

Nový algoritmus na počítačovú
rekonštrukciu vývoja buniek v
obrazových postupnostiach
morfogenézy.

Bc. Michal Smíšek

vedúci práce: prof. RNDr. Karol Mikula, DrSc.

13.4.2011

Obsah

1. Popis problému a motivácia
2. Koncept algoritmu
3. Jednotlivé kroky algoritmu
4. Diskretizácia a implementácia
5. Experimenty

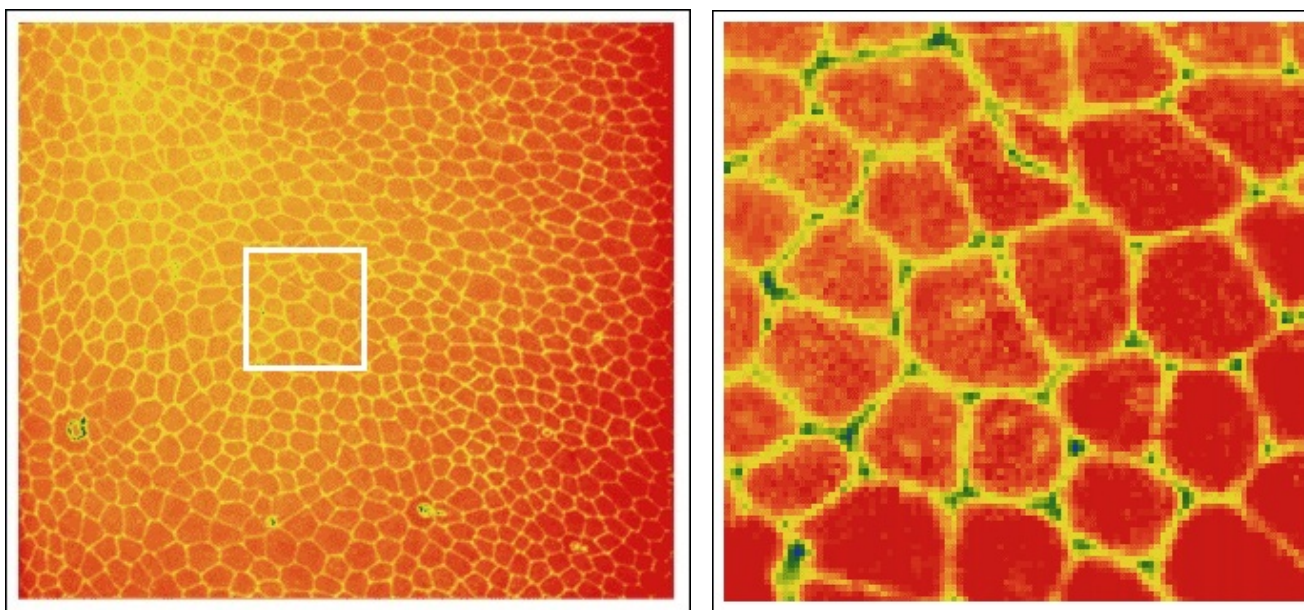
Rekonštrukcia vývoja buniek

:= Identifikácia jednotlivých buniek v snímkach videa a nájdenie ich korešpondencií medzi jednotlivými snímkami

Motivácia

- Institut Curie, Paríž
- Výskum rakovinových ochorení
- Súčasťou výskumu je aj analýza morfogenetických procesov vínnej mušky (*Drosophila*)

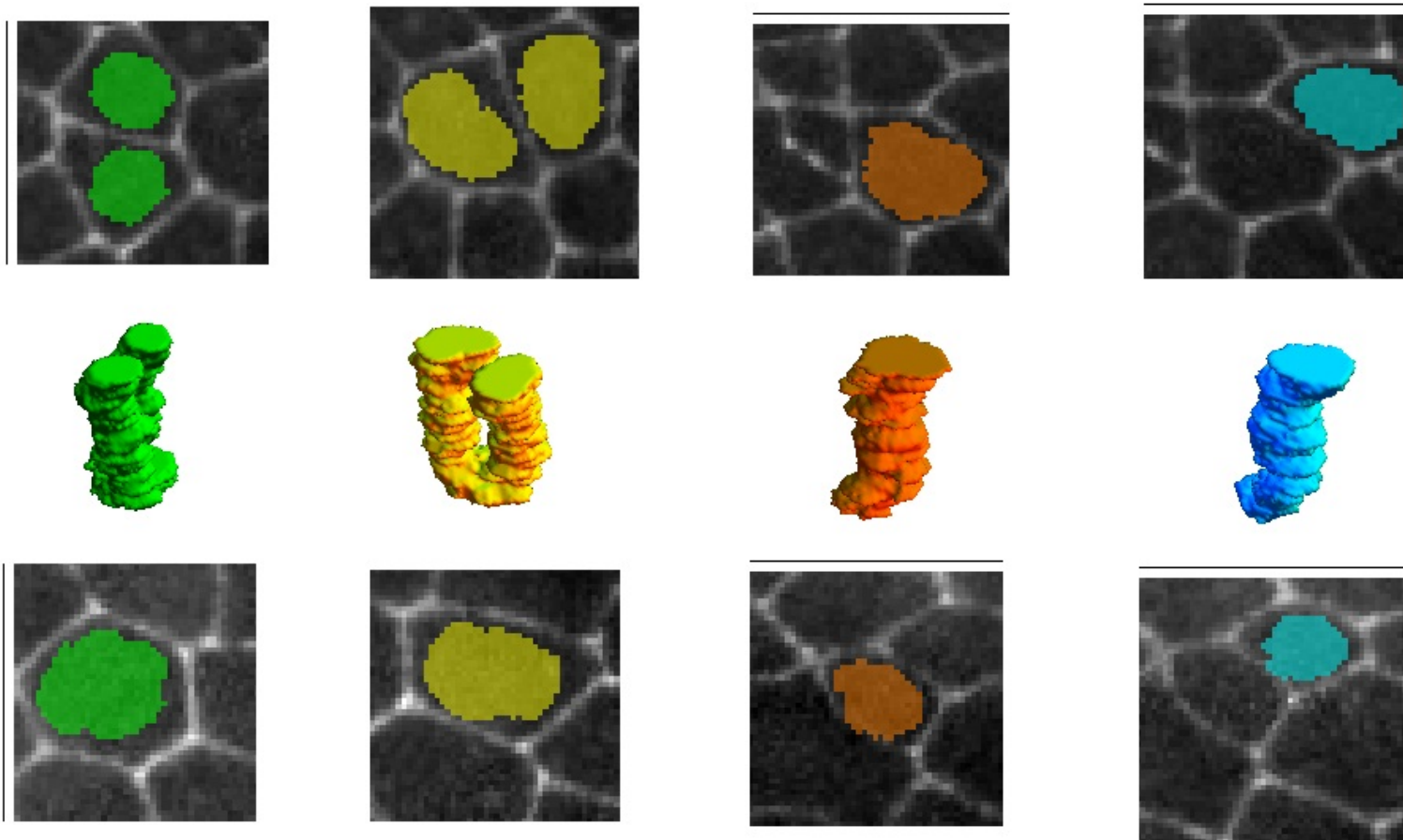
... ukážka dát ...



Koncept algoritmu

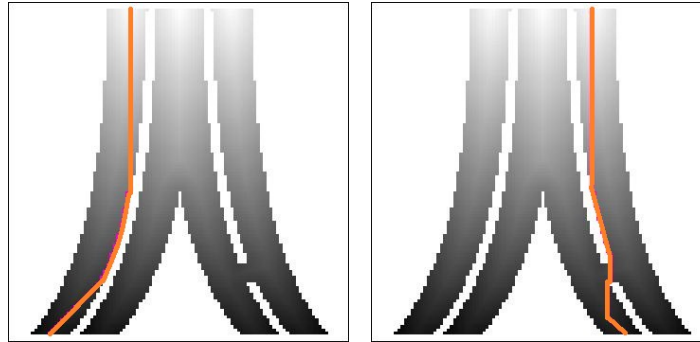
- Namiesto postupnosti 2D obrazov uvažujme o 3D statickom obraze, ktorý vznikne naskladaním snímkov na seba
- 3D trubicovité útvary, predstavujúce evolúcie buniek v časopriestore, vysegmentujeme pomocou časopriestorového segmentačného algoritmu
- S použitím dvoch funkcií vzdialenosti - od počiatočných buniek a od hraníc našich 3D útvarov - rekonštruujeme evolúcie jednotlivých buniek.

3D trubicovité útvary predstavujúce evolúcie buniek v časopriestore

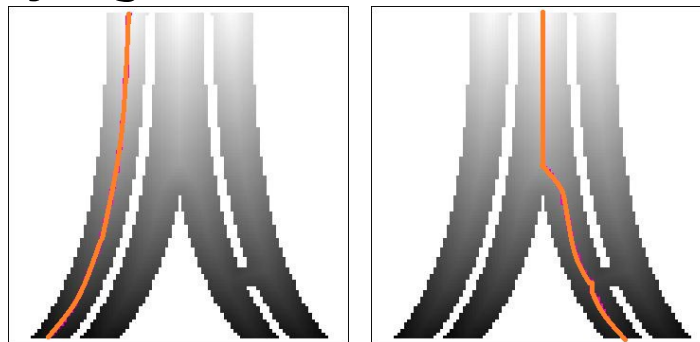


Použitie funkcií vzdialenosti na rekonštrukciu evolúcie

Iba vzdialenosť od počiatočných buniek:



Vzdialenosť od počiatočných buniek + od vnútorných hraníc vysegmentovaného útvaru:



Jednotlivé kroky algoritmu

- A) Filtrácia obrazu
- B) Identifikácia buniek
- C) Časopriestorová segmentácia
- D) Výpočet vzdialenosti od počiatočných buniek
- E) Výpočet vzdialenosti od hraníc časopriestorových trubíc
- F) Získanie trajektórii bunkových evolúcií

Jednotlivé kroky algoritmu

- A) Filtrácia obrazu
- B) Identifikácia buniek
- C) Časopriestorová segmentácia
- D) Výpočet vzdialenosti od počiatočných buniek
- E) Výpočet vzdialenosti od hraníc časopriestorových trubíc
- F) Získanie trajektórii bunkových evolúcií

A) Filtrácia obrazu

- Metóda GMCF - Geodesic Mean Curvature Flow

$$u_t - |\nabla u| \nabla \cdot \left(g \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) = 0 \quad (1)$$

- Nasledujúce dve metódy, identifikácia buniek a segmentácia, implicitne obsahujú zhladzovanie, takže ak je pomer signálu k šumu v dátach priaznivý, je možnosť tento krok preskočiť

Jednotlivé kroky algoritmu

- A) Filtrácia obrazu
- B) Identifikácia buniek
- C) Časopriestorová segmentácia
- D) Výpočet vzdialenosti od počiatočných buniek
- E) Výpočet vzdialenosti od hraníc časopriestorových trubíc
- F) Získanie trajektórii bunkových evolúcií

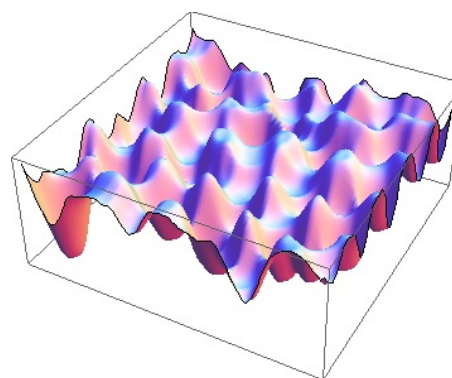
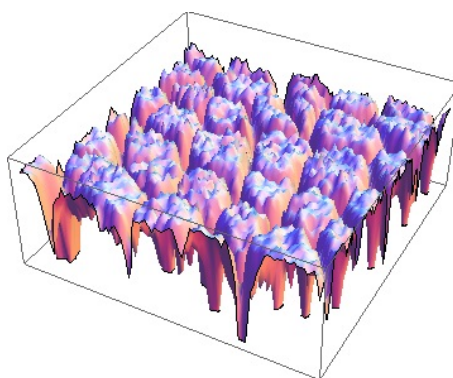
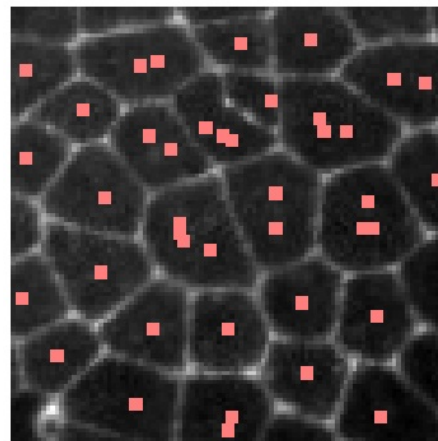
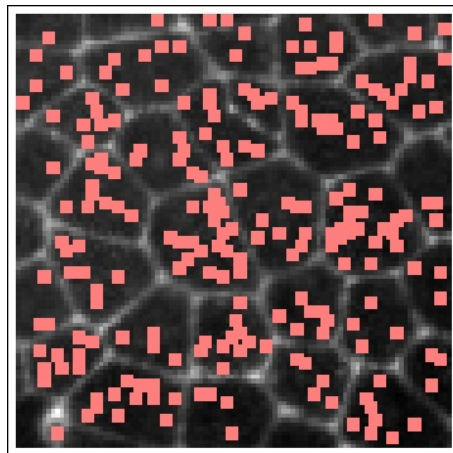
B) Identifikácia buniek

- Metóda LSCD - Level-Set Center Detection

$$u_t + \delta |\nabla u| - \mu |\nabla u| \nabla \cdot \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) = 0 \quad (2)$$

- Metódu používame snímku po snímke, rovnicu riešime v 2D doméne.
- Cieľom je získať body identifikujúce jednotlivé bunky, no na identifikátory nekladíme požiadavku, aby boli jedinečné, t.j. práve jeden identifikátor pre jednu bunku

B) Identifikácia buniek



Jednotlivé kroky algoritmu

- A) Filtrácia obrazu
- B) Identifikácia buniek
- C) Časopriestorová segmentácia
- D) Výpočet vzdialenosti od počiatočných buniek
- E) Výpočet vzdialenosti od hraníc časopriestorových trubíc
- F) Získanie trajektórii bunkových evolúcií

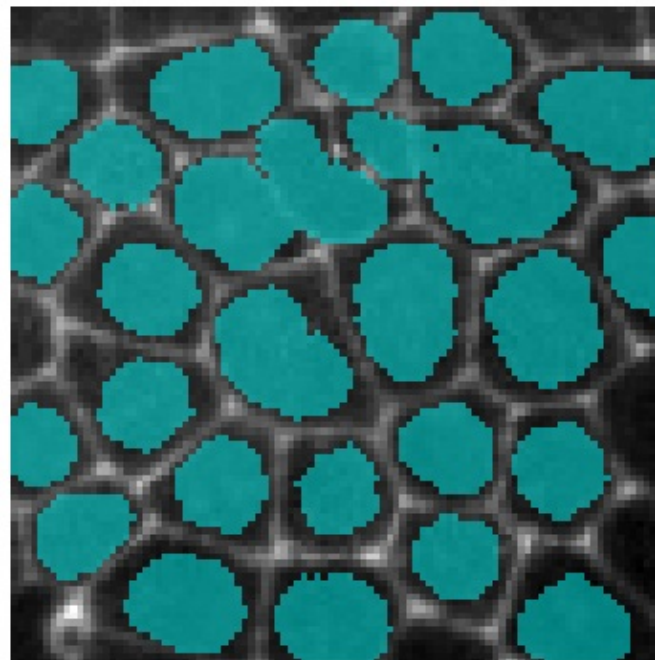
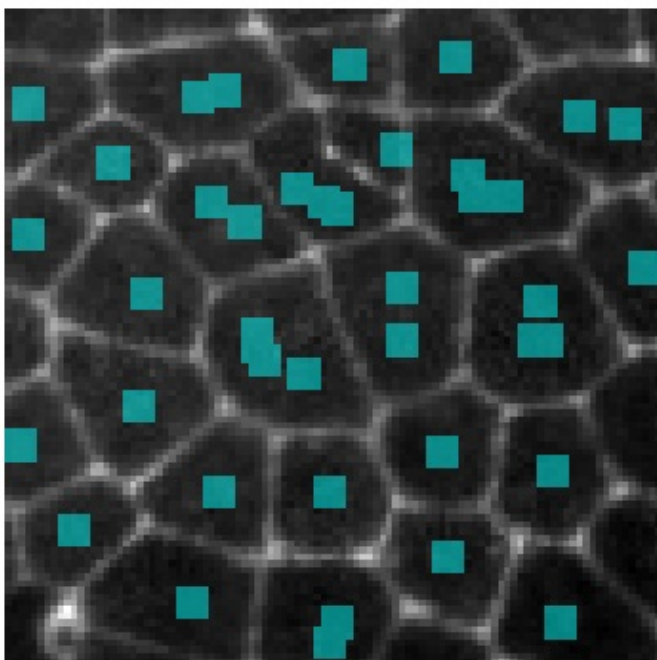
C) Časopriestorová segmentácia

- GSUBSURF - Generalized SUBjective SURFaces

$$u_t - w_a \nabla g \cdot \nabla u - w_c g |\nabla u| \nabla \cdot \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) = 0 \quad (3)$$

- PP: disky s malým polomerom okolo identifikátorov buniek - v 2D doméne, snímku po snímke
- samotnú rovnicu potom riešime v 3D, časopriestorovej doméne
- Vlastnosti: dopĺňa chýbajúce bunkové identifikátory a rešpektuje časopriestorové hrany

C) Časopriestorová segmentácia



Jednotlivé kroky algoritmu

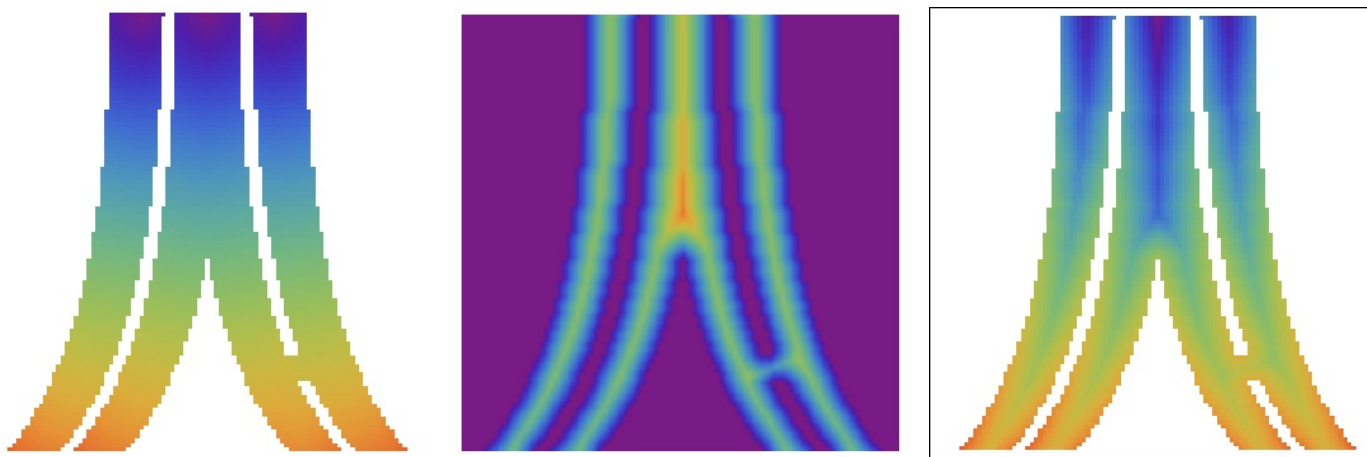
- A) Filtrácia obrazu
- B) Identifikácia buniek
- C) Časopriestorová segmentácia
- D) Výpočet vzdialenosti od počiatočných buniek
- E) Výpočet vzdialenosti od hraníc časopriestorových trubíc
- F) Získanie trajektórii bunkových evolúcií

Výpočet vzdialeností

- Riešenie Eikonalovej rovnice:

$$d_t + |\nabla d| = 1, d(x, t) = 0, x \in \Omega_0 \quad (4)$$

- Ω_0 - množina bodov, od ktorých počítame vzdialenosť
- Pre vzdialenosť od počiatočných buniek: Ω_0 sú identifikátory buniek v prvej snímke videa.
- Pre vzdialenosť od hraníc časopriestorových 3D útvarov: Ω_0 sú body na hranici segmentácie.



- Ľavý obrázok - vzdialenosť od počiatočných buniek
- Stredný obrázok - vzdialenosť od hraníc časopriestorových útvarov
- Pravý obrázok - vzdialenosť od počiatočných buniek, od ktorej sme odpočítali vzdialenosť od hraníc časopriestorových útvarov

Jednotlivé kroky algoritmu

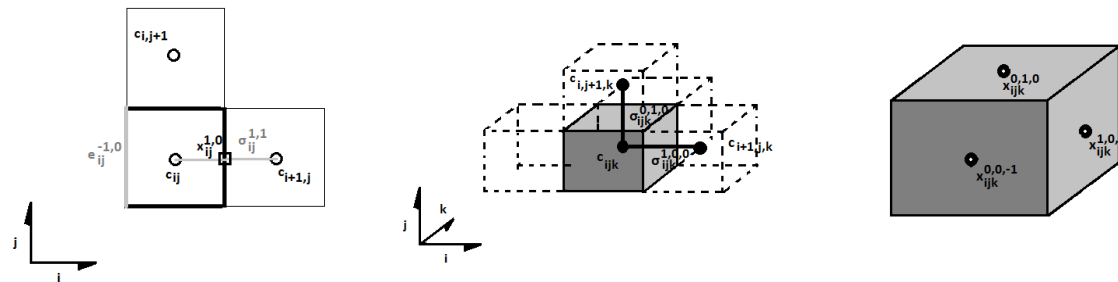
- A) Filtrácia obrazu
- B) Identifikácia buniek
- C) Časopriestorová segmentácia
- D) Výpočet vzdialenosti od počiatočných buniek
- E) Výpočet vzdialenosti od hraníc časopriestorových trubíc
- F) Získanie trajektórii bunkových evolúcií

F) Získanie trajektórii bunkových evolúcií

- z "aktuálneho" bodu v 3D získavame trajektóriu pomocou opakujúcich sa krokov:
 1. minimalizujeme d_1 v okolí daného bodu
 2. vycentrujeme sa v danom časovom reze podľa d_2
 3. "vycentrovaný" bod nazveme "aktuálnym" a ideme na 1.
- vývoj bunky je binárny strom
- dátová štruktúra reprezentujúca uzol obsahuje (x,y,t,*parent,*leftChild,*rightChild)

Diskretizácia a implementácia

- GMCF, LSCD a GSUBSURF sú riešené metódou konečných objemov, kde pixel/voxel je prirodzený výber kontrolného objemu
- Semi-implicitná schéma - bezpodmienečná stabilita
- Na diskretizáciu v priestore:



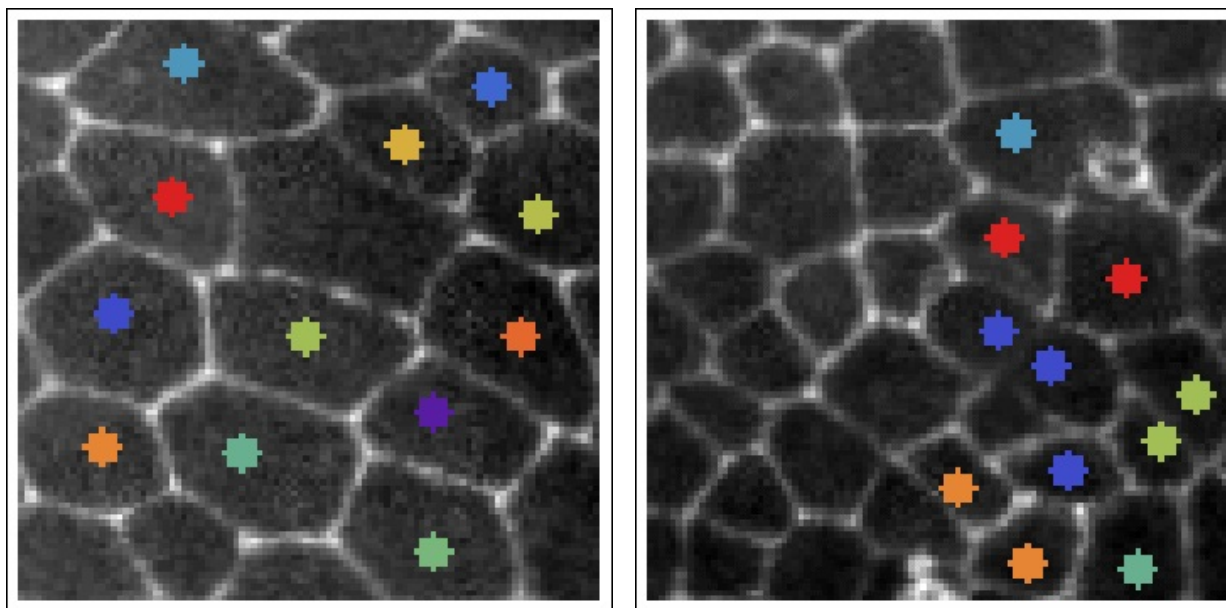
Experimenty

- Na troch testovaných objemoch 100x100 pixelov po 100 časových krokoch

správne prepojenia	prepojení spolu	úspešnosť
1398	1400	99.86 %
1759	1775	99.01 %
1595	1600	99.69 %

- robustné voči šumu, chýbajúcim identifikátorom a chýbajúcim hraniciam
- vie prekonať nedokonalosť oddelené 3D útvary a dá sa zovšeobecniť na riešenie 3D videí

... ukážka rekonštrukcie trajektórii ...



Ďakujem za pozornosť :)

Kontakt:

michal.smisek@gmail.com

mikula@math.sk