

Концепция ДЗ-тестирования экологически напряженных зон при районировании проектируемой территории

Г.А. Гусейнов, Дж.М. Джахангиров, Р.Б. Оруджев, Р.Х. Садыков

*Институт Космических Исследований Природных Ресурсов,
AZ 1118-Баку, ул. Рустамова, 47/100
E-mail: galib@mail.ru*

Одним из перспективных путей решения проблемы районирования (демаркации) экологически напряженных зон в Азербайджане, включая зоны загрязнений морской акватории, участков вдоль маршрутов проектируемых трасс, зон затопления, селеобразования, оползнеопасных зон и вулканической активности, является паспортизации территории с использованием дистанционного контроля. Дистанционный контроль предполагает спутниковый и самолетный – соответственно требуемому уровню информации о пространственно-временных масштабах регулярности контролируемых процессов территории. Предлагается структура такого контроля с выбором исходных точек аварийного контроля, согласно выбираемой (формируемой) шкале напряженности различных участков-зон, на которые разбивается контролируемая территория. График маршрутов самолетного и спутникового контроля от исходных «активных точек» к следующим рассчитывается согласно доминирующим направлениям распространения прогнозируемого экологического или техногенного процесса, т.е. согласно имитационной картине развития этого процесса. Данные дистанционных измерений в выбранных аварийно-опасных участках обрабатываются оперативно для корректировки исходных данных модели и уточнения направления и интенсивности развития процесса, а значит и выбора новых информативны «активных точек» и коррекции графика маршрутов контроля.

Введение

С развитием возможностей навигационных технологий приобретает новое качество взаимодействие имитации оптимальных планов и динамического подспутникового эталонирования дистанционных измерений (съемки) в рамках задач поиска не только информативных условий съемки (углов, высот, параметров освещения), но и информативного распределения тест-участков с критическим состоянием прогнозируемого процесса. С целью оптимального позиционирования трасс мониторинга деградирующих экосистем предлагается использование информационного функционала в качестве целевой функции в вариационной задаче динамического программирования с использованием уравнения Эйлера. Обсуждается возможность использования решения нелинейного уравнения диффузии в качестве основы моделирования распространения деградации (напряженности). Демонстрируется процесс имитации для позиционирования оптимально информативных трасс мониторинга распределения напряженных участков и соответственно- направления распространения деградации прибрежной зоны.

Общие задачи оптимизации и эталонирования данных ДЗ

При более общей постановке оптимизации измерений вертикального (по оптической толщине τ) профиля функции яркости можно использовать известный из теории оптимального управления принцип максимума :

$$\max_{f(\tau)} J = \int_0^t \{L[f(\tau, \eta), \rho(\tau, \eta), x] + \lambda \cdot [T(\rho, \dot{\rho}, f)]\} \cdot d\tau$$

$$\frac{\partial H}{\partial f} = 0, \quad H = L[f, \rho, x] + \lambda \cdot [-\alpha \cdot \rho + A \cdot \rho + F_0]$$

$$\dot{\rho} = -\alpha \cdot \rho + A \cdot \rho + F_0, \quad \rho(0) = \rho_0, \quad \rho(\tau_0) = \rho_\tau$$

где H - функция Гамильтона, λ - параметр Лагранжа, ρ - функция яркости, $\dot{\rho}$ - ее производная по τ ; F_0 - функция внешних источников излучения; в третьем ряду - дифференциальное уравнение (система уравнений) переноса излучения с коэффициентом поглощения α и матрицей рассеяния A ; в четвертом – граничные условия для функции яркости $\rho(\tau)$ на дне и на верхней границе атмосферы; функция управления $f(\tau, \eta)$ - в данном случае аппроксимационная, может быть представлена в Лагранжиане $L[\cdot]$ в виде квадратичной формы $f^T D f$. И если ищется оптимальная функция управления $f(\tau, \eta)$ в смысле точности аппроксимации по квадратичной метрике функции $\rho(\tau, \eta)$, подчиняющейся ограничению уравнения переноса с соответствующими граничными условиями, то оптимизируемый функционал включает также квадратичную форму $\rho^T C \rho$. Из условий экстремума для сопряженной задачи получаем

$$-\frac{\partial H}{\partial \rho} = \lambda(\alpha \cdot I - A) - \rho^T \cdot C,$$

$$L[f, \rho, x] = f^T \cdot D \cdot f + \rho^T \cdot C \cdot \rho$$

где I -единичная матрица. Выбор матрицы D определяет оптимизируемый функционал. Если $D = M^{-1}$, то мы имеем квадратичную форму $f^T M^{-1} f$, аналогичную той, что используется в задачах оптимального планирования по MV -критерию (см. выше), т.е. для задач оптимальной экстраполяции, и условие для сопряженной задачи упрощается до

$$-\frac{\partial H}{\partial \rho} = \lambda(\alpha \cdot I - A) = 0,$$

Очевидно, если характеристические корни $(\alpha \cdot I - A) = 0$ вещественны и отрицательны, то данная система будет устойчивой, а сопряженная ей система $\dot{\rho} = -\alpha \cdot \rho + A \cdot \rho + F$ - неустойчивой, т.к. характеристические корни $(-\alpha \cdot I + A + F) = 0$ - положительны, и наоборот. В зависимости от постановки задачи квадратичные формы $(\rho - f)^T \cdot Q \cdot (\rho - f)$ могут быть заменены на $(\rho - Df)^T Q(\rho - Df)$ или $(\rho - Df)^T (\rho - Df)$. Напомним,

что вместо этой квадратичной формы может быть использован также функционал, соответствующий критерию *MV-оптимальности* $f^T M^{-1} f$, где $M = f \cdot f^T$.

Метрологические аспекты сопоставимости аэрокосмической информации

Информационный критерий Шеннона используют при распознавании спектральных классов объектов [1]

$$I = 1/2 \ln^* \det \left[K(r_\lambda^i, r_\lambda^j) / \prod_i \sigma_{r_\lambda^i} \right].$$

В числителе – детерминант ковариационной матрицы $[K(r_\lambda^i, r_\lambda^j)]$ аналогичной матрице рассеяния, в знаменателе – произведение среднеквадратичных отклонений. варьируемого пространства независимых переменных. Оптимизация детерминанта матрицы Фишера $\arg \min_{p(\xi^*)} \det D(p, \xi)$ фактически ищет план, минимизирующий детерминант

дисперсионной матрицы D оценок параметров G линейного разложения модели $R(X_k) = \sum f_i(X_k) * G_i$ для измерения спектральной характеристики r_λ в каждой точке X_i координат вдоль трассы. Однако необходима информационная мера, естественным образом связанная с физическими характеристиками моделируемого поля излучения земной поверхности и инвариантная к изменениям условий съемки. Для этих целей мы предлагаем концепцию информационных функционалов калибровки ИФК [2, 3]

$$K_V = \frac{D^{1/2}[r_\lambda]_X}{\langle r_\lambda \rangle_X} = \frac{D^{1/2}[\bar{\rho}_{R,\lambda}^m]_X}{\langle \bar{\rho}_{R,\lambda}^m \rangle_X - \rho_{atm,\lambda}^m} \neq \mu_\lambda(\tau_0, \xi, \tau) \quad (2)$$

полученных вычислением средних $\langle \bar{\rho}_{R,\lambda}^m \rangle_X \dots \langle r_\lambda^m \rangle_X$ и дисперсии $D^{1/2}[\bar{\rho}_{R,\lambda}^m]_X \dots D^{1/2}[r_\lambda^m]_X$

оптически неоднородной поверхности по координатам X поверхности в результате статистической обработки величины коэффициента отражения $\bar{\rho}_{X,\lambda}^m$ поля излучения земной поверхности на уровне $(\tau - \tau_0)$ оптической толщины. Здесь $\rho_{atm,\lambda}^m$ - коэффициент отражения атмосферы, r_λ^m - коэффициент отражения поверхности по на-

земным измерениям в силу предположения независимости спектрального и углового хода представляется

$$r_{\lambda}^m(\eta, \xi) = L(\lambda) * R^m(\eta, \xi)$$

(3)Находим инвариантное соотношения для коэффициента вариации, вычислив его из соотношения (2) с учетом (3). Очевидно, что здесь K_r не зависит ни от $\mu_{\lambda}(\tau_0, \xi, \tau)$ в силу свойств инвариантности (2) ни от спектрального хода $L(\lambda)$ в силу свойства (3) .

Имитация поиска информативных трасс деградации

Распространение возмущения (деградации) V имеет несколько характерных масштабов определяющих наиболее информативные области протекания процесса описываемого нелинейным уравнением диффузии [4]

$$\frac{dV}{dt} = \sum_{i,j} \frac{\partial^2 V(X, p, t)}{\partial X_i \partial X_j} + F(V, X_{ko}, t)$$

При экспоненциальных типах источников $F(V, X, t)$ искомое автомодельное решение можно выразить, пользуясь представлением $V = V[(1 - f(P))/Q(v - v_1)]$ через функцию распределения проективного покрытия $f = A * \exp[-P(m)]$, зависящую от m -биомассы, а также через коэффициент $Q(v - v_1)$, учитывающий влияние пространственных частот V_1 изменчивости радиационного баланса [5], формируя дискретное множество состояний, отличающихся параметрами пространственно-временной динамики, распределений, т.е.- спектр деградации [6].

В качестве тестового материала имитации поиска информативных трасс служили характерные участки деградации прибрежной территории Каспия в приграничной зоне России и Азербайджана с типичными природными и антропогенными процессами (обезлесения, деградации, эрозии).Снимок Landsat-TM прибрежной зоны разбивается на 12 сегментов, подверженных разной степени деградации. В результате вычисления и поиска информативных участков для сканерных съемок определяем максимально информативные переходы по приростам информации между парами сегментов. На каждом сегменте вы-

числяется пространственное распределение оптических контрастов и радиационного баланса, по амплитуде которого определяется интенсивность нарушения а по частотам – направление распространения деградации. Там, где нулевая частота является доминирующей, независимо от интенсивности нарушения, выбираются базовые координаты сканирования от которых идет отсчет (этап 1). Все последующие координаты (направления) определяются по направлению максимальной изменчивости между парами сегментов более высокочастотных составляющих. Вычисляя режимы взаимодействия каждой пары сегментов для всех этапов процесса деградации мы определяем максимально информативные переходы по приростам информации между парами сегментов на каждом этапе и соответствующие им (сегментам) координаты и направления распространения процесса деградации, где необходимо проводить сканирование на каждом последующем шаге развития процесса.

Таблица 1. Оптимально информативные JK – пары комбинаций из всех 12 сегментов на спутниковом изображении Ландсат-ТМ планируемые для 5-ти шаговой процедуры самолетного сканирования, соответственно прогнозируемым этапам развития экологического процесса согласно уравнению диффузии

<i>Шаг</i>	<i>Сегмент J</i>	<i>Сегмент K</i>	<i>Прирост информации</i>
1	2	4	18,41
2	4	7	17,41
3	4	12	17,35
4	4	6	17,15
5	4	11	17,12

На рис. 1 демонстрируется поисковая стратегия 5-этапного координатного позиционирования наиболее информативных участков деградации и изменчивости радиационного баланса, вносящих максимальный вклад в приращение информации

Основные результаты работы

При постановке задач оптимального позиционирования трасс и маршрутов съемки для мониторинга распределений напряженных зон, а также информативных направлений

распространения техногенных и экологических процессов, возможна формулировка в рамках общей оптимизационной задачи. При этом в качестве оптимизируемого функционала может выбираться один из рассмотренных квадратичных критериев, а также (и/или) квадратичный критерий невязки коэффициента яркости, являющегося решением уравнения переноса в атмосфере, и его аппроксимирующей функции (ряда), являющейся, собственно, искомой оптимальной функцией управления. Чувствительность невязки, определяющей точность аппроксимация, к заданным ограничениям, очевидно, выражена параметрами Лагранжа. С другой стороны, устойчивость системы ограничений, заданных уравнением переноса для оптимизируемой задачи, зависит от характеристических (собственных) значений матрицы рассеяния. Таким образом, оценивая с помощью выбранных весовых коэффициентов заданную линейную комбинацию параметров Лагранжа и собственных значений матрицы рассеяния, мы можем вычислить оптимальную искомую функцию требуемого свойства (точности аппроксимации и устойчивости системы).

Литература

1. *Кондратьев К.Я., Григорьев Ал. А., Покровский О.М.* Информационное содержание данных космической индикации параметров среды // Л.: ЛГУ, 1975. 145 с.
2. *Савиных В.П., Смоктий О.И., Гусейнов Г.А.* Информативность и оптимальное планирование оптического аэрокосмического мониторинга Земли // М.: МИИГАиК, 1990. 19 с. ДЕП. В ОНИПР ЦНИИГАиК 22.02.90, №418-гд.90.
3. *Смоктий О.И., Гусейнов Г.А.* Информационные инварианты и калибровка спектрального зондирования природной среды из космоса // Труды VIII СПб. Международной Конференции. «РИ-2002». СПб, 2002. С. 387-394.
4. *Данилов Ю.А.* Теоретико-групповые свойства математических моделей в биологии // Математическая биология развития. М.: Наука, 1982. С. 5-15.
5. *Козодеров В.В.* Информационно-динамические аспекты описания природных явлений // Исследование Земли из космоса, 2001. № 5. С. 27-43.
6. *Гусейнов Г.А., Егоров В.В., Садыков Р.Х.* Метрики информационной калибровки при трансформации спектрально-оптических образов экосистем // Исследование Земли из космоса, 2006. № 2. С. 14-27.