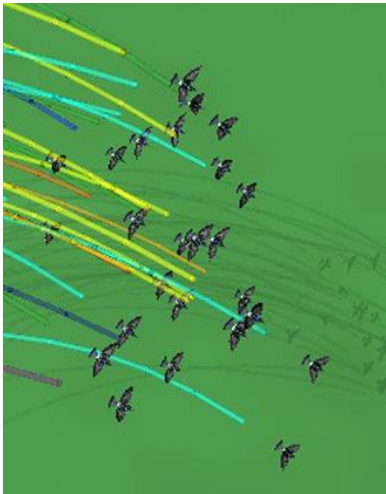


Csoportos viselkedés és automatizált etológia

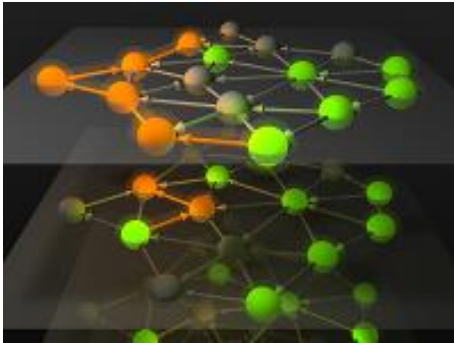


Vásárhelyi Gábor, PhD
ELTE Biológiai Fizika Tanszék

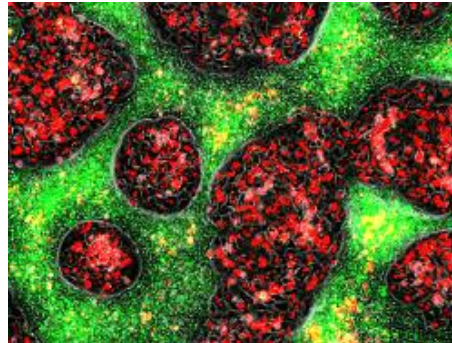
StatFiz Szeminárium, 2014. május 14.

EU ERG COLLMOT project

complex structure and dynamics of collective motion



hálózatok: irányíthatóság,
hierarchia, adathalászat



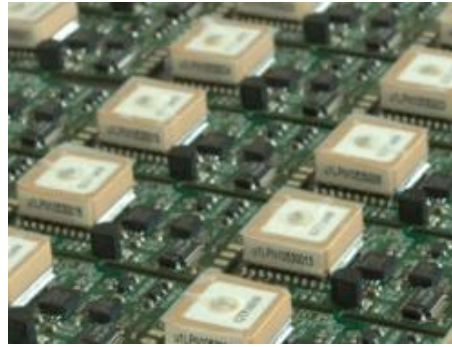
sejtek, szövetek: mintázat,
szegregáció, perkoláció



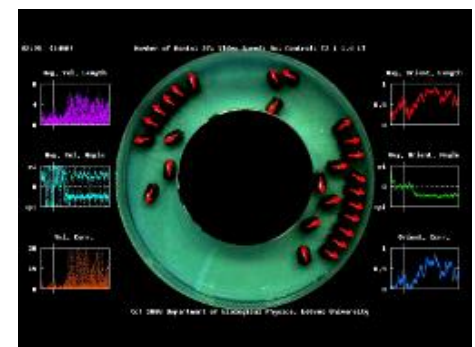
madarak, emlősök:
szociális dinamika, vezetés



szimulációk: csoportos
döntés, optimális hierarchia



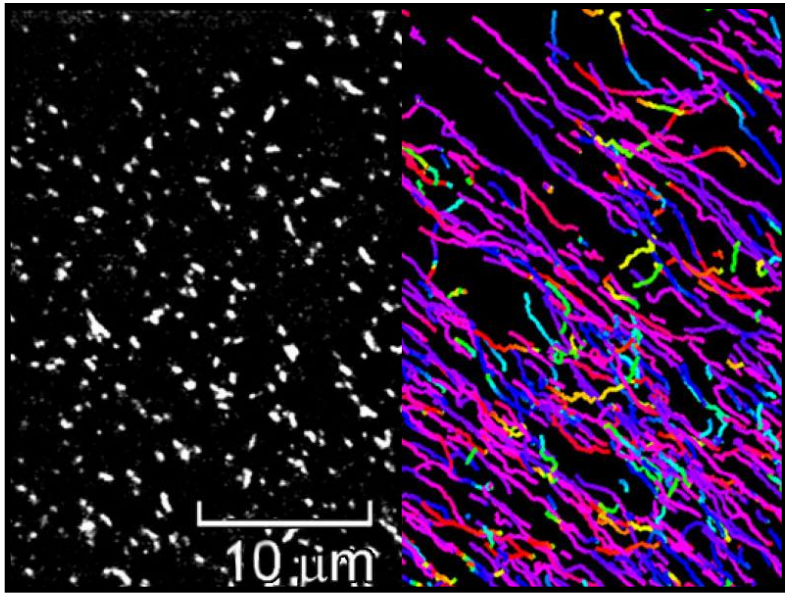
hardver, szoftver:
GPS, INS, videó



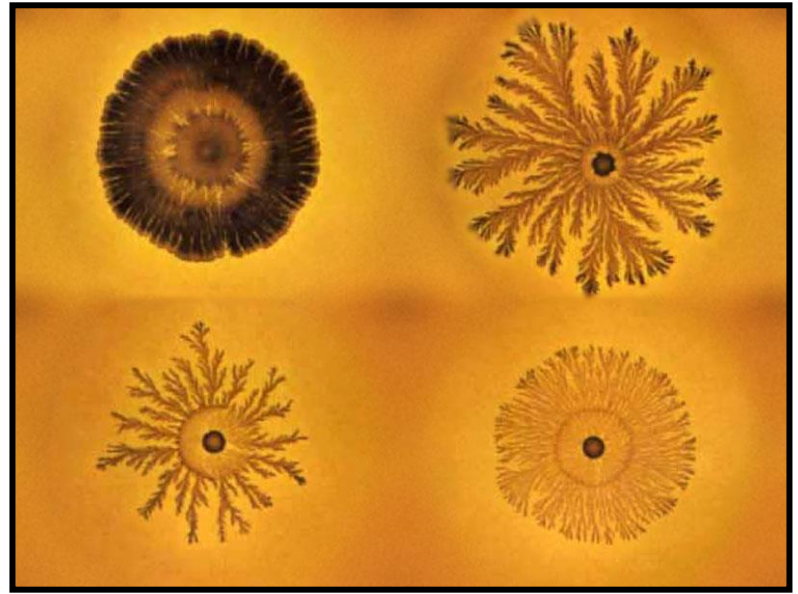
robotok, drónok:
vezéregyedek, autonómia

Milyen a csoportos mozgás?





U
n
i
v
e
r
z
á
l
i
s



Hatékony



Önhajtott,
nem egyensúlyi

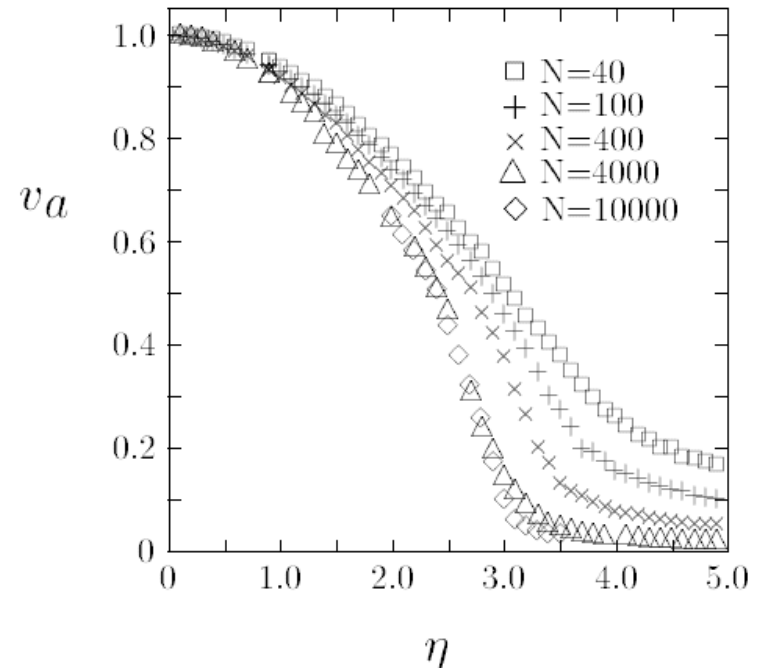




Egyszerűen
modellezhető,
mégis bonyolult...

Vicsek-modell

- Állandó sebességű, **önhajtott** részecskék
- Sebesség irányát befolyásolja:
 - **Szomszédos** részecskék sebességének iránya
 - **Zaj**



Vicsek, T.; Czirok, A.; Ben-Jacob, E.; Cohen, I.; Shochet, O. (1995). "Novel type of phase transition in a system of self-driven particles". Physical Review Letters

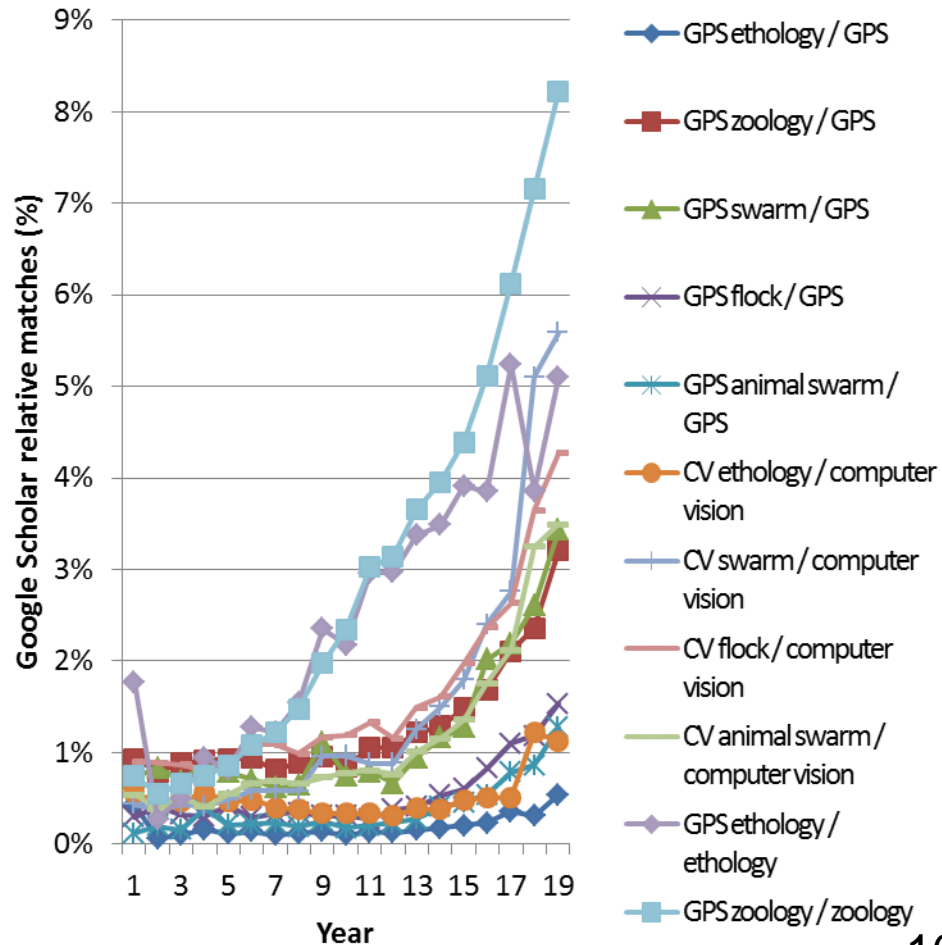
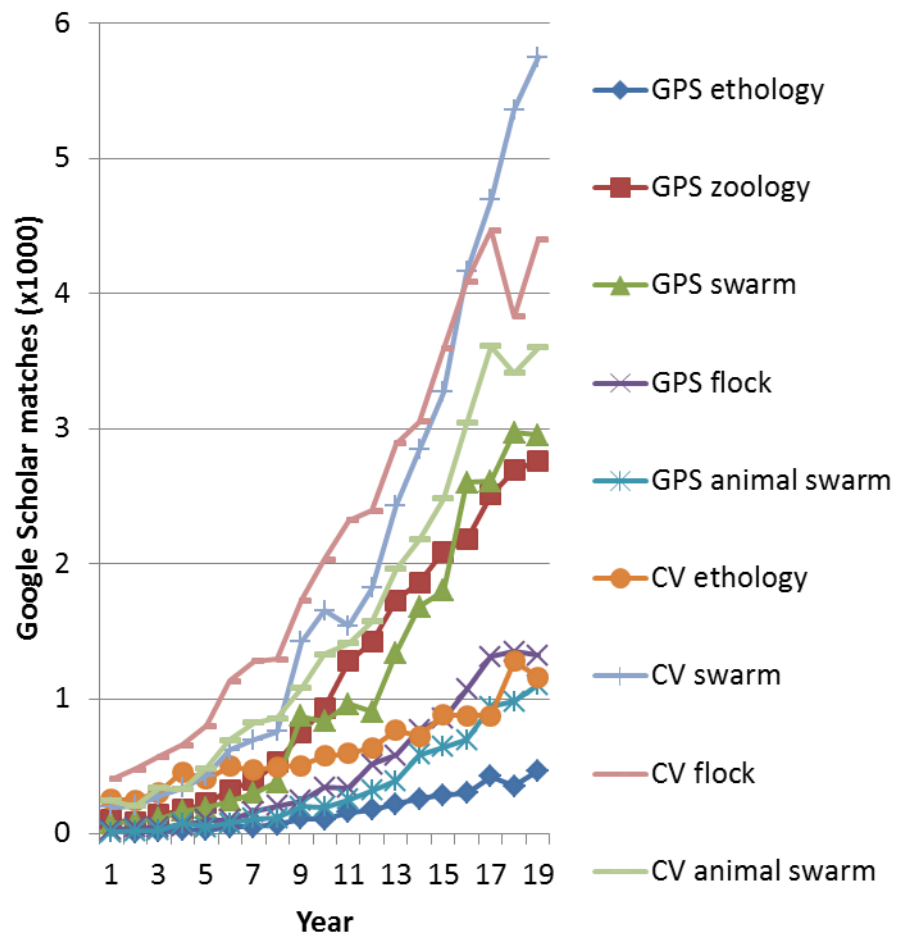
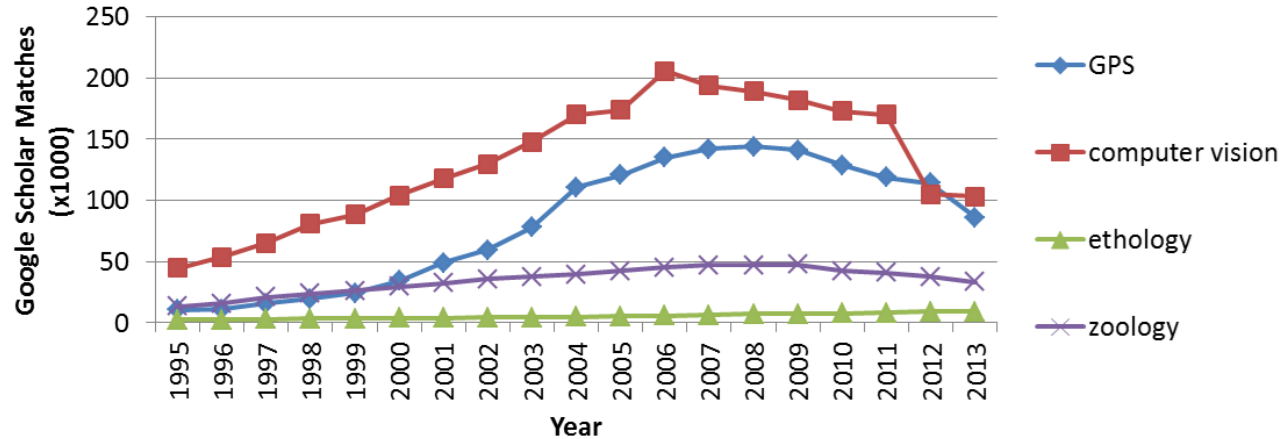
Tartalomjegyzék

- Csoportos mozgás, csoportos döntéshozatal az állatvilágban
- Galambok kontextus-függő hierarchiája
- Optimális tudáseloszlás a csoportban
- Kutyák viselkedésének automata elemzése
- Csoportosan repülő robotok

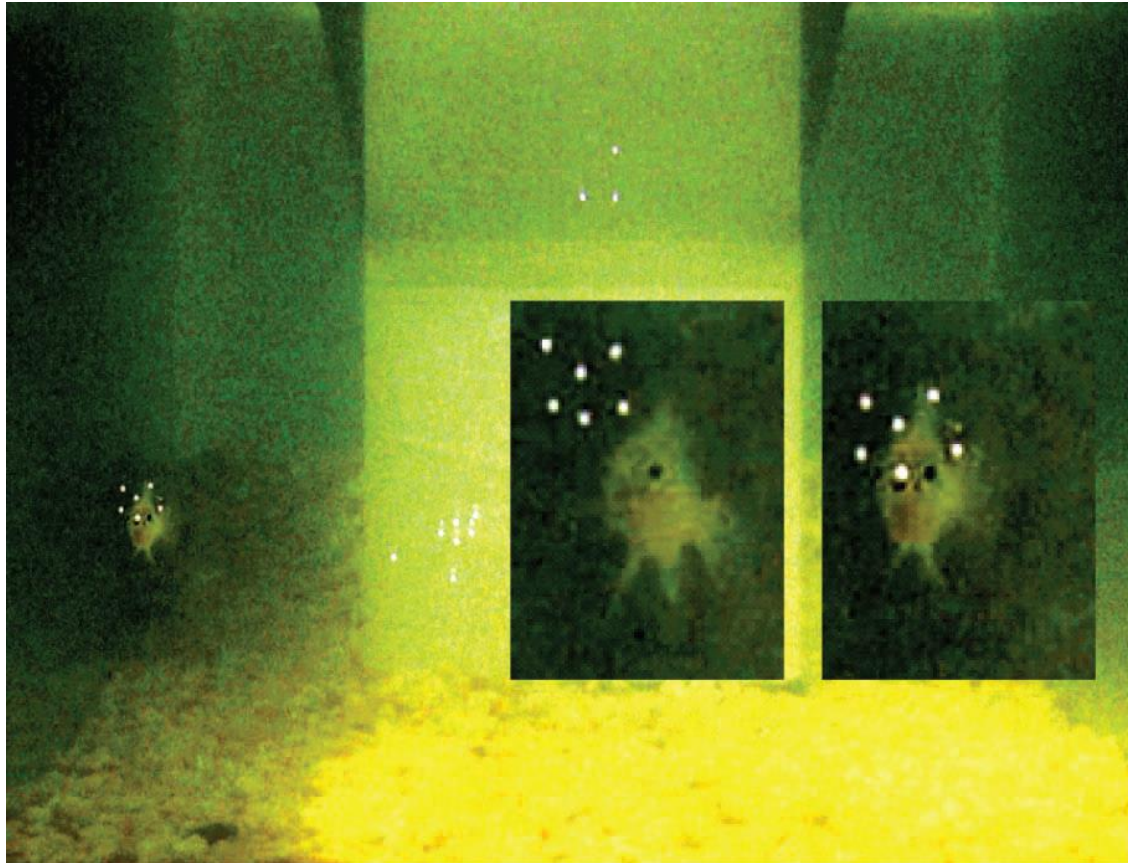
Modern technológiák az etológia szolgálatában

- Kamerák (jó felbontás térben és időben, automatikus képfeldolgozás, sztereo/3D)
- Mozgásérzékelők (VICON, gyorsulásmérő, giroszkóp, magnetométer, nyomásérzékelő)
- Helymeghatározók (GPS, GSM, rádió lokátorok, RFID)
- Adatfeldolgozási kapacitás és sebesség

Google Scholar Trendek



Csoportban lenni biztonságosabb



- Valódi ragadozó
- Virtuális zsákmány szimulált viselkedéssel
- Kevesebb támadás a csoportosan mozgó irányába (irány átlagolás, többiekhez közel)

Ioannou, C.C., Guttal, V. & Couzin, I.D., „Predatory Fish Select for Coordinated Collective Motion in Virtual Prey,” *Science* (2012)

Csoportban lenni hatékonyabb

Portugal, Steven J., et al. "Upwash exploitation and downwash avoidance by flap phasing in ibis formation flight." *Nature* 505.7483 (2014): 399-402.

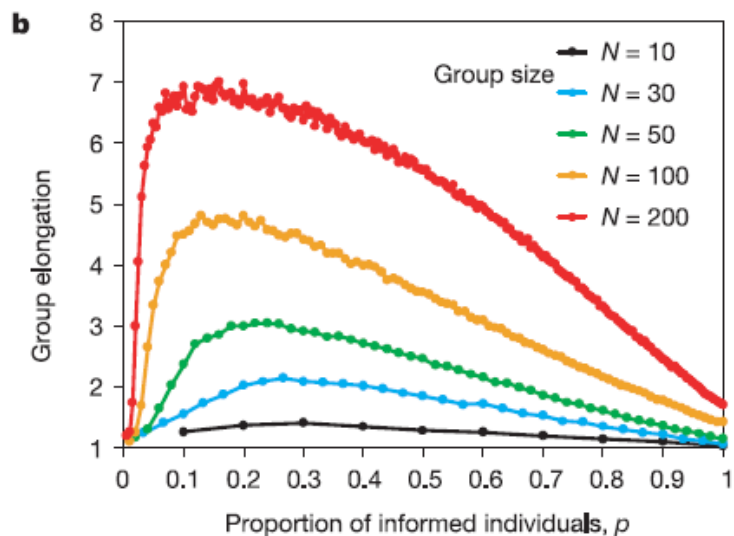
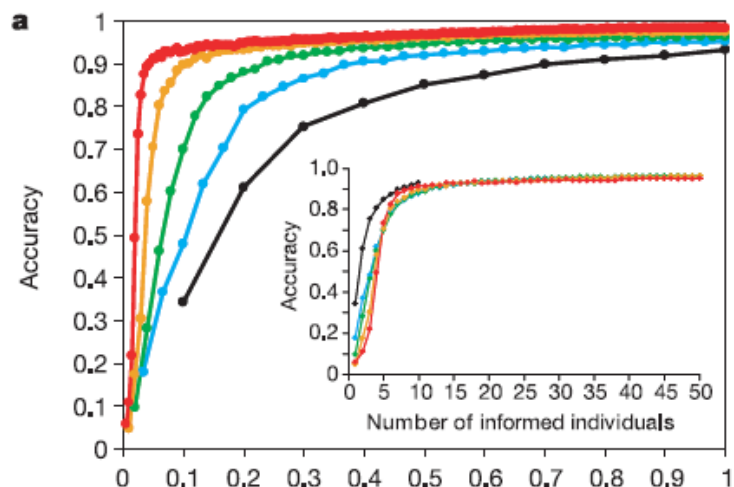
Optimális információterjedés



- 3D trajektória rekonstrukció 3 kamerával (170Hz)
- Irányváltás info időben lineárisan terjed (~50ms), disszipáció mentesen
- Szuperfolyadék-kal analóg modell, optimális hatékonyság

A. Attanasi et al., „Superfluid transport of information in turning flocks of starlings,” *arXiv preprint* 1303.7097 (2013)

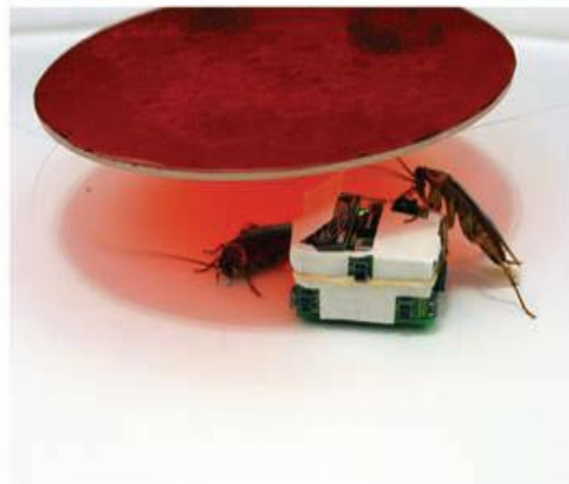
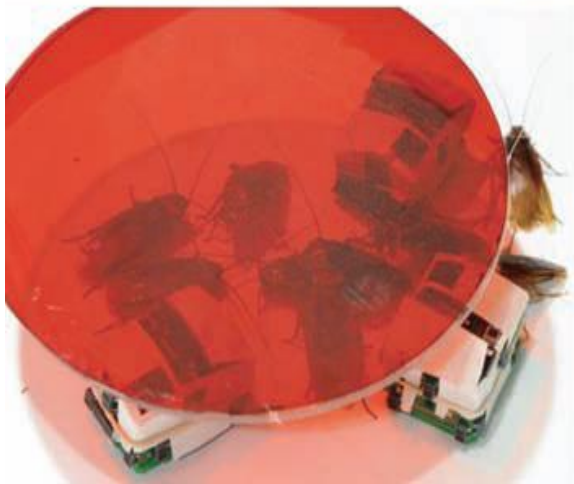
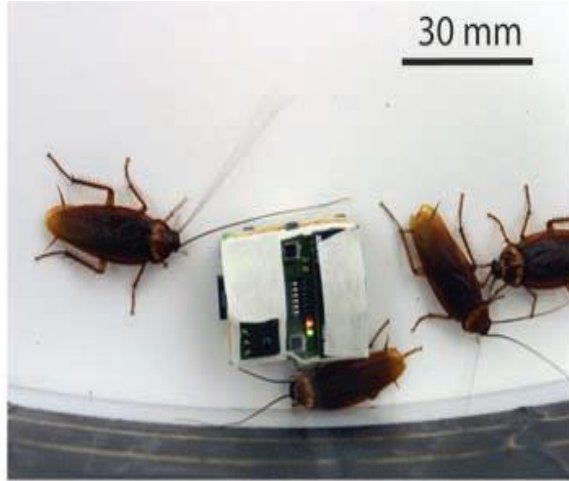
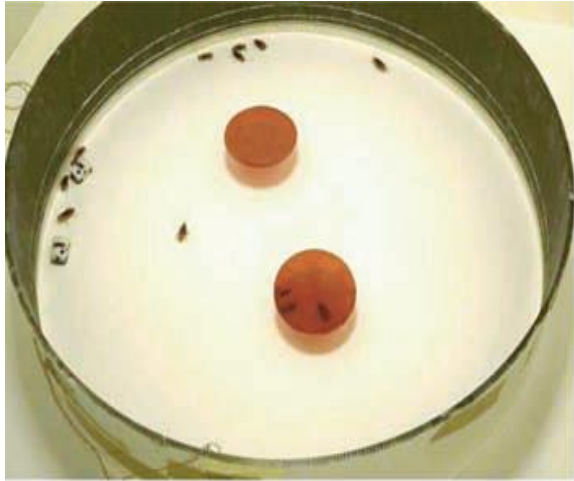
Nem kell sok vezér



- Kétszintű modell, szimuláció rejtett vezetőkkel
- Minél nagyobb a csoport, arányaiban annál kevesebb vezető kell
- 5-10% vezető már hatékonyan irányítja a teljes csapatot.

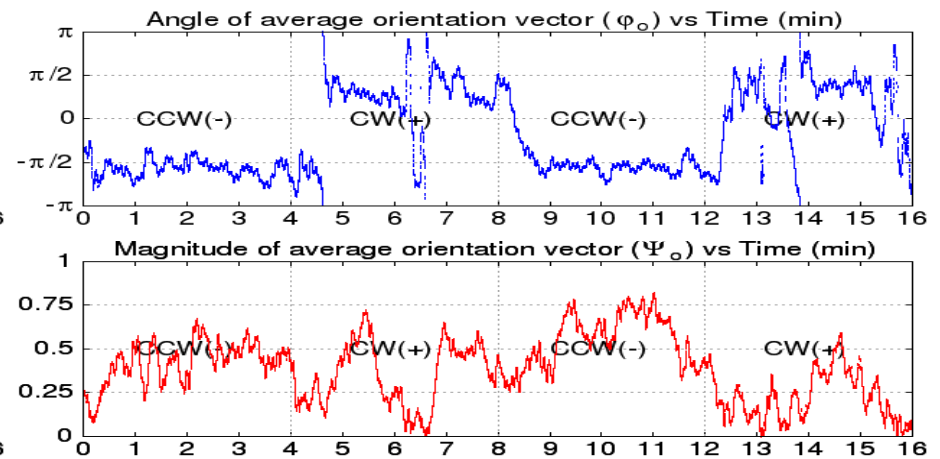
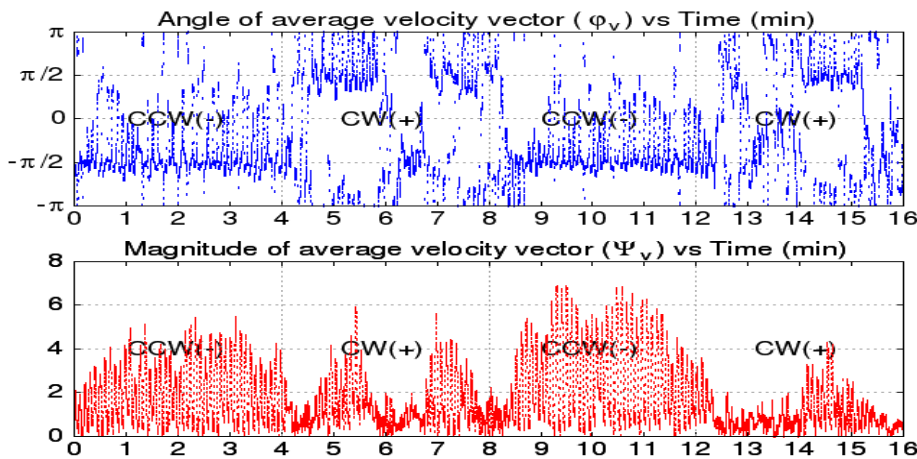
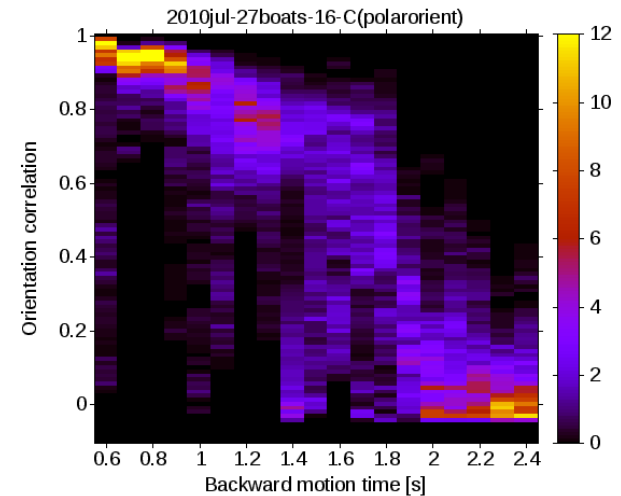
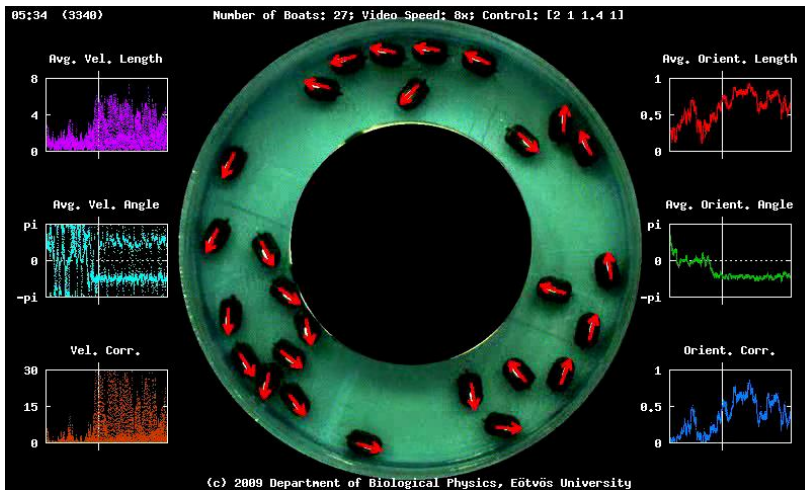
I. D. Couzin, J. Krause, N. R. Franks, S. A. Levin, „Effective leadership and decision making in animal groups on the move, ” *Nature* (2005)

Robot szomszéd, menjünk együtt!



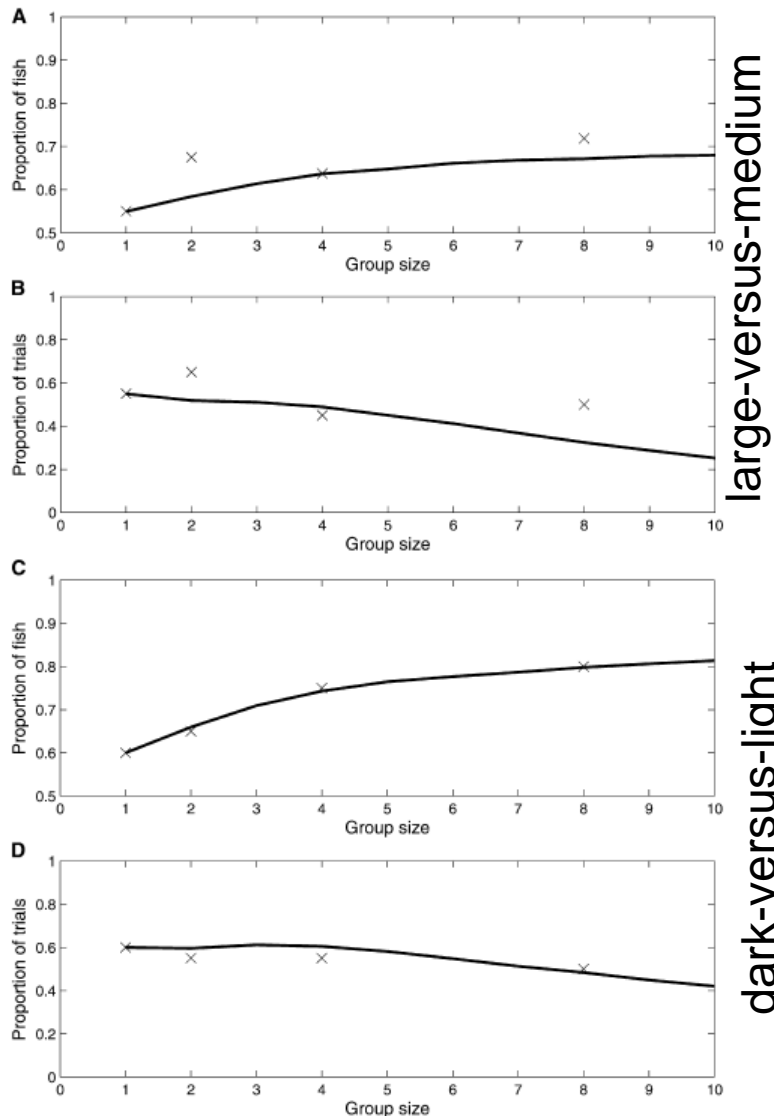
- Alap „sötétebb a jobb” búvóhely keresési mód manipulálva
- Kollektív döntés **lokális interakciók** alapján, nem-lineáris visszacsatoláson keresztül

Vezetéshez kontaktus is elég



N. Tarcai, Cs. Virágh, D. Ábel, M. Nagy, P. L. Várkonyi, G. Vásárhelyi and T. Vicsek, „Patterns, transitions and the role of leaders in the collective dynamics of a simple robotic flock,” *J of Stat. Mech* (2011)

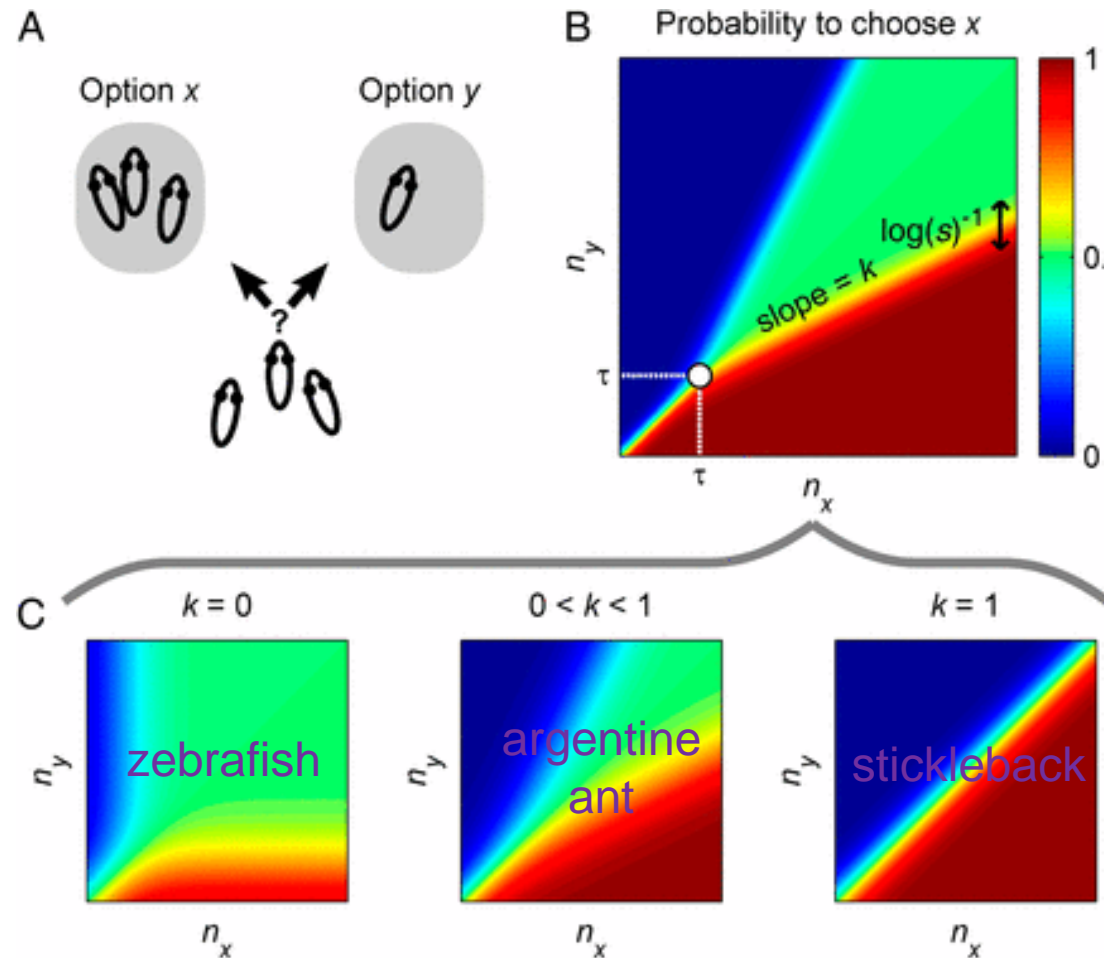
Dönt aki tud, követ aki nem



- Melyik ál-halat kövessük?
- Határozatképes döntéshozatal (ha nem tudom mit döntsek, azt csinálom, amit a többség)
- Döntési hatékonyság nő a csoportmérettel

Jó döntést hozó egyedek aránya és azon próbálkozások aránya ahol mindenki jó döntést hoz (vonzóbb múhalat követi)

Az állatok a valószínűség-számítás zsenije



- Bayes-i egyesített modell, valószínűségi döntés mások döntései alapján
- Csak a döntések számának különbsége számít

$$P_x = \left(1 + \frac{1 - as^{-(n_x - kn_y)}}{1 - as^{-(n_y - kn_x)}} \right)^{-1}$$

Arganda, S., Pérez-Escudero, A., & de Polavieja, G. G., „A common rule for decisionmaking in animal collectives across species,” *PNAS* (2012)

Multiple object tracking & recognition system

Technical summary

Alfonso Pérez-Escudero, Sara
Arganda, Julián Vicente-Page,
Robert Hinz, Gonzalo G. de Polavieja



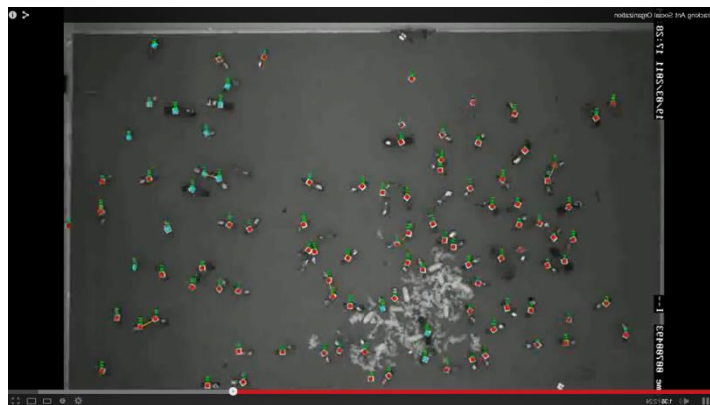
Együk meg egymást, közösén messzebb jutunk!



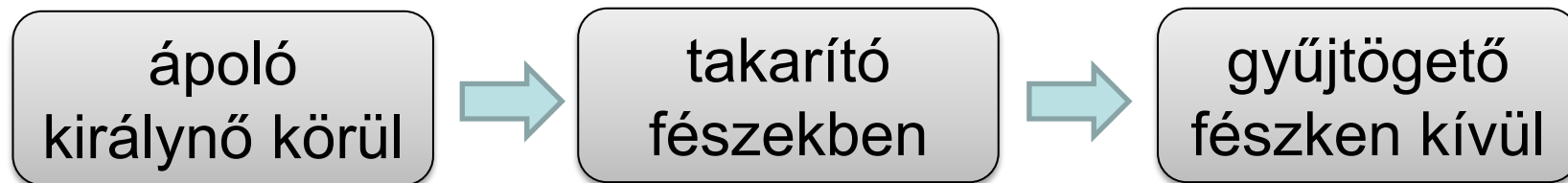
- Sűrűségtől függő viselkedés
- Kannibalizmus hajtotta vándorlás
- Mégis: sokan együtt messzebbre jutnak, mint egyedül

Guttal, V., Romanczuk, P., Simpson, S. J., Sword, G. A., & Couzin, I. D.,
„Cannibalism can drive the evolution of behavioural phase polyphenism in locusts,”
Ecology Letters (2012)

A karrierista hangyák



- Hangyák automata követése QR kóddal (>100 egyed, > 1 hónap, 6 kolónia, 9 millió interakció)
- Szervezett társadalom, munkamegosztás, ranglétra, életkorfüggő felelősség, „karrier”:



Mersch, M. P., Crespi, S. & Keller, L., „Tracking individuals shows spatial fidelity is a key regulator of ant social organization,” *Science* (2013)

Vezetés/hierarchia típusok

	két szint: vezető + követő	Összetett hierarchia
Állandó (időben lassan változó) hierarchia	Vezetők megkülönböztettek → korlátlan csapatméret táncoló méhek, hangyakirálynő, tanár-diák viszony	Kis méret: mindenki ismer mindenkit A legtöbb állatcsapat, majmok, elefántok, galambok, iskolai osztály Nagy méret: egyéni megkülönböztető jegyek (territórium, megjelenés): Szociális élőlények (hangyaboly, méhkas, vállalatok)
Pillanatnyi vezetők	Nagy csapatban is gyors, hatékony döntéshozatal egyfajta többségi szavazással, egyéni valószínűségszámítással halraj, birkanyáj, seregély raj, pánikban lévő tömeg	

Tartalomjegyzék

- Csoportos mozgás, csoportos döntéshozatal a nagyvilágban
- **Galambok kontextus-függő hierarchiája**
- Optimális tudáseloszlás a csoportban
- Kutyák viselkedésének automata elemzése
- Csoportosan repülő robotok

Kontextustól függő hierarchiák galambcsapatokban

Benj Petit¹, Zsuzsa Ákos², Máté Nagy^{1,2}, Isabella Roberts-Mariani¹, Dániel Ábel², Gábor Vásárhelyi², Dóra Bíró¹, Tamás Vicsek²

¹Department of Zoology, University of Oxford

²Department of Biological Physics, ELTE

Mesterséges látás keretrendszer



videó kamera a
plafonon lefelé néz

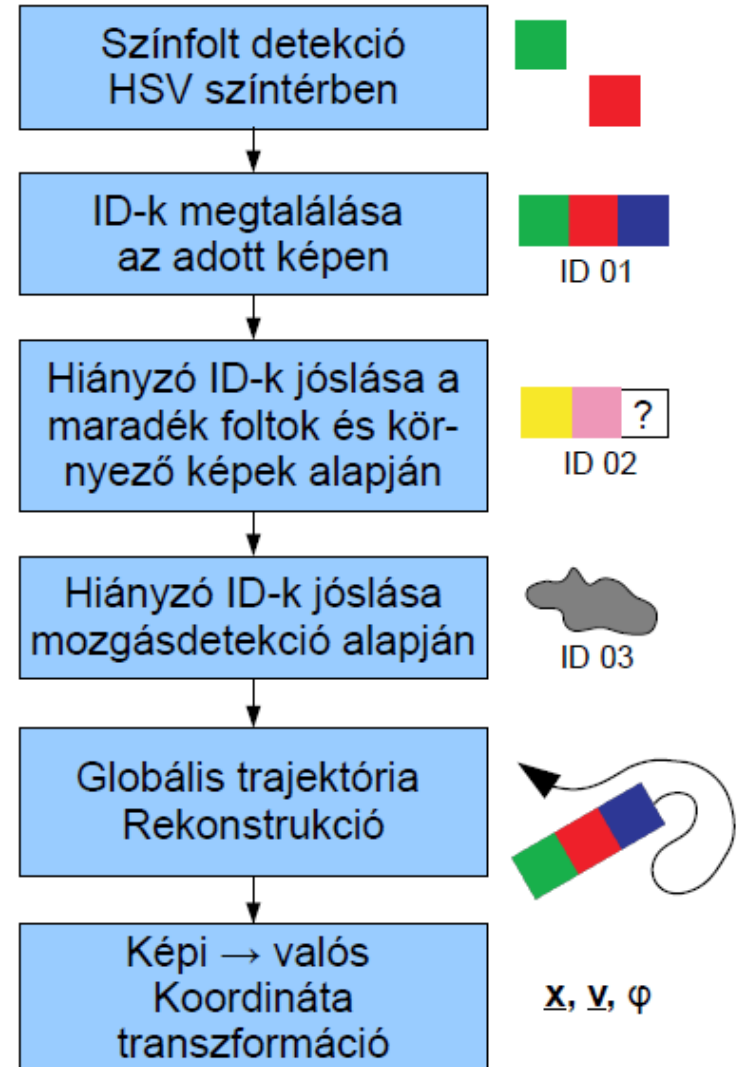


Egyedi, színes vonal-
kódok az állatokra
festve, rögzítve

Állati “valóság show” a
földön, két dimenzióban:



3 folt, 5 szín \rightarrow 30 egyed
4 folt, 4 szín \rightarrow 54 egyed



Automatikusan mért jellemzők

egyéni jellemzők:

$$F_i = \frac{1}{T} \sum i^F$$

$$Q_i = \frac{1}{T} \sum i^Q$$

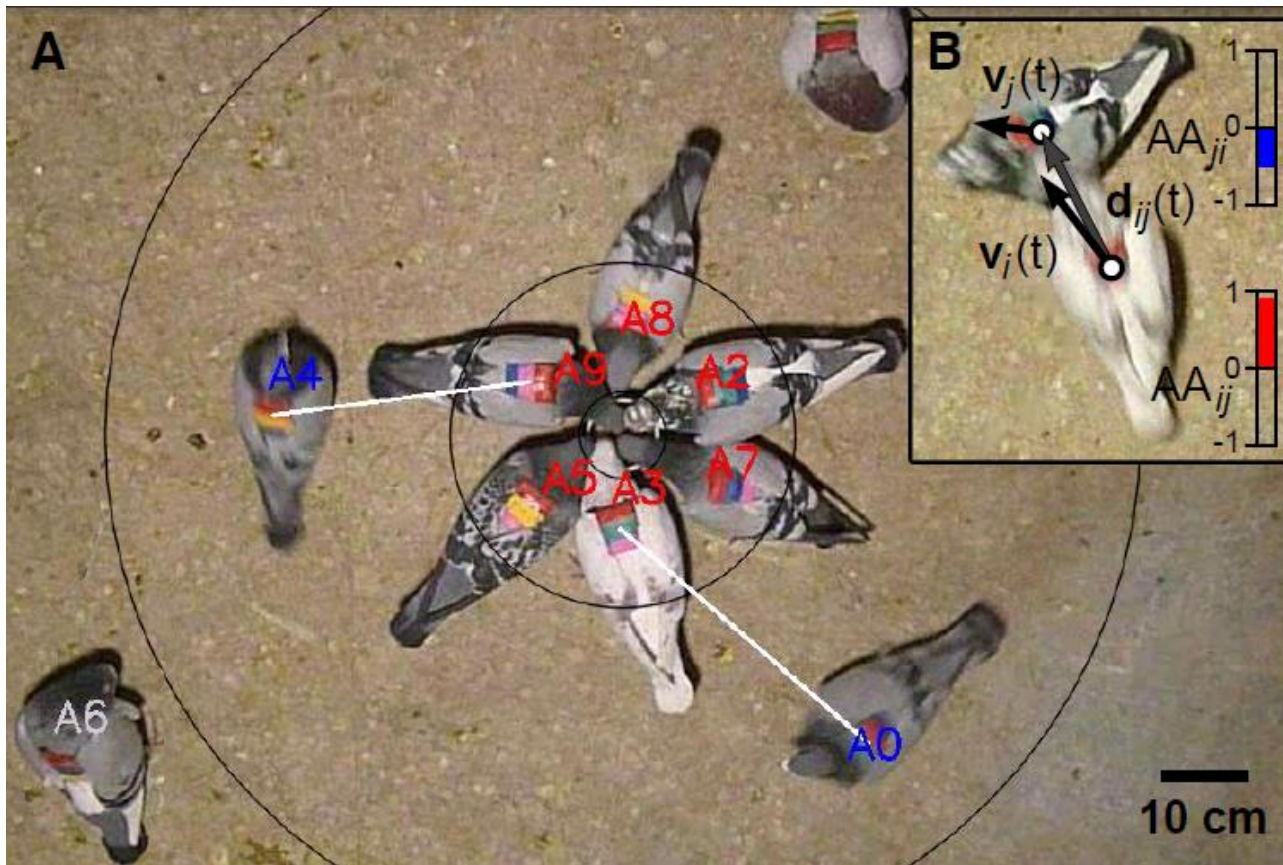
páros jellemzők:

$$FQ_{ij} = \frac{\sum i^F \cap j^Q \cap ij^{NN}}{\sum i^{F \cup Q} \cup j^{F \cup Q}}$$

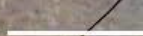
$$AA_{ij} = \langle v_i(t) \cdot d_{ij}(t) \rangle_t,$$

$$|d_{ij}(t)| \leq d_{\max} = 50 \text{ cm}$$

$$|v_i(t)| \geq v_{\min} = 0.05 \text{ m/s}$$



Galambok etetése a dúcban



FQ Feeding-Queuing
Automatically identified interactions
Feeding
Queuing

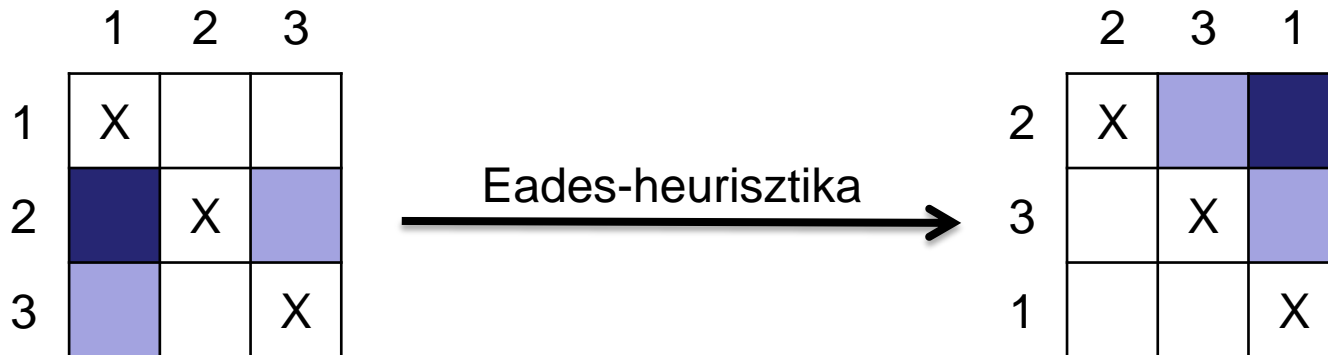
© 2012 M. Nagy^{1,2}, G. Vásárhelyi¹, B. Pettit², I. Roberts-Mariani², T. Vicsek¹ and D. Bico²
¹ COLLMOT Research Project, Department of Biological Physics, Eötvös University
² OxNav Research Group, Department of Zoology, University of Oxford

Hierarchikus tulajdonságok

$M = C + D$, where

$$C_{ij} = \min(M_{ij}, M_{ji})$$

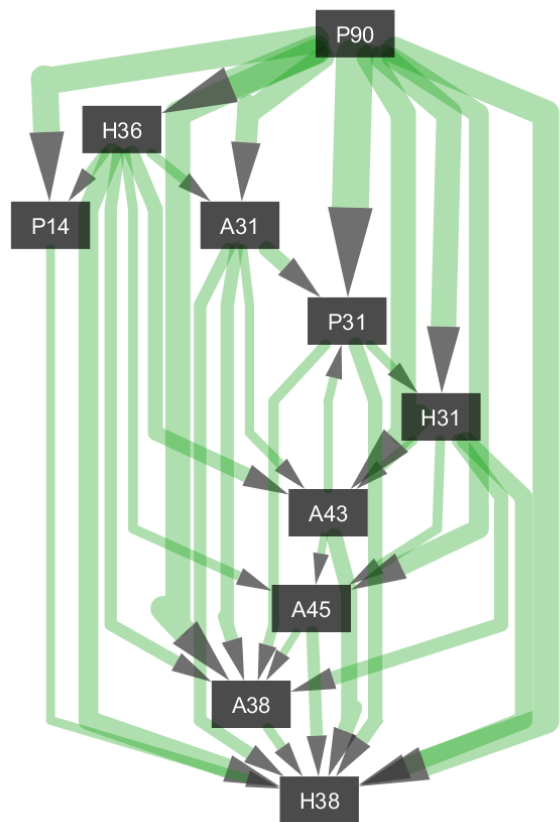
$$D_{ij} = \max(M_{ij} - M_{ji}, 0) = M_{ij} - C_{ij}$$



$$S = \frac{\sum_{i,j,i \neq j} C_{ij}}{\sum_{i,j,i \neq j} M_{ij}}$$

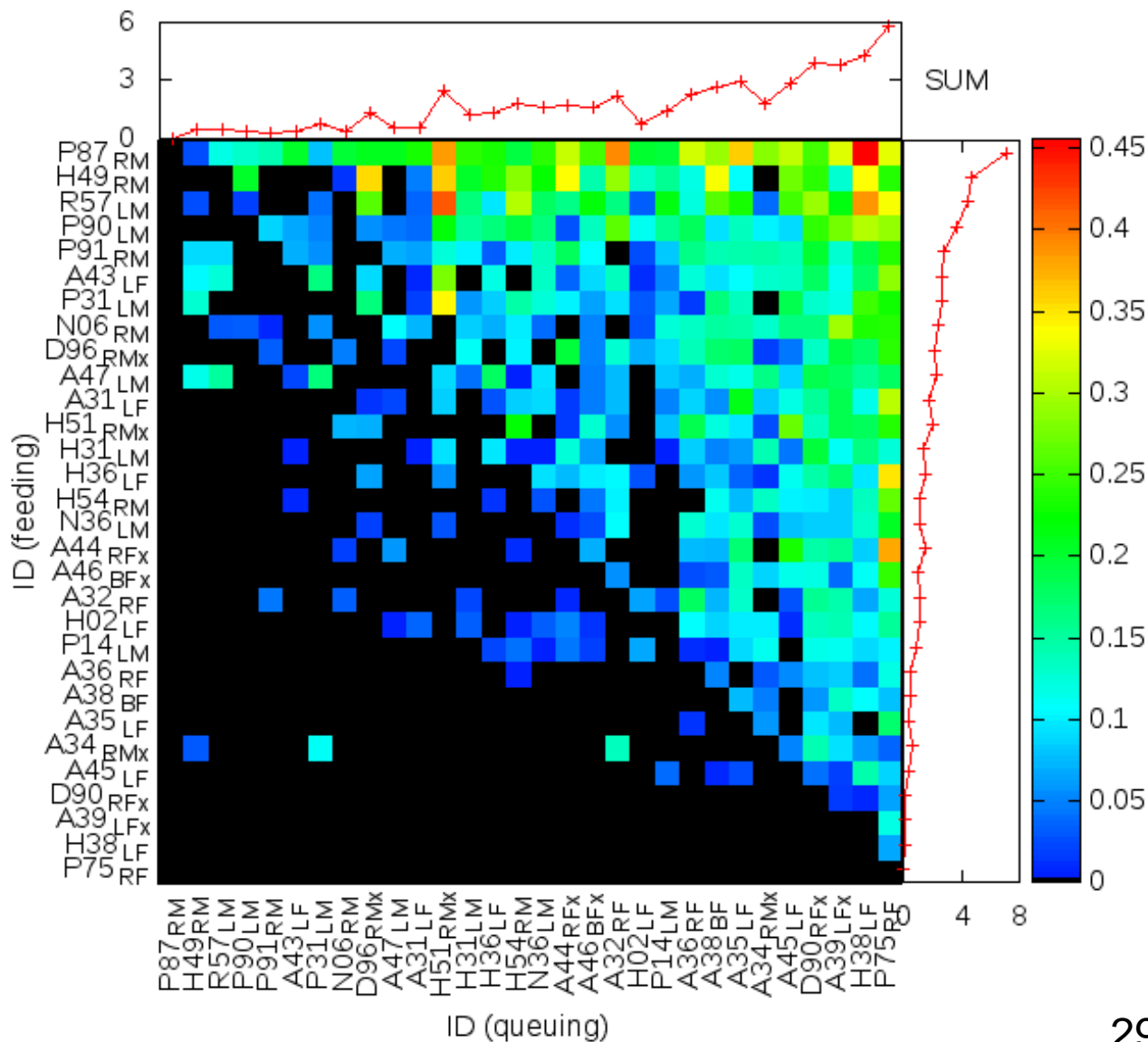
$$T = \frac{\sum_{i,j,j > i} D_{ij}}{\sum_{i,j,i \neq j} D_{ij}}$$

10-es csoport



30-as csoport

Asymmetric/dominant part of F-Q matrix with (AND < 60 cm) normalization
 Dominance transitivity: 0.950



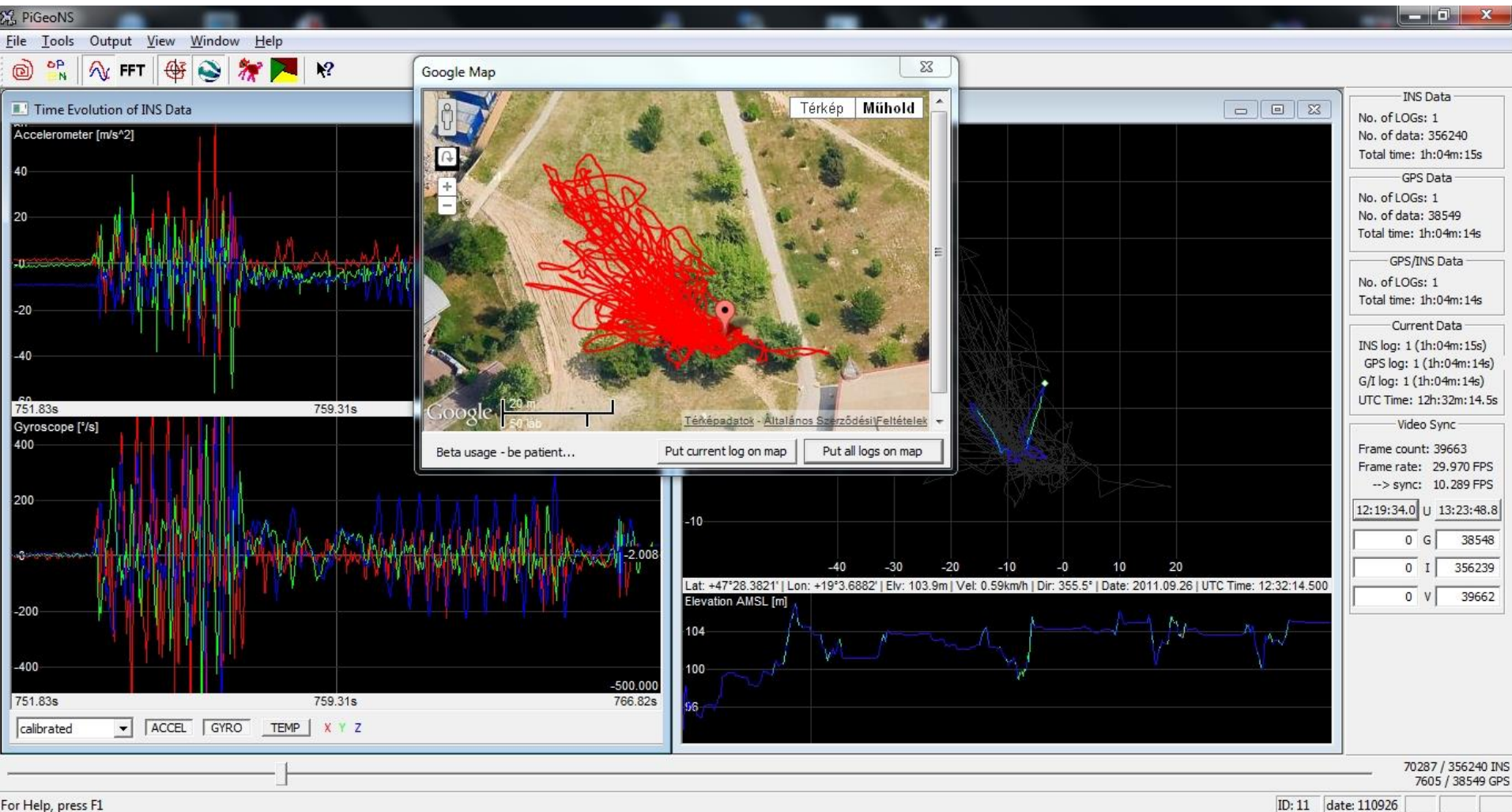
GPS+INS logger rendszer

- 10Hz GPS (2-3m / 0.01 m/s felbontás)
- 100Hz 3D gyorsulásmérő ($\pm 6g$, 16 bit)
- 100Hz 3D giroszkóp ($\pm 500^\circ/s$, 16 bit)
- 1Hz hőmérő
- 2.5 óra működési idő / memória @:
 - 13 g tömeg 150mAh LiPo akkuval
 - 25x45x12 mm teljes méret
- alkalmazásfüggő,
programozható firmware



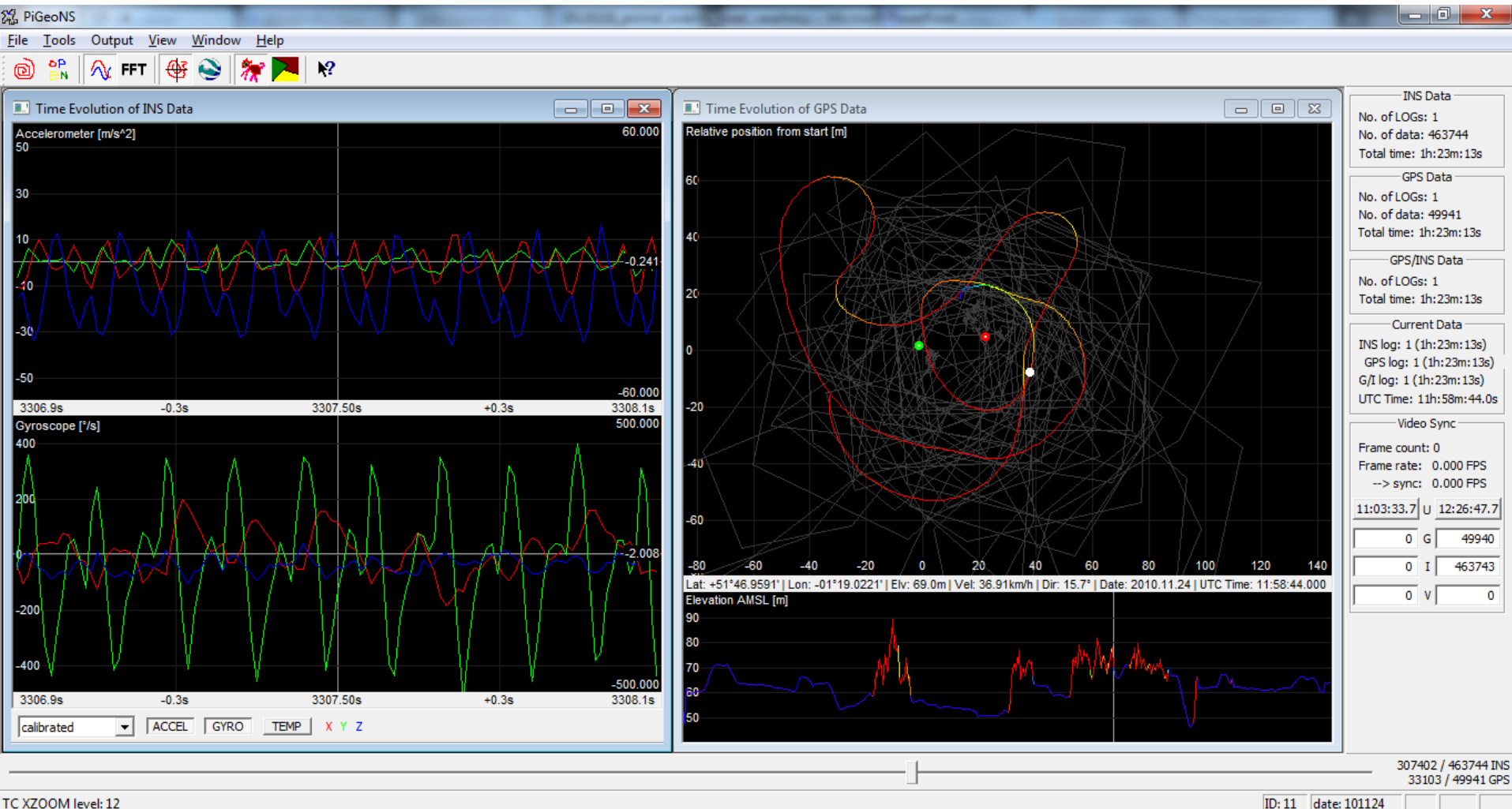
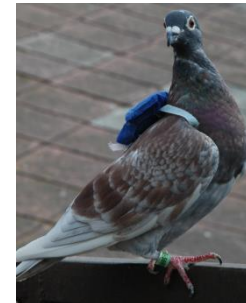
Szoftveres háttér

Firmware feltöltés, adatletöltés, GPS-INS-vidéó szinkronizáció, interaktív vizualizáció, adatelemzés, adatmentés



INS adat példa #1

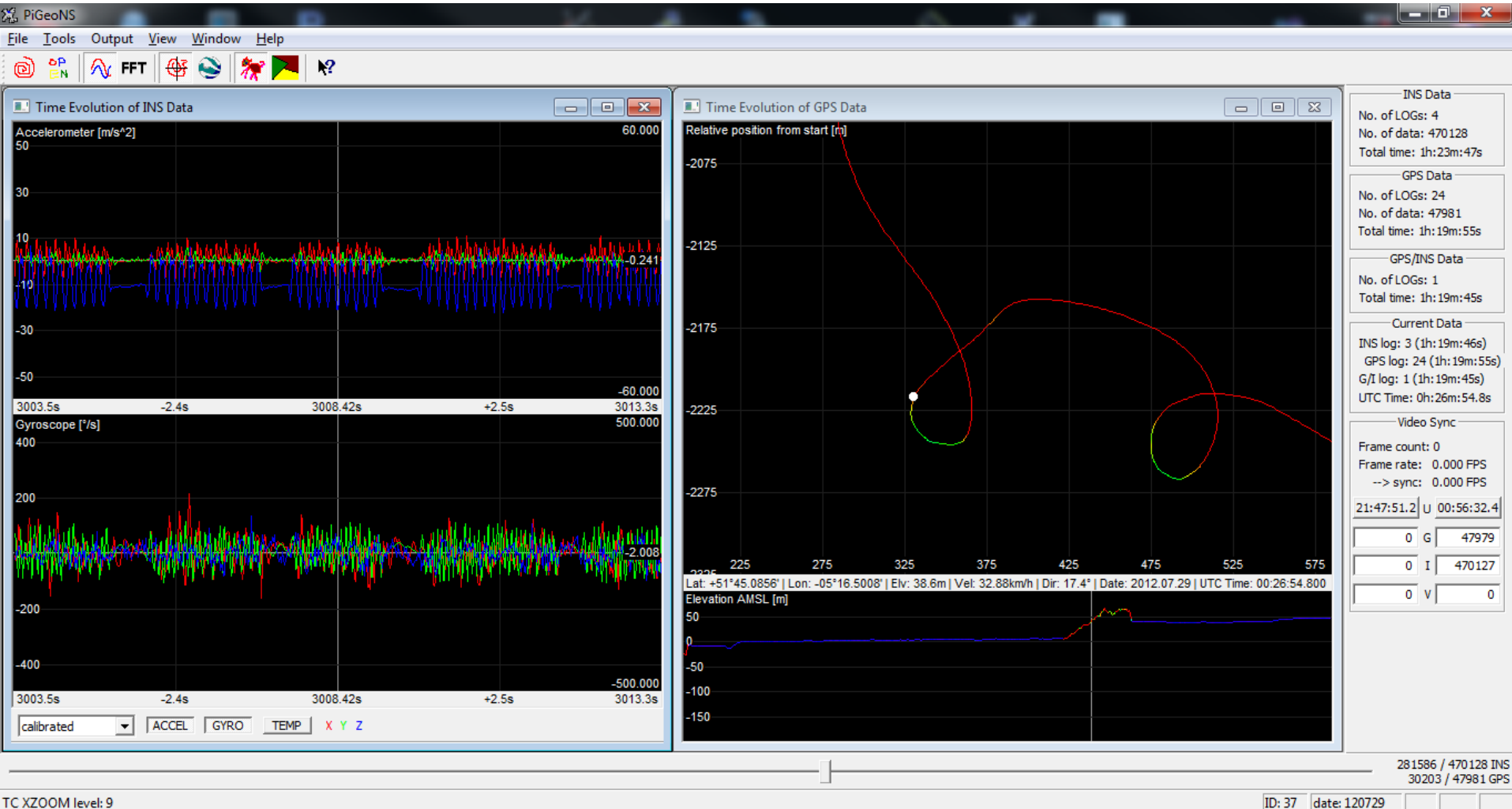
nagyfrekvenciás részletek, GPS pozíció pontosítás
(szenzor fúzió), viselkedés felismerés, mozgás analízis



galamb repül a dúc körül ~8Hz szárnycsapásokkal (1s részlet)

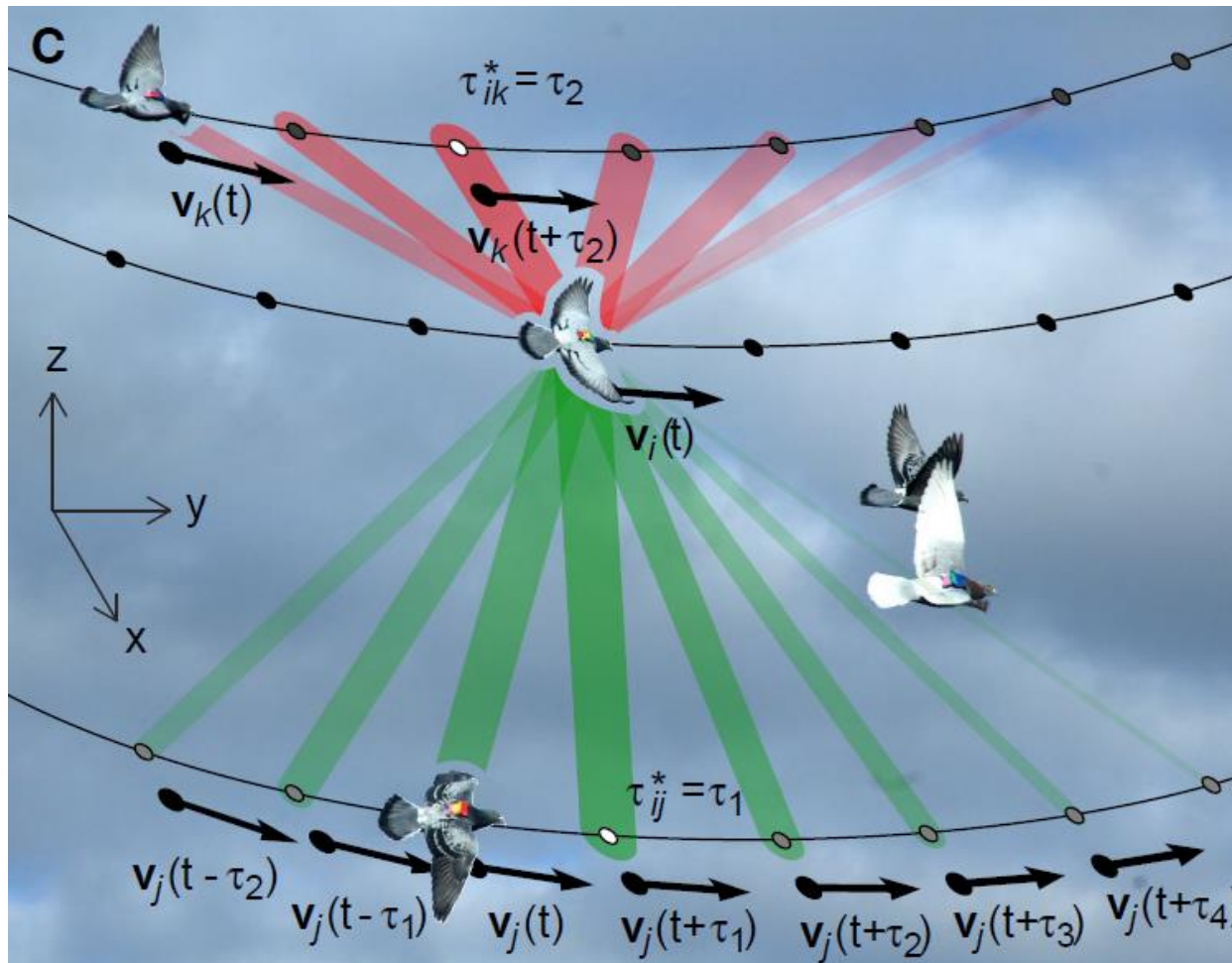
INS adat példa #2

programozható firmware, eseményvezérelt ébredés időre vagy kis fogyasztású INS szenzorok jele alapján



vízimadár szakaszos szárnycsapása (20 s részlet)

Navigációs kompetencia mérés

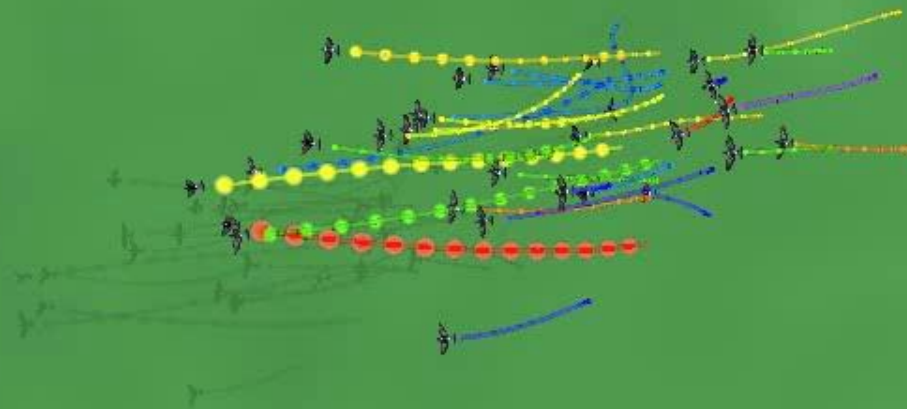
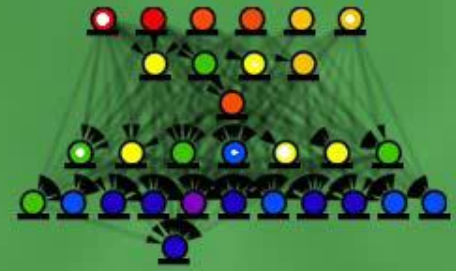


$$Corr_{ij}(\tau, t) = \left\langle v_i(t') \cdot v_j(t'+\tau) \right\rangle_{t' \in [t-3s; t+3s]}$$

$$\tau_{ij}^*(t) = \max(Corr_{ij}(\tau, t))$$

Nagy, M., Ákos, Z., Biro, D., & Vicsek, T., „Hierarchical group dynamics in pigeon flocks,” 2010 Nature

Stabil hierarchia 30 fős galambcsapat csoportos repülésében



© M. Nagy^{1,2}, G. Vásárhelyi¹, B. Pettit², I. Roberts-Mariani², T. Vicsek¹ and D. Biro²

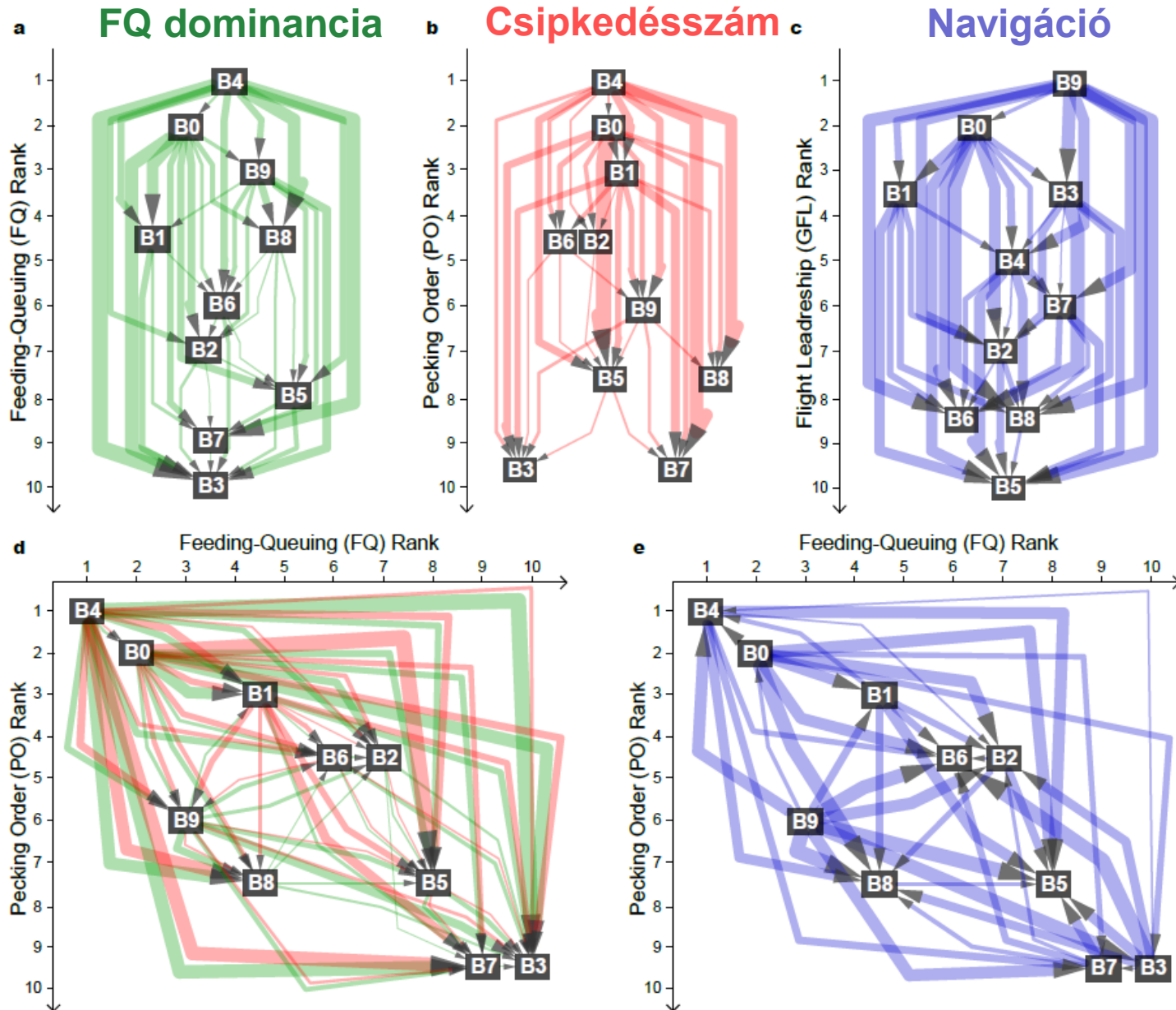
¹ COLLMOOT Research Project, Department of Biological Physics, Eötvös University

² DxNav Research Group, Department of Zoology, University of Oxford

2x speed



Kontextusfüggő stabil hierarchiák



Tartalomjegyzék

- Csoportos mozgás, csoportos döntéshozatal a nagyvilágban
- Galambok kontextus-függő hierarchiája
- **Optimális tudáseloszlás a csoportban**
- Kutyák viselkedésének automata elemzése
- Csoportosan repülő robotok

Optimális tudáseloszlás a csoportban

avagy

Hogyan osszunk fel véges tudást (költséget, erőforrást, pénzt) a csoportban, hogy a csoport a lehető legjobban teljesítsen?

Tamás Vicsek, Anna Zafeiris

ELTE Biológiai Fizika Tanszék

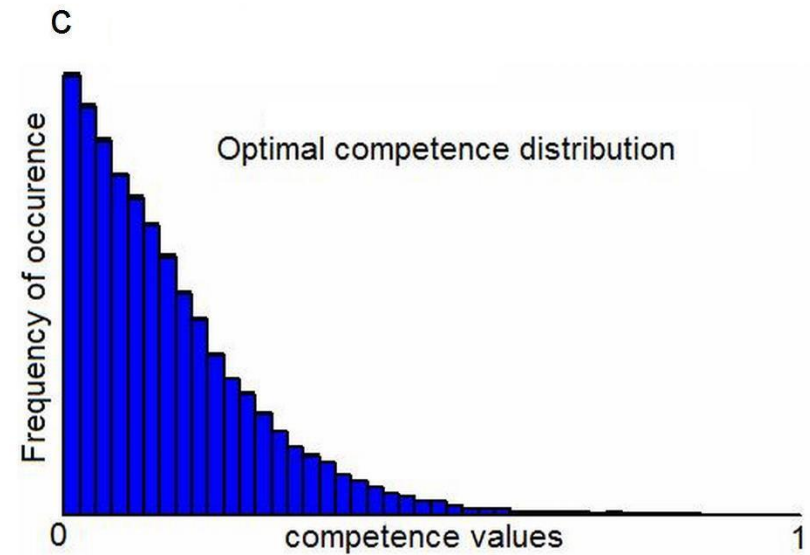
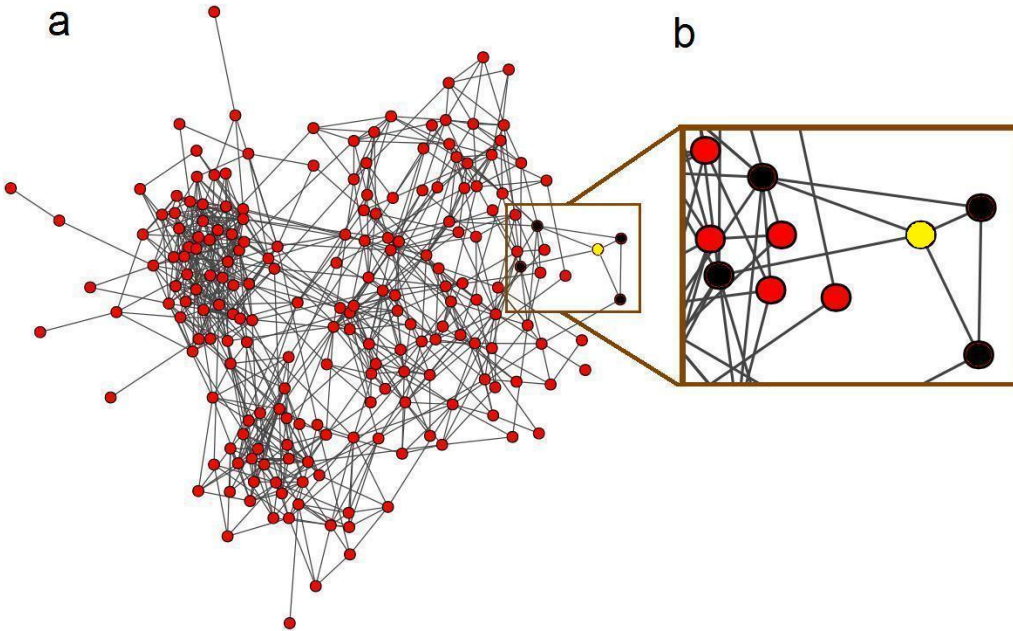
Keretrendszer

- Csoportos döntés tehát valószínűségi jóslás
- Különböző tudású egyedek tippelnek a saját tudásuk és a környezetük korábbi viselkedése alapján
- Genetikus algoritmus → sokféleképpen változtatjuk a kezdeti tudáseloszlást, és a legjobban teljesítő csoportokat választjuk ki, evolváljuk tovább
- Optimális kollektív döntés iterációk hosszú során át alakul ki

Szavazó modell

Fej vagy írás a helyes válasz?

- tippelj
- kérdezd meg a szomszédokat
- dönts többségi alapon
- új kör

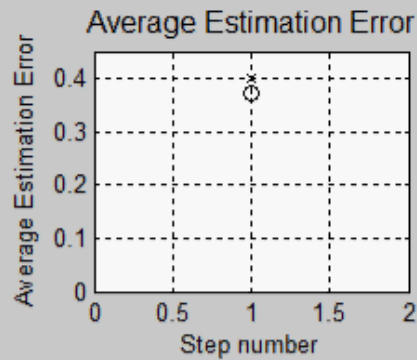
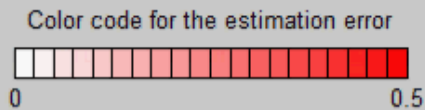
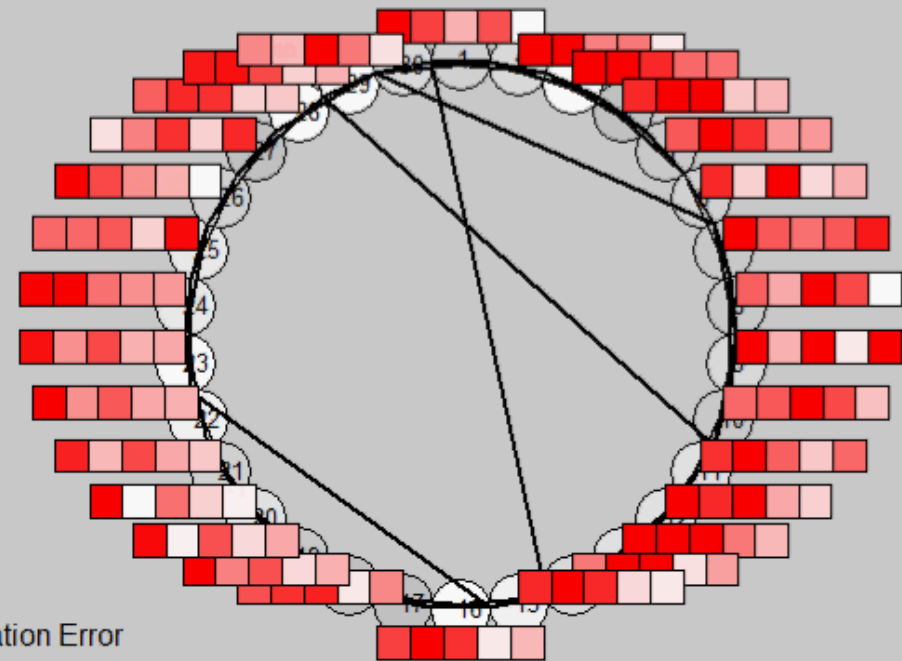
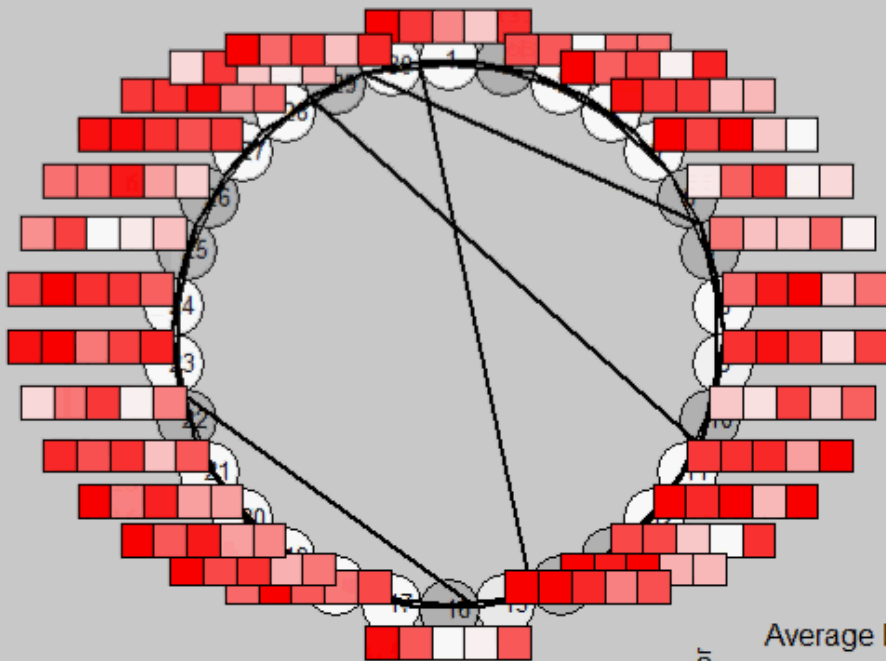


Számsorozat tippelése kisvilág-hálózaton

Continuous / optimized
competence distribution

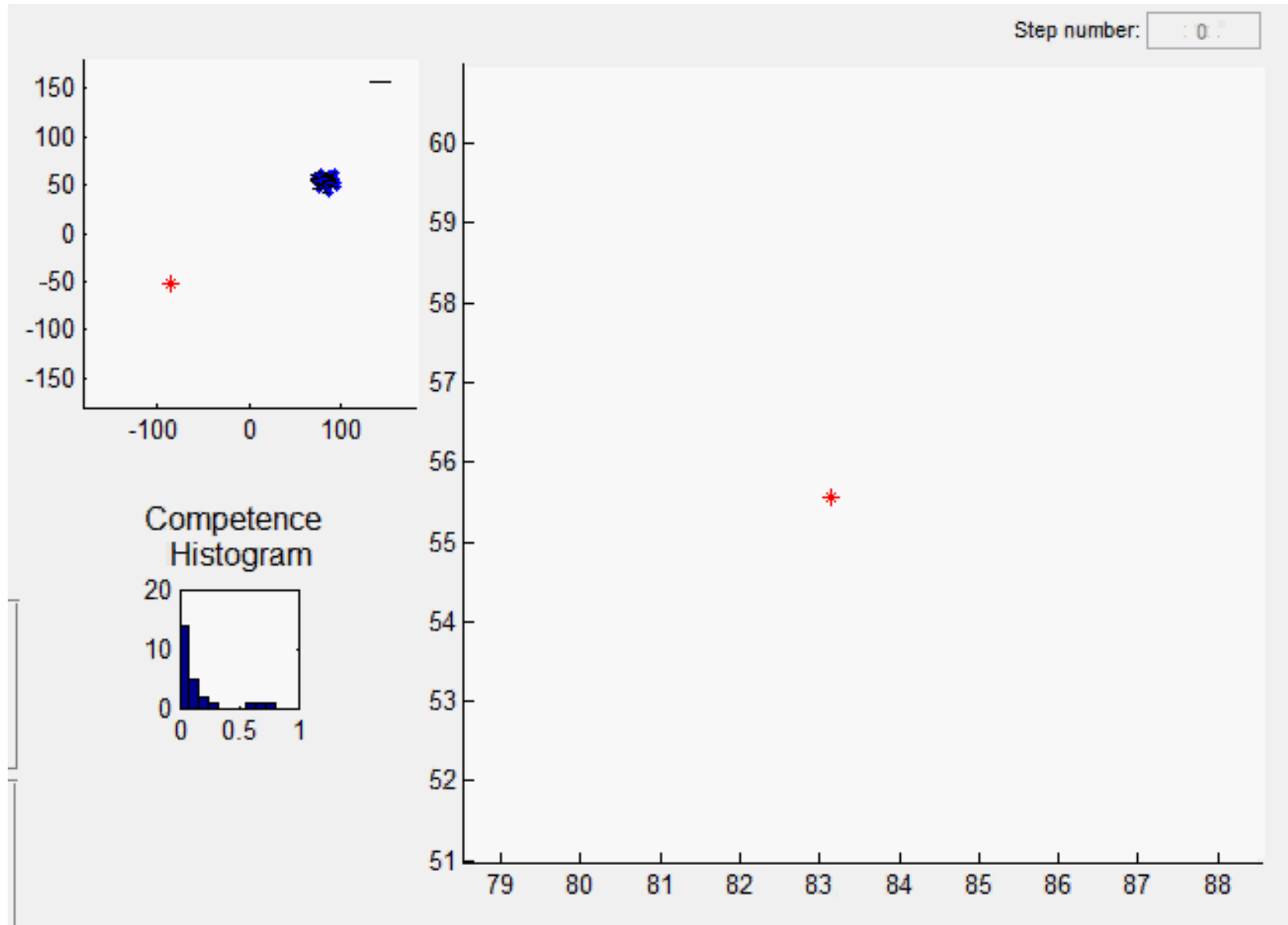
Vector to be learned
0.043 0.170 0.989 0.444 0.304

Uniform
competence distribution

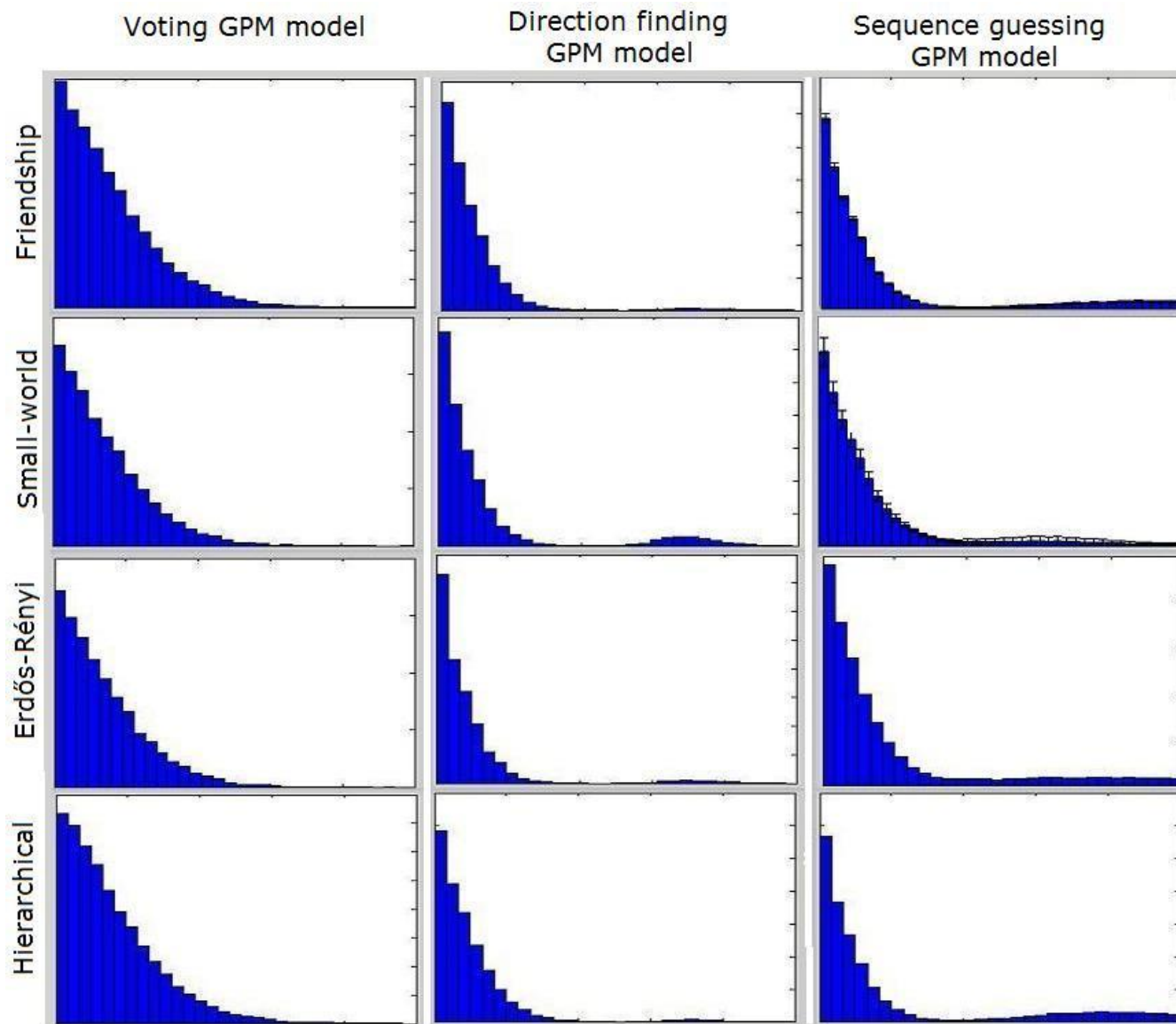


o: Uniform competence distr.
x: Continuous competence distr.

Galambok csoportos repülési modellje



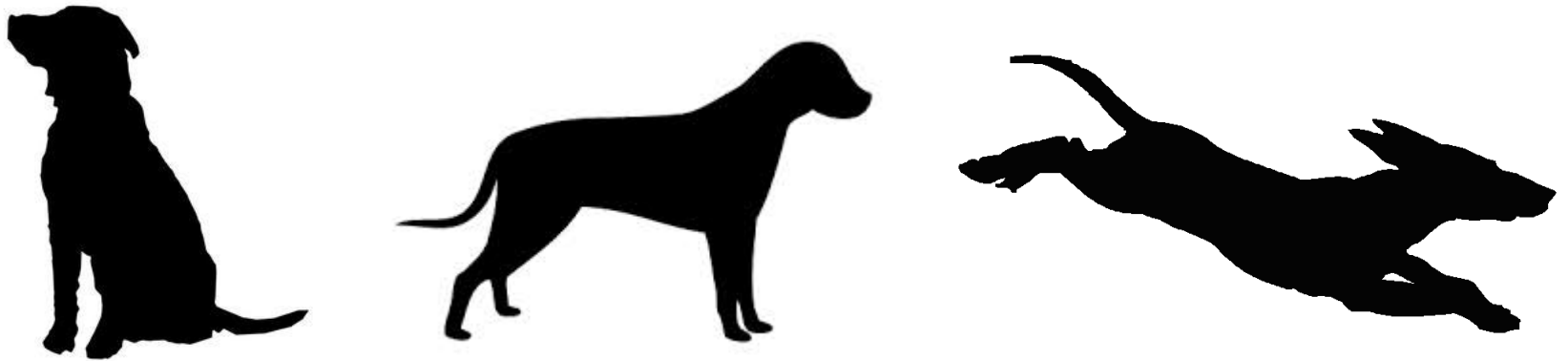
Eredmények különböző típusú hálózatokon



Tartalomjegyzék

- Csoportos mozgás, csoportos döntéshozatal a nagyvilágban
- Galambok kontextus-függő hierarchiája
- Optimális tudáseloszlás a csoportban
- **Kutyák viselkedésének automata elemzése**
- Csoportosan repülő robotok

Automata viselkedés felismerés tehetetlenségi szenzorokkal



Linda Gerencsér¹, Gábor Vásárhelyi², Máté Nagy², Tamás Vicsek², Ádám Miklósi¹

ELTE Etológia Tanszék + SWARMIX¹
ELTE Biológiai Fizika Tanszék + COLLMOT²



FNS/NF

SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS ZUR
FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG

L. Gerencser, G. Vásárhelyi, M. Nagy, A. Miklósi, T. Vicsek, "Identification of Behaviour in Freely Moving Dogs (*Canis familiaris*) Using Inertial Sensors,"
submitted to PLOS One, 2013

Adatgyűjtés

Alanyok

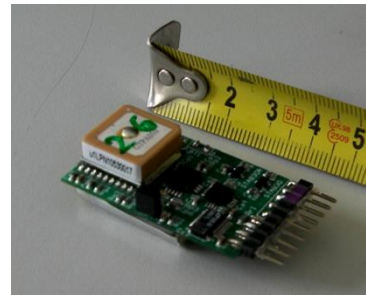


**Labrador
retriever
(N=12)**



**Malinois
(N=12)**

Loggerek



Giroszkóp

Gyorsulásmérő

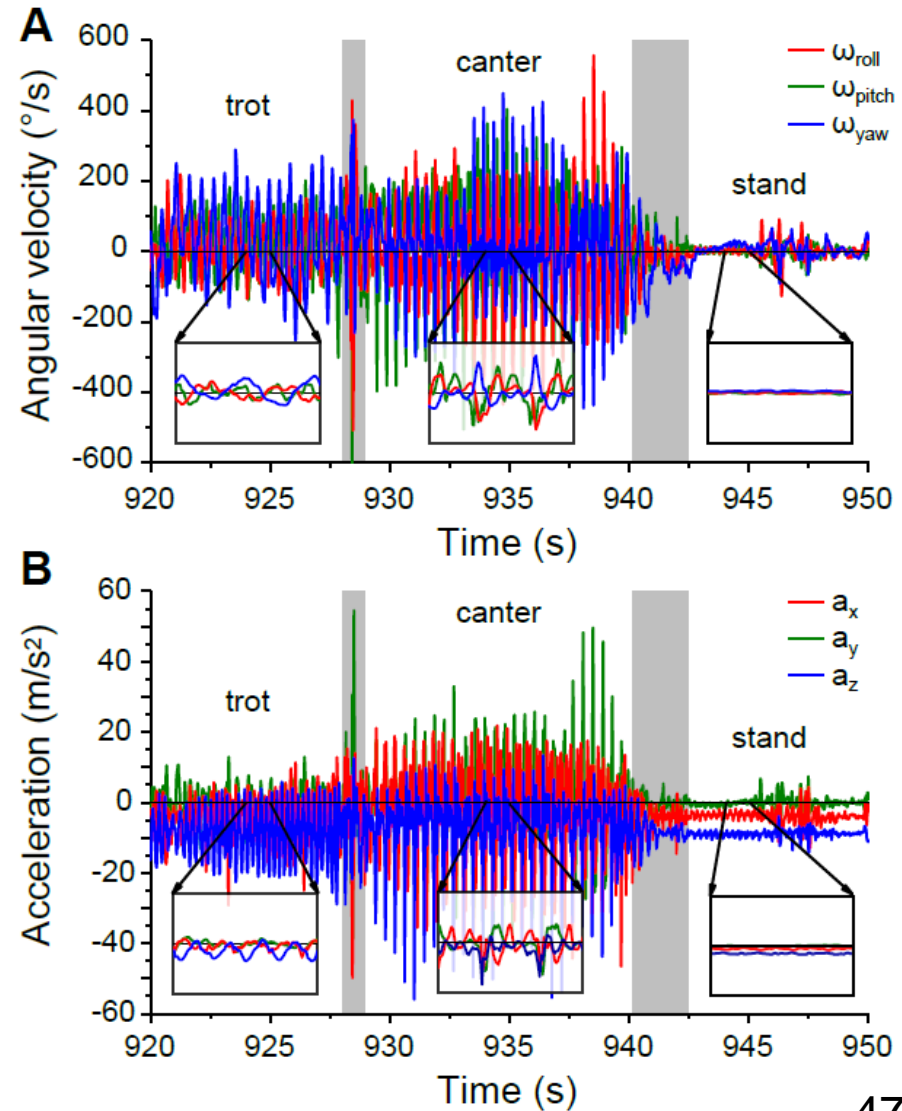
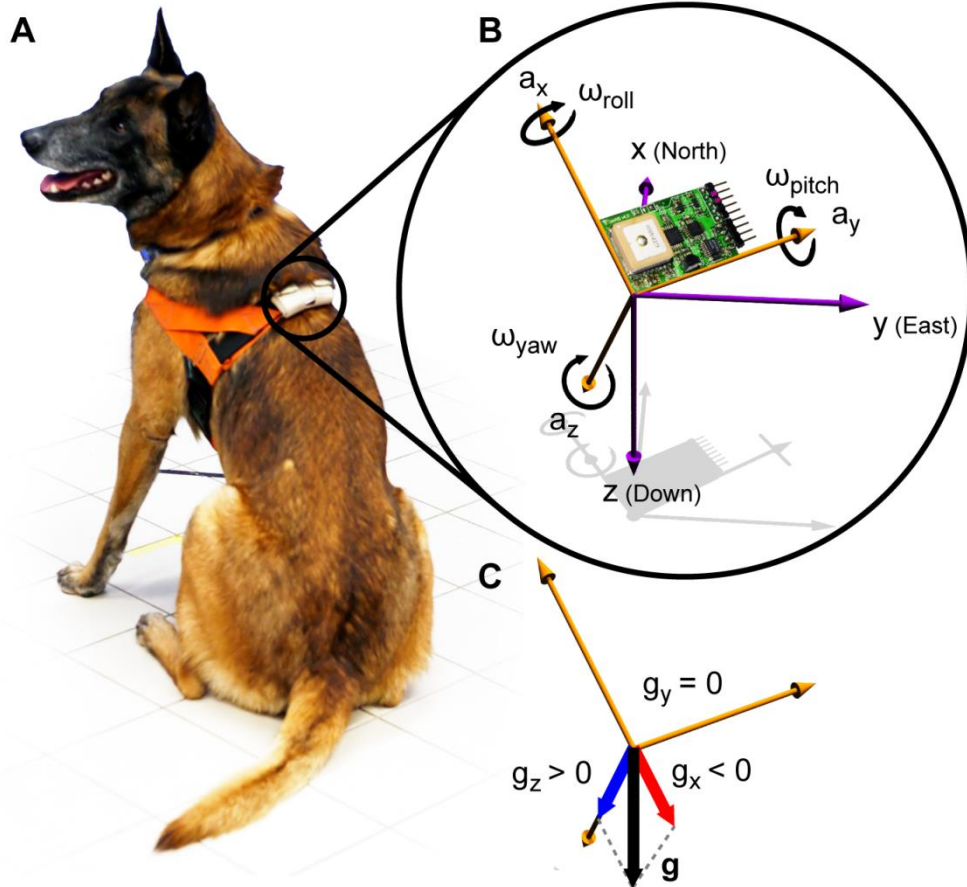
(GPS)

Videó kamera

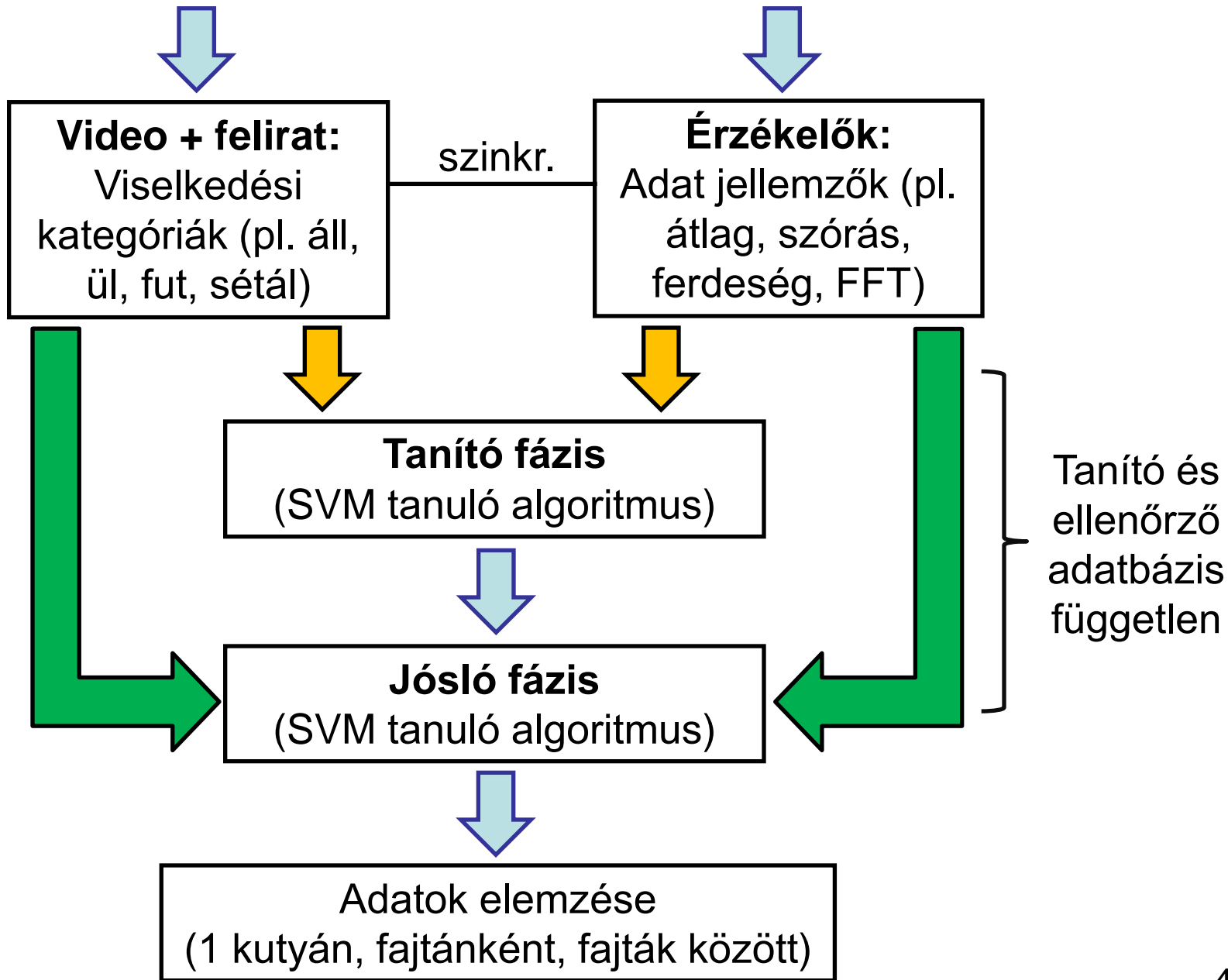
Laptop (PiGeoNS szoftver)



Nyersadat, koordinátarendszer



Adatgyűjtés a helyszínen (tehetetlenségi szenzorok + kamera)



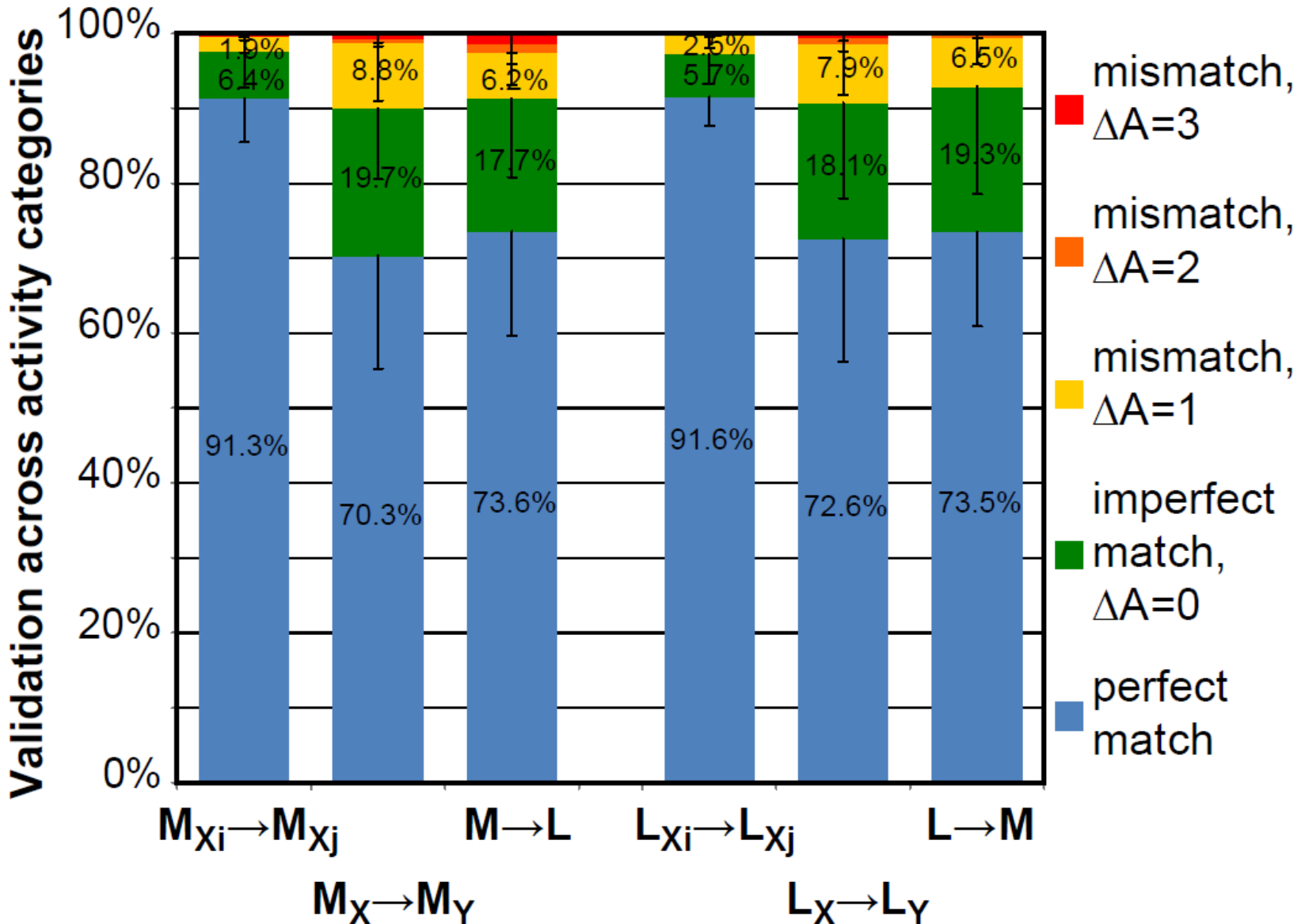
Viselkedési kategóriák

Nem átfedő viselkedések	Átfedő viselkedési kategóriák		
áll (A=0)	áll, ugat	áll, liheg	
ül (A=0)	ül, ugat	ül, liheg	
fekszik (A=0)	fekszik, liheg		
sétál (A=1)	sétál, szimatol	sétál, jobbra fordul	sétál, balra fordul
üget (A=2)	üget, szimatol	üget, jobbra fordul	üget, balra fordul
szalad (A=3)	szalad, szimatol	szalad, jobbra fordul	szalad, balra fordul
vágat (A=3)	vágat, jobbra fordul		vágat, balra fordul

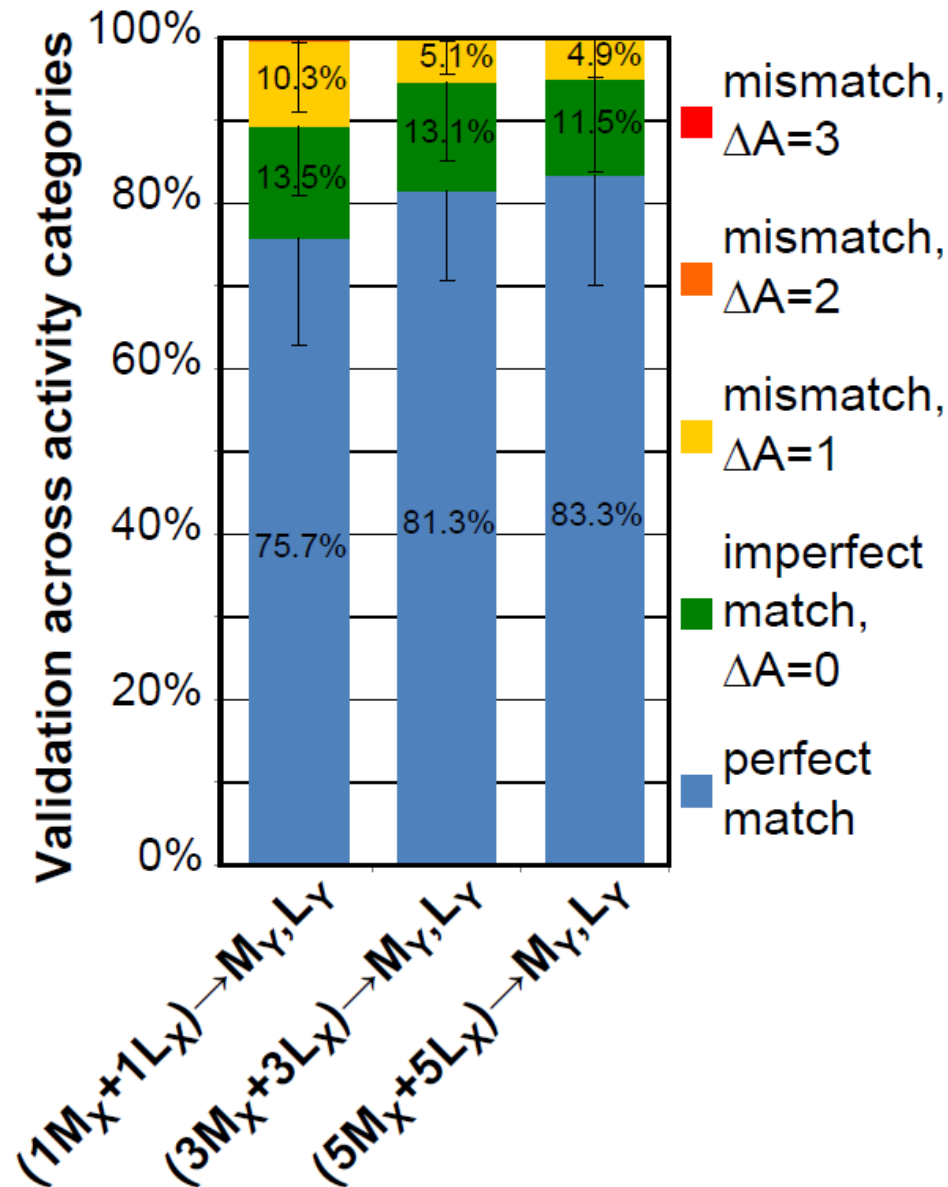
Adatjellemzők (126 db)

Base parameter source	Base parameter components	Comments
Linear acceleration (a)	$a_x, a_y, a_z, a_x/a_z, a $	Accelerometer measures acceleration of gravity as well, thus fixed attitude of the sensor on the dog's back is necessary for replicable measurements. a_x/a_z is the tangent of the cranio-caudal direction relative to ground.
Angular velocity (ω)	$\omega_x, \omega_y, \omega_z, \omega $	Fixed attitude is necessary for gyroscope as well, which measures angular velocity in body-fixed coordinate system.
Angular acceleration(b)	$d\omega_x/dt, d\omega_y/dt, d\omega_z/dt, d \omega /dt$	Calculated as the numerical derivative of ω .
Dot products	$a \cdot b, a \cdot \omega, \omega \cdot b$	Included without any special intention, but increases recognition rate slightly.
Input node vector components	Definition (for any base parameter component x)	Comments
1st, 2nd and 3rd moments	$\mu = E[x] = \sum x/n$ $\sigma = (E[(x-\mu)^2])^{1/2}$ $\gamma = E[((x-\mu)/\sigma)^3]$	i.e., average (mean), standard deviation, skewness
Extrema values	$\min(x), \max(x), \text{ext_count}(x)$	Ext_count is the total number of local minima and maxima.
Fast Fourier Transformation components	dc, low, mid and high part of FFT(x)	Low, mid and high parts are calculated on the lower half of the spectrum. The upper half is mostly empty or includes pure noise. Note that these components are similar to the generally used partial dynamic body acceleration, but FFT provides a more general context for accessing high frequency components.

Eredmények (1-1 kutyára)



Eredmények (több kutyára)



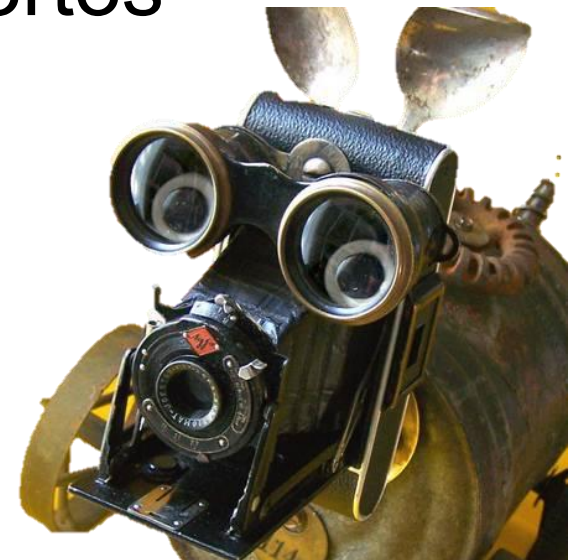
Jóslás vs. kódolók

output input		A=0			A=1	A=2	A=3	
		lay	sit	stand	walk	trot	canter	gallop
A=0	lay	89.5%	4.4%	5.9%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
	sit	4.9%	90.9%	1.9%	0.0%	0.4%	2.0%	0.0%
	stand	11.2%	3.5%	83.0%	2.2%	0.1%	0.0%	0.0%
A=1	walk	4.4%	2.3%	0.0%	90.1%	2.7%	0.4%	0.0%
A=2	trot	0.0%	0.0%	0.0%	2.8%	94.8%	2.3%	0.0%
A=3	canter	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	72.7%	27.0%
	gallop	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	9.9%	90.1%

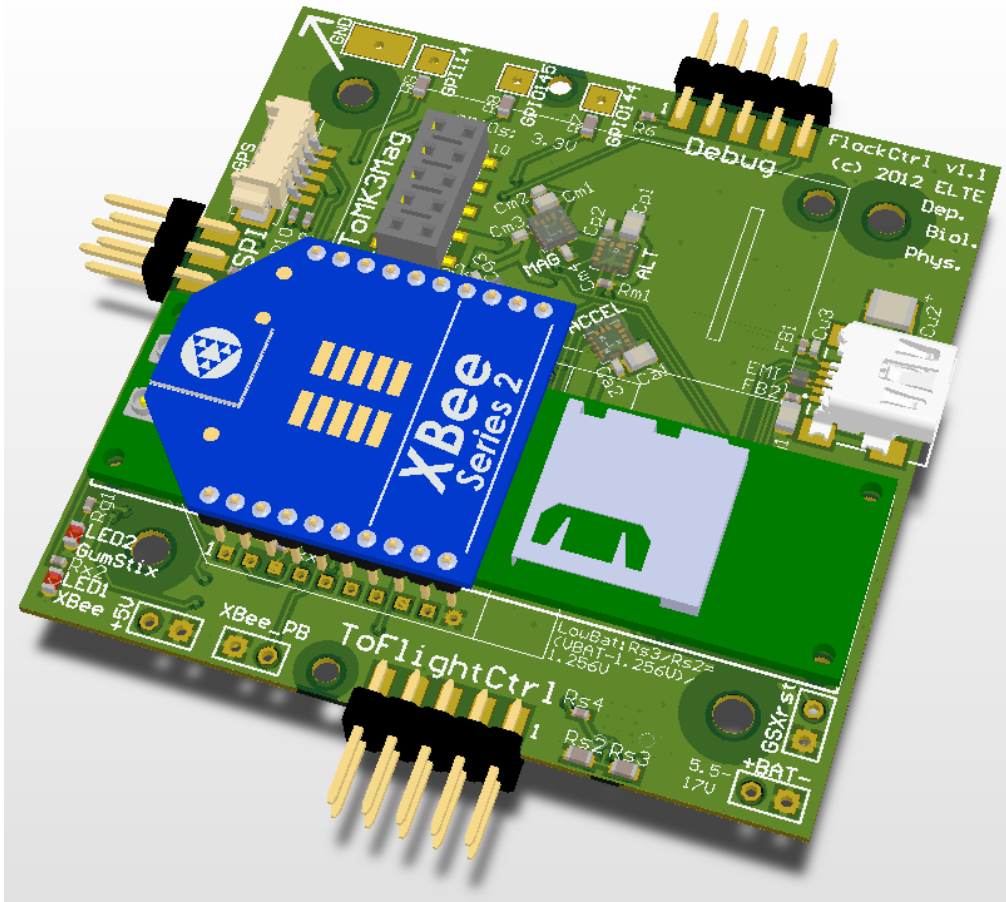
coder 2 coder 1		A=0			A=1	A=2	A=3	
		lay	sit	stand	walk	trot	canter	gallop
A=0	lay	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	sit	0.7%	98.8%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	stand	0.0%	1.4%	98.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
A=1	walk	0.0%	0.0%	0.0%	97.8%	2.2%	0.0%	0.0%
A=2	trot	0.0%	0.0%	0.0%	2.7%	97.3%	0.0%	0.0%
A=3	canter	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	85.1%	14.9%
	gallop	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	99.6%

Felhasználási területek

- Hosszú távú, kis fogyasztású egyéni viselkedés mérések
- Kutya-robot-ember együttműködés
- Viselkedés alapú távirányítás
- Vadászat, mentőakció, csoportos keresés
- Hatékony monitorozás (kutya-cica, tehén-birka-ló, babák-öregék)
- Kiterjesztett valóság



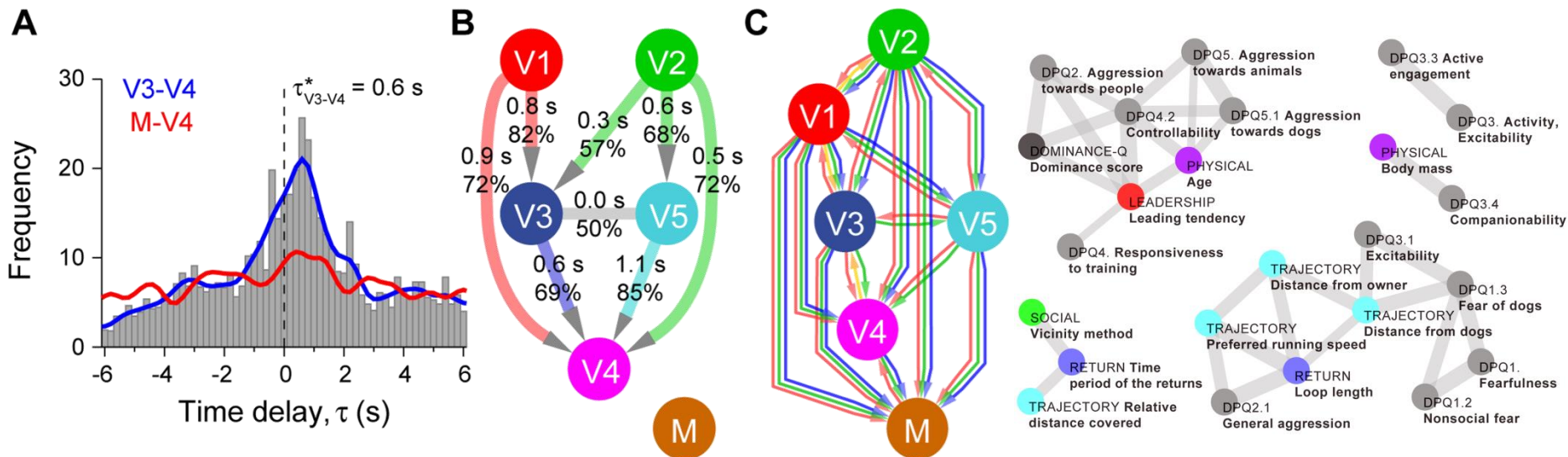
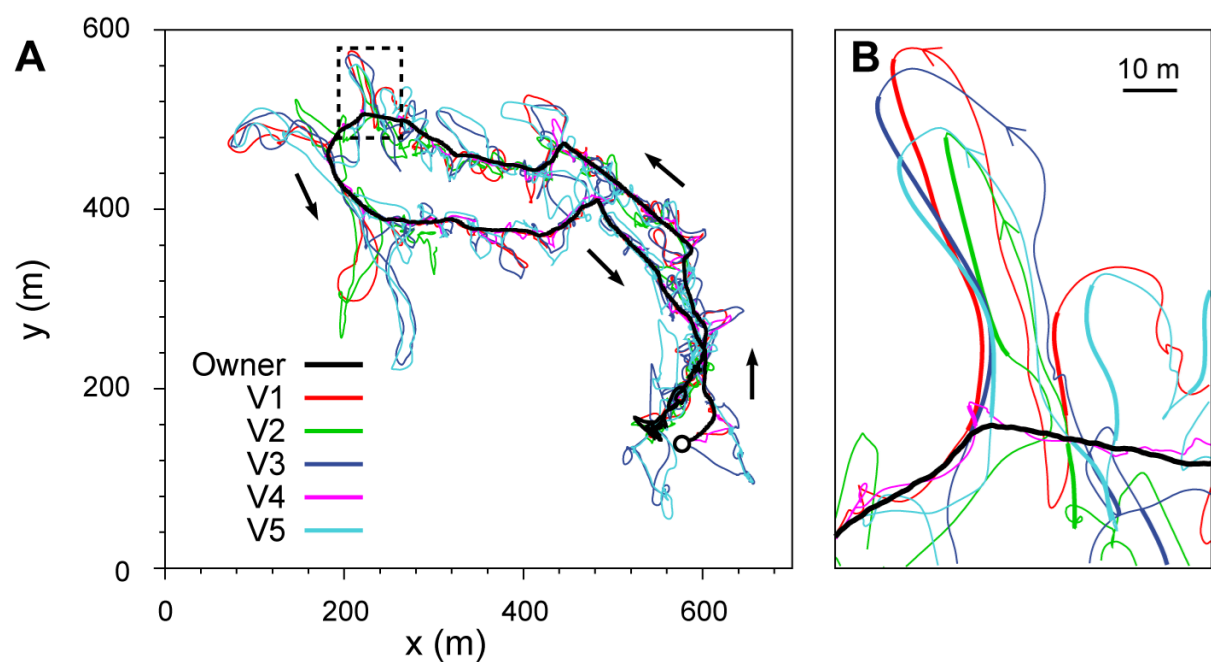
Következő generáció



- GPS, gyorsulásmérő, giroszkóp, mágneses szenzor, nyomásmérő, hőmérők, mikrofon, hangszóró
- Vezetéknélküli kapcsolat
- Onboard miniszámítógép, Linux, valós idejű adatelemzés
- 6x6 cm, 100 g

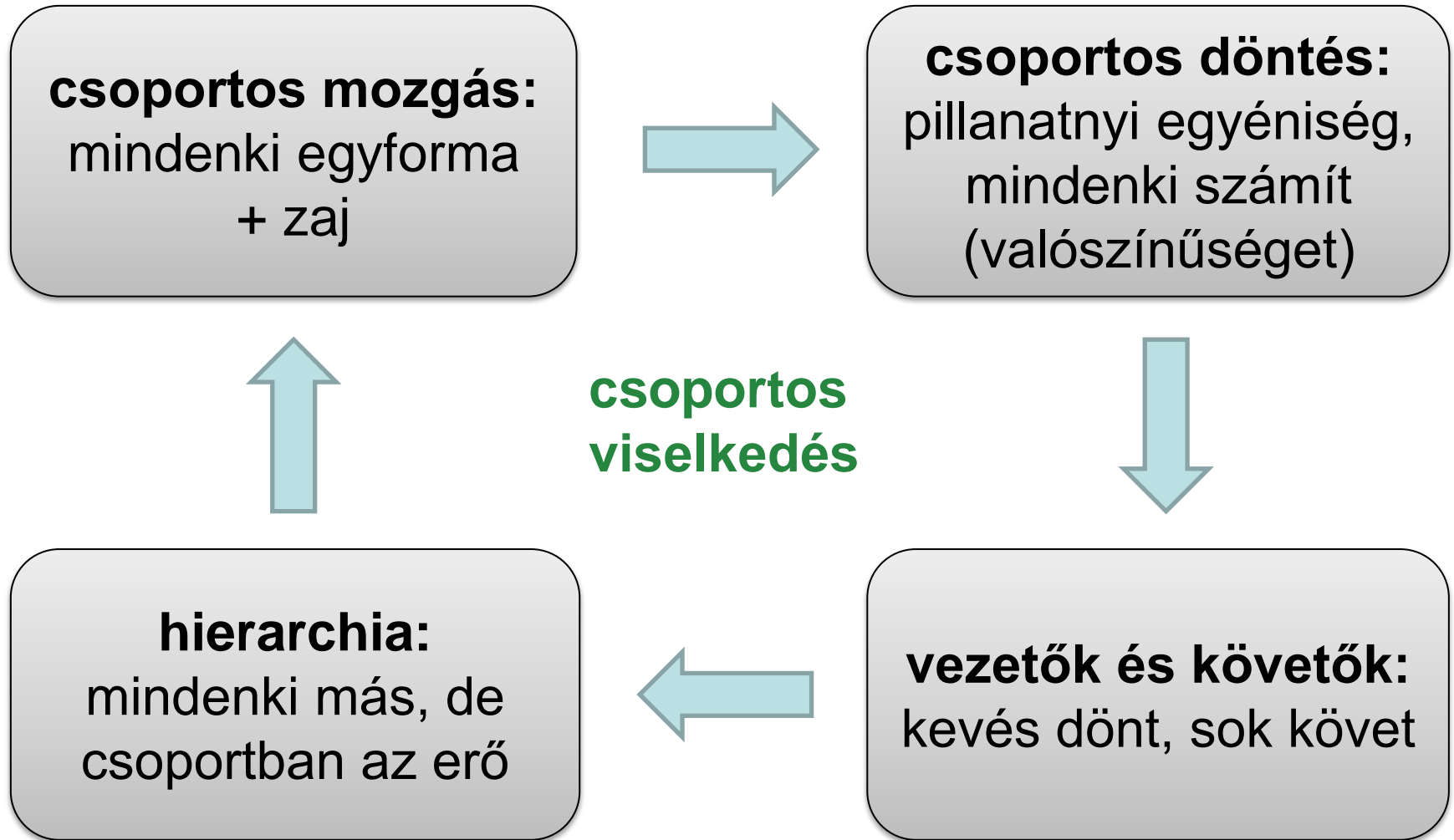
Előzetes eredmények: **közel 100%-os felismerés valós időben**

Vezetés, személyiség, dominancia összefüggése kutyáknál



Zs. Ákos, R. Beck, M. Nagy, T. Vicsek and E. Kubinyi (2014) Leadership and Path Characteristics during Walks Are Linked to Dominance Order and Individual Traits in Dogs PLoS Comput Biol 10 e1003446 Public Library of Science

Összefoglalás



EU ERC COLLMOT (2009-2014)



<http://hal.elte.hu/flocking>