

# Viedā fenotipēšana: jaunākās pieejas augļu fenotipēšanā



Ivars Namatēvs  
Elektronikas un datorzinātņu institūts  
[Ivars.namatevs@edi.lv](mailto:Ivars.namatevs@edi.lv)

+371 26133567

Dzērbenes iela 14, Rīga, Latvija, LV-1006



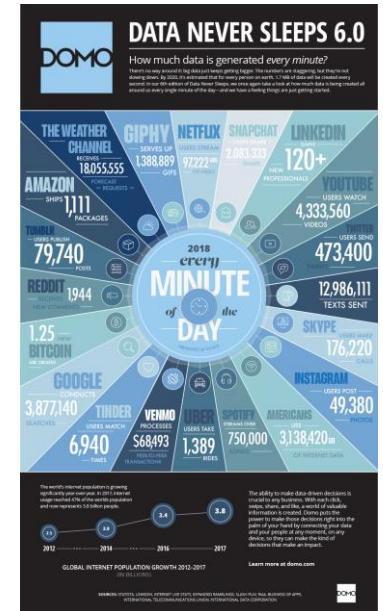
# Saturs

- Fenotipēšana
- Modelēšana, matemātiskais modelis
- Attēlveidošana un sensori fenotipēšanā
- Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā



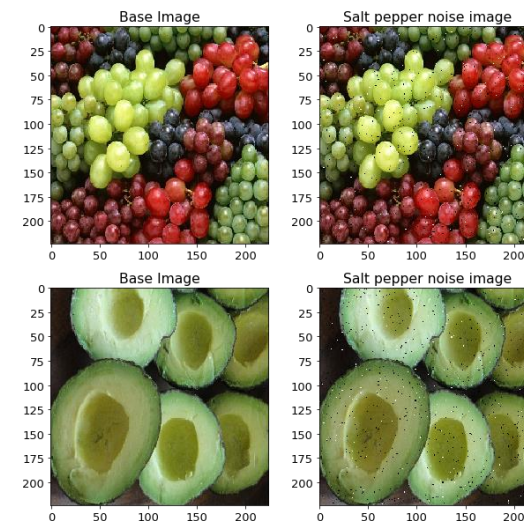
# Fenotipēšana

- Fenotips = G x E
- Augu (augļu) fenotipēšana
- Lauksaimnieki vs selekcionāri
- Datu ievākšana: zemes, gaisa un satelītu
- Fenotipēšanas stratēģijas
- Jauni fenotipēšanas rīki: neinvazīvi, invazīvi



# Modeļi

- Fenotipēšanas stratēģijas
- G2P genotipa fenotipa modelis
- Tradicionālās fenotipēšanas stratēģija = daudzvides izmēģinājumi (*multi-environmental trials (METs)*)
- **Raža** == Mērķa vides populācija jeb nosacījumu kopa  
Augu īpašību rādītāji: morfoloģiskie, fizioloģiskie un fenoloģiskie



# Fenotipisko īpašību matemātiskā modelēšana

- Raža =  $f$  (fenotipiskie dati)
- Raža =  $f$  (forma, tilpums, krāsa, spīdums, kaulainība, mīkstums, bojājumi)
- G2P modelis ar MET datiem  $y_{ij} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ij}$
- G2P ražas modelis ar MET datiem ir šāds:  $y_{ijr}^k(t_{ijrm})$
- Novērojums tiek izteikts kā neapstrādāti dati



# Augstas caurlaidspējas augu fenotipēšana

- *High-throughput plant phenotyping (HTPs)* sistēmas
- Attēlveidošanas tehnoloģijas
- Fenotipēšanas platformas
- Augļu struktūra un funkcijas dabiskā vidē
- Manuāli mērījumi vs uz attēliem balstīti



high-throughput  
phenotyping



# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipēšanā

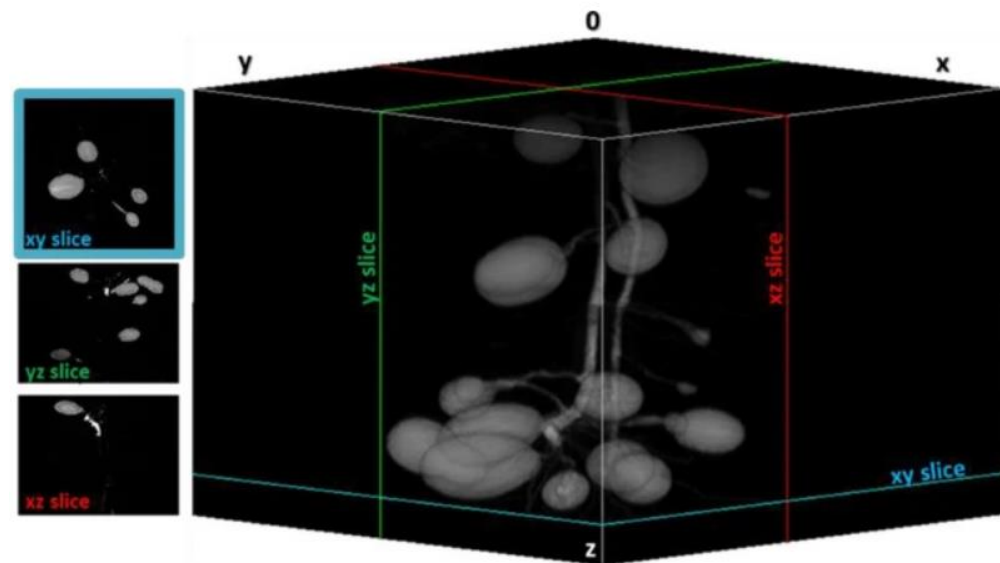
- Auga orgāna:

- Zem zemes
- Virs zemes

- Visa augs:

- 3D
- Stress

- Attēlveidošanas sistēmas; Fenotipēšanas metodes; Datu kopas



# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipēšanā

## Auga orgāna fenotipi:

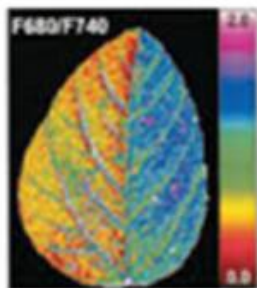
- **Strukturālie** – morfoloģiskās īpašības: forma, laukums, leņķis u.tml.
- **Fizioloģiskie** – augšanas un vielmaiņas process: ūdens saturs, hlorofila u.tml.
- **Temporālie** – pagarinājums, leņķiskā trajektorija u.tml.



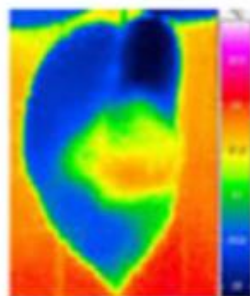
# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipēšana



RGB



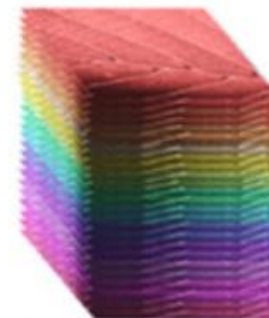
fluorescence  
imaging



thermal  
imaging



multispectral



hyperspectral



high-throughput  
phenotyping

- **RGB kameras; RGB-depth; Fluorescences; Siltuma; Multispektālie, Hiperspektrālie; tuvā infrasarkanā kamera; ...**

Avots: <https://www.sciendo.com/es/article/10.2478/ahr-2021-0011>

# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipēšana

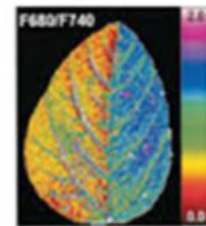
- Redzamās spektrālās gaismas attēli (RGB)



Type	Sensor	Sensor Model	Manufacturer	Examples
Colour digital camera	Nikon, Canon	Nikon 5200, Canon EOS 60D	Tokyo, Japan	Kleefeld, Gypser, Herppich, Bader, Veste (2018)
	Sony	Sony NEX-5N	Tokyo, Japan	Sugiura et al. (2016).
Type	software			
RGB	PlantCV	LemnaGrid (LemnaTec GmbH, Aachen, Germany)		ImageJ

# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipēšana

- Fluorescences attēlveidošana  
(Hlorofila fluorescence (ChIF))

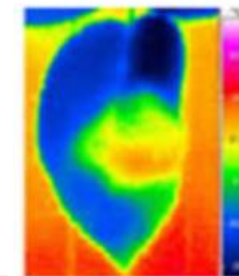


fluorescence  
imaging

Type	Sensor	Sensor Model	Manufacturer	Examples
Fluorescence sensor	Open FluorCam	Open FluorCam FC 800-O	Photon Systems Instruments, Brno, Czech Republic	Pérez-Bueno, Pineda, Cabeza, Barón (2016); Kleefeld et al. (2018)
	Z200	Z200 Open- FluorCam	Qubit Systems Inc, Kingston, ON, Canada	Singh, Jones, Shukla, Saxena (2017)
	Multiplex®	Multiplex 3	Force-A, Orsay, France	Bürling et al. (2013)
Type	software			
Fluorescence imaging	PlantScreen™ Analyser (Photon Systems Instruments, Brno, Czech Republic)		ImagingWin (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Germany)	QUBIT Systems (Kingston, ON, Canada)

# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipēšana

- Siltuma (termiskie) attēlveidošana



thermal imaging

Type	Sensor	Sensor Model	Manufacturer	Examples
Thermal sensors	FLIR	Flir SC660, FLIR I7	FLIR systems, Wilsonville, OR, USA	García-Tejero et al. (2018); Santesteban et al. (2017)
	thermoMap	thermoMap	senseFly, Cheseaux-sur-Lausanne, Switzerland	Sagan et al. (2019); Raeva, Šedina, Dlesk (2019)
	Fluke	Fluke Ti32	Fluke Corporation, Everett, WA, USA	Elsayed et al. (2017); Omran (2017)
Type	software			
Thermal imaging	ENVI (Exelis Visual Information Solutions, Boulder, CO, USA)	ERDAS-IMAGINE (Intergraph Corporation Part of Hexagon, Huntsville, AL, USA)	FLIR Tools (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA)	

# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipēšana

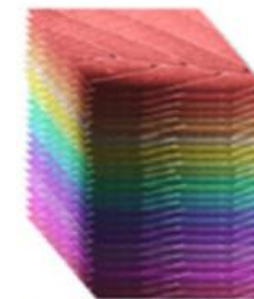
- **Multispektrālā attēlveidošana**



Type	Sensor	Sensor model	Manufacturer	Examples
<b>Multispectral sensors</b>	RedEdge™	RedEdge™ MultiSpectral camera	MicaSense Inc., Seattle, WA, USA	Ballester et al. (2019); Zhang et al. (2020)
	Parrot	Parrot® Sequoia™	Parrot Drones S.A.S, Paris, France	Thorp et al. (2018)
	Tetracam	Tetracam mini-MCA-6	Tetracam, Inc., CA, USA	Torres-Sánchez et al. (2013); De Castro et al. (2015)
<b>Type</b>	software			
<b>Multispectral imaging</b>	Esri (Redlands, CA,USA)	Tetracam (Tetracam Inc., Chatsworth, CA, USA)		Pix4Dmapper (Pix4D SA, Switzerland),

# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipizēšana

- Hiperspektrālā attēlveidošana



Type	Sensor	Sensor Model	Manufacturer	Examples
<b>Hyperspectral sensors</b>	PIKA	PIKA II	Resonon, Inc., Bozeman, MT 59715, USA	Moghimi et al. (2018); Moghimi, Yang, Anderson, Reynolds (2019)
	FieldSpec	FieldSpec 3 Field Spec Pro	Analytical Spectral Devices, Boulder, America	De Bei et al. (2017); Zheng et al. (2016)
	Hyperspec	Micro-Hyperspec®	Headwall Photonics, Fitchburg, MA, USA	Camino et al. (2018); Kalisperakis, Stentoumis, Grammatikopoulos, Karantzalos (2015)
<b>Type</b>	software			
<b>Hyperspectral imaging</b>	hyperspectral scanning and image rendering software (Headwall Photonics Inc., Fitchburg, USA).		Hyperspec® III (Headwall Photonics, Fitchburg, MA, USA)	spectral view software (Headwall Photonics Inc., Fitchburg, MA)

hyperspectral

# Attēlveidošana un sensori lauka fenotipizēšana

## 3D redzes sistēmas:

- stereo kameras
- *Time-to-flight (ToF)* ierīces
- *LiDAR*

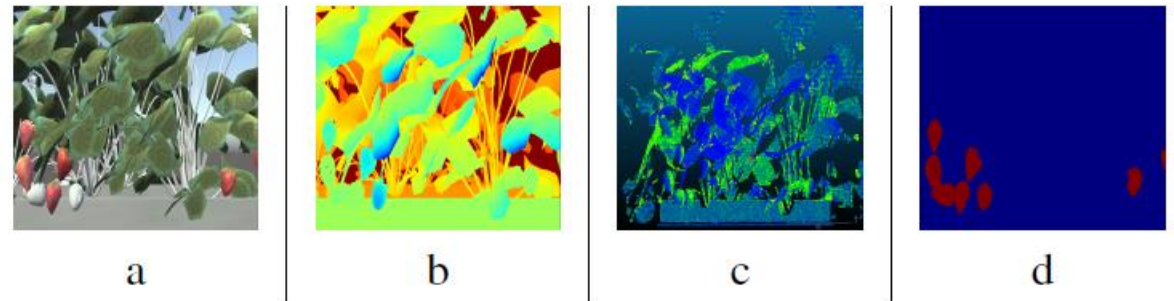
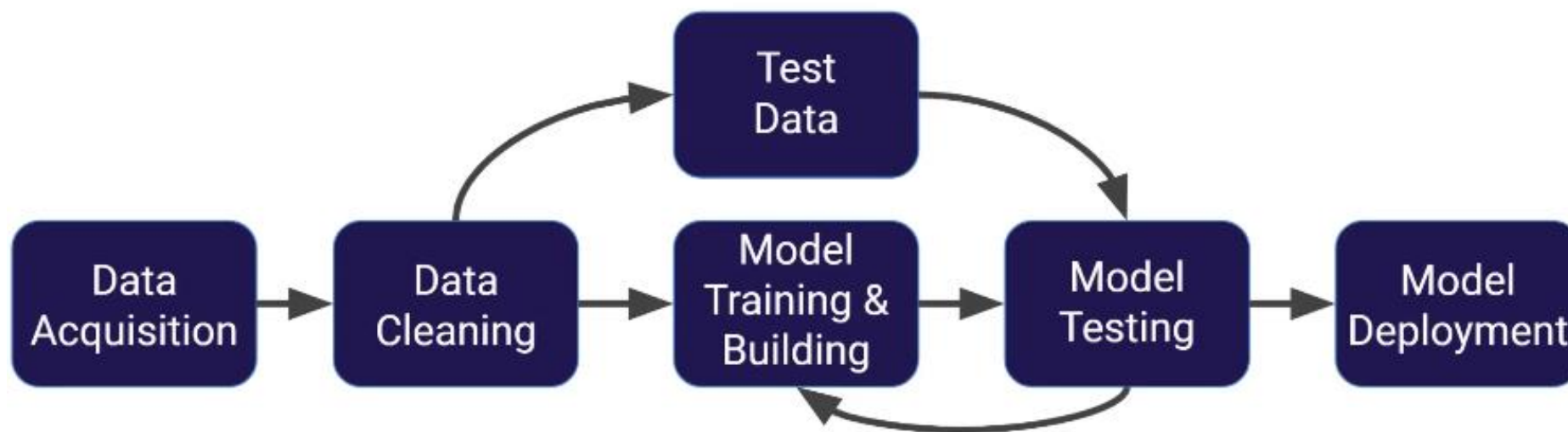


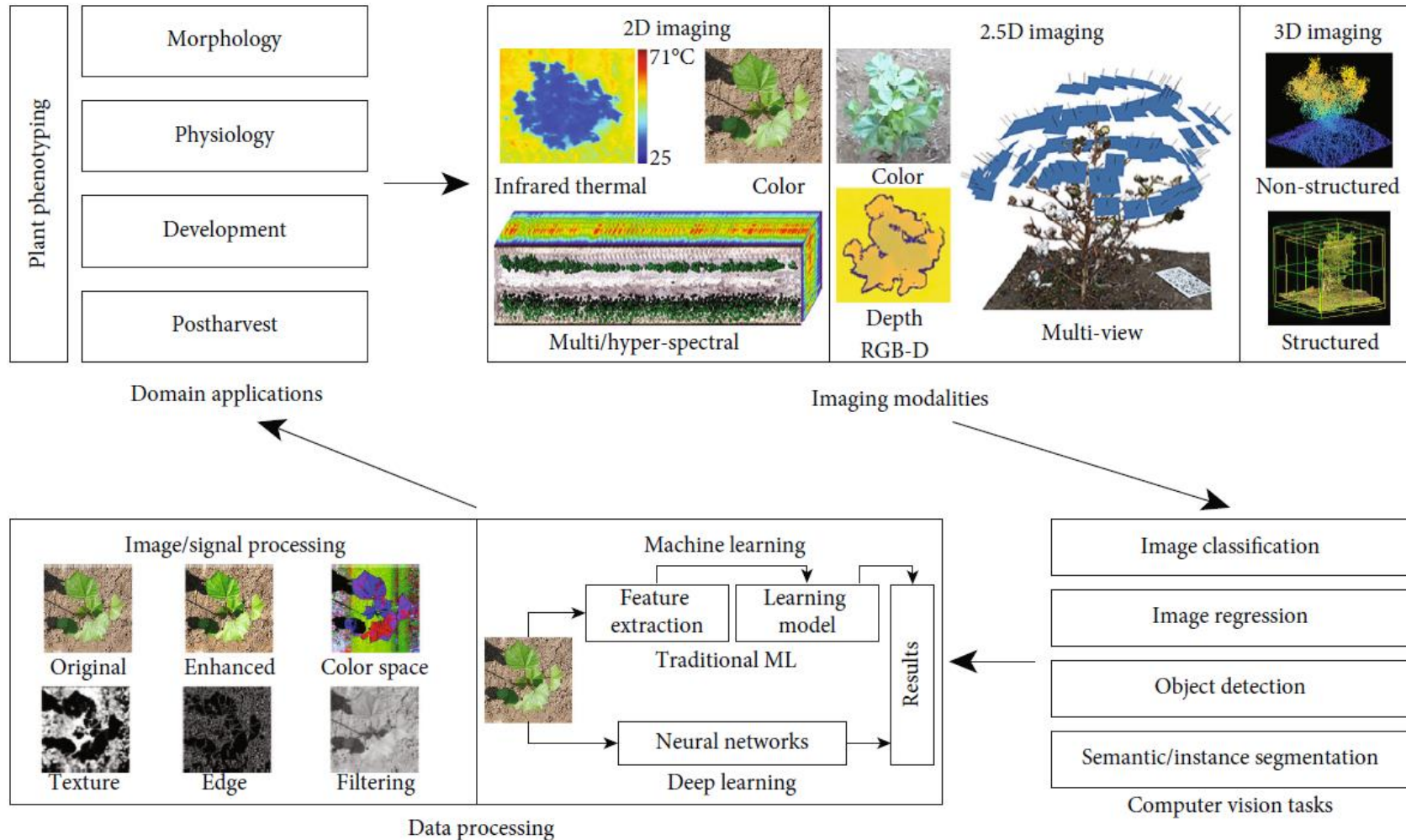
Figure 4: A side view of the strawberry farm as seen through the simulated sensor including colour image (a), depth image (b), curvature map (c) and ground truth annotation (d).

# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā





# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā



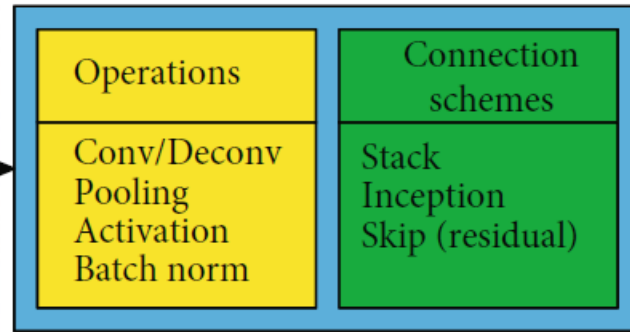
# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

## Attēlu klasifikācija

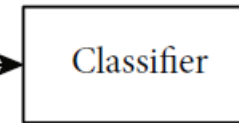
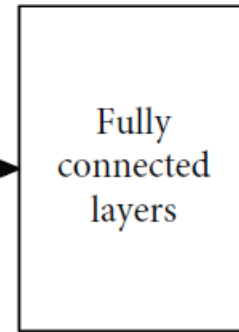
Image classification



Input image



CNN



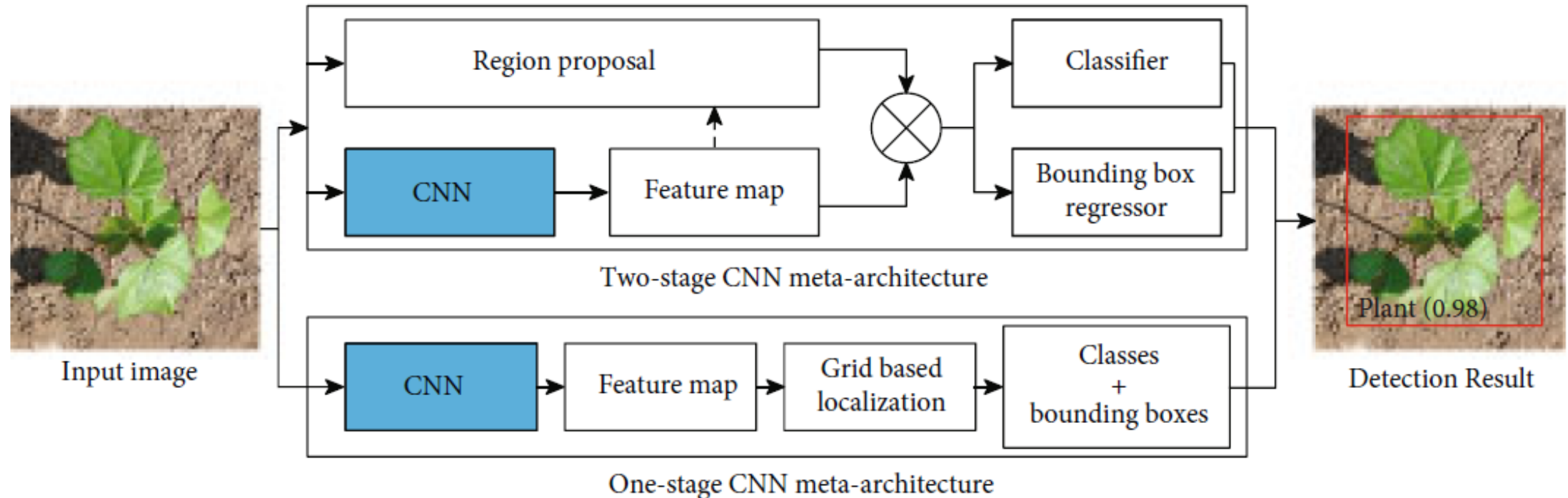
Healthy plant (0.98)  
Stressed plant (0.02)  
Weed (0)

Classification result

# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

## Detektēšana

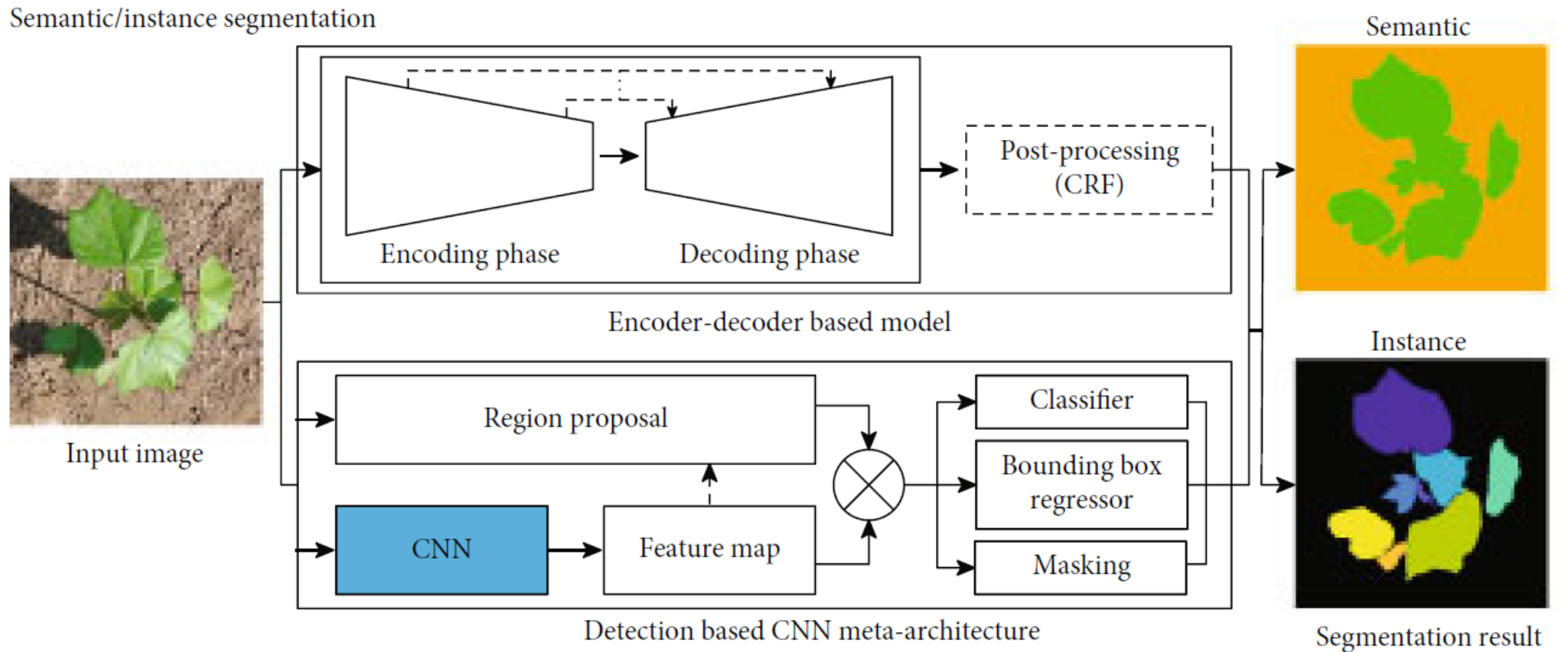
Object detection



# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

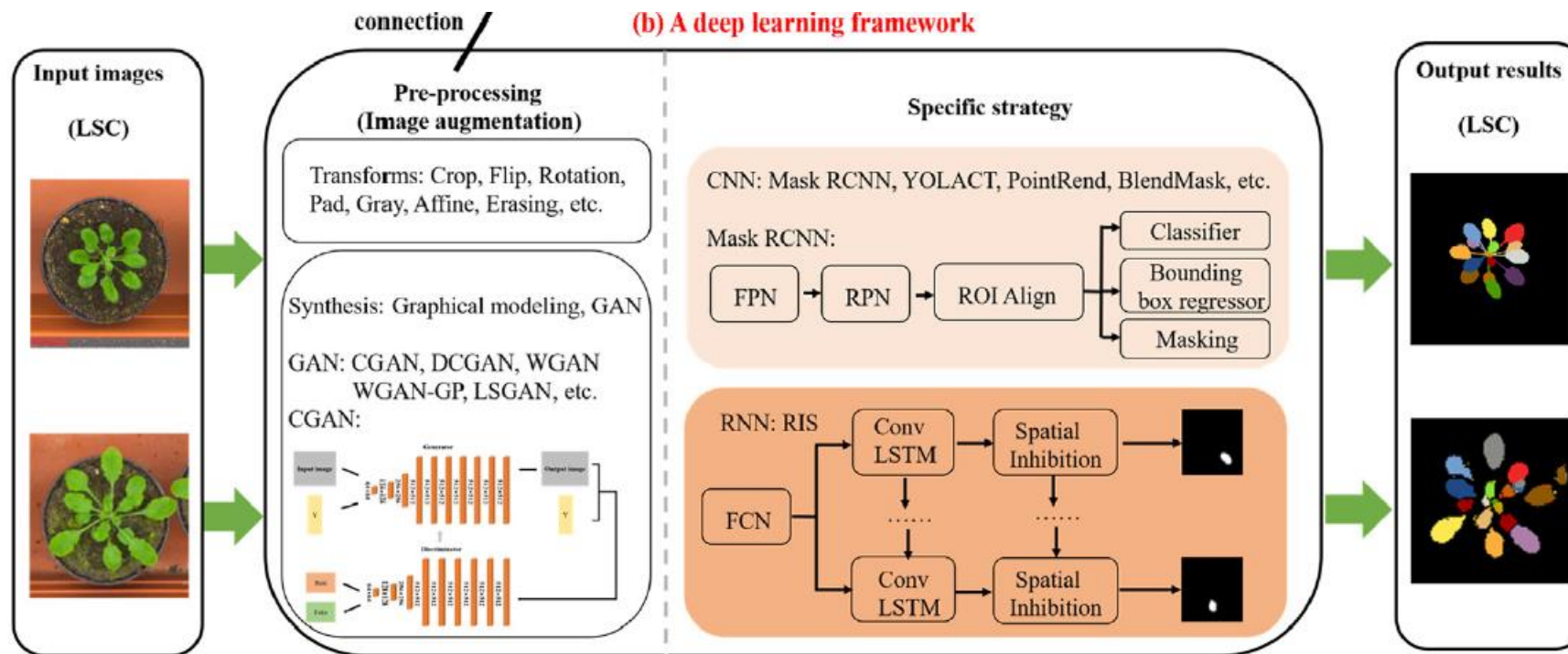
## Semantiskā un instanču segmentēšana

Semantic/instance segmentation



# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

## Dziļās mašīnāpmācības satvars



# Morfoloģija un augšana

## 2D metodes:

- Uz sliekšņa balstīta metode (*Threshold-based*)
- Kontūra (*Edge-based*)
- Apgabala (*Region-based*)
- Klastera (*Clustering-based*)
- Dziļā apmācība (*Deep Learning*)



# 2D augļu orgānu segmentācijas metodes

## Uz sliekšņa balstīta metode

### Otsu algoritms



Fig. 1 – Kiwifruits from bottom view in (a) single, (b) linear cluster, (c) other cluster.

# 2D augļu orgānu segmentācijas metodes

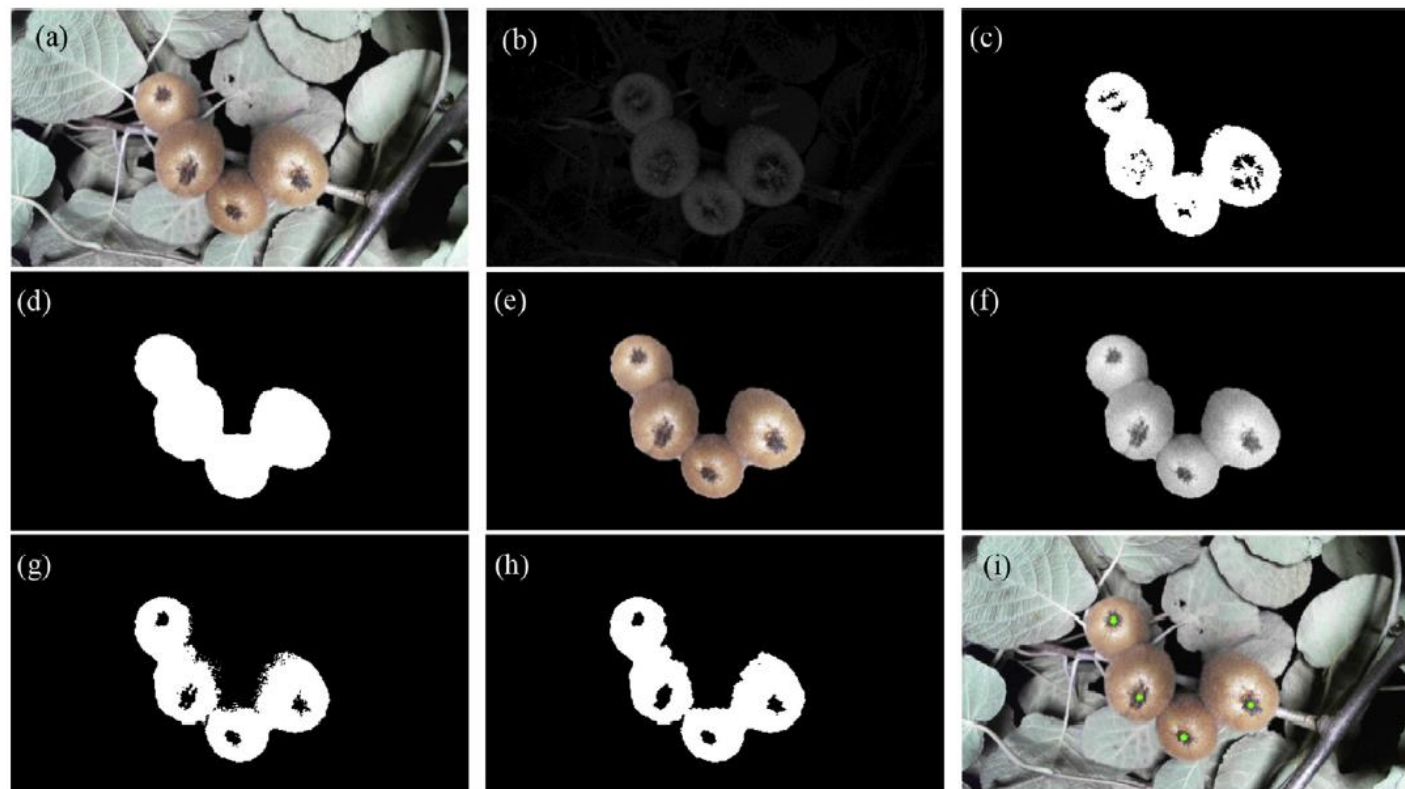


Fig. 3 – The process of detecting calyxes. (a) Original RGB kiwifruit image, (b) Grey image of the 1.1R-G, (c) Segmented image by Otsu threshold in the 1.1R-G, (d) Largest area of fruits after eliminating noise using morphological process and removing smaller areas, (e) Fruits area image, (f) Selected grey image of the area of fruits, (g) Segmented image of skin and calyx by Otsu threshold, (h) Opened image for detecting calyxes, (i) Detected calyxes (green dots) on the original kiwifruit images.

((Kiwifruit): Fu et al., 2019)



# 2D augļu orgānu segmentācijas metodes

## Kontūra metode

- *Sobel* kontūras detekcija
- *Canny* kontūras detekcija

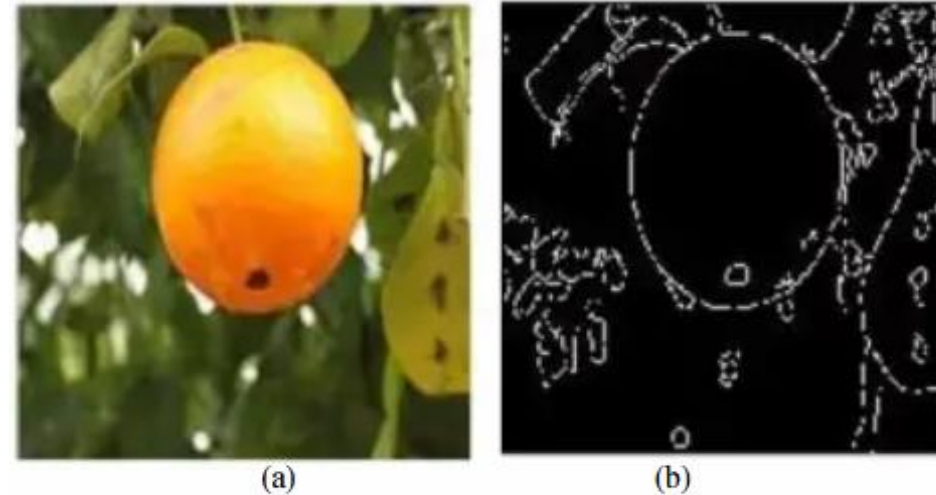


Fig. 1. Edge detection based algorithm: a) Original image, b) Edge detected image.

# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

- Hiperspektrālā kamera + CNN = augļu gatavības noteikšanai

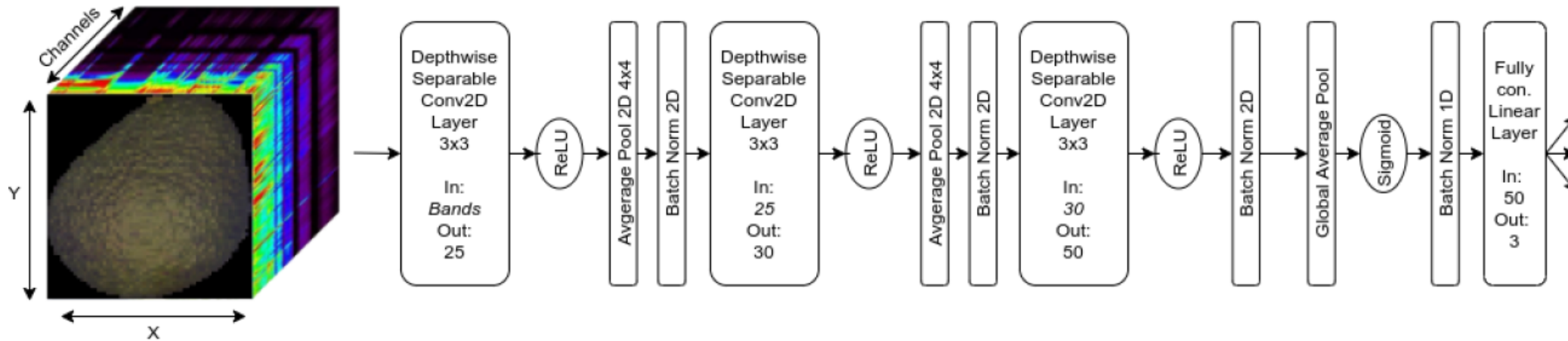


Fig. 4. Architecture of our hyperspectral convolutional neural network. The image of the input cube is a adapted version of [19].

# Dziļie neironu tīkli fenotipizēšanā

## CROP: dažādas formas un veida centrālā auga detektors



(A) pawpaw.

(B) longan.

(C) persimmon.

(D) pear.

# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

## Kivi ziedu detektors robotizētai apputeksnēšanai

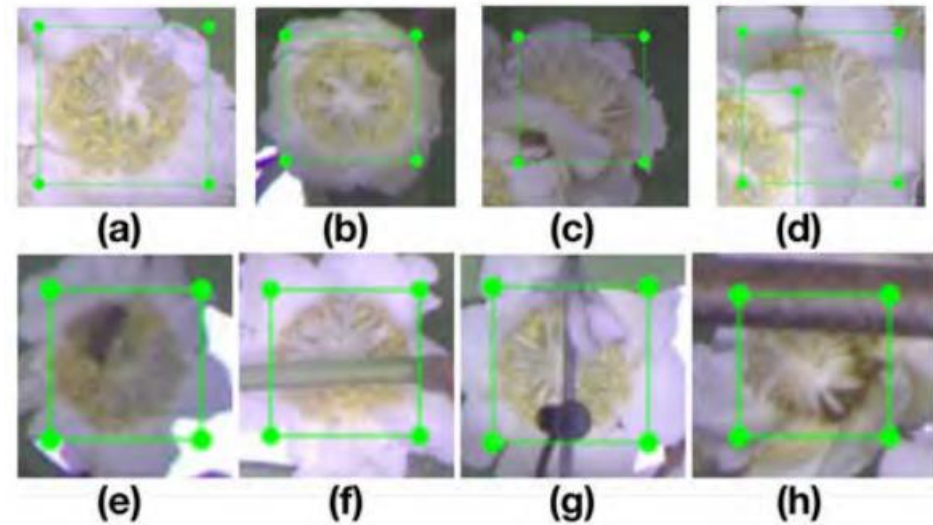


Fig. 4. Examples of Bounding box for stigma. We labeled (a) open, and (b) half opened flowers. Also occluded flowers by (c-d) flower, (e) bee, and (f-h) branch and wire were labeled.

# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

- 71 pētījumi ar dziļās mašīnmācīšanās tehnoloģijām
- 2D
- 3D
- DL: āboli, apelsīni, tomāti  
ķirši, manioks, banāni,  
vīnogas

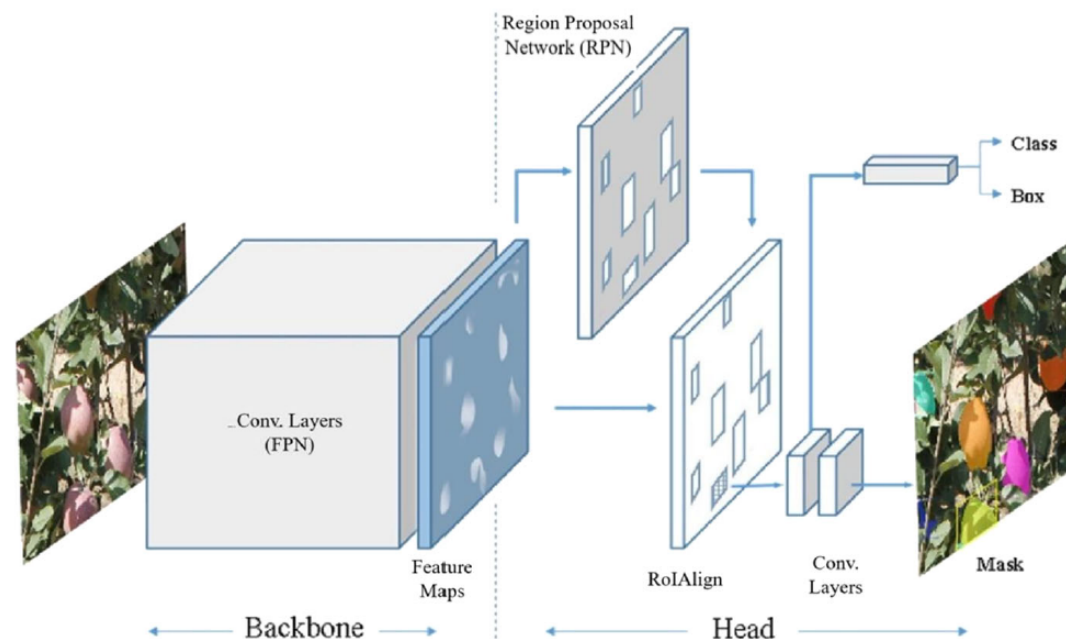
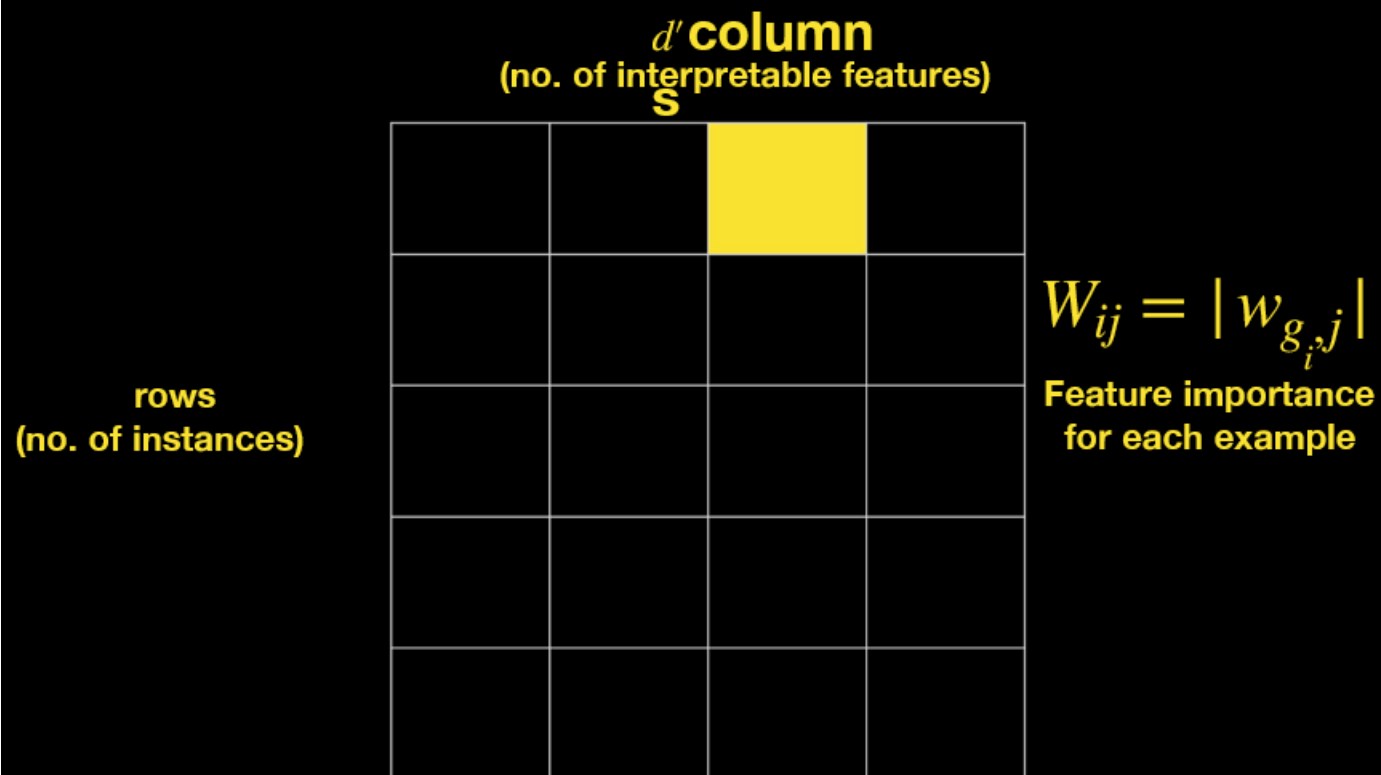


Fig. 6 The Mask R-CNN architecture. The architecture consists of two parts: the backbone and the network head. Source: ref. <sup>68</sup>

Avots: <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00560-9>

# Dziļie neironu tīkli fenotipēšanā

## SP-LIME: Explanation Matrix $W$





**Paldies par uzmanību!**

