

РАЗРАБОТВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ НА РАСТЕЖА И СЪСТОЯНИЕТО НА РАСТЕНИЯТА В КОСМИЧЕСКА ОРАНЖЕРИЯ СВЕТ-3 ВЪЗ ОСНОВА НА ТЕРМАЛНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ИЗОБРАЖЕНИЯ ВЪВ ВИДИМИЯ ДИАПАЗОН: ИЗИСКВАНИЯ И ПОДБОР НА КАМЕРАТА

Илияна Илиева¹, Галин Гюлчев², Геновева Златева²

¹Лаборатория „Космически биотехнологии“, Институт за космически изследвания и технологии –
Българска академия на науките

²Катедра „Физика, биофизика и радиология“, Медицински факултет, Софийски университет
„Св. Климент Охридски“
e-mails: iliana_ilieva@space.bas.bg, gyulchev@phys.uni-sofia.bg, gzlateva@abv.bg

Ключови думи: космическа оранжерия Свет-3; би-спектрална (комбинирана термо и във
видимия диапазон) камера; листна температура; растеж на растения.

Резюме: Основна функция в бъдещите Биологични системи за осигуряване живота на екипажите при продължителните мисии се отнежда на растенията. В космически условия експерименти с отглеждане на растения се провеждат от 45 години, но въпреки натрупания опит в областта на „космическото растениевъдство“, все още в космическите оранжерии (КО) се създават стресови условия за развитие на растенията. Концепцията за адаптивно управление на КО Свет-3 предвижда включване на обратна връзка от статуса на растенията в процеса на контрол на параметрите на околната среда с цел да се преустанови създаването на неблагоприятни условия и да се оптимизира средата за отглеждане на растенията. Цел на настоящата разработка е надграждането на Системата за мониторинг растежа и статуса на растенията в КО Свет-3, чрез добавяне на камера за заснемане растежа и развитието на растенията (VIS камера), и термо камера (IR камера) за заснемане температурата на листата. Би-спектрална (VIS и IR) камера FLIR AX8 (FLIR Systems Inc., USA) е приложена в мониторинговата система на КО Свет-3 поради съответствието на спектралните и оптичните ѝ характеристики с топлинното излъчване на растенията и мащаба на заснеманата листна площ на растенията, както и поради възможността получените изображения да бъдат анализирани и данните от тях да бъдат включени към PLCs.

DEVELOPMENT OF THERMAL AND VISUAL IMAGING SYSTEM FOR MONITORING PLANT GROWTH AND STATUS IN SVET-3 SPACE GREENHOUSE: REQUIREMENTS AND CAMERA SELECTION

Iliana Ilieva¹, Galin Gyulchev², Genoveva Zlateva²

¹Space Biotechnology Laboratory, Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Department of Physics, Biophysics and Radiology, Faculty of Medicine, Sofia University "St. Kliment Ohridski"
e-mails: iliana_ilieva@space.bas.bg, gyulchev@phys.uni-sofia.bg, gzlateva@abv.bg

Key words: space greenhouse Svet-3; bi-spectral (combined thermal infrared and visible light) imaging camera; leaf temperature; plant growth.

Abstract: Plants will play key role in the future Biological life support systems to sustain crews' life during long duration space missions. Plants are grown in space for more than 45 years and although significant knowledge is gained in the field of "space horticulture" stressful conditions are still being created in the space greenhouses (SG). The concept for adaptive control of Svet-3 SG envisions control of the environmental parameters by feedback from the plant physiological status with the scope to prevent creation of suboptimal conditions for plant growth and to optimize the environment. The aim of this study is to upgrade the plant growth and status monitoring system of Svet-3 SG with visible light (VIS) camera for imaging of plant growth and development, and thermal (IR) camera for imaging of leaf temperature. FLIR AX8 (FLIR Systems Inc., USA) bi-spectral (VIS and IR) imaging camera was implemented in the Svet-3 monitoring system. The spectral and optical

characteristics of the camera suited well with plants' thermal emissivity and scale of leaf area being measured. FLIR AX8 also has built-in support to connect to industrial control equipment such as PLCs, and allows sharing of image analysis and results for control.

Въведение

Биологичната система за осигуряване на живота (БСОЖ) е системата, която създава и поддържа оптимални условия за живот на екипажа на космическите кораби и станции при продължителни мисии. Основен елемент в бъдещите БСОЖ са растенията, тъй като чрез процесите фотосинтеза и транспирация растенията могат да пречистват въздуха и водата. Растенията са също източник на всички необходими на човека хранителни вещества, както и на ценни вещества, които могат да бъдат използвани като лекарства, суровини и материали.

Отглеждането на растения в космически условия започва през 1971 г., в специално създадена контролирана среда наречена Космическа оранжерия (КО). Оттогава досега в космически условия са отгледани повече от 100 вида растения в над 20 различни КО (Porterfield et al., 2003). Разработването на КО и до днес е изправено пред редица технически и ресурсни ограничения (Монже et al., 2003), които налагат използването на технологии за отглеждане на растения по-скоро съобразени с ограниченията за размер, обем, тегло и ниски разходи на енергия, отколкото с изискванията на растенията. Прилагането на този подход при създаването и контролирането на параметрите на околната среда (ОС) в КО води до възникването на стресови условия за отглеждане на растенията (Илиева и др., 2004).

Подход за противодействие на възникващите стресови условия в ОС е предложен за реализиране в трето поколение на КО Свет (КО Свет-3), който има за цел да създаде подобрени условия за култивиране на растенията като оптимизира средата им на отглеждане въз основа на физиологичния статус на растенията (Kostov et al., 2002). Функцията на системата за адаптивен контрол на КО Свет-3 се състои в регулиране на параметрите на ОС – фотопериод, интензитет и спектър на светлината; съдържание на въглероден диоксид; температура и влажност на въздуха; контрол на влажността в изкуствената почва и др. не само около зададени прагови стойности, предварително определени на базата на евристични знания, но и въз основа на обратна връзка от самите растения, така че условията на ОС да се създават съобразно изискванията на растенията.

Изключително важен елемент за реализирането на практика на адаптивен контрол в КО Свет-3 е разработването на мониторингова система за оценка на физиологичния статус на растенията.

Мониторинговата система на КО Свет-3 включва Газанализираща система (ГАС) за определяне на фотосинтезата и транспирацията на растенията, както и две камери: камера за заснемане растежа и развитието на растенията за определяне на листната площ и височината им и камера за измерване на температурата на листата. Подробно критериите за подбор на инфрачервените газанализатори на ГАС са описани от Sapunova et al., 2008. Цел на настоящата разработка е подбор на камера за заснемане растежа и развитието на растенията (VIS камера) и термо камера (IR камера) за заснемане температурата на листата, които да се включат в Системата за мониторинг растежа и статуса на растенията в КО Свет-3.

Критерии за подбор на VIS и IR камери за Системата за мониторинг на КО Свет-3

VIS и IR камери, специално предназначени за заснемане на растения, не са разработени до момента от производителите на оптика или оптични уреди. На пазара са налични IR камери за измерване температурата на сгради или промишлени процеси; военни (полицейски) IR камери, предназначени за видеонаблюдение и/или охрана; както и VIS фото и видео камери. Поради тази причина, освен анализ на спектралните, температурните и оптични характеристики на наличните VIS и IR камери с цел оптималния им подбор, съобразен съответно с топлинното излъчване на растенията и мащаба на листната площ, бяха въведени и следните допълнителни изисквания с цел изпълнение на функциите на системата за адаптивен контрол на КО Свет-3:

- Възможност за непрекъснато видео заснемане в VIS и IR области на спектъра в хода на жизнения цикъл на растенията;
- Възможност за анализ на получените VIS и IR изображения за извличане на информация от селектирани области на листата и стеблото;
- Възможност за сигнализиране при измерване на температура на листата по-висока или по-ниска от зададен праг;

- Възможност за използване на данните за температурата на листата и/или динамиката на растеж на растенията в последващ контрол на параметрите на околната среда.

Подбор на VIS и IR камери за Системата за мониторинг на КО Свет-3

Съвременното развитие на технологиите в оптиката позволи подбор на камера, която съчетава в едно VIS и IR сензор за едновременно заснемане на обекта и по-лесно анализиране на получените изображения. В Таблица 1 са представени техническите характеристики на камера **FLIR AX8** (FLIR Systems Inc., 2014) в зависимост от изброените критерии.

Таблица 1. Технически характеристики на камера FLIR AX8

Тип IR детектор	FPA неохладен микроболометър
Разделителна способност IR / VIS камера	80 x 60 pixels / 640 x 480 pixels
Спектрален обхват	7,5 – 13 μm
Зрително поле	48° x 37°
Обхват	-10 – 150°C
Чувствителност	0,1°C
Точност	$\pm 2^\circ\text{C}$
Фокус	Фиксиран
Минимално разстояние на фокусиране	0,1 m
Максимално разстояние на фокусиране	∞
Формат на изображението	IR VIS Би-спектрален (VIS & IR)
Формат на видео изображението	IR VIS Би-спектрален (VIS & IR)
Влажност на въздуха при работа	95% при 25 – 40°C
Температура на въздуха при работа	0 – 50°C
Захранване	PoE
Пренос на данни	PoE
Анализ на изображението	Задаване на 6 области с анализ на минималната, максималната и средната температури
Анализ на данни	Аларма и изпращане на e-mail въз основа на 6 критични точки зададени в изображението
Контрол	Възможност за връзка към PLCs
Размери	54 x 25 x 95 mm
Тегло	125 g

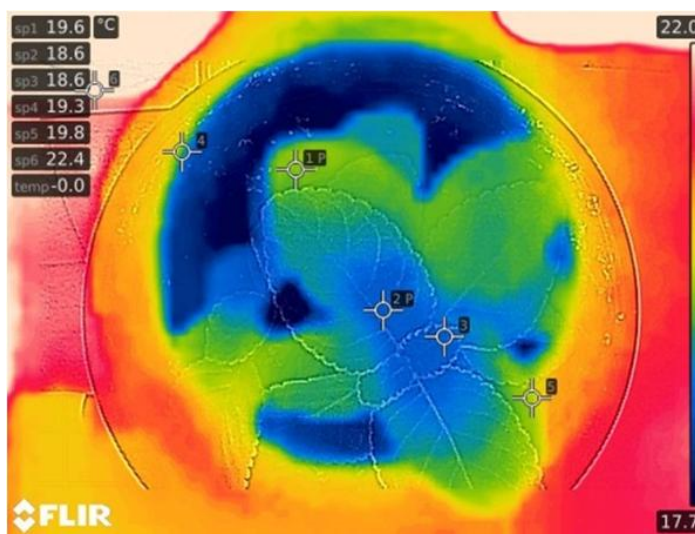
Дискусия

Камерата, която беше добавена в мониторинговата система на КО Свет-3 е FLIR AX8 (Фиг.1). Тя може да заснема и предава видео изображение в VIS, IR и би-спектрален (комбиниран формат между термално изображение и изображение във видимия диапазон - MSX) (Фиг.2.). При този формат IR изображението е контурирано и по този начин много по-лесно могат да се разграничат детайлите на наблюдавания обект, както и проблемните му зони. С камерата може да се осъществи непрекъснато видеонаблюдение, като предаваният видео сигнал при би-спектрално изображение е с резолюция 640 x 480 pixels, т.е. въпреки по-ниската разделителна способност на IR камера при този процес се извършва автоматично ресемплиране на изображението. Чрез софтуера на камерата могат да се зададат 6 области в изображението, в които да се следи минималната, максималната и средната температури.

Могат да се зададат и 6 отделни точки в изображението (Фиг.2.), в които да се следи температурата да не надвиши или да не се понижи под определен предварително зададен праг, при което автоматично може да се изпрати е-мейл на посочен адрес с анализ на данните и изображение от съответното събитие. Допълнително могат да се направят снимки и/или видео, които да се запишат в компютър. FLIR AX8 може да работи при висока влажност на въздуха – 95%, което също я прави подходяща за мониторинговата система на КО Свет-3, тъй като растенията се отглеждат в среда с висока влажност. Най-голямото предимство на FLIR AX8 е възможността камерата да бъде свързана към PLC и показанията ѝ да се използват в реален процес на контрол. Тази функция напълно отговаря на концепцията за адаптивен контрол на КО Свет-3, тъй като параметрите на растенията, които ще бъдат измервани от камерата са всъщност физиологични показатели като: температура на листата, височина, листна площ, растеж и развитие на растението, и последващото включване на анализирани и обобщени данни от тези показатели в контрола е реална стъпка в осъществяването на обратна връзка от статуса на растенията към контрола на параметрите на ОС в КО.



Фиг. 1. Би-спектрална (VIS и IR) камера FLIR AX8



Фиг. 2. Би-спектрално (VIS и IR) изображение на растение *Sinningia speciosa* със зададени 6 критични точки

Благодарности

Разработката е извършена по Проект „Определяне статуса на растенията, култивирани в космическа оранжерия Свет-3, чрез анализ на термални изображения“, Договор No. Н 80-10-210/24.04.2017-ФНИ, финансиран от Фонда за научни изследвания на Медицинския факултет, Софийски университет “Св. Климент Охридски“.

Литература:

1. Илиева, И. И., Т. Н. Иванова, С.М. Сапунова, П.Т. Костов. Създаване на подходяща среда за развитие на растенията в микрогравитация - технически решения и експериментален опит, Сборник с доклади от Юбилейна научна сесия “90 години авиационно образование в България”, Т. 1, с. 98-106, 2004.
2. Kostov, P., T. Ivanova, I. Dandolov, S. Sapunova, I. Ilieva. Adaptive environmental control for optimal results during plant microgravity experiments, Acta Astronautica, Vol. 51, Nos. 1-9, pp. 213-220, 2002.
3. Monje, O., G. W. Stutte, G. D. Goins, D. M. Porterfield, G. E. Bingham. Farming in space: environmental and biophysical concerns, Advances in Space Research, Vol. 31, No. 1, pp. 151-167, 2003.
4. Porterfield, D. M., G. S. Neichitailo, A.L. Mashinski, M.E. Musgrave. Spaceflight hardware for conducting plant growth experiments in space: The early years 1960-2000, Advances in Space Research, Vol. 31, No. 1, pp. 183-193, 2003.
5. Sapunova, S. M., T. N. Ivanova, P. T. Kostov, Y. N. Naydenov, I. I. Ilieva, I. W Dandolov. Monitoring and control of atmospheric gas composition in space plant growth facilities: selection of CO2 sensors for Svet-3 SG. Ecological Engineering and Environment Protection, Vol. 7, No. 1, pp. 56-64, 2008.
6. FLIR Systems Inc., User's manual FLIR AX series, Publ. No.: T559913, 2014.