

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ*

*П.О. Скобелев¹, А.В. Соллогуб², А.В. Иващенко¹, Е.В. Симонова³,
М.Е. Степанов³, А.В. Царев³*

¹ Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, г. Самара, ул. Садовая, 61

² Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс»
443009, г. Самара, ул. Земеца, 18

³ Научно-производственная компания «Разумные решения»
443080, г. Самара, ул. Санфировой, 95, лит. 4, к. 416

E-mail: simonova@smartsolutions-123.ru

Рассматривается мультиагентный подход к организации взаимодействия космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в реальном масштабе времени. Описываются модели и алгоритмы, лежащие в основе мультиагентного взаимодействия КА ДЗЗ, объектов наблюдения, Земли и Солнца.

Ключевые слова: мультиагентные системы, онтологии, космический аппарат, дистанционное зондирование Земли.

Введение. С развитием новых информационных технологий, появлением первых автономных роботов и ростом интеллектуальных возможностей машин всё большее значение приобретает проблема управления коллективами программных систем или роботов, автономно функционирующих в реальном времени в непрерывном цикле восприятия информации из внешней среды, планирования своих действий и контроля их исполнения. Если еще десять лет назад эта проблема лежала преимущественно в области робототехники будущего, то сегодня данная проблема оказывается актуальной не только для любого современного предприятия, но и для обычного автомобиля или дома, содержащих десятки и сотни автономных подсистем, между которыми требуется всё больше координации и согласованности решений.

Особую сложность данная проблема получает при управлении коллективами подвижных объектов в реальном времени. Например, в настоящее время большие перспективы в ракетно-космической отрасли связываются с созданием коллективов экономичных миниатюрных роботов-спутников, в частности, нано- (до 20 кг) и пико- (до 1 кг) масштаба. Обзор результатов работ по таким спутникам для наблюдения Земли и телекоммуникации можно найти, например, в работе [1], где особо отмечается резкий рост числа запусков таких спутников в США и Европе в последние три года.

Для решения рассматриваемой проблемы необходимо обеспечить согласованное взаимодействие подвижных объектов, позволяющее управлять группой мобильных ресурсов в режиме реального времени. Реализовать такое взаимодействие можно с помощью технологий семантического веба [2-4] для представления знаний, необхо-

* Работа поддержана Грантом РФФИ (проект №10-08-01015а).

Петр Олегович Скобелев – д.т.н., ведущий научный сотрудник.

Анатолий Владимирович Соллогуб – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник.

Антон Владимирович Иващенко – к.т.н., доцент, научный сотрудник.

Елена Витальевна Симонова – к.т.н., доцент, аналитик.

Максим Евгеньевич Степанов – инженер-разработчик.

Александр Вячеславович Царев – директор по технологиям.

димых для принятия согласованных решений в ходе планирования, и мультиагентной технологии [5, 6], активно развивающейся в последние годы на стыке работ по объектному программированию, параллельным системам, искусственному интеллекту и телекоммуникациям.

Применение данного подхода представляется, прежде всего, в решении задачи согласованного взаимодействия КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В данной статье предлагается описание базовых принципов организации взаимодействия таких КА и результаты разработки экспериментального образца мультиагентной системы моделирования взаимодействия КА.

1. Задача обеспечения согласованного взаимодействия КА ДЗЗ. Обеспечение дистанционного зондирования Земли является актуальной задачей. Области применения ДЗЗ включают обновление топографических карт, контроль состояния гидротехнических сооружений на каскадах водохранилищ, определение реального местонахождения морских судов в той или иной акватории, отслеживание динамики и состояния вырубок леса, природоохранный мониторинг, оценку ущерба от лесных пожаров и их последствий, мониторинг разливов нефти и движения нефтяного пятна, контроль несанкционированного строительства, прогноз погоды и мониторинг опасных природных явлений и др.

При этом для решения данных задач могут использоваться как различные носители (космические аппараты, самолеты, дирижабли), так и различные средства измерения (датчики) с диапазоном измеряемых электромагнитных волн от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны). Кроме этого могут применяться как пассивные методы ДЗЗ (использующие естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли), так и активные (использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия).

Разные КА, которые могут использоваться для ДЗЗ, как правило, имеют разное оснащение (различные датчики) и разные траектории движения, что накладывает определенные ограничения на время и стоимость решения задачи в каждом конкретном случае. Кроме этого, многие области применения, указанные выше, требуют использования разных технических средств. Для идентификации высокодинамичных процессов, происходящих на поверхности Земли, важно наблюдение с высокой степенью периодичности, что может быть обеспечено средствами группировки из нескольких КА.

Таким образом, задача обеспечения согласованного взаимодействия нескольких КА ДЗЗ в режиме реального времени является актуальной. Такое взаимодействие может быть централизованным, под управлением с Земли, и распределенным, на основе обмена указаниями (информацией, командами) о выполняемых действиях между КА. Второй принцип представляется более эффективным с точки зрения временных затрат и адаптивности системы КА. Действительно, самоорганизация подвижных объектов на основе компенсационных взаимодействий даёт принципиально новые возможности и важные преимущества по сравнению с традиционными методами. Вместе с тем, такой подход требует высокой автономности бортовых систем, а также реализации новых принципов построения программного обеспечения этих систем на основе применения мультиагентных технологий.

Подчеркнём, что рассматриваемые спутники должны не только самостоятельно и независимо принимать решения, но при необходимости договариваться и гибко формировать коалиции или команды спутников различного целевого назначения, в том числе и новые, изначально наперёд не заданные. Такая коалиция спутников ведет себя как рой, который управляется коллективно, с участием каждого из них. Ра-

бота такого рода новых систем, где сложный объект состоит из коллектива автономно функционирующих, но постоянно взаимодействующих частей, требует принципиально новых подходов, методов и средств построения систем управления. Фактически речь идёт о создании нового класса систем распределённого интеллекта, ключевую роль в которых играют самоорганизация и взаимодействие между подсистемами, обеспечивающие согласованное поведение всего коллектива подсистем в целом при решении поставленных задач.

2. Мультиагентный подход к построению системы ДЗЗ. Так как задача дистанционного зондирования Земли является сложной, распределенной пространственно-временной задачей, для ее решения можно эффективно использовать мультиагентные технологии. Мультиагентная система состоит из автономных агентов, способных воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с себе подобными. Знания, необходимые для такой системы, могут быть отделены от программного кода системы и храниться в онтологии, представляющей собой сеть понятий и отношений предметной области. В данной задаче агенты могут быть сопоставлены наземному объекту зондирования, наземному комплексу экспериментальной обработки, тестирования и сопровождения бортовой автономной системы зондирования Земли и КА (спутникам).

В системе следует различать два взаимосвязанных контура: контур анализа и контроля ситуаций в целях создания управляющего воздействия на космическую систему зондирования и контур управления базой знаний. Онтология, с одной стороны, обеспечивает устойчивое функционирование первого из приведенных контуров, а с другой – развивается и пополняется в реальном масштабе времени новыми знаниями в целях повышения адаптивных свойств системы. На первом этапе обработка онтологии может происходить в наземных условиях, а затем часть онтологической базы можно перенести на борт КА.

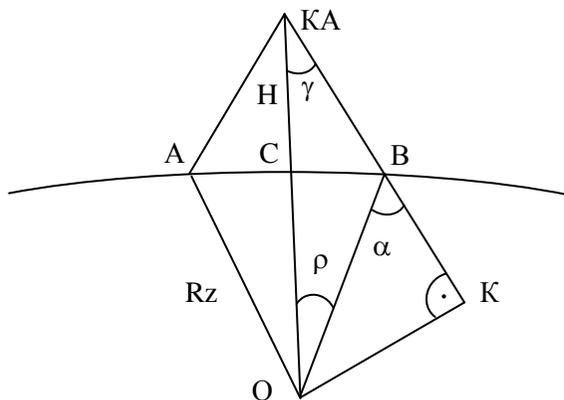
Цели мультиагентной системы могут включать определение закономерности (сценария) поведения системы в целом на основе сценариев поведения отдельных агентов и их взаимодействия и целеполагание в процессе функционирования системы. Использование мультиагентного сообщества КА позволяет повысить эффективность решения задачи ДЗЗ. Например, если у одного из спутников имеется онтология, позволяющая распознавать геометрические формы объекта, а у другого – онтология для распознавания фрактальных сигнатур, агент первого спутника может поставить агенту второго спутника задачу распознавания объекта по ситуации. Рой таких спутников может запускаться, например, с борта КА традиционных размеров. Рой пикоспутников может быть организован в виде устройства, играющего роль космической радиоантенны, причём выход из строя нескольких элементов не повлияет на работу устройства в целом (технология Glass Satellites калифорнийской корпорации Aerospace).

Таким образом, решение рассматриваемой проблемы связывается с заменой одного центрального планирующего командного центра, выдающего «оптимальные» инструкции всем участникам – подвижным объектам и работающего в «оффлайне», на распределенное сообщество (коллектив) более простых, но более интеллектуально действующих «малых» интеллектуальных планировщиков, способных согласовывать свои планы путем непосредственного прямого взаимодействия в режиме реального времени с учётом изменяющихся предпочтений и ограничений [7]. Важно, что при этом каждый из участников способен как к автономному принятию решений по планированию собственного поведения, так и к согласованному многостороннему взаимодействию с другими участниками.

3. Модели и алгоритмы, лежащие в основе мультиагентного взаимодействия КА ДЗЗ, объектов наблюдения, Земли и Солнца. Введём ряд понятий и рассмотрим некоторые из моделей, на которых базируется построение мультиагентного взаимодействия таких «агентов», как Земля, Солнце, КА ДЗЗ, объекты наблюдения. Под мгновенной зоной обзора КА понимается шаровой сегмент (ACB), соответствующий углам γ и ρ (см. рисунок), где γ – максимально возможный угол отклонения КА от вертикали, определяющий зону обзора КА, и ρ – центральный угол зоны обзора из центра Земли (в радианах). На рис. 1 Н – высота полёта КА, R_z – радиус Земли, О – центр Земли, С – подспутниковая точка. Совокупность подспутниковых точек образует трассу полёта КА.

Так как $\rho = \alpha - \gamma$ и $\sin \alpha = OK / R_z$, $\sin \gamma = OK / (R_z + H)$, $OK = \sin \gamma (R_z + H)$, то $\rho = \arcsin \left(\frac{R_z + H}{R_z} \sin \gamma \right) - \gamma$.

Ширина $L = AB$ зоны обзора равна $L = 2R_z \cdot \rho$.



Мгновенная зона обзора

Под полосой обзора КА понимается шаровой пояс на поверхности Земли, который образуется в результате сложения двух движений: перемещения мгновенной зоны обзора вместе с движением КА по орбите и вращения Земли вокруг своей оси. Ширина полосы равна ширине мгновенной зоны обзора L . Полоса обзора КА может вычисляться в каждый момент времени и прогнозироваться на последующие моменты времени. Для наблюдения объектов в видимом диапазоне спектра необходимо выполнение следующих условий: 1) объект должен находиться в зоне обзора КА; 2) объект должен находиться на освещённой стороне Земли; 3) для угла места Солнца α_c при съёмке объекта должно выполняться условие $\alpha_c > \alpha_c^{kp}$, где α_c^{kp} – минимально допустимое значение ($\alpha_c^{kp} \sim 10^\circ$); 4) объект не должен быть закрыт облаками. Для радиолокационной съёмки условия 2, 3, 4 не имеют значения.

3.1. Условие нахождения объекта наблюдения в зоне обзора КА. Рассмотрим задачу об определении положения объекта относительно зоны обзора КА. Для описания положения КА воспользуемся подвижной орбитальной системой координат OSK (i'_1, i'_2, i'_3), для описания положения объекта – гринвичской вращающейся системой координат GSK (i''_1, i''_2, i''_3) и системой координат, связанной непосредственно с

объектом. Орт i'_1 направлен из центра Земли в центр масс КА, i'_2 ортогонален i'_1 , лежит в плоскости орбиты и направлен в сторону движения КА, i'_3 дополняет систему до правой. Орт i''_1 лежит на пересечении гринвичского меридиана и экватора, i''_3 – по оси вращения Земли, i''_2 дополняет систему до правой. Вычисления будем выполнять в абсолютной инерциальной системе координат ISK (i_1, i_2, i_3), где i_1 направлен в точку весеннего равноденствия (т.в.р.), i_3 параллелен оси вращения Земли, i_2 дополняет систему до правой.

Движение КА удобно моделировать с использованием оскулирующих элементов: Ω – долгота восходящего узла орбиты, i – наклонение орбиты, $u = \omega_p + \nu$ – аргумент широты, ω_p – аргумент перигея, ν – истинная аномалия, t_p – время прохождения КА через перигей. Кватернион углового положения OSK относительно ISK равен $\Lambda_{ISK_KA} = \Lambda_{ISK_OSK} = \Lambda_{\Omega} \circ \Lambda_i \circ \Lambda_{\omega_p + \nu}$, где \circ – знак кватернионного умножения, $\Lambda_{\Omega}, \Lambda_i, \Lambda_{\omega_p + \nu}$ – кватернионы собственных элементарных поворотов вида

$$\Lambda_{\Omega} = \cos \frac{\Omega}{2} + i_3 \cdot \sin \frac{\Omega}{2}, \Lambda_i = \cos \frac{i}{2} + i_1 \cdot \sin \frac{i}{2}, \Lambda_{\omega_p + \nu} = \cos \frac{\omega_p + \nu}{2} + i_3 \sin \frac{\omega_p + \nu}{2}.$$

Кватернион углового положения GSK относительно ISK равен

$$\Lambda_{ISK_GSK} = \cos \frac{s}{2} + i_3 \cdot \sin \frac{s}{2},$$

где s – местное звёздное время на гринвичском меридиане.

Положение объекта относительно GSK удобно задавать с помощью географических координат Об (φ_0, λ_0), где φ_0, λ_0 – соответственно широта и долгота объекта. Соответствующий кватернион положения объекта равен

$$\Lambda_{GSK_Ob} = \Lambda_{\lambda} \circ \Lambda_{\varphi},$$

где $\Lambda_{\lambda} = \cos \frac{\lambda_0}{2} + i_3 \sin \frac{\lambda_0}{2}, \Lambda_{\varphi} = \cos \frac{\varphi_0}{2} + i_2 \sin \frac{\varphi_0}{2}$.

Кватернион положения системы координат, связанной с объектом (орт i_1^{Ob} направлен из центра Земли на объект, i_3^{Ob} перпендикулярен i_1^{Ob} и лежит в плоскости меридиана объекта, i_2^{Ob} дополняет систему до правой), относительно ISK равен

$$\Lambda_{ISK_Ob} = \Lambda_{ISK_GSK} \circ \Lambda_{\lambda} \circ \Lambda_{\varphi}.$$

Определим кватернион положения объекта относительно положения КА (Λ_{KA_Ob}). Так как $\Lambda_{ISK_Ob} = \Lambda_{ISK_KA} \circ \Lambda_{KA_Ob}$, то $\Lambda_{KA_Ob} = \tilde{\Lambda}_{ISK_KA} \circ \Lambda_{ISK_Ob}$, где $\tilde{\Lambda}_{ISK_KA}$ – кватернион, сопряжённый кватерниону Λ_{ISK_KA} .

В вычислительной практике удобно пользоваться нормированными кватернионами вида

$$\Lambda = \lambda_0 + \lambda_1 i_1 + \lambda_2 i_2 + \lambda_3 i_3,$$

где $\lambda_0 = \cos \frac{\varphi}{2}, \lambda_1 = \cos \alpha \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \lambda_2 = \cos \beta \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \lambda_3 = \cos \gamma \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$,

$\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$ – направляющие косинусы орта \bar{e} оси поворота относительно базиса i_1, i_2, i_3 , а φ – угол, определяющий конечный поворот тела. Четвёрка чисел

$\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ называется параметрами Родрига – Гамильтона.

Таким образом, если имеем $\Lambda_{КА_Об} = [\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3]$, то наблюдаемый объект находится в зоне обзора КА, если выполняется условие: $2 \cdot \text{arcCos}(\lambda_0) \Big|_{\Lambda_{КА_Об}} < \rho$.

3.2. Условие освещённости объекта наблюдения Солнцем с учётом ограничения по углу места Солнца. Переход от ИСК к эклиптической системе координат (ЭСК) с направлением орта i_1^3 на Солнце (i_2^3 находится в плоскости эклиптики, i_3^3 дополняет систему до правой) определяется кватернионом:

$$\Lambda_{ИСК_ЭСК} = \left(\cos \frac{\delta_c}{2} + i_1 \cdot \sin \frac{\delta_c}{2} \right) \circ \left(\cos \frac{\alpha_c}{2} + i_3 \cdot \sin \frac{\alpha_c}{2} \right),$$

где $\delta_c = 2\pi \left(23 + \frac{27}{60} \right) / 360$ – угол между эклиптической и экватором, $\alpha_c = 2\pi N / 365$ – угол между направлением на т.в.р. и линией «Земля – Солнце», N – число дней, прошедших с 21 марта (т.в.р.) до даты полёта. В этом случае при известной дате полёта и известных географических координатах объекта наблюдения можно определить кватернион $(\Delta\Lambda_{Об_ЭСК})$ углового положения построенной ЭСК и системы координат, связанной с объектом.

Из $\Lambda_{ИСК_ЭСК} = \Lambda_{ИСК_Об} \circ \Delta\Lambda_{Об_ЭСК}$ получаем $\Delta\Lambda_{Об_ЭСК} = \tilde{\Lambda}_{ИСК_Об} \circ \Lambda_{ИСК_ЭСК}$.

Отсюда условие освещённости объекта имеет вид

$$2 \cdot \text{arcCos}(\lambda_0) \Big|_{\Delta\Lambda_{Об_ЭСК}} \leq \frac{\pi}{2} - \alpha_c^{kp}.$$

3.3. Условие наблюдаемости объекта. Условие состоит в одновременном выполнении условий нахождения объекта в зоне обзора КА и требований по его освещённости:

$$\left(2 \cdot \text{arcCos}(\lambda_0) \Big|_{\Lambda_{КА_Об}} < \rho \right) \wedge \left(2 \cdot \text{arcCos}(\lambda_0) \Big|_{\Delta\Lambda_{Об_ЭСК}} \leq \frac{\pi}{2} - \alpha_c^{kp} \right) = 1.$$

Приведенные модели могут быть использованы в системе имитационного моделирования для быстрой оценки свойств мультиагентной системы наблюдения и планирования её поведения. На практике определение условий наблюдаемости упрощается при наличии на борту автономного КА датчиков глобальной навигационной спутниковой системы. При известных географических координатах КА $(\varphi_{КА}, \lambda_{КА})$ условие наблюдаемости примет вид

$$(\sigma < \rho) \wedge \left(2 \cdot \text{arcCos}(\lambda_0) \Big|_{\Delta\Lambda_{Об_ЭСК}} \leq \frac{\pi}{2} - \alpha_c^{kp} \right) = 1,$$

где $\sigma = \text{arcCos}[\sin \varphi_0 \sin \varphi_{КА} + \cos \varphi_0 \cos \varphi_{КА} \cos(\lambda_{КА} - \lambda_0)]$.

3.4. Условия взаимной видимости двух КА. Видимость спутников обеспечивается, если расстояние от центра Земли до прямой, соединяющей спутники, превышает радиус Земли. Определив квадрат расстояния d от точки $P_3(x_3, y_3, z_3)$ до прямой

$\frac{x - x_2}{l} = \frac{y - y_2}{m} = \frac{z - z_2}{n}$, соединяющей точки $P_1(x_1, y_1, z_1)$ и $P_2(x_2, y_2, z_2)$, получим

$$d = \sqrt{\frac{1}{l^2 + m^2 + n^2} \left\{ [-x_1m + y_1l]^2 + [-y_1n + z_1m]^2 + [-z_1l + x_1n]^2 \right\}},$$

$$l = x_2 - x_1, m = y_2 - y_1, n = z_2 - z_1.$$

Условие видимости следует записать в виде $d > R_Z + \Delta H$, где ΔH – высота слоя атмосферы, в пределах которого применение межспутниковой лазерной системы передачи информации (МЛСПИ) неэффективно из-за влияния атмосферы.

Известно, что развитие лазерной системы связи идёт по двум направлениям – МЛСПИ и АОЛС (атмосферные оптические линии связи). Технологические проблемы их разработки различны. Если для МЛСПИ основная проблема состоит в обеспечении наведения и удержания на приёмном устройстве абонента лазерного пучка с диаграммой направленности 2-4 угловые секунды, то для АОЛС проблема состоит в обеспечении устойчивой работы линии связи в различных погодных условиях. невыполнение приведенного выше условия не означает, что спутники невидимы друг для друга. Если задать прямую, соединяющую спутники, в параметрической форме $x = x_1 + \lambda l$, $y = y_1 + \lambda m$, $z = z_1 + \lambda n$, то значения параметров $\lambda_{1,2}$, соответствующих точкам пересечения прямой с Землёй, определяются из решения уравнения

$$(l^2 + m^2 + n^2) \lambda^2 + 2(x_1l + y_1m + z_1n) \lambda + (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) - (R_Z + \Delta H)^2 = 0.$$

При $0 < \lambda_{1,2} < 1$ прямой видимости мешает Земля и атмосфера, при $\lambda_{1,2} > 1$ или $\lambda_{1,2} < 0$ условие видимости обеспечивается.

С учетом вышеприведенного условие видимости имеет вид

$$(d > R_Z) \vee ((d < R_Z) \wedge (\lambda_{1,2} > 1)) \vee (d < R_Z) \wedge (\lambda_{1,2} < 0) = 1.$$

3.5. Условие нахождения КА в зоне радиовидимости пункта приема информации. При оценке производительности КА ДЗЗ необходимо учитывать временные характеристики нахождения КА в зоне радиовидимости (ЗРВ) пунктов приема информации (ППИ). Эти характеристики зависят от параметров орбиты КА, географических координат ППИ, минимальных углов места линии визирования КА антенными устройствами ППИ. Положение ППИ относительно GSK определяется географическими координатами ППИ ($\varphi_{\text{ППИ}}$, $\lambda_{\text{ППИ}}$), где $\varphi_{\text{ППИ}}$, $\lambda_{\text{ППИ}}$ – соответственно широта и долгота ППИ. Кватернион положения системы координат, связанной с ППИ (орт $i_1^{\text{ППИ}}$ направлен из центра Земли на ППИ, $i_3^{\text{ППИ}}$ перпендикулярен $i_1^{\text{ППИ}}$ и лежит в плоскости меридиана ППИ, $i_2^{\text{ППИ}}$ дополняет систему до правой), относительно ISK равен

$$\Lambda_{\text{ISK_ППИ}} = \Lambda_{\text{ISK_GSK}} \circ \Lambda_{\lambda_{\text{ППИ}}} \circ \Lambda_{\varphi_{\text{ППИ}}}.$$

Кватернион положения ППИ относительно положения КА ($\Lambda_{\text{КА_ППИ}}$) определяется так:

$$\Lambda_{\text{ISK_ППИ}} = \Lambda_{\text{ISK_КА}} \circ \Lambda_{\text{КА_ППИ}} \text{ и } \Lambda_{\text{КА_ППИ}} = \tilde{\Lambda}_{\text{ISK_КА}} \circ \Lambda_{\text{ISK_ППИ}}.$$

Если $\Lambda_{\text{КА_ППИ}} = [\lambda_0^{\text{ППИ}}, \lambda_1^{\text{ППИ}}, \lambda_2^{\text{ППИ}}, \lambda_3^{\text{ППИ}}]$, то условие взаимной видимости КА и ППИ имеет вид

$$2 \arccos \left(\frac{\lambda_0^{\text{ППИ}}}{\lambda_{\text{КА_ППИ}}} \right) < \beta_{\text{max}}.$$

Полученные выше условия освещенности, видимости «КА – объекты наблюдения», «КА – ППИ», взаимной видимости КА постоянно динамически изменяются. Фактически мультиагентная система геометрически представляет собой глобальную пространственную распределенную сеть, узлы и связи которой находятся в непрерывном движении и изменении. Это приводит к необходимости прогнозирования состояния сети, условий видимости на предстоящие интервалы планирования. Для

согласованного управления орбитальной группировкой КА ДЗЗ, автономного динамического построения и принятия решений по планированию собственного поведения необходимо иметь в базе знаний динамически изменяющийся раздел «условия видимости». Его можно представить как множество циклограмм для соответствующих условий, которые формируются для отношений типа «один КА – множество объектов наблюдения», «один объект наблюдения – множество КА» или, в общем случае, «один агент – множество агентов», «множество агентов – один агент», «множество агентов – множество агентов». В базе знаний необходимо иметь аппарат для формирования этих отношений, которые генерируются в зависимости от решаемых в мультиагентной системе задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Schilling K.* Networked Distributed Pico-Satellite Systems for Earth Observation and Telecommunication Applications / К. Schilling – Самара: Сборник трудов семинара IFAC по теме «Aerospace Guidance, Navigation and Flight Control Systems», 30 июня – 2 июля 2009 года.
2. *Соллогуб А.В.* Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли / А.В. Соллогуб, Г.П. Аншаков, В.В. Данилов. – М.: Машиностроение, 1993. – 367 с.
3. *Козлов Д.И.* Управление космическими аппаратами зондирования Земли / Д.И. Козлов, А.В. Соллогуб и др. – М.: Машиностроение, 1998. – 366 с.
4. *Кирилин А.Н.* Проблемы создания корпоративных баз знаний для разработки изделий РКТ / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, А.В. Соллогуб. – М.: Общероссийский научно-технический журнал «Полёт», 2008, №8. – С. 71-78.
5. *Виттих В.А.* Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном времени / В.А. Виттих, П.О. Скобелев. – М.: Автотриметрия, 2009. – №2. – С. 78-87.
6. *Виттих В.А.* Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах / В.А. Виттих, П.О. Скобелев. – М.: Автоматика и телемеханика. – 2003. – №1. – С. 177-185.

Статья поступила в редакцию 6 сентября 2010 г.

UDC 004.89:004.4

REMOTE SENSING SOLUTIONS USING MULTI-AGENT TECHNOLOGY

P.O. Skobelev¹, A.V. Sollogub², A.V. Ivashenko¹, E.V. Simonova³, M.E. Stepanov³, A.V. Tsarev³

¹ Institution of the Russian Academy of Sciences Institute for the Control of Complex Systems of RAS
61, Sadovaya str., Samara, 443020

² FSUI SRPSRC «TsSKB-Progress», Samara
18, Zemets st., Samara, 443009

³ SEC «Smart solutions»
95-4, office 416, Sanfirovoy st., Samara, 443080

This paper describes a multi-agent approach to manage interaction of space vehicles of Earth remote sensing in real time. The description is given of models and algorithms that form the basis for multi-agent interaction of space vehicles, observed objects, the Earth and the Sun.

Keywords: *multi-agent system, ontology, space vehicle, remote sensing.*

Petr O. Skobelev – Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer.

Anatoliy V. Sollogub – Doctor of Technical Sciences, professor, Chief Scientist.

Anton V. Ivashenko – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Research Officer.

Elena V. Simonova – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Analyst.

Maksim E. Stepanov – Developer.

Alexander V. Tsarev – Director of Technology.

