

УДК 681.787

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА ВЕБ-КАМЕР

Ольга Николаевна Будаговская

доктор технических наук, в.н.с.

budagovsky@mail.ru

Федеральный Научный Центр имени И.В.Мичурина,
Мичуринский государственный аграрный университет
г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Приведены результаты фотометрической калибровки веб-камер на примере цифровой USB-видеосенсора серии А4Tech. Получены калибровочные уравнения и графики, позволяющие существенно увеличить динамический диапазон линейного режима регистрации данных. Тестирование работы веб-видеокамеры с включенными алгоритмами корректировки данных показало, что калибровка дает корректные результаты измерений оптической плотности листьев и их фотосинтетической активности с приемлемой для таких методов дисперсией и низким коэффициентом вариабельности (менее 7%).

Ключевые слова: веб-видеокамера, калибровка, тестирование. интенсивность светопропускания, фотосинтетическая активность, листья

По мере развития прецизионного земледелия повышаются требования к надежности методов и приборов оценки функционального состояния растений. В настоящее время наиболее востребованными являются оптико-электронные приборы, позволяющие проводить диагностику с минимальным влиянием на жизнедеятельность измеряемых объектов. В Инженерном Центре ФНЦ имени Мичурина совместно с лабораторией НИПЛ «Биофотоника» Мичуринского ГАУ разрабатывается комплекс оптического оборудования для неразрушающей экспресс-диагностики растительных объектов, состоящий из специализированных модулей, подключаемых к компьютеру и специализированной программы регистрации и обработки данных. В качестве фотоприемника, предназначенного для преобразования светового информационного сигнала в электрический в базовой конструкции прибора используется цифровая веб-камера серии A4Tech. Этот выбор был обусловлен следующими соображениями:

- высокая чувствительность в диапазоне длин волн от 650 нм до 900 нм;
- наличие аналого-цифрового преобразователя и протокола передачи данных в компьютер по USB-порту;
- камера не нуждается в установке драйверов и в дополнительных источниках питания, так как получает его по USB-порту обмена данными;
- возможность использования канала питания камеры для энергообеспечения других электронных элементов прибора;
- малый уровень собственных шумов при максимальном усилении;
- высокая скорость перехода на новый режим работы при смене установок;
- низкая стоимость и компактный размер камеры: 20x20x10 мм.

При всех очевидных достоинствах данное устройство обладает и недостатком, присущим всем моделям веб-камер - это относительно невысокий внутрикадровый динамический диапазон, так как квантование видео-сигнала осуществляется только на 256 градаций, причем со значительной нелинейностью. Использование встроенной системы усиления (или ослабления) сигнала с помощью установок «выдержка», «яркость», «контраст», «оттенок», «насыщенность», «баланс белого» также нуждается в предварительной нормировке,

поскольку в инструкции к камере нет данных, как они влияют на величину выходного сигнала. В связи с этим достоверность получаемой информации можно обеспечить только при проведении процедур предварительной калибровки передаточной характеристики камеры для всех предусмотренных режимах работы видеоматрицы. Целью настоящего исследования являлось получение калибровочных уравнений, позволяющих увеличить линейный диапазон работы видеокамеры и обеспечить корректную работу приборов в режиме оценки фотосинтетической активности (по параметрам медленной индукции флуоресценции) и относительного содержания хлорофилла (по оптической плотности) растительных объектов.

Предварительное тестирование камеры A4Tech показало, что задачу можно существенно упростить, если в процессе работы использовать базовые установки усилителя видеосенсора, такие как «яркость», «контраст», «оттенок», «насыщенность», «баланс белого», выдаваемые драйвером камеры «по умолчанию», а величиной выходного сигнала управлять только с помощью установки «выдержка».

Калибровку передаточной характеристики камеры проводили по типовой методике [1] на оптическом стенде, содержащем: стабилизированный регулируемый блок питания, мощный светодиод 650 нм (3 Вт); штатив для крепления камеры; универсальный измеритель интенсивности оптического излучения ОРНІR (Израиль). Камеру и измерительную головку прибора ОРНІR устанавливали на фиксированном расстоянии от светодиода (150 мм), интенсивность выходного излучения плавно меняли от 0,1 до 300 мВт. Контроль мощности светового потока проводили на уровне входной диафрагмы камеры.

Последующая обработка данных включала: вычитание фона; построение графиков зависимостей показаний камеры от интенсивности падающего на матрицу излучения; определение уравнений аппроксимации с достоверностью не менее 0,99. Передаточные характеристики камеры после вычитания фона представлены на рис.1. На базе этих графиков с помощью программы Excel бы-

ли определены уравнения аппроксимации для диапазона показаний камеры от 0 до 247 относительных единиц (табл.1).

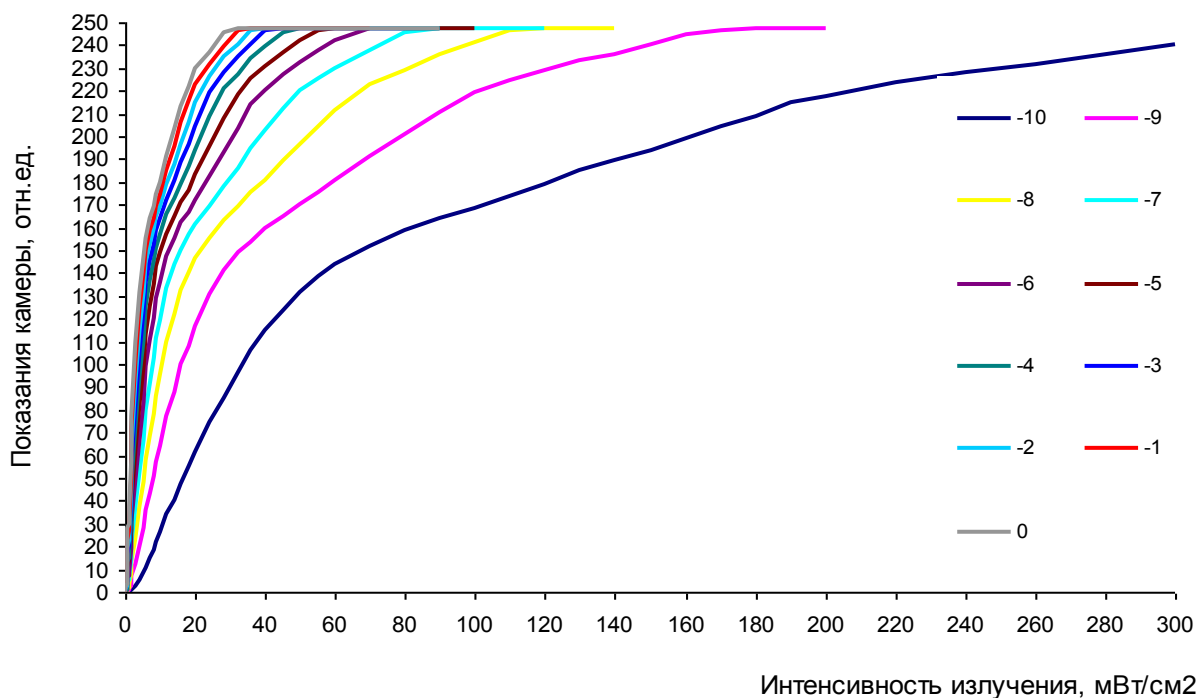


Рисунок 1. Графики передаточных характеристик камеры A4Tech для различных установок режима «выдержка».

Таблица 1.

Уравнения аппроксимации рабочего диапазона показаний на различных «выдержках» камеры A4Tech. Y - показания видеокамеры, усл.ед.; X – интенсивность излучения, мВт/см².

Выдержка	Рабочий диапазон мощности излучения, мВт	Уравнение аппроксимации	R ²
-10	0,9...300	$Y=7,9 \cdot 10^{-10}X^5 - 7,58 \cdot 10^{-7}X^4 + 2,77 \cdot 10^{-4}X^3 - 4,89 \cdot 10^{-2}X^2 + 4,6305X - 11,762$	0,9987
-9	0,4...170	$Y=2,184 \cdot 10^{-8}X^5 - 1,097 \cdot 10^{-5}X^4 + 2,083 \cdot 10^{-3}X^3 - 0,1888X^2 + 9,0964X - 8,645$	0,9989
-8	0,4...110	$Y=1,9892 \cdot 10^{-7}X^5 - 6,48 \cdot 10^{-5}X^4 + 7,959 \cdot 10^{-3}X^3 - 0,4653X^2 + 14,34X - 10,359$	0,9992
-7	0,3...80	$Y=6,92 \cdot 10^{-7}X^5 - 1,803 \cdot 10^{-4}X^4 + 1,756 \cdot 10^{-2}X^3 - 0,8047X^2 + 19,096X - 10,022$	0,9991
-6	0,3...60	$Y=2,65 \cdot 10^{-6}X^5 - 5,284 \cdot 10^{-4}X^4 + 3,934 \cdot 10^{-2}X^3 - 1,377X^2 + 24,945X - 11,97$	0,9992
-5	0,2...55	$Y=7,606 \cdot 10^{-6}X^5 - 1,219 \cdot 10^{-3}X^4 + 7,326 \cdot 10^{-2}X^3 - 2,075X^2 + 30,46X - 11,082$	0,9993
-4	0,2...45	$Y=1,314 \cdot 10^{-5}X^5 - 1,912 \cdot 10^{-3}X^4 + 0,104X^3 - 2,663X^2 + 35,048X - 12,123$	0,9991
-3	0,2...40	$Y=2,316 \cdot 10^{-5}X^5 - 3,024 \cdot 10^{-3}X^4 + 0,147X^3 - 3,37X^2 + 39,52X - 11,006$	0,9991
-2	0,2...36	$Y=3,215 \cdot 10^{-5}X^5 - 6,364 \cdot 10^{-3}X^4 + 0,2523X^3 - 4,74X^2 + 46,29X - 12,41$	0,9990
-1	0,2...32	$Y=1,219 \cdot 10^{-4}X^5 - 1,126 \cdot 10^{-2}X^4 + 0,389X^3 - 6,35X^2 + 53,67X - 14,357$	0,9993
0	0,2...32	$Y=1,45 \cdot 10^{-4}X^5 - 1,326 \cdot 10^{-2}X^4 + 0,45X^3 - 7,136X^2 + 57,714X - 14,173$	0,9992

Тестирование точности калибровки было проведено на примере измерения коэффициента пропускания нейтральных светофильтров с известной оптической плотностью (21,3%; 14%; 7,7%; 6%; 3,8%; 2%). В таблице 2 представлены исходные данные измерений интенсивности прошедшего через тестовые объекты излучения 620 ± 12 нм при различных установках "выдержка", которые затем были пересчитаны с использованием уравнений таблицы 1 и рассчитаны коэффициенты пропускания (K_{np}) как отношение интенсивности излучения, прошедшего через тест-объект к интенсивности падающего излучения. Статистическая обработка полученных данных показала, что калибровка дает корректные результаты значений K_{np} с приемлемой для оптических измерений дисперсией и низким коэффициентом вариабельности, что говорит об очень высокой однородности и о незначительной степени рассеивания данных (табл.3).

Таблица 2.

Исходные данные измерений интенсивности прошедшего света длиной волны 620 ± 12 нм через тестовые объекты с известным коэффициентом пропускания. В таблице представлены средние значения показания камеры \pm ошибка среднего.

Выдержка	Коэффициент пропускания, %				
	21,3	14	7,7	3,8	2
-10	64,23 \pm 0,92	10,6 \pm 0,13	3,06 \pm 0,05	2,15 \pm 0,02	0,21 \pm 0,001
-9	98,93 \pm 1,31	31,9 \pm 0,27	10,27 \pm 0,12	6,06 \pm 0,04	3,93 \pm 0,02
-8	109,93 \pm 1,43	50,98 \pm 0,48	19,81 \pm 0,19	11,3 \pm 0,08	9,08 \pm 0,07
-7	116,73 \pm 1,46	67,52 \pm 1,04	31,32 \pm 0,24	12,39 \pm 0,11	15,23 \pm 0,14
-6	130,63 \pm 1,34	80,7 \pm 1,23	41,54 \pm 0,32	15,58 \pm 0,17	23,63 \pm 0,28
-5	140,13 \pm 1,52	87,9 \pm 1,19	49,78 \pm 0,41	17,4 \pm 0,18	24,28 \pm 0,28
-4	152,73 \pm 1,70	91,68 \pm 1,26	57,69 \pm 0,49	20,8 \pm 0,20	32,44 \pm 0,32
-3	156,23 \pm 1,64	94,088 \pm 1,33	65,6 \pm 0,58	22,44 \pm 0,21	38,47 \pm 0,36
-2	161,53 \pm 1,71	97,74 \pm 1,41	73,05 \pm 0,63	25,7 \pm 0,23	48,13 \pm 0,44
-1	168,48 \pm 1,74	100,02 \pm 1,47	79,43 \pm 0,68	29,64 \pm 0,24	57,08 \pm 0,49
0	177,13 \pm 2,07	102,46 \pm 1,44	84,82 \pm 0,77	33,04 \pm 0,28	66,53 \pm 0,55
Интенсивность зондирующего потока на выдержке -10	139 \pm 1,54	95,2 \pm 1,21	92,5 \pm 1,15	108,7 \pm 1,33	139 \pm 1,61

Аналогичные испытания были проведены и на режиме измерения фотосинтетической активности (Y). Для этого использовали однородную выборку листьев земляники садовой с $Y \approx 0,7$ отн.ед. Измерения параметров флуоресценции проводили как на различных установках «выдержка», так и на одной и той

же выдержке. Если калибровка корректна, то после пересчета и статистической обработки показаний должны получить идентичные статистические характеристики выборок (при одинаковом количестве повторностей). Поскольку режимом управления камерой предусмотрено 11 установок «выдержка», то в этом блоке экспериментов делали 11 повторностей на одном режиме выдержка -8", а также по одному измерению на каждом из 11 режимов «Выдержка».

Таблица 3.

Результаты статистической обработки данных измерений коэффициентов пропускания тест-объектов на различных режимах установки «выдержка» после проведения корректировки данных по уравнениям табл.1

	Коэффициент пропускания, %				
	21,3	14	7,7	3,8	2
Среднее	21,2998	14,0432	7,71881	3,76733	2,164756
Стандартная ошибка	0,39448	0,27430	0,14879	0,05650	0,040093
Стандартное отклонение	1,30835	0,90976	0,47051	0,187418	0,132972
Дисперсия выборки	1,71179	0,82767	0,22138	0,035126	0,017682
Минимум	19,1119	12,9200	6,83394	3,528872	1,942397
Максимум	22,7493	15,7594	8,48945	4,129316	2,312076
Коэффициент Вариации, %	6,1425	6,4783	6,0957	4,9748	6,1425

Таблица 4.

Исходные данные и перерасчет показаний фотосинтетической активности листьев земляники после проведения корректировки данных по уравнениям табл.1

Выдержка	Y, отн.ед.		Выдержка	Y, отн.ед.	
	Исходные данные	Пересчет		Исходные данные	Пересчет
0	0,458	0,737784	-8	0,809	0,805128
-1	0,474	0,743636	-8	0,81	0,817661
-2	0,529	0,769874	-8	0,76	0,779751
-3	0,545	0,768244	-8	0,808	0,80104
-4	0,641	0,792731	-8	0,814	0,793584
-5	0,657	0,789397	-8	0,823	0,820843
-6	0,683	0,766643	-8	0,769	0,778522
-7	0,709	0,770925	-8	0,801	0,808691
-8	0,824	0,812183	-8	0,752	0,766489
-9	0,842	0,801463	-8	0,810	0,811971
-10	0,914	0,80116	-8	0,694	0,710968
Среднее	0,661455	0,77764	Среднее	0,786273	0,790423
Ошибка среднего	0,046083	0,007223	Ошибка среднего	0,011716	0,009509
Коэффициент вариации	23,10656	3,080697	Коэффициент вариации	4,941845	3,989876

Рассчитанная по критерию Стьюдента вероятность совпадения выборок исходных данных параметра Y до и после корректировки, которая составила 0,6198 и 0,9884 соответственно, убеждает в действенности используемых процедур калибровки камеры.

Список литературы

1. Гуревич, М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы) /М.М.Гуревич. – изд. 2-е, испр. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 272 с. – ББК 31.294.

PHOTOMETRIC CALIBRATION OF A4TECH USB VIDEO CAMERA

Olga N. Budagovskaya

budagovsky@mail.ru

doctor of technical Sciences, leading researcher Engineering Center

Federal research Center named after I. V. Michurin

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. The results of photometric calibration of a digital USB video camera of the A4Tech series are presented. and calibration equations and graphs were obtained that allow to increase the dynamic range of the linear data recording mode by 3 times. Testing the operation of the video camera with the data correction algorithms enabled showed that the calibration gives correct results of the measurement data of the optical density of leaves and their photosynthetic activity with a dispersion acceptable for optical measurements and a low coefficient of variability (less than 7%), which indicates a very high uniformity and an insignificant degree of data dispersion.

Keywords: veb-video camera, calibration, testing. light transmission intensity, leaves.