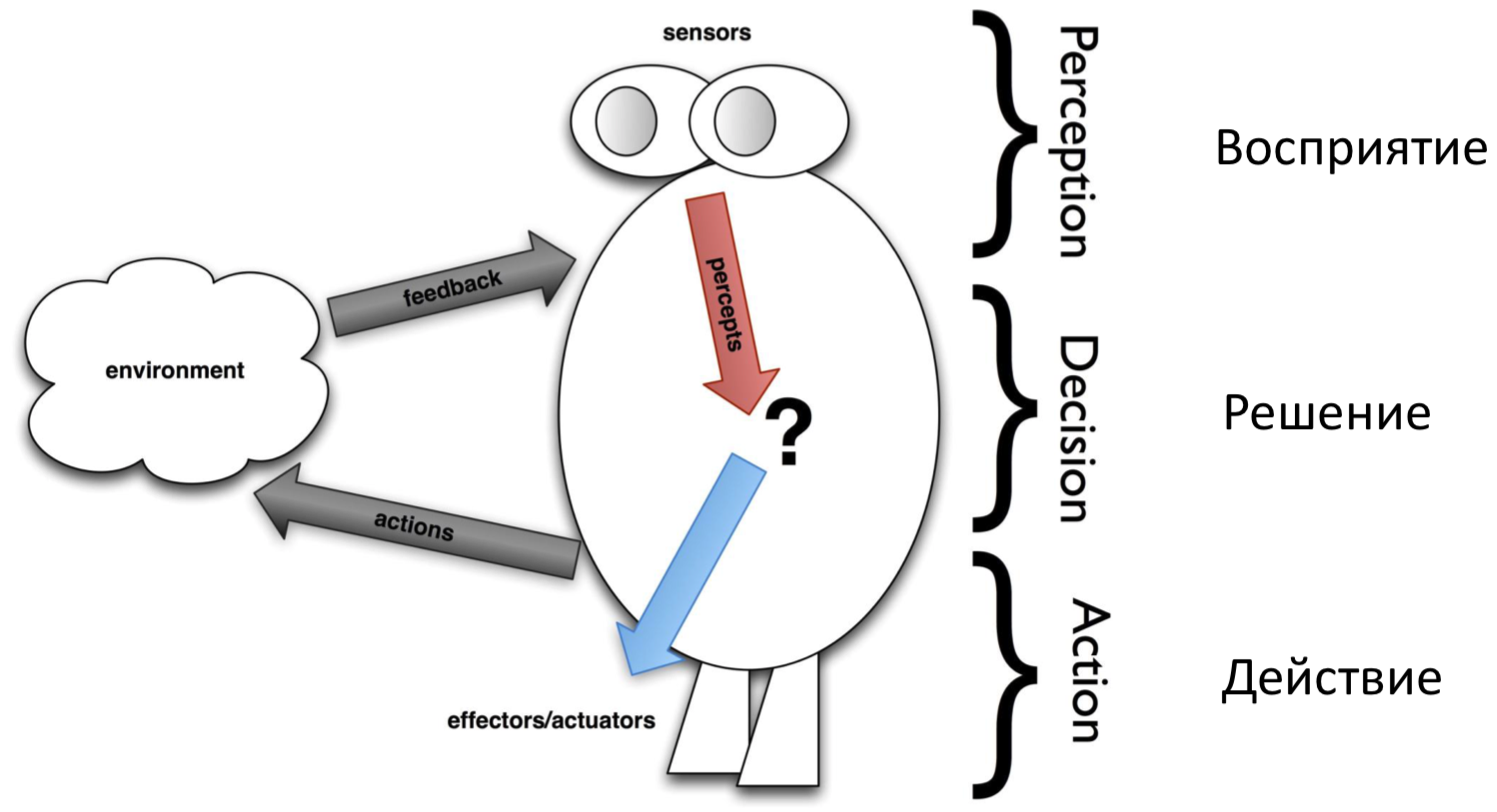


Рисунок 5 – Связь между агентом и окружающим пространством

Окружающая среда влияет на процесс создания агентов и их последующую эксплуатацию. Ее принято классифицировать по следующим факторам:

* полностью наблюдаемая или частично наблюдаемая;
* статическая или динамическая;
* непрерывная или дискретная;
* детерминированная или стохастическая;
* последовательная или эпизодическая [9].

Для различных задач, динамика агентов может быть разной. Простейшая динамика агента есть система, смоделированная интеграторами первого порядка, которые могут быть приняты в случае, если скорости агентов, непосредственно манипулированы. Когда манипулировать можно и ускорением, для описания динамики агента используют интеграторы второго порядка. Более сложные динамики агента определяют линейными системами высокого порядка, в которые входят интеграторы высоких порядков и линеаризованные модели динамики нелинейных агентов. Когда говорится о синхронизации формирования полета спутника, агенты, чаще всего, описываются нелинейными уравнениями Эйлера-Лагранжа второго порядка. Ряд научных деятелей предложили простые эвристические законы управления для организации любого большого числа летательных аппаратов, которые входят в состав регулярных механизмов, основанных на местной информации. Такие методы имеют такое преимущество, что они могут легко масштабируются до большого количества транспортных средств, при этом, не влияя на количество вычислений. Несмотря на это они расходуют топливо и включают в себя положение, которые обеспечивают предотвращение столкновений. Для всех космических миссий основной задачей является уменьшение затрат топлива, потому что топливо на орбите невозможно пополнить, а также его дороговизна является большой частью общих затрат. При создании контроллера использование топлива будет главным пунктом для рассмотрения. Для полета группы спутников потребуется намного больше топлива, чем для одного единственного космического аппарата. Было предложено несколько типов миссий образования полета: интерферометрии пассивной апертурой, и повторить наблюдения наземного следа. Каждая из этих задач требует различной степени контроля для достижения целей наблюдения. Предлагаемые интерферометрии миссии требуют контроля относительного положения космического аппарата с высокой степенью точности и конкретных геометрических шаблонов. Когда необходимая геометрия формирования диктует, что естественные орбитальные возмущения быть аннулированы, значительные объемы топлива могут быть необходимы для достижения целей миссии [10].

Разнесение комических систем ведет к более высокой масштабируемости и более высоким возможностям адаптивности, при изменении задач миссии или же при внедрении дополнительных агентов в формацию. Интерферометры отличаются по составу и среде в которой они оперируют. Обычно они состоят из разнесенных разрешенных оптических инструментов, приводящих к разреженной апертуре. В космическом пространстве есть ряд преимуществ по использованию таких оптических интерферометров. Они имеют большую чувствительность, широкое поле зрения и хорошее разрешение, благодаря чему увеличивается способность к обнаружению. Ввиду ограничений по размерам ракеты-носителя и сложности механизма развертывания возможности оптического интерферометра ограничены точностью координации разнесенных элементов оптики. В современном мире есть потребность в улавливании все более слабых сигналов и волн. Для достижения таких задач необходимо использовать диафрагмы большего размера и увеличенные расстояния фокусировки. Также могут быть использованы химические реакции для построения переключателей, где молекула подконтрольно управляется между несколькими устойчивыми состояниями. Диоды могут быть сделаны, как полагаются на подобных индуцированных переходах между изомерами структуры. Такие устройства можно обобщить в молекулярные цепочки, динамические молекулярные системы. Возможности и характеристики таких сетей зависят от межмолекулярных связей, которые можно контролировать с помощью электронно-лучевой литографии и молекулярно-лучевой эпитаксии.

Когда речь идет о МАС, то всегда сталкиваются с проблемой консенсуса. Это означает, что группа агентов достигает соглашения по общепризнанному значению в процессе социальных взаимодействий. Этим консенсусом необходимо управлять, т.е. стоит задача по разработке таких алгоритмов, чтобы на основании локальной информации агенты приходили к соглашению. Цель контроля формирования конечных состояний более обширна, она заключается в стабилизации позиций агентов в установленных значениях. Контроль за формированием подразделяется на формирование производства и формирование отслеживания. На первом этапе производится установка необходимых параметров и изменения траектории движения, скорости и других показателей, которые необходимы для осуществления задачи. При отслеживание производится контроль за сохранением заданных орбит и относительных расстояний, путем контроля за ошибкой отклонения [11].

С развитием точного синхронизованного полета формации спутников открываются новые границы для научных исследований. Получаемые данные могут быть более точными или разносторонними. Производится экономия топлива, путем постоянных незначительных корректировок, а благодаря этому такие формации значительно дольше остаются работоспособными на орбите. Миссии способны приобретать гораздо большие масштабы за счет наращивания количества агентов в формациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления. В 2-х томах. Линейные системы. Т.1.; Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Т.2.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, 2004.
2. Joseph N Pelton, Ram Sarup Jakhu Small Satellites and Their Regulation. - New York: Springer, 2015.
3. Zhongkui Li, Zhisheng Duan. Cooperative Control of Multi-Agent Systems. – CRC Press, 2015.
4. Steven P. Neeck, Thomas J. Magner, Granville E. Paules. NASA’s small satellite missions for Earth observation. – Elsevier, 2004.
5. Alfriend K., Vadali S.R., Gurfil P., How J., Breger L. Spacecraft Formation Flying: Dynamics, Control, and Navigation. – Oxford: Butterworth- Heinemann, 2010.
6. Pukdeboon Ch. Second-Order Sliding Mode Controllers for Spacecraft Relative Translation. – Applied Mathematical Sciences, Vol. 6, 2012.
7. Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. – М.: Наука, 1980.
8. Anil K. Maini, Varsha Agrawa. Satellite technology principles and applications. Third edition. – United Kingdom:John Wiley & Sons Ltd, 2014.
9. Граничин О.Н. Агенты и их взаимодействия // URL: http://www.math.spbu.ru/user/gran/PP/PP\_lec07.pdf (дата обращения 22.05.2018).
10. И. Е. Зараменских, М.Ю. Овчинников, И. В. Ритус. Компенсация влияния сжатия Земли в относительном движении формации спутников с малой тягой заданного направления // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2008.
11. Скобелев П.О., Соллогуб А.В., Иващенко А.В., Симонова Е.В., Степанов М.Е, Царев А.В. Мультиагентная система для исследования методов взаимодействия космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. Перспективные информационные технологии для авиации и космоса. Труды Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. – Самара: СГАУ, 2010.