Методы зондирования окружающей среды

Лабораторная работа

Оценка погрешности измерения Ts

Профессор Кузнецов Анатолий Дмитриевич
Доцент Сероухова Ольга Станиславовна

Российский государственный гидрометеорологический университет

Цель работы:

1. Исследовать влияние погрешности в задании исходных данных на точность дистанционного измерения температуры подстилающей поверхности T_s спутниковым радиометром.

Материалы для работы:

1. Программа, содержащаяся в файле «*VarTz-#. xls*».

2. Набор исходных параметров, задаваемых преподавателем.

Краткие сведения из теории

Для оценки погрешности определения температуры подстилающей поверхности рассмотрим соотношение, используемое для расчета температуры подстилающей поверхности по измерениям уходящего теплового излучения в «окнах» прозрачности:

$$T_s = \frac{b \cdot \nu}{\ln\left[1 + \varepsilon_\nu \cdot P_\nu(p_s) \cdot a \cdot \frac{\nu^3}{K_\nu}\right]}$$

$$K_\nu = J_\nu - B_\nu\left(\tilde{T}_\nu\right) \cdot \left[1 - P_\nu(p_s)\right]$$

как функцию четырех переменных:

$$T_s = T_s(x_1, \dots, x_4)$$

где

$$x_1 = \varepsilon_\nu \ , \quad x_2 = J_\nu \ , \quad x_3 = P_\nu(p_s) \ , \quad x_4 = \tilde{T}_\nu$$

Каждый из указанных 4 параметров (соответственно: излучательной способности подстилающей поверхности, интенсивности уходящего излучения, функции пропускания всей толщи атмосферы и «эффективной» температуры атмосферы)

$$x_1 = \varepsilon_\nu \quad , \quad x_2 = J_\nu \; , \quad x_3 = P_\nu(p_s) \; , \quad x_4 = \widetilde{T}_\nu$$

может быть задан (или измерен) с некоторой погрешность:

$$\tilde{x}_1 = \varepsilon_\nu + \Delta\varepsilon_\nu \quad , \quad \tilde{x}_2 = J_\nu + \Delta J_\nu \; , \quad \tilde{x}_3 = P_\nu(p_s) + \Delta P_\nu \, , \quad \tilde{x}_4 = \widetilde{T}_\nu + \Delta\widetilde{T}_\nu$$

Рассмотрим, как можно количественно оценить влияние погрешности в задании этих 4 параметров на точность дистанционного измерения $\boldsymbol{T_s}$.

«Аналитический» подход к оценке погрешности определения T_s

1. Метод разностей.

Для функции одной переменной *f*(*x*) при известном точном значении аргумента x_0 и известной погрешности его задания Δ*x* ошибка определения значения функции Δ*f* будет равна :

$$\Delta f(x_0, \Delta x) = \left| f(x_0) - f(x_0 + \Delta x) \right| \qquad (5.3)$$

Для функции нескольких переменных соотношение (5.3) может последовательно применяться к каждой переменной.

Можно и одновременно задавать погрешности для всех ***M*** переменных $x^{(i)}$ и в этом случае

$$\Delta f = \sum_{i=1}^{M} \left| f(x_0^{(i)}) - f(x_0^{(i)} + \Delta x^{(i)}) \right|$$

При расчете $\left| \Delta T_s \right|$ в формуле для Δf параметр *M* = 4 и соответственно

$$x^{(1)} = \varepsilon_\nu \ , \quad x^{(2)} = J_\nu \, , \quad x^{(3)} = P_\nu(p_s) \, , \quad x^{(4)} = \widetilde{T}_\nu$$

2. Метод производных.

Для функции одной переменной, разлагая ее в ряд Тейлора в окрестности точки x_0, можно записать

$$\Delta f(x_0, \Delta x) = \left| f(x_0 + \Delta x) - f(x_0) \right| = \left| \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=x_0} \Delta x + \left| \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \right|_{x=x_0} \Delta x^2 + \ldots \qquad (5.4)$$

При Δx <<1 в уравнении (5.4) можно отбросить все слагаемые кроме первого и тогда для оценки погрешности определения функции $f(x)$ за счет задания точного значения аргумента x_0 с погрешностью Δx можно записать

$$\Delta f(x_0, \Delta x) \approx \left| \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=x_0} \Delta x$$

При использовании метода производных для оценки точности дистанционного зондирования T_s можно записать

$$\left|\Delta T_s\right| = \sum_{i=1}^{4} \left|\frac{\partial T_s}{\partial x_i}\right|\Bigg|_{x_i=\bar{x}_i, i=1,\ldots,4} \cdot \left|\Delta x_i\right|$$

Взяв соответствующие производные, получаем в явном виде четыре слагаемых, входящих в формулу для оценки $\left|\Delta T_s\right|$

$$\left|\Delta T_s\right| = L_\nu \cdot P_\nu(p_s) \cdot T_s \cdot \left|\Delta\varepsilon_\nu\right| + \frac{L_\nu}{K_\nu} \cdot \varepsilon_\nu \cdot P_\nu(p_s) \cdot T_s \left|\Delta J_\nu\right| + L_\nu \cdot \varepsilon_\nu \left[1 - P_\nu(p_s) \cdot \frac{B_\nu(\tilde{T}_\nu)}{K_\nu}\right] \cdot T_s \cdot \left|\Delta P_\nu(p_s)\right| +$$

$$+ \varepsilon_\nu \cdot P_\nu(p_s) \cdot \left[1 - P_\nu(p_s)\right] \cdot \exp\left(\frac{b \cdot \nu}{\tilde{T}_\nu}\right) \cdot B_\nu^2(\tilde{T}_\nu) \cdot \frac{T_s^2 \cdot \left|\Delta\tilde{T}_\nu\right|}{D_\nu \cdot K_\nu^2 \cdot \tilde{T}_\nu^2}.$$

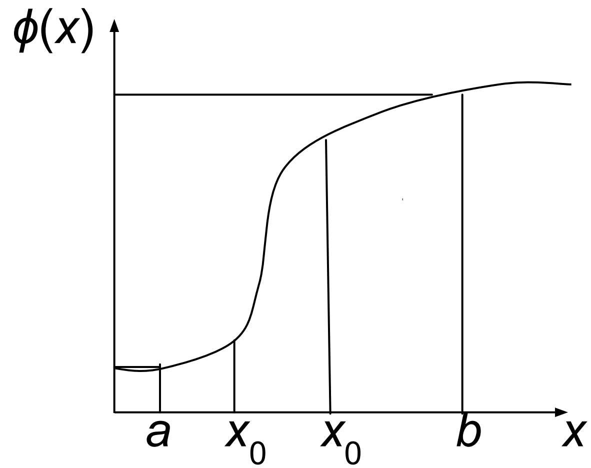
где использованы следующие обозначения:

$$K_\nu = J_\nu - B_\nu(\tilde{T}_\nu) \cdot \left[1 - P_\nu(p_s)\right]$$

$$D_\nu = \left(1 + \varepsilon_\nu \cdot P_\nu(p_s) \cdot a \cdot \frac{\nu^3}{K_\nu}\right) \qquad L_\nu = \frac{a \cdot \nu^3}{K_\nu \cdot D_\nu \cdot \ln(D_\nu)}$$

Первый подход (метод разностей) более точен и не требует выполнения условия $\Delta x \ll 1$.

Второй подход (метод производных) обладает тем преимуществом, что позволяет исследовать чувствительность функции к погрешности задания аргумента в заданном диапазоне его значений [*a*, *b*]. Для этого достаточно построить график функции



$$\varphi(x) = \frac{df(x)}{dx}$$

Рис. 1. Иллюстрация изменения чувствительность функции *f*(*x*) к погрешности задания аргумента в заданном диапазоне значений *x*

В точке ***a*** погрешность определения функции *f*(*x*) будет равна $\phi(a)\,\Delta x$, а в точке ***b*** будет равна $\phi(b)\,\Delta x$, т.е. значительно больше, чем в точке ***a*** при одном и том же значении погрешности задания аргумента.

«Статистический» подход к оценке погрешности определения T_s

3. Метод *Monte-Carlo*

Метод Монте-Карло или метод статистических испытаний − это численное решение математических задач при помощи моделирования случайных величин. Широкое практическое использование этого метода стало возможно только благодаря появлению современных быстродействующих компьютеров.

Основу метода Монте-Карло составляет возможность получения случайных чисел с заданными статистическими характеристиками.

Числа, получаемые по какой-либо формуле и имитирующие значения случайной величины, называются **псевдослучайными числами**.

Генерация псевдослучайных чисел

Специальный оператор RND (**Random Number Digitizer)** включен в состав большинства языков программирования. С его помощью генерируются псевдослучайные числа, имеющие равномерный закон распределения на промежутке [0,1].

Равномерное распределение. Непрерывная величина *x* *распределена равномерно* на интервале (*a*, *b*), если все ее возможные значения находятся на этом интервале и плотность распределения вероятностей *p*(*x*) на этом же интервале постоянна:

$$p(x)=\begin{cases} 0 \text{ при } x<a \\ \dfrac{1}{b-a} \text{ при } a\le x\le b \\ 0 \text{ при } x>b \end{cases}$$

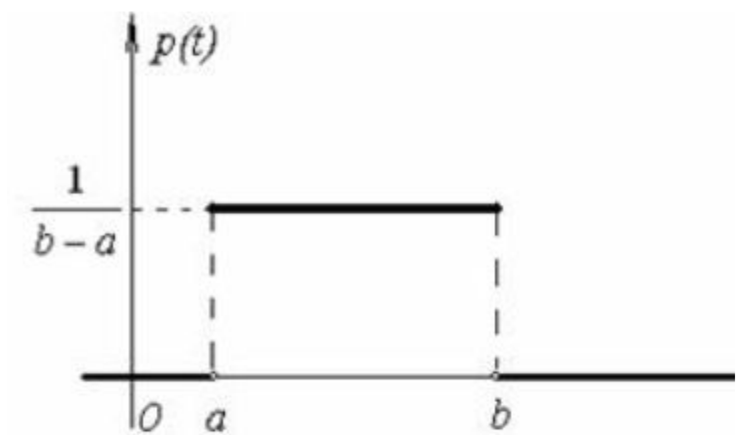


Рис. 2. Вид функции *p*(*x*) при равномерном законе распределения на промежутке [*a*,*b*]

Генерация псевдослучайных чисел

Специальный оператор RND (**Random Number Digitizer)** включен в состав большинства языков программирования. С его помощью генерируются псевдослучайные числа, имеющие равномерный закон распределения на промежутке [0,1].

Преобразование по определенным методикам псевдослучайных чисел, имеющие равномерный закон распределения на промежутке [0,1], позволяет получить псевдослучайные числа с заданными законами распределения.

Поскольку при исследовании влияния погрешностей задания исходных данных на точность дистанционного измерения температуры подстилающей поверхности логично предположить, что эти погрешности имеют нормальный закон распределения, то рассмотрим один из возможных подходов к такому преобразованию с использованием псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения.

Нормальный закон распределения *(закон Гаусса).* Непрерывная случайная величина *X* имеет нормальный закон распределения с параметрами ***б*** и ***μ***, если ее плотность распределения вероятностей имеет вид:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right)$$

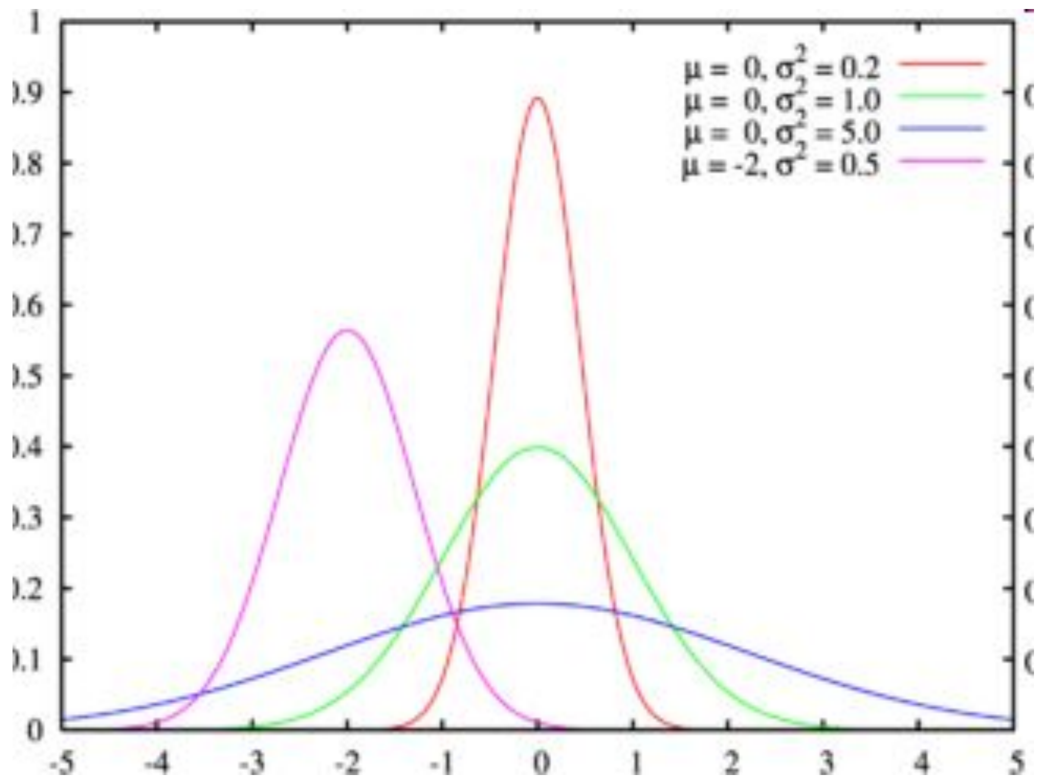


Рис. 3. Вид функции *p*(*x*) при нормальном законе распределения

Для расчета методом суперпозиции двух значений случайной величины ζ , имеющих нормальный закон распределения с параметрами ***μ*** = 0 и ***б*** = 1, может быть использован следующий алгоритм, использующий два псевдослучайных числа с равномерным законом распределения γ_1 и γ_2:

$$\varsigma_1 = cos\left(2\pi\ \gamma_2\right)\sqrt{-2\ ln\,\gamma_1}$$

$$\varsigma_2 = sin\left(2\pi\ \gamma_2\right)\sqrt{-2\ ln\ \ \gamma_1}$$

На основе этих соотношений расчет псевдослучайного числа *τ*, имеющей нормальное распределение, но уже с параметрами:

среднее значение $\mu = a$ и дисперсия $\sigma^2 = \sigma_\tau^2$

может быть произведена на основе следующего соотношения:

$$\tau_i = a + \sigma_\tau\ \varsigma_i$$

Для исследования влияния случайных погрешностей в задании исходных данных на точность дистанционного измерения температуры подстилающей поверхности необходимо вычислить «реакцию» математической модели на погрешности, задаваемые случайным образом в значениях параметров, от которых эта модель зависит.

Собственно метод Монте-Карло при решении рассматриваемой задачи заключается в следующем:

- в многократном расчете (моделировании) входящих в формулу для значений $\left|\Delta T_s\right|$ погрешностей в задании 4 параметров, имеющих нормальное распределение с заданными средними значениями и дисперсиями

- в многократном расчет методами разностей (или производных) значений

$$\left|\Delta T_s\right|$$

- в последующим расчете статистических характеристик полученных погрешностей дистанционного измерения температуры подстилающей поверхности (средней погрешности, среднеквадратичного отклонения погрешностей от среднего значения, гистограммы распределения погрешностей и др.).

В данной работе для оценки погрешности определения T_s методом Монте-Карло используется подход, определяемый соотношениями

$$\alpha_1 = \alpha_0 - \Delta\alpha_0 \qquad \left| \Delta T \right| \Big|_{\alpha_0, \Delta\alpha} = \left| T_s(\alpha_1) - T_s(\alpha_0) \right|$$

Метод Монте-Карло заключается в многократном моделировании значений $\Delta\alpha_0$, имеющих нормальное распределение с нулевым средним и заданную дисперсию (в программе вместо дисперсии задается соответствующее среднеквадратичное отклонение).

При расчете значений T_s используются формулы

$$T_s = \frac{b \cdot \nu}{\ln\left[1 + \varepsilon_\nu \cdot P_\nu(p_s) \cdot a \cdot \dfrac{\nu^3}{K_\nu}\right]} \qquad K_\nu = J_\nu - B_\nu\left(\widetilde{T}_\nu\right) \cdot \left(1 - P_\nu(p_s)\right)$$

Порядок выполнения работы

1. Изучить описание данной работы, обращаясь в случае необходимости к учебным пособиям, указанным в списке литературы.

2. Открыть файл «*VarTs-#.xls*».

3. Внимательно ознакомиться с порядком и формой представления данных на Листе 1 и Листе 2 (см. следующие слайды).

4. Получить у преподавателя номер варианта, необходимый для определения используемых при выполнении данной лабораторной работы параметров.

	A	B	C	D	E	F
1	2	<== Параметр M - число волновых чисел				
2	2	<== Параметр N - число значений Ts				
3						
4	v [см^-1]	P(v)	E(v)	Tатм(v) [C]	Ts [C]	
5	900	0.93	0.9	5	-25	
6	1100	0.97	0.95	7	25	
7	oi	op	oe	otx		
8	0.5	0.05	0.07	10		
9						

Рис. 4. Индикация входных параметров программы

G	H	I	J	K	L	M	N
Таблица значений интенсивности и яркостной температуры							
N	V	Интенсивность	Яркостная	TS	E(V)	TA(V)	
			температура				
П/П	[1/СМ]	ЭРГ/(СМ*С*СР)]	[C]	[C]		[C]	
1	900	45.4	-26.9	-25	0.9	5	
2	1100	26.53	-25.64	-25	0.94	7	
3	900	101.5	17.16	25	0.9	5	
4	1100	74.34	21.74	25	0.94	7	

Рис. 5. Результаты расчета значений интенсивности уходящего излучения и яркостной температуры

13									
14	Относительные	погрешности [%]			Относительные	погрешности [%]			
15			для Ts[C]=> -25				для Ts[C]=> 25		
16	oi	op	oe	otx	oi	op	oe	otx	
17	1.1	5.37	7.77	3.59	0.49	5.37	7.77	3.59	
18	1.88	5.15	7.36	3.56	0.67	5.15	7.36	3.56	
19									

Рис. 6. Результаты расчета относительных погрешностей [%] задания (измерения) интенсивностей уходящего излучения (oi), функций пропускания (op), излучательной способности подстилающей поверхности (oe) и «эффективной» температуры атмосферы (otx)

24							
25				Таблица			
26	погрешностей дистанционного восстановления температуры						
27	подстилающей поверхности (метод производных)						
28	N		Абсолютные погрешности восстановления Ts				
29	N	I	E	P	Ta	Сумма	
30	П/П	[C]	[C]	[C]	[C]	[C]	
31							
32	1	0.56	3.72	2.16	1.1	7.56	
33	2	0.75	2.87	2.23	0.51	6.38	
34	3	0.36	5.24	0.61	0.71	6.93	
35	4	0.38	4.11	0.7	0.26	5.46	
36							
37	Погрешности =>	0.5	0.07	0.05	10		

Рис. 7. Абсолютные значения погрешностей восстановления температуры подстилающей поверхности при использовании метода производных

Расчет погрешности восстановления по методу Монте-Карло

Таблица
погрешностей дистанционного восстановления температуры
подстилающей поверхности (метод Монте-Карло)

N	Абсолютные погрешности восстановления Ts				
N П/П	I [C]	E [C]	P [C]	Ta [C]	Сумма [C]
1	0.59	3.5	2.4	1.19	7.66
2	0.76	2.49	2	0.53	5.81
3	0.34	5.26	0.7	0.68	6.95
4	0.37	3.64	0.6	0.25	4.9
Погрешности	0.5	0.07	0.1	10	

Рис. 8. Абсолютные значения погрешностей восстановления температуры подстилающей поверхности при использовании метода Монте-Карло

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	Расчет погрешности восстановления по методу разностей								
	Значения погрешности при изменени oi=					0.5	[ЭРГ/(СМ*С*СР)]		
	N	V	Ts(вост.)	dTs	TS	E(V)	PS(V)	TA(V)	
	П/П	[1/СМ]	[C]	[C]	[C]			[C]	
	1	900	-25.6	-0.6	-25	0.9	0.93	5	
	2	1100	-25.79	-0.8	-25	0.95	0.97	7	
	3	900	24.64	-0.4	25	0.9	0.93	5	
	4	1100	24.61	-0.4	25	0.95	0.97	7	

а)

W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
	Значения погрешности при и: oe=					0.07			
	N	V	Ts(вост.)	dTs	TS	E(V)	PS(V)	TA(V)	
	П/П	[1/СМ]	[C]	[C]	[C]			[C]	
	1	900	-21.12	3.88	-25	0.83	0.93	5	
	2	1100	-22	3	-25	0.88	0.97	7	
	3	900	30.58	5.58	25	0.83	0.93	5	
	4	1100	29.33	4.33	25	0.88	0.97	7	

б)

Рис. 9. Абсолютные значения погрешностей восстановления температуры подстилающей поверхности при использовании метода разностей:

а) при наличии погрешностей задания только интенсивности уходящего излучения;

б) при наличии погрешностей задания только излучательной способности подстилающей поверхности

AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
	Значения погрешности при ор=					0.05			
	N	V	Ts(вост.)	dTs	TS	E(V)	PS(V)	TA(V)	
	П/П	[1/СМ]	[C]	[C]	[C]			[C]	
	1	900	-27.63	-3	-25	0.9	0.88	5	
	2	1100	-27.56	-3	-25	0.95	0.92	7	
	3	900	25.72	0.7	25	0.9	0.88	5	
	4	1100	25.76	0.8	25	0.95	0.92	7	

в)

AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX
		Значения погрешности пр				otx=	10	
	N	V	Ts(вост.)	dTs	TS	E(V)	PS(V)	TA(V)
	П/П	[1/СМ]	[C]	[C]	[C]			[C]
	1	900	-23.89	1.1	-25	0.9	0.93	-5
	2	1100	-24.51	0.5	-25	1	0.97	-3
	3	900	25.66	0.7	25	0.9	0.93	-5
	4	1100	25.24	0.2	25	1	0.97	-3

г)

Рис. 10. Абсолютные значения погрешностей восстановления температуры подстилающей поверхности при использовании метода разностей:
в) при наличии погрешностей задания только интенсивности уходящего излучения;
г) при наличии погрешностей задания только излучательной способности подстилающей поверхности

	A
1	В данной программе для оценки погрешности дистанционного восстановления
2	температуры подстилающей поверхности использовано следующее уравнение, опре-
3	деляющее спектральную интенсивность уходящего теплового излучения системы
4	подстилающая поверхность-атмосфера:
5	
6	I(V) = E(V) * B(V,TS) * PS(V) + B(V,TA(V)) * [1 - PS(V)],
7	
8	где
9	I(V) - интенсивность теплового излучения для волнового числа V,
10	B(V,T) - интенсивность теплового излучения АЧТ при температуре T,
11	PS(V) - функция пропускания всей толщи атмосферы,
12	E(V) - излучательная способность (коэффициент излучения)
13	подстилающей поверхности;
14	TA(V) - 'средняя' температура атмосферы для волнового числа V.
15	

Рис. 11. Пояснительные сведения на Листе 2

Решая данное уравнение относительно функции B(V,TS) и учитывая, что

```
                K1*V*V*V
B(V,TS) = ------------------- ,
             EXP( K2*V/TS ) - 1
```

получаем:

```
             K2*V
TS = -------------------- ,
       LN (1 + K1*V*V*V/D)
```

где

```
         I(V) - B(V,TA(V)) * (1 - PS(V))
    D = ------------------------------------ .
                E(V) * PS(V)
```

При использовании метода Монте-Карло погрешности с помощью псевдослучайных чисел моделируются как имеющие нормальное распределение с нулевым средним и среднеквадратическим отклонением, величина которого равна введенной погрешности: oi, oe, op или otx.

Для каждой погрешности моделируется 1000 значений.

Рис. 12. Пояснительные сведения на Листе 2

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
К а ф е д р а ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ

Программа V F R T S
ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
В УСЛОВИЯХ БЕЗОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Профессор А.Д.Кузнецов
Версия от 24.04.2016

Входные параметры программы:
M значений волновых чисел V [1/см] и функций пропускания Ps(V);
M значений средней температуры атмосферы Ta(V) [C];
M значений излучательной способности подстилающей E(V)
N 'истинных' значений температуры подстилающей поверхности Ts[C]

Расчет погрешностей производится тремя методами:
1) методом разностей;
2) методом производныхM значений волновых чисел V [1/см] и функций пропускания Ps(V);
3) методом Монте-Карло.

Рис. 13. Пояснительные сведения на Листе 2

5. Составить план проведения необходимых расчетов для оценки влияния погрешностей в задании исходных данных на величину ΔT_s. Проведенная серия расчетов должна позволить построить и исследовать график зависимости погрешности дистанционного измерения T_s от погрешности задания (измерения) исходных данных.

Диапазон изменения величины погрешностей для каждого из 4 параметров определяется ***самостоятельно*** в процессе проведения численных экспериментов.

Слишком «маленькие» погрешности могут давать практически нулевые значения погрешности дистанционного измерения температуры подстилающей поверхности, а слишком «большие» погрешности – ошибки в определении T_s в десятки и сотни градусов, что, естественно, не имеет практического смысла.

Диапазон изменения вводимых погрешностей должен быть таким, чтобы для каждого из 4 параметров можно было бы по результатам расчетов построить графики зависимости ΔT_s от относительной погрешности каждого из 4 параметров, на котором величина ΔT_s менялась бы от 0^0 до 5^0. Причем на каждом графике должны быть три кривых, соответствующих трем методам расчета ΔT_s.

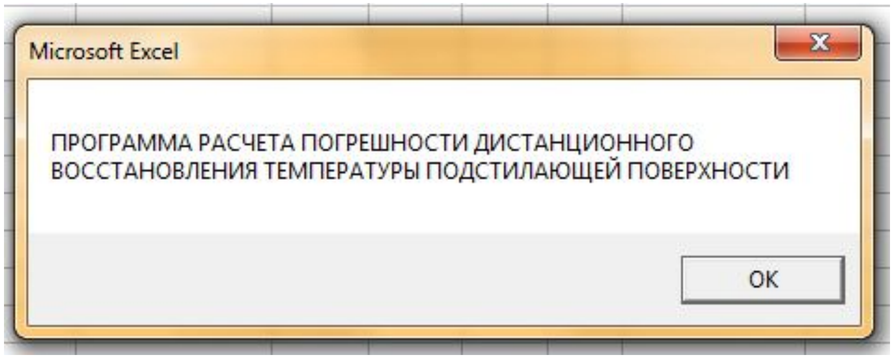
6. Составить отчет по данной работе, отражающий основные этапы проделанной работы и полученные при этом результаты и выводы.

С использованием редактора *EXCEL* построить графики зависимостей погрешностей восстановления температуры от заданных погрешностей начальных параметров.

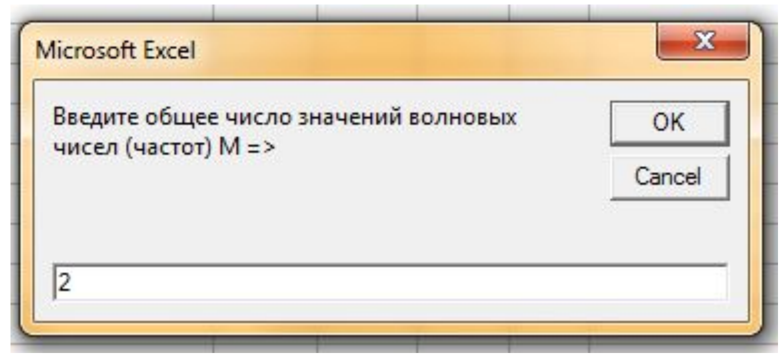
Провести анализу полученных результатов и, в частности:

- объяснить причину наличия различий в оценке ΔT_s, возникающих при использовании трех подходов (методов);

- определить, к относительным погрешностям какого из 4 параметров более «чувствительна» точность дистанционного измерения температуры подстилающей поверхности.



Информационное окно: прочесть и кликнуть «ОК»



Диалоговое окно: ввести соответствующее своему варианту число волновых чисел (в данном примере M = 2) и кликнуть «ОК»

Рис. 3. Пример работы с информационными и диалоговыми окнами

Варианты исходных данных для проведения расчетов по программе «*VarTs-#.xls*»

№ варианта	**Волновое число [1/см]**	**Излучательная способность**	**Температура поверхности [C]**	**Функция пропускания**	**Температура Атмосферы [C]**
1	850.0	0.950	30.0	0.900	5.0
2	860.0	0.940	28.0	0.895	4.8
3	870.0	0.930	26.0	0.890	4.6
4	880.0	0.920	24.0	0.885	4.4
5	890.0	0.910	22.0	0.880	4.2
6	900.0	0.900	20.0	0.875	4.0
7	910.0	0.890	18.0	0.870	3.8
8	920.0	0.880	16.0	0.865	3.6
9	930.0	0.870	14.0	0.860	3.4

Варианты исходных данных для проведения расчетов по программе «*VarTs-#.xls*

№ варианта	Волновое число [1/см]	Излучательная способность	Температура поверхности [C]	Функция пропускания	Температура атмосферы [C]
10	940.0	0.860	12.0	0.855	3.2
11	950.0	0.850	10.0	0.850	3.0
12	960.0	0.840	8.0	0.845	2.8
13	970.0	0.830	6.0	0.840	2.6
14	980.0	0.820	4.0	0.835	2.4
15	990.0	0.810	2.0	0.830	2.2
16	1000.0	0.800	0.0	0.825	2.0
17	1010.0	0.790	-2.0	0.820	1.8
18	1020.0	0.780	-4.0	0.815	1.6

Варианты исходных данных для проведения расчетов по программе «*VarTs-#.xls*»

№ варианта	Волновое число [1/см]	Излучательная способность	Температура поверхности [C]	Функция пропускания	Температура атмосферы [C]
19	1030.0	0.770	-6.0	0.810	1.4
20	1040.0	0.760	-8.0	0.805	1.2
21	1050.0	0.750	-10.0	0.800	1.0
22	1060.0	0.740	-12.0	0.795	0.8
23	1070.0	0.730	-14.0	0.790	0.6
24	1080.0	0.720	-16.0	0.785	0.4
25	1090.0	0.710	-18.0	0.780	0.2

Контрольные вопросы

1. От точности задания каких параметров зависит точность дистанционного измерения температуры подстилающей поверхности ?
2. При каких допущениях было получено используемое в данной работе соотношение для вычисления значения *Ts* ?
3. От точности задания какого параметра (исходя из значения относительной погрешности) «сильнее» всего зависит точность дистанционного определения температуры подстилающей поверхности ?
4. Отличаются ли при одной и той же величине погрешности в задании исходных данных значения ошибок определения *Ts*, полученные с использованием рассмотренных в данной работе подходов и если отличаются, то почему?
5. От чего зависит точность оценки статистических характеристик погрешности определения *Ts* при использовании метода Монте-Карло ?
6. Какие способы получения алгоритмов для расчета псевдослучайных чисел с заданным законом распределения рассмотрены в данной работе?

Литература

1. А.Д. Кузнецов, В.В. Розанов, Ю.М. Тимофеев Дистанционное зондирование атмосферы тропической зоны. — Л., изд. ЛГМИ, 1988. — 90 с.

2. А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова Практикум по учебным дисциплинам «Дистанционное зондирование атмосферы» и «Теория переноса излучения в жидкостях и газах». — СПб., изд-во РГГМУ, 2000. — 126 с.

3. А.В.Васильев, А.Д. Кузнецов, И.Н. Мельникова. Дистанционное зондирование окружающей среды из космоса. Практикум. — СПб., изд-во БГТУ «Военмех», 2008. — 133 с.

4. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретичские основы атмосферной оптики. — СПб.: Наука, 2003 — 474 с.

5. Васильев А.В., Мельникова И.Н. Коротковолновое солнечное излучение в атмосфере Земли. Расчеты. Измерения. Интерпретация. Санкт-Петербург, НИИХ СПбГУ, 2002 388 с.

6. А.В. Васильев, И.Н. Мельникова Методы прикладного анализа результатов натурных измерений в окружающей среде. Учебное пособие. Монография. Изд-во БГТУ «Военмех». 2009. 370 с.

7. Васильев А.В., Мельникова И.Н. Экспериментальные модели атмосферы и земной поверхности (Учебное пособие). Изд-во БГТУ «Военмех» 2010. 226 с.

8. Melnikova I., Vasilyev A. Short-wave solar radiation in the Earth atmosphere. Calculation. Observation. Interpretation. Springer-Verlag GmbH&Co.KG, Heidelberg, 2004. 350p

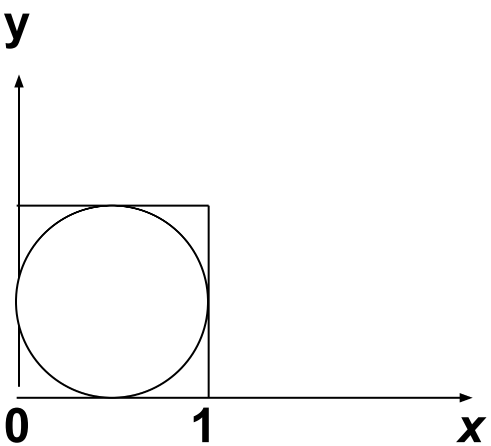
9. A. Kuznetsov, I. Melnikova, D. Pozdnyakov, O. Seroukhova, A. Vasilyev. Remote Sensing of the Environment and Radiation Transfer. An Introductory Survey. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 200p.

Какие будут вопросы?

Пример применения метода Монте-Карло для решения не «статистической» задачи
-
расчету числа Пи

The process with using random numbers for calculating value of π

$S_{square} = 1$, $S_{circle} = \pi r^2 = \pi/4$



Throwing darts to the square many times

or

Find random numbers in the interval [0,1] :

x=RND they define the point in the square

y=RND.

Find many random point in the square. Amount of hitting to a region is proportional to the area of this region.

$N \sim S_{square}$ $N_1 \sim S_{circle}$, then

$\pi/4 = N_1/N$, hence $\pi = 4\, N_1/N$

It is to find the value N_1 , with knowing the value N

Test if the dart hits to the circle or not :

The mathematical model of throwing darts :
Radius is $r = 0.5$
Then the radius-vector of the random point :

$$l = \sqrt{(x-0.5)^2 + (y-0.5)^2}$$

Compare it with the circle radius:

$l \leq 0.5$ – the point is within circle, $l > 0.5$ the point is out of the circle

How much is it to be repeated?
It is defined by needed exactness:

One throwing:
1: within circle $N_1 = 1$; $N = 1$, then $\pi = 4$
2: out of circle $N_1 = 0$; $N = 1$, then $\pi = 0$, hence value of π is in the interval [0,4]

10 throwings provide π = **3.14**

10 000 throwings provide value of **π to an accuracy of the fifth decimal place (or to fife-place accuracy)**