

И. А. ИВАНЧЕНКО, Л. М. БУДИЯНСКАЯ, д. ф.-м. н. Ю. Ф. ВАКСМАН

Украина, Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова  
E-mail: oguint@paco.net

Дата поступления в редакцию  
29.10 2004 г. — 16.03 2005 г.

Оппонент д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ  
(ДонНУ, г. Донецк)

## ДВУХВОЛНОВОЙ СЕНСОР ДИСТАНЦИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Разработанный сенсор основан на активном методе дистанционного распознавания поверхностей по коэффициенту отражения, который позволяет уменьшить погрешность дальномерных измерений.*

Работа приборов распознавания, дальномерных устройств и измерителей скорости основана на принципе дистанционного определения отражательных свойств поверхности объекта. Применение пассивных методов измерений, связанных с анализом собственного излучения поверхности или отраженного ею солнечного излучения, ограничено из-за сложной статистической зависимости этих видов излучений от сезонных условий [1]. Для упрощения определения отражательных свойств поверхности в данной работе предлагается измерять не интегральный, а спектральный коэффициент отражения.

Анализ статистических данных о спектральном коэффициенте отражения некоторых естественных поверхностей [2, с. 211] показал следующее. По отражательным свойствам в диапазоне значений длины волны 0,5...1,0 мкм можно выделить два типа поверхностей: тип I — поверхности с малым значением коэффициента отражения, возрастающим в длинноволновой области; тип II — поверхности с большим значением коэффициента отражения, спадающим в ИК-области спектра. (Большинство почв, дорожных покрытий и растительных покровов относится к первому типу.) Диапазон изменения коэффициента отражения по абсолютной величине у поверхностей типа I составляет 5...35%, у поверхностей типа II — 80...55%.

Обнаруженные особенности спектральной зависимости коэффициента отражения легли в основу активного спектрального метода определения типа поверхности. Суть метода состоит в измерении коэффициента отражения в различных спектральных диапазонах при зондировании поверхности двумя (или более) световыми потоками определенной длины волны и равной мощности.

Критерием выбора спектральных диапазонов служит величина среднего яркостного контраста  $K_L$ , определяемого как

$$K_L(\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2) = L_{ni}(\Delta\lambda_1) - L_{ni}(\Delta\lambda_2), \quad (1)$$

где  $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2$  — спектральные диапазоны;

$L_{ni}$  — средняя яркость поверхности  $i$ -го типа.

Учитывая, что большинство естественных поверхностей является диффузными ламбертовыми отражателями, их яркость при активном зондировании световым потоком определенного спектрального диапазона выражается как [3, с. 89]

$$L_{ni}(\Delta\lambda) = \rho_{\Delta\lambda} E_{\Delta\lambda} / \pi, \quad (2)$$

где  $\rho_{\Delta\lambda}$  — коэффициент отражения поверхности;

$E_{\Delta\lambda}$  — освещенность поверхности, создаваемая излучателем с яркостью  $L_0$  и определяемая дальностью  $l$ .

Исходя из условия равенства мощности исследуемых энергетических потоков разной длины волны при проведении спектрального анализа, можем записать:

$$E_{\Delta\lambda} = E = \text{const}. \quad (3)$$

С учетом (3) выражение (2) приобретает вид

$$L_{ni}(\Delta\lambda) = C_1 \rho_{\Delta\lambda}, \quad (4)$$

где  $C_1 = E / \pi$ .

Следовательно, в определенном спектральном диапазоне яркость поверхности определяется ее спектральным коэффициентом отражения.

Подставив (4) в (1), получим:

$$K_L(\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2) = C_1(\rho_{\Delta\lambda_1} - \rho_{\Delta\lambda_2}), \quad (5)$$

где  $\rho_{\Delta\lambda_1}, \rho_{\Delta\lambda_2}$  — коэффициенты отражения поверхности для спектральных диапазонов  $\Delta\lambda_1$  и  $\Delta\lambda_2$ , соответственно.

В таблице для ряда естественных поверхностей приведены значения яркости  $L_n$  и яркостного контраста  $K_L$ , полученные исходя из усредненных значений спектрального коэффициента отражения [2, с. 211] в четырех спектральных диапазонах  $\Delta\lambda$ .

В областях спектра с наибольшей разностью коэффициентов отражения максимальные значения  $K_L$  соответствуют спектральным диапазонам 0,6...0,7 и 0,9...1,0 мкм [4], которым и следует отдавать предпочтение при выборе спектральных диапазонов для измерений.

Предлагается сенсор, основанный на двухволновом методе автоматического бесконтактного измерения коэффициента отражения естественных природных образований [5].

Блок-схема сенсора показана на рис. 1. Она содержит излучатели 1 и 2, генерирующие излучение в выбранных спектральных диапазонах на исследуемую

Значения  $L_n$  и  $K_L$  для различных поверхностей

Поверхность	$L_n$ , отн. ед.				$K_L$ , отн. ед.			
	$L_1$ ( $\Delta\lambda=0,5\dots0,6$ мкм)	$L_2$ ( $\Delta\lambda=0,6\dots0,7$ мкм)	$L_3$ ( $\Delta\lambda=0,8\dots0,9$ мкм)	$L_4$ ( $\Delta\lambda=0,9\dots1,0$ мкм)	$L_1-L_3$	$L_1-L_4$	$L_2-L_3$	$L_2-L_4$
Снег с ледяной коркой	81,5	81,5	74,0	69,0	7,5	12,5	7,5	12,5
Снег влажный	73,0	72,5	63,0	55,5	10,0	18,5	9,5	17,5
Почва влажная	5,0	8,0	17,5	19,0	-12,5	-14,0	-9,5	-11,5
Кукуруза силосная	5,5	4,0	32,0	34,5	-26,5	-29,0	-28,0	-30,5
Кукуруза зеленая	7,0	6,0	28,0	29,5	-21,0	-22,5	-22,0	-23,5
Кукуруза желтая	11,5	14,0	23,0	27,5	-11,5	-16,0	-9,0	-13,5
Суданка	4,0	3,0	50,0	50,5	-46,0	-46,5	-47,0	-47,5
Чернозем	4,5	6,0	10,0	11,5	-5,5	-7,0	-4,0	-5,5
Стерня злаков	10,0	15,5	28,5	32,0	-18,5	-22,0	-13,0	-16,5

поверхность 3. Отраженное поверхностью 3 излучение поступает на вход фотоприемника 4, режим работы которого предусматривает последовательную временную синхронизацию с излучателями 1 и 2.

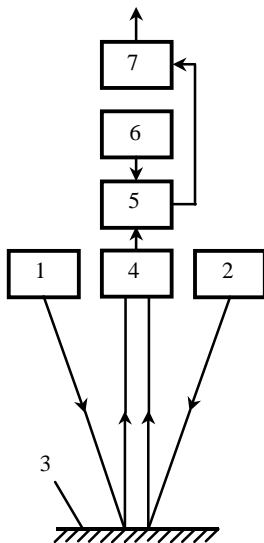


Рис. 1. Блок-схема двухволнового сенсора

Выходной сигнал фотоприемника 4 подается на вход схемы сравнения 5. На второй вход схемы сравнения 5 подается сигнал из схемы опорного уровня 6, который соответствует сигналу, отраженному эталонной поверхностью с отражательными свойствами, промежуточными между двумя выделенными типами. В схеме сравнения 5 производится накопление двух последовательных импульсов, полученных в результате приема двух отраженных потоков различного спектрального состава, и сравнение с опорным уровнем. Выход схемы сравнения 5 соединен с входом схемы идентификации вида поверхности 7.

В экспериментальном макете сенсора в качестве излучателей использовались газовый лазер ЛГ-126 и светодиод АЛ106 с длиной волны излучения 0,63 и 0,95 мкм, соответственно. Фотоприем обеспечивался фотодиодом ФД 155К с областью спектральной чувствительности 0,4...1,1 мкм. Измерительная база между активными элементами составляла 75 мм при дальности настройки 75 см.

Графические зависимости выходного сигнала  $U_{фп}$  фотоприемного устройства от расстояния  $l$  до исследуемой поверхности показаны на рис. 2. Кривые 1 и 4 получены при зондировании поверхностей лазерным лучом, 2 и 3 — излучением светодиода. Отражению от поверхности типа I с интегральным коэффициентом отражения  $\rho=0,30$  соответствуют кривые 3 и 4, а от поверхности типа II с  $\rho=0,85$  — кривые 1 и 2.

Амплитуда входного сигнала фотоприемника зависит от расстояния до поверхности в соответствии с основным энергетическим уравнением измерителя [3, с. 90]:

$$\Phi_{вх} = \tau_o \tau_c^2 L_{\Delta\lambda} A_2 A_{вх} / l^2,$$

где  $\Phi_{вх}$  — световой поток на входе фотоприемника;  
 $\tau_o, \tau_c$  — коэффициенты пропускания оптических систем и среды распространения излучения, соответственно;  
 $A_2, A_{вх}$  — площади видимой части отражающей поверхности и входного зрачка фотоприемника, соответственно.

На фиксированном расстоянии при неизменных характеристиках оптических систем и внешней среды, т. е. если

$$\tau_o \tau_c^2 A_2 A_{вх} / l^2 = \text{const} = C_2,$$

световой поток

$$\Phi_{вх} = C_2 L_{\Delta\lambda}. \quad (6)$$

Амплитуда выходного напряжения  $U_{фп}$  фотоприемника с учетом его интегральной чувствительности  $S$  и соотношения (6) выражается как

$$U_{фп} = S \Phi_{вх} = S C_2 L_{\Delta\lambda}. \quad (7)$$

Подставив (4) в (7), получим:

$$U_{фп} = S C_1 C_2 \rho_{\Delta\lambda}. \quad (8)$$

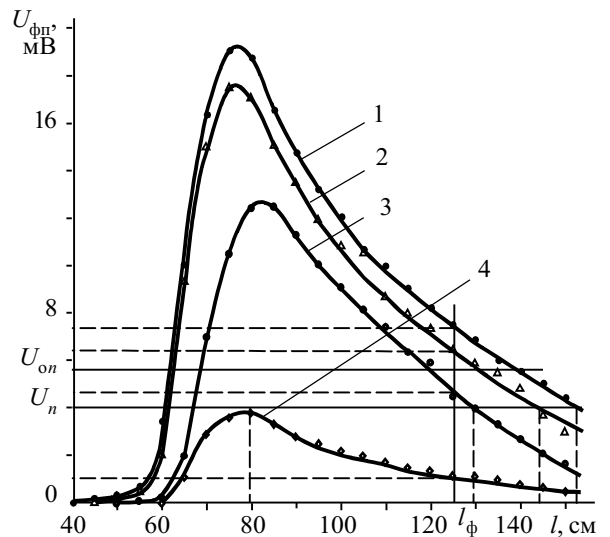


Рис. 2. Дистанционные характеристики двухволнового сенсора

Следовательно,  $U_{\text{фп}}$  на определенной длине волны входного светового потока может быть выражена в единицах спектрального коэффициента отражения.

Определяя  $\rho_{\Delta\lambda}$  из (8) и подставляя его в (5), получим:

$$K_L(\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2) = \frac{1}{C_2 S} [U_{\text{фп}}(\Delta\lambda_1) - U_{\text{фп}}(\Delta\lambda_2)]. \quad (9)$$

Соотношение (9) показывает, что в данной измерительной системе яркостный контраст поверхности в двух спектральных диапазонах эквивалентен разности амплитуд напряжения фотодиода. При этом знак разности амплитуд напряжения определяет тип поверхности, а величина служит мерой отражательных способностей.

В статических измерительных системах при фиксированной дальности  $l_{\text{ф}}$  (рис. 2) у поверхностей типа I имеет место преобладание амплитуды отраженного ИК-излучения (0,9...1,0 мкм) над амплитудой отраженного видимого излучения (0,6...0,7 мкм) ( $K_L < 0$ ), а у поверхностей типа II — наоборот ( $K_L > 0$ ).

Очевидно, что каждой поверхности в зависимости от ее отражательных свойств соответствует определенное соотношение амплитуды фотоответа в различных спектральных диапазонах относительно друг друга и опорного уровня  $U_{\text{он}}$ . Это позволяет осуществлять селекцию поверхностей по величине соотношения и его знаку, решая задачу дистанционного распознавания объектов.

В динамических условиях сближения с исследуемой поверхностью опережение порогового сигнала  $U_n$  в канале видимого излучения  $\{l_{U_n}(\Delta\lambda_1) > l_{U_n}(\Delta\lambda_2)\}$

соответствует поверхности с большим коэффициентом отражения (тип II), а опережение сигнала в канале ИК-излучения  $\{l_{U_n}(\Delta\lambda_2) > l_{U_n}(\Delta\lambda_1)\}$  — поверхности с меньшим коэффициентом отражения (тип I). В дальномерных устройствах и измерителях скорости установленное соответствие между пороговой дальностью  $l_n$  и длиной волны  $\lambda$  зондирующего излучения позволяет избежать погрешности измерений, обусловленной разбросом коэффициента отражения поверхности объекта, а значит, и повысить точность дальномерных измерений.

Таким образом, предлагаемый метод селекции естественных поверхностей позволяет упростить определение свойств отражательной поверхности и уменьшить погрешность дальномерных измерений.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Альbedo и угловые характеристики отражения подстилающей поверхности и облаков / Под ред. К. Я. Кондратьева.— Л.: Гидрометеиздат, 1981.
2. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности / Под ред. К. Я. Кондратьева.— Л.: Гидрометеиздат, 1969.
3. Якушенков Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов.— М.: Сов. радио, 1980.
4. Черешанский В. А., Иванченко И. А. Двухволновый экспресс-метод распознавания подстилающей поверхности // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Дистанционное зондирование агропочвенных и водных ресурсов».— Барнаул.— 1990.— С. 137—139.
5. А. с. 1733979 СССР. Способ определения вида естественной подстилающей поверхности / В. А. Черешанский, И. А. Иванченко.— 1992.— Бюл. № 18.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



#### **Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем.— М.: РадиоСофт, 2004.— 608 с.**

Приводятся необходимые сведения из теории вероятностей и на их основе рассматриваются статистические методы анализа линейных систем и нелинейных радиотехнических устройств. На единой базе теории фильтрации экономно и единообразно изложены современные методы синтеза аналоговых и цифровых радиотехнических систем различного назначения, включая и адаптивные. Методика применения теоретических результатов к решению практических задач проиллюстрирована содержательными примерами.

Для студентов радиотехнических специальностей вузов и специалистов.

НОВЫЕ КНИГИ



#### **Верба В. С., Битюков В. К., Нефедов В. И. и др. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник.— М.: Высшая школа, 2004.— 28 л.**

Рассмотрены вопросы метрологии, методы и средства измерений электрических величин, а также аспекты стандартизации изделий радиоэлектроники. Материал представлен с учетом современных достижений и тенденций развития теории измерений и измерительной техники. Изложение базируется на действующей нормативно-технической документации и рекомендациях международных организаций в области метрологии и стандартизации.

Второе издание дополнено разделами по метрологическому обеспечению защищенных телекоммуникационных систем, принципам построения современных средств измерений и измерению параметров телекоммуникационных сигналов. Существенно переработаны разделы по теории погрешностей и точности измерений.