

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В данной работе предложен подход к планированию космической съемки на основе методов многокритериальной оптимизации и геопространственной экспертной информации. Частные критерии оптимизации определяют степень удовлетворения потребностей конкретных ведомств в спутниковой информации и формируются на основе нечетких экспертных геопространственных оценок. В результате обобщения (нелинейной свертки) экспертных оценок строится карта обобщенных потребностей ведомств, которая может быть использована в системе поддержки принятия решений процесса планирования съемки для КА «Сич-2».

An approach to optimal programming of satellite observations is presented. It is based on multiobjective optimization and geospatial expert information. Each partial criterion to be optimized defines a demand for space images of particular ministry and is formed using fuzzy expert geospatial judgments. As a result of convolution of partial criteria we obtain 2d map of generalized demand of every ministry that can be used to support decision making in programming of satellite observation by “Sich-2”.

Введение

Имеющиеся подходы к планированию съемки земной поверхности космическими аппаратами (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) до сих пор ориентируются на КА прошлых поколений, которые имели невысокую производительность и использовались преимущественно для нужд оборонных ведомств и, по остаточному принципу, для гражданских потребностей. Увеличение возможностей КА ДЗЗ совпадает со значительным увеличением спроса на их информацию. Данные ДЗЗ все более затребованы МЧС, Минагрополитики, Минэкологии, Госкомземом и т.д. [15]. Выполнить своевременно все заявки от такого количества потребителей, интересы которых могут не совпадать, достаточно сложно.

Соответственно, усложняется процесс планирования съемок КА ДЗЗ. Систем поддержки принятия решений для выполнения таких работ в Украине практически нет. Лицам, принимающим решение (ЛПР), приходится по собственному усмотрению ранжировать заявки, полученные на всех этапах планирования. На ЛПР в процессе планирования работы КА ДЗЗ возлагается все большая нагрузка и ответственность. Современная система планирования является практически полностью экспертной системой. Для ее улучшения необходимы новые алгоритмы планирования работы целевой аппаратуры спутников ДЗЗ.

В 2011 году НКАУ планирует запустить КА ДЗЗ «Сич-2». Один КА не сможет удовлетворить потребности всех заинтересованных министерств и ведомств, однако, оптимизация использования целевой аппаратуры КА «Сич-2» позволит выполнить максимально возможное количество заявок потребителей из разных ведомств [6]. При этом особую актуальность обретают подходы, дающие возможность формализации и проведения соответствующих вычислений с использованием совокупного опыта ЛПР. Очевидно, что такие экспертные знания имеют «нечеткую природу», что еще более усложняет задачу. Интересы органов исполнительной власти (ОИВ) относительно данных ДЗЗ в определенные периоды времени могут не совпадать и порождать перманентный конфликт, решение которого, как правило, заключается в рациональном планировании работы целевой аппаратуры КА. Для решения этой задачи необходимо оценить заинтересованность каждого ОИВ в данных ДЗЗ на общий район интереса (в нашем случае территория Украины). Это позволит принять оптимальное решение при наличии заявок и обеспечит эффективную работу целевой аппаратуры на т.н. «холостых» витках (при отсутствии заявок), или при наличии свободного ресурса КА ДЗЗ. В этой связи, планирование предлагается проводить на основе данных экспертного опроса.

Существующие алгоритмы перспективного и долгосрочного планирования достаточно полно рассмотрены в работе [9], отдельные подходы к

планированию работы КА ДЗЗ рассмотрены в монографиях [7], оригинальная методика планирования работы бортовой целевой аппаратуры (ЦА) предложена в статье [8].

Однако все эти научные работы не обеспечивают решения проблем, обусловленных упомянутыми выше тенденциями в развитии и планировании работы современных систем ДЗЗ. Для комплексного решения этих проблем необходимо применять методы многокритериальной оптимизации [4] и системного анализа [5].

В работах [6,15] предложен подход к многокритериальной оптимизации планирования покупки спутниковых снимков низкого и среднего разрешения с учетом потребностей различных ведомств, а также имеющихся финансовых ограничений. Подход основывается на оптимизации векторозначной функции степени удовлетворения нужд ОИВ, заинтересованных в использовании спутниковой информации.

В основу предложенного подхода положены функции потребностей ведомств, которые строятся по результатам экспертного опроса. Однако в случае использования данных высокого разрешения эксперты должны определить не только ориентировочное время съемки, но и конкретизировать территорию, которая представляет наибольший интерес.

Поэтому в данном случае частные критерии оптимизации, которые определяются уровнем удовлетворения нужд ведомств, зависят от векторного аргумента. Соответственно, в ходе экспертного опроса и обработки оценок возникает необходимость оценки геопространственной информации субъективного характера. Для решения такой задачи целесообразно использовать методы геопространственного интеллекта [1]. В тоже время, для формализации неопределенности субъективного характера целесообразно использовать марефатический аппарат теории нечетких множеств [3]. В данной работе формулируется задача многокритериальной оптимизации плана космической съемки для КА ДЗЗ высокого разрешения «Сич-2» с учетом потребностей различных ОИВ и имеющихся технических ограничений. Для построения функции потребностей государственных ведомств применены методы экспертного опроса, а для обработки результатов предлагается использовать методы геопространственного интеллекта и теории нечетких множеств.

Содержательная постановка задачи многокритериальной оптимизации плана съемки

Пусть заданна определенная территория (в нашем случае Украина и приграничная полоса), относительно которой необходимо составить оперативный план космической съемки для КА ДЗЗ «Сич-2» с учетом всей совокупности заявок от ОИВ.

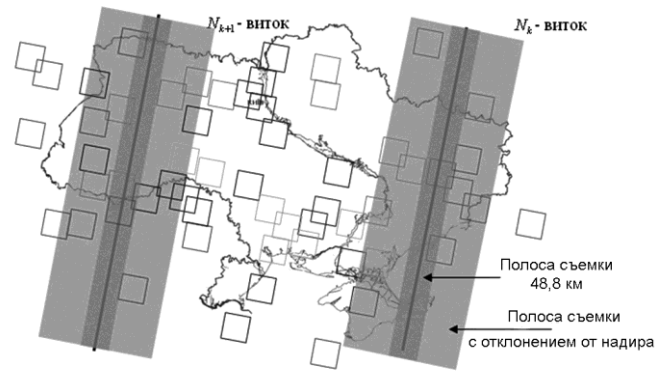


Рис. 1. Вариант заказа на съемку от разных министерств и ведомств (МЧС, Минприроды, Минагрополитики и т.д.)

Для этой территории формируется определенное количество заявок, которые должны быть выполнены почти в одно и то же время (рис.1). Исходя из ГТХ КА «Сич-2», полоса съемки аппарата составляет 48,8 км [12]. Соответственно размер кадра составляет 48,8x48,8 км, полосы – 48,8x300 км. Учитывая возможности КА относительно проведения съемки с отклонением от надира $\pm 35^\circ$, полоса захвата может быть расширена до 500 км с ухудшением разрешения с 8,2 м до 15 м. Однако, даже при таких условиях выполнить все заявки в назначенный срок с полным удовлетворением нужд ОИВ практически невозможно.

Поэтому возникает задача составления плана съемок с отклонением КА от надира в анте-ресах наиболее заинтересованных и наиболее важных потребителей. Ввиду необходимости одновременно удовлетворить нужды нескольких ведомств, поставленная задача является многокритериальной задачей оптимизации, в которой, аналогично работе [14], частными критериями оптимальности является среднеквадратичное отклонение от функций потребностей конкретных ведомств. Но в данном случае множество возможных решений определяется не только временами съемки, но и географическими координатами. Т.е. частичные критерии являются скалярными функциями ве-

кторного аргумента, а множество возможных решений $X \subset E^3$ состоит из векторов $x = \{x_i\}_{i=1}^3$ трехмерного Эвклидова пространства, где x_1, x_2 – географические координаты центра сегмента, который снимается, $x_3 = t$ – время съемки.

Учитывая особенности функционирования КА, решение на планирование съемок принимается с учетом внешних влияний, которые опишем вектором r заданным на множестве возможных факторов R . Под внешними влияниями будем понимать статистические и прогностические данные относительно условий съемки, например облачности. Ситуация, которая оценивается при планировании в результате принятия многокритериального решения на проведение съемки x в заданных условиях r , характеризуется декартовым произведением

$C = X \times R$. Ставится задача обеспечения наивысшей эффективности космической съемки при максимально возможных объемах получения снимков с наиболее возможным соблюдением интересов ОИБ.

Качество решения оценивается по совокупности частных критериев определяющихся целевыми функциями потребностей конкретных ведомств-потребителей, которые формируют s -мерный вектор $y(x) = \{y_k(x)\}_{k=1}^s \subset F$. Выражение $y \subset F$ означает принадлежность вектора потребностей y к классу F допустимых векторов эффективности выполнения съемки.

Математическая постановка векторной задачи оптимизации

В задаче оптимизации планирования съемки для аппаратов высокого разрешения, размерность вектора независимых переменных равна 3. То есть множество возможных решений относительно проведения съемки $X \subset R^3$ состоит из векторов $x = \{x_i\}_{i=1}^3$ трехмерного Эвклидова пространства, где x_1, x_2 – географические координаты центра сегмента, который снимается, а $x_3 = t$ – время съемки.

Задача многокритериальной оптимизации плана проведения космической съемки состоит в определении такого решения $x^* \in X$, которое при заданных условиях, связях и ограничениях оптимизирует векторозначную функцию эф-

фективности планирования зависящую от векторного аргумента

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f(x) = \arg \min_{x \in X} (y(x) - \hat{y}(x))^2 \quad (1)$$

при заданных условиях $r \subset R$ и ограничениях

$$s(\hat{y}(x)) \leq S, \quad (2)$$

которые для данного КА обусловлены техническими характеристиками целевой аппаратуры «Сич-2».

В соотношении (1) $y(x) = \{y_k(x)\}_{k=1}^s$ – это векторозначная функция потребностей ведомств в спутниковой информации, $\hat{y}(x) = \{\hat{y}_k(x)\}_{k=1}^s$ – реальная степень удовлетворения потребностей ведомств в информации ДЗЗ.

В (2) $s(\hat{y}(x))$ – это объем информации, который определяется количеством возможных снимков, $S \in R$ – имеющийся бортовой ресурс (объем бортового запоминающего устройства) КА «Сич-2», который составляет 2 ГБт [12]. В частности, объем бортового запоминающего устройства (БЗУ) заполняется информацией за 89 с съемки. При условии, что получение одного снимка занимает до 7 с, КА «Сич-2» может отснять за один проход не более 12 отдельных снимков, или две сплошные полосы до 300 км. Соответственно, возникает потребность рационального распределения этого ресурса между потребителями (ведомствами). В этой ситуации, векторным критерием задачи оптимизации является квадрат нормы отклонения реальной степени удовлетворения потребностей ведомств в данных ДЗЗ от целевой функции потребностей при заданных технических ограничениях. Минимизируя отклонение от целевой функции, мы обеспечиваем максимальную эффективность съемки.

Для определения оптимальных схем проведения съемок КА ДЗЗ составим набор частных критериев. Такие критерии представляют собой количественные показатели, числовые значения которых является мерой качества системы управления [4]. Качество системы управления КА ДЗЗ в части его целевого использования, в целом, зависит от рациональности планирования съемки с учетом ограничений, которые накладываются условиями функционирования КА

на орбите, объемами и сроками выполнения заявок.

Метод решения задачи

Векторный критерий оптимизации отображает отклонение от функций потребностей заинтересованных ОИВ в информации ДЗЗ в определенном временном интервале с учетом технических ограничений. Значение целевых функций на дискретные моменты времени определяется по результатам опроса экспертных групп специалистов ОИВ, заинтересованных в получении информации ДЗЗ.

Решение поставленной задачи многокритериальной оптимизации предусматривает выполнение следующих этапов [4]: формирование частных критериев; определение областей согласия и областей компромиссов; нахождение в области компромиссов решения, которое удовлетворяет условию оптимальности Парето, путем нормализации частных критериев, учета приоритетности ведомств, выбора схемы компромиссов и получения паретооптимального решения.

Частными критериями качества, оптимального планирования съемки, следует считать степень удовлетворения потребностей в получении информации ДЗЗ на определенном интервале времени, для каждого из заинтересованных ведомств, с учетом ограничений, которые накладываются ситуацией S . Ситуация в конкретный момент времени определяется следующими факторами (ограничениями): расчетной оптической видимостью районов съемки (E); геометрической видимостью (K); прогнозируемой (статистической) видимостью районов съемки (γ).

Расчетная оптическая видимость районов съемки определяется по классическим методикам, исходя из количества рабочих витков над определенным районом, величины освещенности и состояния атмосферы над этой территорией [13]. Геометрическая видимость определяется положением космического аппарата (прохождением трассы КА) над заданным районом и, соответственно, покрытием полем зрения аппаратуры БСК одной или нескольких областей интереса. Методика расчета геометрической видимости достаточно полно изложена в работе [13].

Прогнозируемая (статистическая) видимость районов съемки определяется на основе имею-

щейся статистики относительно конкретной территории (среднее соотношение солнечных и облачных дней). На каждую точку общей зоны интереса можно получить определенный коэффициент или прогнозируемую (статистическую) достоверность отсутствия облачности для успешного проведения космической съемки районов интереса. Рассмотрим детальнее этап формирования частных критериев.

Формирование частных критериев

Подобно скалярной задаче многокритериальной оптимизации плана закупки данных низкого разрешения [14], функции потребностей конкретных ведомств, а значит и частные критерии в (1), формируются на основе экспертного опроса. Членами таких экспертных групп должны быть опытные специалисты ОИВ имеющие четкое понимание того, сколько, по какой территории, с какой оперативностью, на какой отрезок времени необходимо видовой информации для выполнения задач данным ведомством. Поставленная задача решалась с учетом потребностей трех ведомств: МЧС, Минприроды и Минагрополитики. С целью выяснения реальной потребности этих ОИВ в данных с КА «Сич-2» на протяжении года, а также определения степени важности проведения космических съемок по определенным участкам территории Украины и пограничной полосы, в этих ведомствах были сформированы группы экспертов и проведено анкетирование. Количество экспертов в каждой из групп равнялось пяти.

Ситуация усложняется тем, что эксперты должны были определить не только приоритетное время съемки, но и территорию, которая составляет наибольший интерес. Поэтому для экспертного опроса такого рода оказались неприменимы традиционные способы анкетирования, которые позволяют экспертам оперировать символьной или числовой информацией [10]. Высокое разрешение снимков КА приводит к необходимости учета геопространственной информации в экспертном оценивании и применения для ее обработки методов геопространственного интеллекта [1]. Поэтому была разработана анкета специального вида, которая позволяла за короткий срок конъюгировать области интереса. Так была получена базовая информация для проведения планирования на весь год (по месяцам). Каждый эксперт, используя

фломастеры красного, синего и зеленого цветов, должен был нанести на схематические контурные карты Украины районы интереса, относительно которых имеется особая заинтересованность его ведомства в получении космических снимков (по месяцам года).

Каждый район интереса выделялся контуром определенного цвета (рис. 2) со следующими семантическими значениями:

- «красный» – очень высокая потребность в получении данных
- «синий» – высокая потребность в получении данных
- «зеленый» – средняя потребность в получении данных

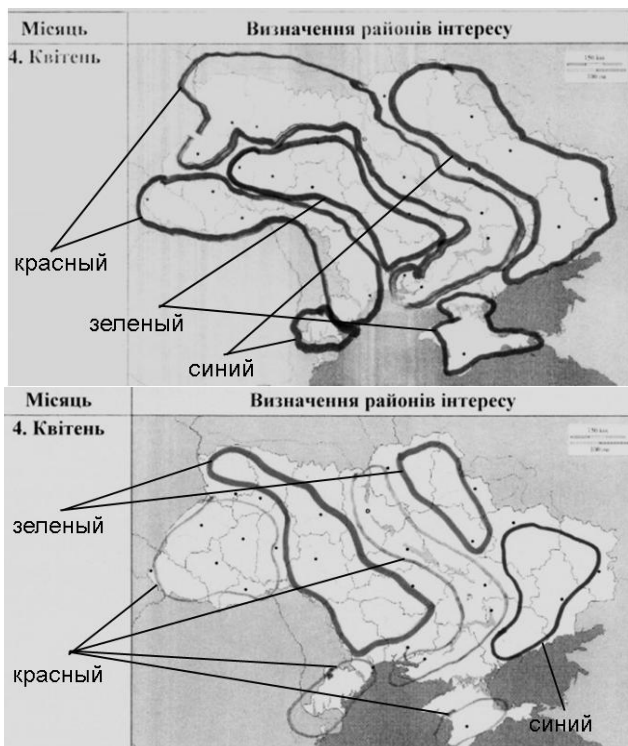


Рис. 2. Примеры заполненных экспертами МЧС анкет (на апрель)

Из рис. 2 видно, что результаты анкетирования являются весьма субъективными и часто могут противоречить друг другу. Кроме того, при нанесении информации вручную, невозможно точно определить границы областей интереса. Поэтому возникает необходимость определения математического аппарата позволяющего формализовать и обобщить геопространственные данные экспертного опроса с учетом их субъективности. В мировой практике для решения подобных задач используются методы геопространственного интеллекта, в т.ч. с использованием аппарата нечеткой логики.

Анализ экспертной информации на основе методов геопространственного интеллекта

Основным математическим аппаратом формализации представления и обработки экспертных оценок и высказываний является теория нечетких множеств [3]. Нечеткие множества обеспечивают математическую формализацию экспертных оценок в виде лингвистических переменных и функций принадлежности, а также предоставляют методы обработки этих оценок, имеющие простую лингвистическую интерпретацию [2]. При этом конечный пользователь оперирует объектами и понятиями естественного языка, которые автоматически преобразуются к числовому виду для компьютерной обработки. Такой подход обеспечивает способ приближенного описания поведения сложных и слабоструктурированных органи зационно-технических систем [16] в условиях нестохастической неопределенности. Для формализации данных экспертного опроса на геопривязанной контурной карте Украины сформируем регулярную сетку (рис. 3) с размерами ячейки (a , b).

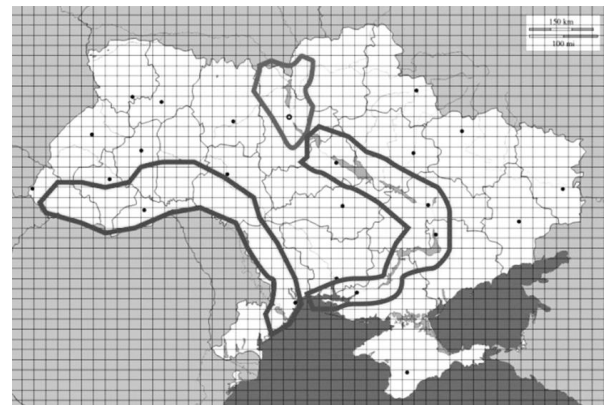


Рис. 3. Пример карты экспертного опроса с нанесенной сеткой

Размер ячейки A определяется допустимой погрешностью и масштабом карты. Каждая ячейка (точка в дискретном пространстве) $A_{(x_1, x_2)}$ с координатами центра (x_1, x_2) характеризуется оценкой потребности, т.е. значением кластера $C(A)$, к которому эту точку отнес эксперт, и мерой достоверности такой оценки $\mu(C_A)$ – значением нечеткой функции принадлежности:

$$A_{(x_1, x_2)} = \{C(A), \mu(C_A)\} \quad (3)$$

Мера достоверности оценки $\mu(C_A)$ априорно для каждого эксперта принимается равной $\frac{1}{N}$, где N – число экспертов. Таким образом

$$A_{(x_1, x_2)} = \left\{ C(A), \frac{1}{N} \right\} \quad (4)$$

где N – число экспертов, $C(A)$ – экспертная оценка потребности, или номер кластера, который может принимать следующие значения (Таблица 1)

Табл. 1. Семантические значения экспертных оценок

Семантическое значение	Цвет	C(A)
очень высокая потребность	«красный»	3
высокая потребность	«синий»	2
средняя потребность	«зеленый»	1
не имеет потребности	-	0

Соответственно (4) определяются параметры функции принадлежности для каждой ячейки геопространственной анкеты (точки дискретного пространства) (рис. 4).

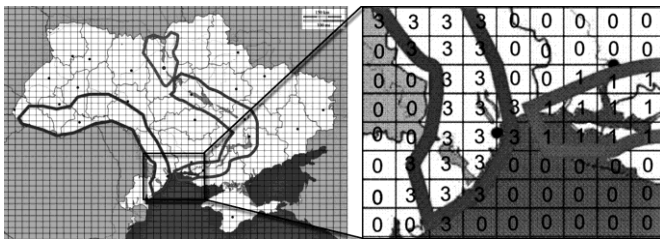


Рис. 4. Общая карта и ее фрагмент с результатами формализации экспертных оценок

Для крайних ячеек, находящихся на границе двух кластеров: C_i та C_j , если $S(C_i) > S(C_j)$, где $S(C_i)$ – площадь, которая принадлежит кластеру C_i , значение функции принадлежности определяется по формуле

$$A_{(x_1, x_2)} = \left\{ C_i, \frac{1}{2N} \right\} \quad (5)$$

Тогда для крайних ячеек на границе k кластеров

$$C(A_{(x_1, x_2)}) = \arg \max_{C_i} S(C_i), \quad \mu(A) = \frac{1}{kN}$$

То есть

$$A_{(x_1, x_2)} = \left\{ \arg \max_{C_i} S(C_i), \frac{1}{kN} \right\} \quad (6)$$

Интегральная «нечеткая» карта, или «тело потребностей» для одного ведомства формируется следующим образом:

$$\forall(x_1, x_2) A^*_{(x_1, x_2)} = \{ C^*, \mu^* \}, \quad (7)$$

где C^*, μ^* – интегральные оценки потребностей (значения кластера) и меры принадлежности.

В теории экспертного оценивания на основе нечеткой экспертной информации определены различные процедуры вычисления обобщенных оценок C^*, μ^* [10, 16]. В частности, вычисление обобщенных нечетких оценок можно привести к оцениванию средней потребности и стандартному отклонению (а) или наиболее вероятному значению оценки (б).

В случае (а) вычисления значений нечеткой функции принадлежности осуществляется по следующим формулам:

$$C^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i(A_{(x_1, x_2)}), \quad (8)$$

$$\mu^* = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (C_i(A_{(x_1, x_2)}) - C^*)^2 \right)^{0.5} \quad (9)$$

Геопространственное распределение параметров обобщенных нечетких экспертных оценок для варианта (а) представлено на рис. 5.

В случае (б) определения значений обобщенной нечеткой функции принадлежности на основе наиболее вероятного значения оценки, параметры вычисляются по формулам:

$$C^* = C_{\max} = \arg \max_c \left\{ \sum_{i=1}^N \delta(c, C_i(A_{(x_1, x_2)})) \right\}, \quad (10)$$

где δ – функция Кронекера.

Если существует несколько глобальных максимумов частоты, то среди них выбирается тот, который имеет максимальную оценку потребности. Для оценки достоверности C_{\max} используем значение частоты для потребности C_{\max} :

$$\mu^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(C^*, C_i(A_{(x_1, x_2)})). \quad (11)$$

Формулу (11) можна представить иначе:

$$\mu^* = \sum_{i=1}^N \mu_i w_i, \quad (12)$$

$$w_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } C_i(A_{(x_1, x_2)}) = C^* \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

То есть, $w_i \neq 0$, если i -й эксперт отнес данную точку к классу C^* .

Геопространственное распределение параметров обобщенных нечетких экспертных оценок для варианта (б) согласно формулам (10)-(11) приведено на рис. 6.

Таким образом, соотношение (7) со значениями параметров (8)-(9) обеспечивают этап формирования частных критериев в задаче многокритериальной оптимизации планирования космической съемки (1)-(2). Обобщенную нечеткую оценку потребностей ведомств (7) можно визуализировать в виде интегральной трехмерной поверхности или «тела потребностей» для каждого из заинтересованных ведомств и, в дальнейшем, для всех ведомств одновременно.

Отметим, что соотношение (7) с определенными операциями получения интегральной

оценки значения кластера и меры принадлежности, которые в данном случае описываются формулами (8)-(9) или (10)-(11), по сути, является реализацией схемы компромиссов в процессе решения многокритериальной задачи оптимизации на основе геопространственного интеллекта для случая использования нечеткой экспертной информации.

Таким образом, соотношения (8)-(9) или (10)-(11) обеспечивают не только этап формирования частных критериев, но и другие этапы решения задачи многокритериальной оптимизации, вплоть до определения схемы компромиссов и получения паретооптимального решения.

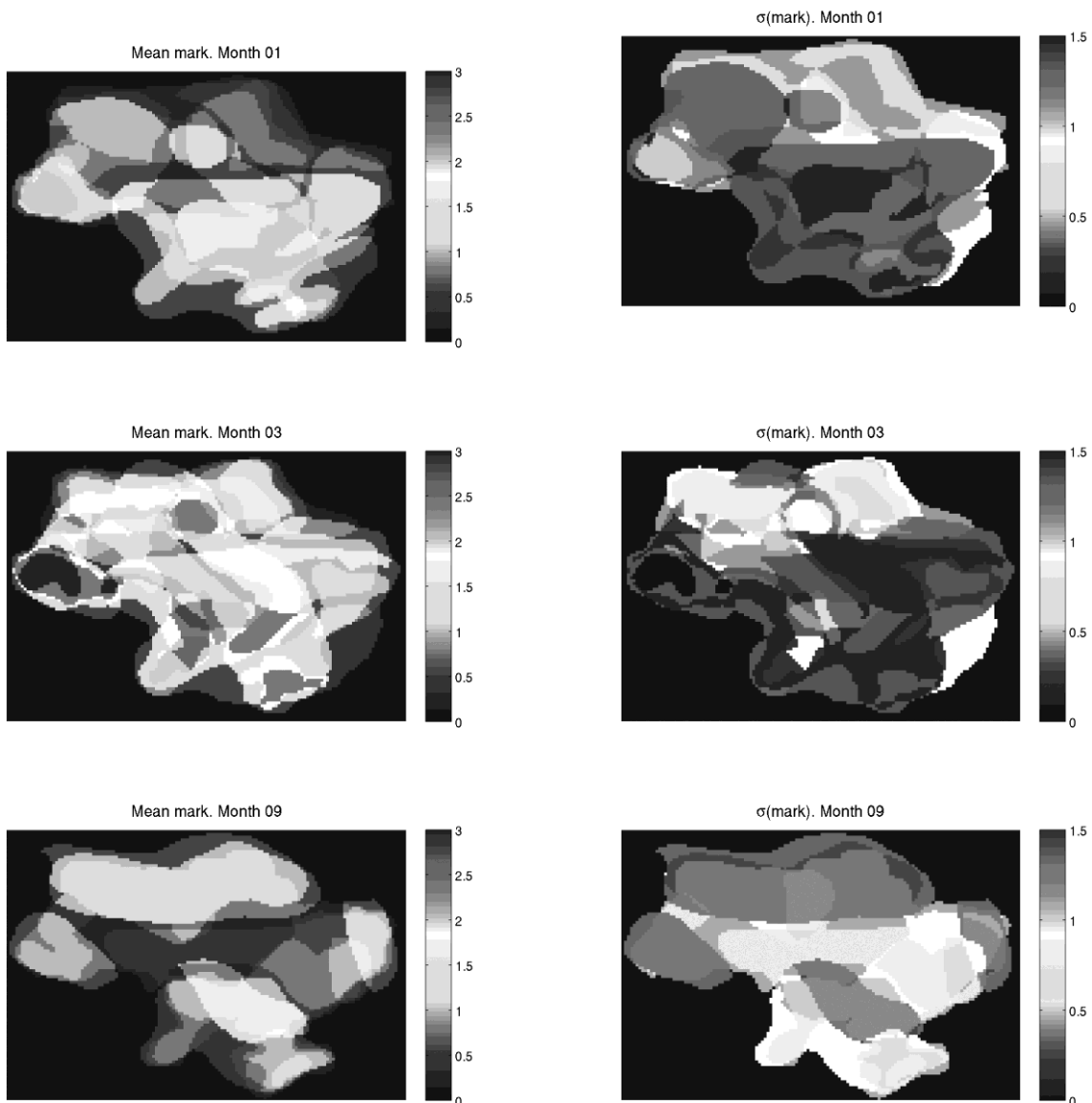


Рис. 5. Вычисление обобщенных нечетких оценок за январь, март и сентябрь на основе оценивания средней потребности (слева) и стандартного отклонения (справа) по формулам (8) и (9).

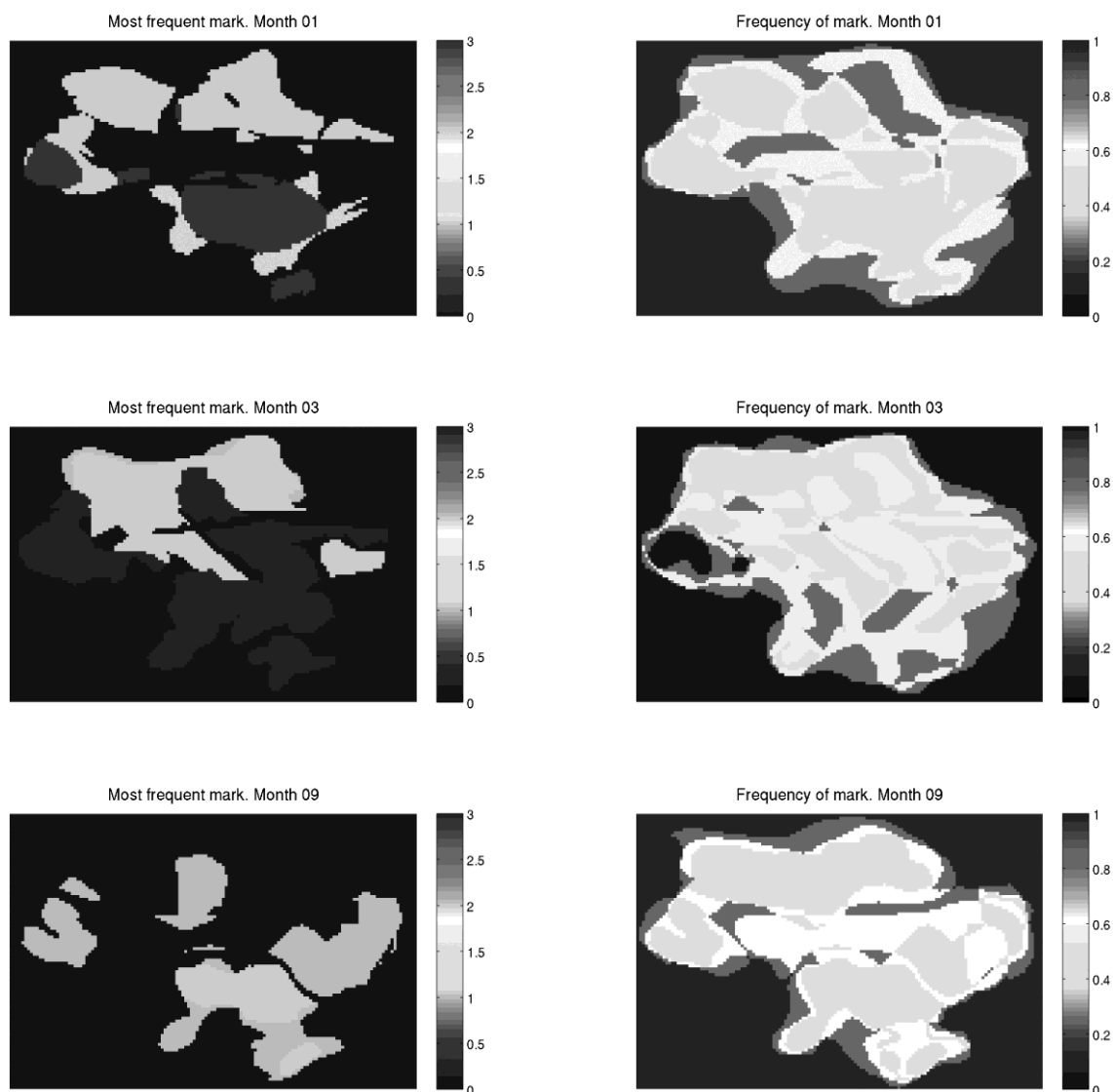


Рис. 6. Вычисление обобщенных нечетких оценок за январь, март и сентябрь на основе наиболее вероятного значения оценки по формулам (10) и (11)

Отметим, что формулами (8)-(9) или (10)-(11) не исчерпываются способы формирования интегральной нечеткой экспертной оценки.

Автором также исследовались и другие возможные варианты определения параметров интегральной нечеткой оценки, но данное исследование выходит за пределы тематики данной статьи.

Формирование оптимального маршрута съемки

Геопространственные карты обобщенных потребностей S^* всех ведомств, примеры которых для МНС показаны на рис. 5 и 6, можно использовать в системах поддержки принятия

решений (СППР) в процессе планировании космической съемки.

Получение интегральной оценки нужд разных ведомств позволит более обоснованно осуществлять планирование и проводить съемку наиболее актуальных районов, независимо от наличия заявок, в режиме т.н. «холостых проходов», которые имеют место в случае наличия свободного ресурса, при отсутствии заявок или их небольшому количеству на n -проход над определенной территорией.

Кроме того, это значительно упрощает задачу планирования для лица принимающего решение (ЛПР) либо ОПР, процесс оптимизации маршрутов при проведении съемок в режиме программных поворотов (РПП), когда съемка территориально разнесенных районов интереса проводится с отклонением оси визирования це-

левой аппаратур КА ДЗЗ от направления в надир на угол $\pm 35^\circ$ (рис. 7).

Таким образом, нечеткая экспертная информация может быть формализована и использована в СППР как априорная основа для планирования съемок КА «Сич-2». При таком подходе ОПР получает определенную оценку потенциальной востребованности на оперативную и архивную информацию для каждого района главной зоны интереса (Украина и пограничные территории) и может ее использовать в автоматизированных системах планирования съемки.



Рис. 7. Использование интегральной карты потребностей ведомств в процессе планирования космической съемки

Выводы

В работе сформулирована многокритериальная задача оптимизации планирования космической съемки для КА ДЗЗ «Сич-2» с учетом потребностей различных ведомств в по-

лучении информации для конкретного времени и региона.

Для формирования частных критериев оптимизации предложено использовать методы экспертных оценок и геопространственного анализа. Формируемая на основе экспертных оценок интегральная трехмерная поверхность или «тело потребностей» для каждого ОИВ позволяет оптимизировать процесс планирования съемок по заданным районам интереса с максимально возможным учетом потребностей всех ОИВ.

Другие варианты определения параметров интегральной нечеткой оценки исследовались автором, однако такое исследование выходит за пределы тематики данной статьи и результаты будут опубликованы в других работах.

Разработанный метод позволяет формализовать и учитывать влияние большого количества особенностей и ограничений, которые имеют «нечеткую» природу, но в значительной степени влияют на процесс принятия решения во время планирования космической съемки.

Такой подход обеспечивает ОПР априорной базовой информацией по каждой точке главной зоны интереса на определенные периоды времени, что формализует процесс принятия решений и повышает эффективность использования полезной нагрузки КА ДЗЗ.

Подобный подход может быть использован в рамках организации СППР для ЛПР на всех этапах планирования, для КА ДЗЗ низкого, среднего и высокого разрешения.

Литература

1. Bacastow T.S., Bellafiore D.J. Redefining geospatial intelligence // American Intelligence Journal, 2009. P. 38-40.
2. Shelestov A.Yu., Kussul N.N. Using The Fuzzy-Ellipsoid Method For Robust Estimation Of The State Of A Grid System Node // Cybernetics and Systems Analysis, 2008. Т.44, № 6. С. 847-854.
3. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning//. Information Sciences, 1975. Vol. 8. P. 301—357.
4. Воронин А. Н., Ю. К. Зиятдинов, А.В. Харченко Сложные технические и эргатические системы: методы исследования // Харьков: Факт, 1997. 240 с.
5. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения // Киев: «Наукова думка», 2005.
6. Куссуль Н.М., Фриз В.П., Янчевський С.Л. Возможный подход к рациональному планированию космической съемки Земли на основе многокритериальной оптимизации.// Сборник научных работ №4, Житомир: ЖВІНАУ, 2011. С. 97-105.
7. Лебедев А.А., Несторенко О.П. Космические системы наблюдения. Синтез и моделирование // Москва: Машиностроение, 1991. 224 с.
8. Машков О.А., Фриз С.П. Методика оптимизации планирования работы орбитальных средств космических систем наблюдения // Сборник научных работ. Житомир: ЖВИРЭ, 2003. С. 80-91.
9. Пясковский Д.В. Основы построения систем управления космическими аппаратами. Ч.1. Конспект

- лекцій./ Пясковский Д.В., Парфенюк В.Г.; - Житомир: ЖВИРЭ, 1998. 187 с.
10. Самохвалов Ю.Я., Науменко Э.М. *Экспертное оценивание. Методический аспект* // К.: ДУИКТ, 2007. 262 с.
 11. Скребушевский Б.С. *Формирование орбит космических аппаратов* // М.: Машиностроение, 1990. 256 с.
 12. *Тактико-техническое задание на опытно-конструкторскую работу «Космическая система оптико-электронного наблюдения и связи «Сич-2» от 07.02.2002 г.* // ДП «КБ «Южное». 7-8 с.
 13. Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. *Моделирование космических систем изучения естественных ресурсов Земли* // М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
 14. Янчевский С.Л. *Оптимизация планирования получения информации от систем дистанционного зондирования Земли среднего разрешения при условии финансовых ограничений*// Научные работы ДонНТУ Серия "Информатика, кибернетика и вычислительная техника". 2011.
 15. Янчевский С.Л. *Оптимизация использования информационного ресурса космических систем дистанционного зондирования Земли для нужд системы государственного управления*// Материалы докладов Второй всеукраинской конференции Аэрокосмические наблюдения в интересах постоянного развития и безопасности GEO-UA 2010. Киев, «Освіта України», 2010. С. 166-168.
 16. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Перфильева И.Г. *Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие* // Ульяновск: УлГТУ, 2010. 320 с.