

**ВИЗНАЧЕННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ПШЕНИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ
ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ JOHN DEERE 9670STS ТА
СЕНСОРНОГО ОБЛАДНАННЯ SLANTRANGE 3P**

С.А. Шворов, доктор технічних наук, професор

E-mail: sosdok@i.ua

Н. А. Пасічник, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

E-mail: N.Pasichnyk@nubip.edu.ua

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: ozon.kiev@gmail.com

А. І. Марцифей, аспірант

А. С. Юхименко, студент магістратури

Національний університет біоресурсів та природокористування України

Анотація. Стаття присвячена методичним основам визначення врожайності пшениці при використанні програмно-апаратних засобів John Deere 9670STS та сенсорного обладнання Slantrange 3p, що є нині актуальним питанням серед аграріїв. Це завдання не в повній мірі вирішується за допомогою супутникових платформ, тому доцільніше використовувати БПЛА, які можна застосовувати при хмарній погоді та враховувати зміну освітлення за допомогою зенітних сенсорів. Питання постає в тому, яким чином інтерпретувати результати дослідження, адже існує багато вегетаційних індексів, які можна використовувати для визначення врожайності пшениці.

Метою дослідження є розробка методичних основ визначення врожайності пшениці при використанні програмно-апаратних засобів John Deere 9670STS та сенсорного обладнання Slantrange 3p.

Для досягнення поставленої мети були проведені експериментальні дослідження з використанням програмно-апаратних засобів John Deere 9670STS та спеціалізованої спектральної системи Slantrange 3p, закріпленої на промисловій платформі DJI Matrice 600 Pro. За допомогою програмного забезпечення Slantview здійснено поєднання знімків та індивідуальну і геометричну корекції з урахуванням спрямування камери.

При виборі спектральних каналів використано залежності, які забезпечили достатню чутливість та високу роздільну здатність, тому отримані результати експериментів апроксимовані у вигляді лінійної залежності. Найкращі показники були отримані в інфрачервоному каналі, адже він має найбільше значення

коефіцієнта детермінації (0,774) та кутового коефіцієнта, що відповідає за чутливість та роздільну здатність.

Ключові слова: *Slantrange, пшениця, врожайність, БПЛА, програмно-апаратні засоби*

Актуальність. Статистичну інформацію щодо врожаю можна отримати за допомогою супутникових технологій та БПЛА, а також при використанні комбайнів, обладнаних програмно-апаратним комплексом обліку врожаю. Однак, при хмарній погоді це питання не повною мірою можна вирішити за допомогою супутникових платформ. Наявні методики дистанційного зондування з БПЛА та супутників мають недоліки, пов'язані зі зміною освітлення об'єктів при зйомці, що погіршує точність вимірів. Система автоматки комбайна зазвичай містить велику кількість різноманітних сенсорів, перетворювачів сигналів, обчислювальних блоків та програмних компонентів тощо, при роботі яких можуть виникнути помилки, що також погіршує точність вимірів. Таким чином, важливим питанням є розробка методичних основ визначення врожайності пшениці з використанням даних від програмно-апаратних засобів комбайнів та сенсорного обладнання БПЛА, що є нині актуальним серед аграріїв.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині в масштабах держави прогнозування врожайності на основі даних космічного моніторингу, як показано в роботі [1], вирішуються за допомогою супутникових технологій. Аналізуючи роботу [2], при оцінці продуктивності пшениці виникали труднощі, пов'язані зі зміною освітлення об'єктів при зйомці, що погіршувало точність вимірів. Фізичні обмеження супутникових технологій пов'язані перед усім з погодними умовами. У роботі [3] показано, що при моделюванні врожайності кукурудзи найкращі результати були отримані в фенологічній стадії (15 листів) та в залежності від з погодних умов.

При використанні БПЛА є можливість працювати також в умовах щільної хмарності і автоматично враховувати зміни освітлення за рахунок zenітних сенсорів. Проте залишаються методологічні питання щодо інтерпретації результатів досліджень. У роботі [4] проводили прогнозування врожайності пшениці на основі

використання індексу NDVI, при цьому індекс та врожайність брали в середньому значенні по полю. Проте існує багато вегетаційних індексів для БПЛА на альтернативних спектральних каналах і є позитивний досвід, зокрема, використання оптичного діапазону, як показано в роботі [5]. Стосовно придатності оптичного діапазону при оцінці стану азотного живлення було показано в роботі [6].

Виходячи із цього, вибір спектральних каналів для розробки вегетаційних індексів щодо прогнозування врожайності пшениці є актуальним завданням.

Статистичну інформацію щодо зібраного врожаю можна отримати при використанні комбайнів, обладнаних спеціальним програмно-апаратним комплексом обліку. Але результати аналізу великих обсягів інформації, що стосуються виробничих полів, можуть містити похибки різноманітної природи, які необхідно враховувати.

Мета дослідження – розробка методичних основ визначення врожайності пшениці при використанні програмно-апаратних засобів комбайнів та сенсорного обладнання БПЛА.

Матеріали і методи дослідження. Карти розподілу інтенсивності забарвлення рослинних насаджень, в тому числі для маргінальних земель, із фільтрацією сторонніх об'єктів можна отримати при використанні спектральних портретів рослин з БПЛА за методикою, описаною в [7] та [8].

Дослідження проводились у 2019 р. у Київській області на виробничій ділянці посівів озимої пшениці у відокремленому підрозділі НУБіП України «Агрономічна дослідна станція».

Наземне обладнання. Важливим напрямком підвищення виробництва зерна є забезпечення оптимізації технологічних процесів комбайнового збирання зернових культур. Під час роботи зернозбирального комбайна важливим є інформація про завантаження робочих органів молотарки хлібною масою. Крім того, неповне використання ширини жатки можливе при обробці маргінальних та труднодоступних ділянок (стовпи лінії електромереж, вимоїни тощо), а також при недотриманні оператором оптимальних маршрутів.

На рис. 1 представлені дані, що отримані від комбайнів John Deere 9670STS при зборі пшениці в господарстві НУБіП України. Дані були опрацьовані за допомогою програмного забезпечення Trimble (R) Farm Works (R) Office ver. 2018.05 і експортовані у вигляді табличних даних формату Microsoft Excel.

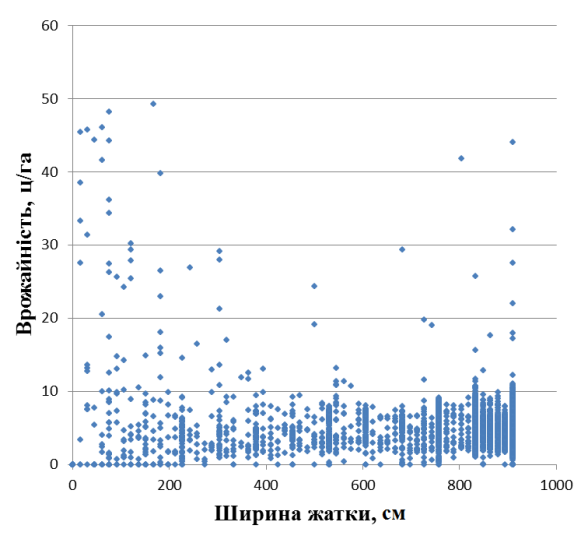


Рис. 1. Статистичні дані, отримані на основі використання комбайну John Deere 9670STS

Як видно з представлених даних, системою визначені ділянки із високою врожайністю при фіксації мінімального використання жатки. Вочевидь ці дані є помилковими і неприйнятними для подальших розрахунків.

Система автоматки комбайну зазвичай містить велику кількість різноманітних сенсорів, перетворювачів сигналів, обчислювальних блоків та програмних компонентів тощо, при роботі яких можуть виникнути помилки. При побудові залежності між даними від БПЛА та наданих комбайном доцільно вилучити з подальших розрахунків хибні результати від апаратно-програмної частини. Програмний продукт Trimble Farm Works Office окремо надає набори даних про вологість, потік зерна, колісну швидкість тощо, а також інші показники, які мають бути пов'язані між собою. При цьому частина результатів в значній мірі не відповідає загальному тренду. Для відсіву помилкових даних експериментальні результати мають бути апроксимовані у вигляді лінійної залежності при нульовому

показнику ординати. Після визначення відповідного кутового коефіцієнта на базі значень вологості врожайності було обчислене значення модуля різниці між обчислювальними та експериментальними величинами вологого врожаю. На рис. 2 наведено залежність між кількістю ділянок та похибкою між обчислювальними та експериментальними результатами (результати були сортовані від максимального до мінімального значення).

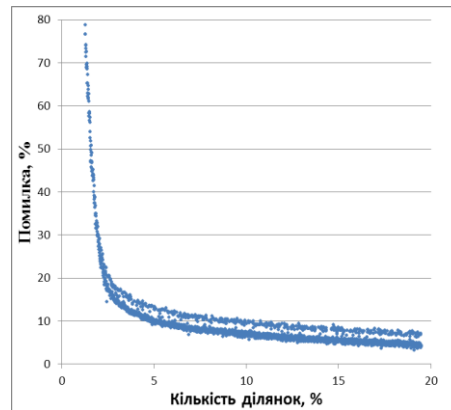


Рис. 2. Залежність величини похибки від кількості результатів вимірювань

Як видно з представлених даних, вилучення 3 % ділянок із максимальною похибкою забезпечує необхідну вірогідність експериментальних даних для подальших розрахунків. Окремо слід відзначити наявність на рис. 2 двох залежностей, що є наслідком використання на полі паралельно двох комбайнів. Для підвищення точності розрахунків доцільно розглядати результати, отримані від кожного комбайну окремо.

Спектральний моніторинг з використанням літаючих роботів. Для проведення досліджень було використано спеціалізовану спектральну систему Slantrange 3p, яка була змонтована на промисловій платформі DJI Matrice 600 Pro. Моніторинг проводили 25 червня 2019 р. при сонячній погоді. Висота польоту БПЛА становила 100 ± 2 метри. Радіочастотну корекцію щодо змін освітлення система здійснювала за рахунок штатного зенітного сенсору.

Система Slantrange 3p має власні об'єктиви на кожен з 4-х спектральних каналів. Відповідно отримані вихідні дані моніторингу, які зберігаються в багат шаровому форматі графічних даних tiff. При попередній оцінці можливості

використання «чорнових» даних без обробки було встановлено, що координати об'єктів із прив'язкою до номера пікселя мають як вертикальну, так і горизонтальну різницю для різних каналів (рис. 3), що принципово методологічно ускладнювало їх обробку.

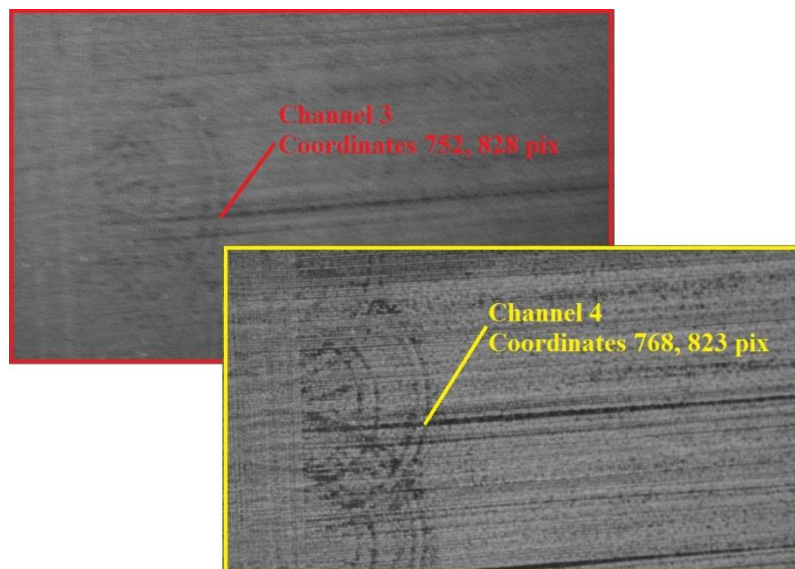


Рис. 3. Монохромні знімки частини 3 та 4 шарів єдиного файлу формату tiff

Система Slantrange складається з апаратної частини та відповідного програмного забезпечення Slantview призначених для обробки «чорнових» даних формату tiff. Програмне забезпечення Slantview здійснює поєднання знімків, індивідуальну корекцію по кожному з каналів за даними від зенітного сенсору та геометричну корекцію, що враховує спрямування камери тощо. Нажаль, система надає користувачу обмежену кількість вегетаційних індексів як загального вжитку, таких як різні версії NDVI, так і власної розробки рівнянь, методика обчислення яких користувачу не надається. Проте окрім основного вікна з готовими картами вегетаційних індексів, є і додаткове вікно знімків, яке передусім використовується для візуальної ідентифікації сторонніх об'єктів на полі для їх вилучення.

Для розпізнавання карти розподілу інтенсивності складових кольору можливе використання інших програмних продуктів для математичної обробки графічних даних, зокрема засобами MathCad, як це показано в роботі [9]. Оскільки для полегшення орієнтації користувача система в якості фону для зображення розподілу

стресових індексів використовує супутниковий знімок місцевості, то при здійсненні розпізнавання він має бути дезактивований.

Результати досліджень та їх обговорення. При виборі індексів (спектральних каналів) для розрахунку врожайності пшениці потрібно використовувати залежності, що забезпечують достатню чутливість та високу роздільну здатність. Тому отримані результати експериментів апроксимували у вигляді лінійної залежності (таблиця).

Результати апроксимації у вигляді лінійної залежності для спектральних каналів

№	Назва	Кутовий коефіцієнт	Коефіцієнт детермінації
1	Green	3.09	0.121
2	Red	-2.28	-0.005
3	Red edge	3.81	-0.036
4	IRed	11.5	0.774

Виходячи з отриманих результатів, для розрахунку врожайності пшениці серед вихідних 4 спектральних каналів найкращі показники визначені в інфрачервоному каналі. Як випливає з наведених даних, найбільший коефіцієнт детермінації було отримано саме для цього каналу. Величина кутового коефіцієнта, що відповідає за чутливість та роздільну здатність для апроксимованої лінійної залежності, також отримана з інфрачервоного каналу.

Висновки і перспективи.

1. На основі проведеного дослідження розроблені методичні основи визначення врожайності пшениці при використанні програмно-апаратних засобів John Deere 9670STS та сенсорного обладнання Slantrange 3р.

2. Зіставлення врожайності пшениці озимої та станів цих рослин за 2 місяці до збирання врожаю за результатами спектрального аналізу дозволило встановити

зв'язок між врожайністю та розподілами інтенсивності складових кольору від сенсорного обладнання Slanrange 3р.

3. Із досліджених спектральних каналів найкращий результат лінійної апроксимації експериментальної залежності з коефіцієнтом детермінації 0,774 між врожайністю та числовим значенням інтенсивності складової кольору показав інфрачервоний канал спектрального комплексу Slanrange.

4. При обробці інформації, отриманої з окремих спектральних каналів сенсорного обладнання для геометричної корекції та врахування змін освітлення, доцільно використовувати штатне програмне забезпечення Slantview.

Список літератури

1. Гребень О. С. Аналіз основних методик прогнозування врожайності за допомогою даних космічного моніторингу, стосовно зернових культур степної зони України / О. С. Гребень, І. Г. Красовська // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2012. № 2 (54). С. 170-180;

2. Трофименко П. И. Использование данных дистанционного зондирования для оценки продуктивности озимой пшеницы в условиях Житомирского Полесья / П. И. Трофименко, В. И. Зацерковный, Е. В. Зубова, Н. В. Трофименко, Т. Н. Мыслыва // *Вестник БГСХА: науч.-метод. журн.* 2018. № 2. С. 161-168.

3. Генин В. А. Моделирование урожайности кукурузы и сои по данным дистанционного зондирования земли / В. А. Генин, Н. В. Клебанович // *Вестник БГСХА: науч.-метод. журн.* 2018. № 4. С.100-104.

4. Акинчин А. В. Информационные технологии в системе точного земледелия / А. В. Акинчин, Л. В. Левшаков, С. А. Линков, В. В. Ким, В. В. Горбунов // *Вестн. Кур. гос. с.-х. акад.* 2017. № 9. С. 16-21.

5. Катаев М. Ю. Методы технического зрения для картирования состояния / М. Ю. Катаев, К. С. Ёлгин, И. Б. Сорокин // *Доклады ТУСУР*. 2017. № 4 (21). С. 75-80.

6. Korobiichuk I. Crop monitoring for nitrogen nutrition level by digital camera / Igor Korobiichuk, Vitaliy Lysenko, Oleksiy Opryshko, Dmyriy Komarchyk, Natalya Pasichnyk, Andrzej Jus // *Automation 2018. AUTOMATION 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 743. Springer, Cham. P. 595-603.

7. Shvorov S.A. UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain / Sergey A Shvorov, Dmytro S Komarchuk, Natalia A Pasichnyk, Oleksiy A Opryshko, Yurii A Gunchenko, Svitlana D Kuznichenko // *2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control, MSNMC 2018. Proceedings*. P. 68-71.

8. Lysenko V. Information Support of Remote Monitoring of Grain Crops Biomass Amount as the Feedstock to Load Biogas Reactors / V. Lysenko, D. Komarchuk, N.

Pasichnyk, O. Opryshko, M. Awtoniuk, A. Martsyfei // 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology. P. 35-38.

9. Pasichnyk N. A. Experience in using mathcad to analyze data from UAVS for remote sensing of crops / N. A. Pasichnyk, O. O. Opryshko, D. S. Komarchuk, V. O. Miroshnyk // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. 2019. - С. 244-250.

References

1. Greben, O. S., Krasovska, I. G. (2012). Analiz osnovnykh metodyk prohnozuvannya vrozhaivosti za dopomohoiu danykh kosmichnoho monitorynhu, stosovno zernovykh kultur stepnoi zony Ukrainy [Analysis of basic methods of yield forecasting using space monitoring data on cereals of the steppe zone of Ukraine]. Radio-electronic and computer systems, 2 (54), 170-180.

2. Trofimenko, P. I., Zatserkovnyi, V. I., Zubova, E. V., Trofimenko, N. V., Myslyva T. N. (2018). Ispol'zovaniye dannykh distatsionnogo zondirovaniya dlya otsenki produktivnosti ozimoy pshenitsy v usloviyakh Zhitomirskogo Poless'ya [Using remote sensing data to evaluate winter wheat productivity in the conditions of Zhytomyr Polesie]. Bulletin of the BSKHA: scientific method, 2, 161-168.

3. Genin, V. A., Klebanovich, N. V. (2018). Modelirovaniye urozhaynosti kukuruzy i soi po dannym distantsionnogo zondirovaniya zemli [Modeling corn and soybean yield based on remote sensing data]. Bulletin of the BSAA: scientific-method, 4,100-104.

4. Akinchin, A. V., Levshakov, L. V., Linkov, S. A., Kim, V. V., Gorbunov, V. V. (2017). Informatsionnyye tekhnologii v sisteme tochnogo zemledeliya [Information technologies in the system of precision agriculture]. Vestn. Chur. state. agricultural Acad., 9, 16-21.

5. Kataev, M. Yu., Elgin, K. S., Sorokin, I. B. (2017). Metody tekhnicheskogo zreniya dlya kartirovaniya sostoyaniya [Techniques of technical vision for state mapping]. Reports of TUSUR, 4 (21), 75-80.

6. Korobiichuk, I., Lysenko, V., Opryshko, O., Komarchyk, D., Pasichnyk, N., Jus. A. (2018). Crop Monitoring for Nitrogen Nutrition Level by Digital Camera. Automation 2018. AUTOMATION 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, 743. 595-603;

7. Shvorov, S. A., Komarchuk, D. S., Pasichnyk, N. A., Opryshko, O. O., Gunchenko, Y. A., Kuznichenko, S. D. (2018) UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain. 2018 IEEE 5th International Conference on Navigation and Motion Control Methods and Systems, MSNMC 2018. Proceedings, 68-71.

8. Lysenko, V., Komarchuk, D., Pasichnyk, N., Opryshko, O., Awtoniuk, M., Martsyfei, A. (2018). Information Support for Remote Monitoring of Grain Crops Biomass Amount as a Feedstock to Load Biogas Reactors. 2018 International Scientific Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, 35-38.

9. Pasichnyk. N. A., Opryshko, O. O., Komarchuk, D. S., Miroshnyk, V. O. (2019). Experience in using Mathcad to analyze data from UAVS for remote sensing of crops. Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Series: Agronomy, 244-250.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ JOHN DEERE 9670STS И СЕНСОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ SLANTRANGE 3P

*С. А. Шворов, Н. А. Пасечник, А. А. Опрышко, А. И. Марцифей,
А. С. Юхименко*

Аннотация. *Статья посвящена методическим основам определения урожайности пшеницы при использовании программно-аппаратных средств John Deere 9670STS и сенсорного оборудования Slantrange 3p, что на сегодняшний день является актуальным вопросом среди аграриев. Этот вопрос не в полной мере можно решить с помощью спутниковых платформ, поэтому целесообразнее использовать БПЛА, которые можно использовать при облачной погоде и с учетом влияния различной освещенности, определяемой с помощью зенитных сенсоров. Вопрос состоит в том, каким образом интерпретировать результаты исследования, ведь существует много вегетационных индексов, которые можно использовать для определения урожайности пшеницы.*

Целью исследования является разработка методических основ определения урожайности пшеницы при использовании программно-аппаратных средств John Deere 9670STS и сенсорного оборудования Slantrange 3p.

Для достижения поставленной цели были проведены экспериментальные исследования с использованием программно-аппаратных средств John Deere 9670STS и специализированной спектральной системы Slantrange 3p, закрепленной на промышленной платформе DJI Matrice 600 Pro. С помощью программного обеспечения Slantview осуществлено совмещение снимков, а также индивидуальную и геометрическую коррекцию с учетом направления камеры. При выборе спектральных каналов использованы зависимости, которые обеспечили достаточную чувствительность и высокое разрешение, что позволило полученные результаты экспериментов аппроксимировать в виде линейной зависимости. Лучшие показатели были получены в инфракрасном канале, так как он имеет наибольшее значение коэффициента детерминации (0,774) и углового коэффициента, который отвечает за чувствительность и разрешающую способность.

Ключевые слова: *Slantrange, пшеница, объемы урожая, БПЛА, программно-аппаратные средства*

DEFINITION OF WHEAT YIELD WITH USE OF JOHN DEERE 9670STS SOFTWARE AND SLANTRANGE 3P TOUCH EQUIPMENT

*S. Shvovor, N. Pasichnyk, O. Opryshko, A. Marzifeus,
A. Yukhimenko*

Abstract. *The article is devoted to the methodological foundations of determining wheat yields using John Deere 9670STS software and hardware and Slantrange 3p sensory equipment, which today is an urgent issue among farmers. This issue can not be fully resolved using satellite platforms, so it is more advisable to use UAVs that can be used in cloudy weather and taking into account the influence of different illumination, determined using anti-aircraft sensors. The question is how to interpret the results of the*

study, because there are many vegetative indices that can be used to determine the yield of wheat.

The aim of the study is to develop a methodological framework for determining wheat yield using John Deere 9670STS hardware and software and Slantrange 3p sensor equipment.

To achieve this goal, experimental studies were carried out using John Deere 9670STS software and hardware and the Slantrange 3p specialized spectral system mounted on the DJI Matrice 600 Pro industrial platform. Using Slantview software, images were combined, as well as individual and geometric corrections, taking into account the direction of the camera. When choosing the spectral channels, dependencies were used that provided sufficient sensitivity and high resolution, which allowed the experimental results to be approximated in the form of a linear dependence. The best indicators were obtained in the infrared channel because it has the highest determination coefficient (0.774) and the angular coefficient, which is responsible for sensitivity and resolution.

Key words: *Slantrange, wheat, crop volumes, UAVs, software and hardware*